

Планети и екзопланети

Rosa M. Ros, Hans Deeg, Ricardo Moreno

International Astronomical Union

Technical University of Catalonia, Spain

Canarian Astrophysical Institute, Spain

Colegio Retamar de Madrid, Spain



Цели:

- Разберете значението на числените стойности в таблиците с данни на планетите от Слънчевата система
- Разберете основните характеристики на извънслънчеви планетарни системи



Слънчева система

Ние търсим модели, които предоставят информация, не само изкуството.



Според съдържанието

Имаме модели с научно съдържание и тези, които показват някои конкретни точки



Дейност 1: Разстояния от Слънцето

Меркурий	57 900 000 km		6 cm	0.4 AU
Венера	108 300 000 km		11 cm	0.7 AU
Земя	149 700 000 km		15 cm	1.0 AU
Марс	228 100 000 km		23 cm	1.5 AU
Юпитер	778 700 000 km		78 cm	5.2 AU
Сатурн	1 430 100 000 km		143 cm	9.6 AU
Уранус	2 876 500 000 km		288 cm	19.2 AU
Нептуне	4 506 600 000 km		450 cm	30.1 AU



Дейност 2: Модел на диаметри

Слънце	1 392 000 km		139.0 cm
Меркурий	4 878 km		0.5 cm
Венера	12 180 km		1.2 cm
Земя	12 756 km		1.3 cm
Марс	6 760 km		0.7 cm
Юпитер	142 800 km		14.3 cm
Сатурн	120 000 km		12.0 cm
Уранус	50 000 km		5.0 cm
Нептуне	45 000 km		4.5 cm

Дейност 2: Модел на диаметри



Тениска с диаметрите
на планетите в мащаб

Дейност 3: Диаметри и разстояния от Слънцето

Sun	1 392 000 km			25.0 cm	
Mercury	4 878 km	57 900 000 km		0.1 cm	10 m
Venus	12 180 km	108 300 000 km		0.2 cm	19 m
Earth	12 756 km	149 700 000 km		0.2 cm	27 m
Mars	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
Neptune	45 000 km	4 506 600 000 km		1.0 cm	800 m

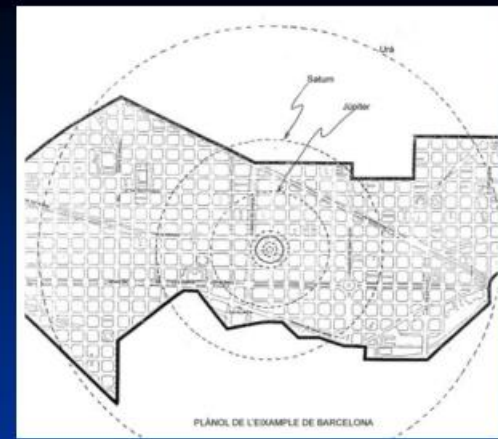
Обикновено училищен двор стига само до Марс



Дейност 3: Модел на диаметри и разстояния в детската площадка...

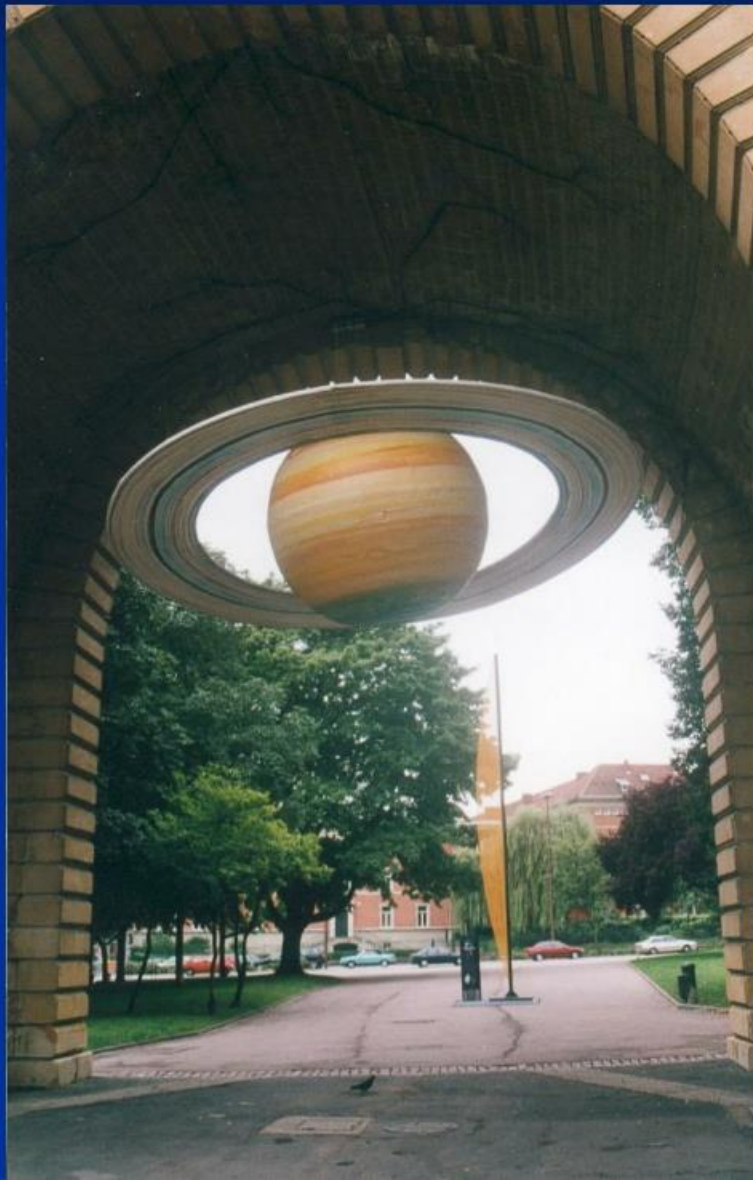


Дейност 4: Модел в града (Барселона)



Sun	Washing machine	<i>Puerta Instituto</i>
Mercury	Caviar egg	<i>Puerta Hotel Diplomatic</i>
Venus	Pea	<i>Pasaje Méndez Vigo</i>
Earth	Pea	<i>Entre Méndez Vigo y Bruc</i>
Mars	Pepper grain	<i>Paseo de Gracia</i>
Jupiter	Orange	<i>Calle Balmes</i>
Saturn	Tangerine	<i>Pasaje Valeri Serra</i>
Uranus	Chestnut	<i>Calle Entenza</i>
Neptune	Chestnut	<i>Estación de Sans</i>

Модел в град Мец (Франция)

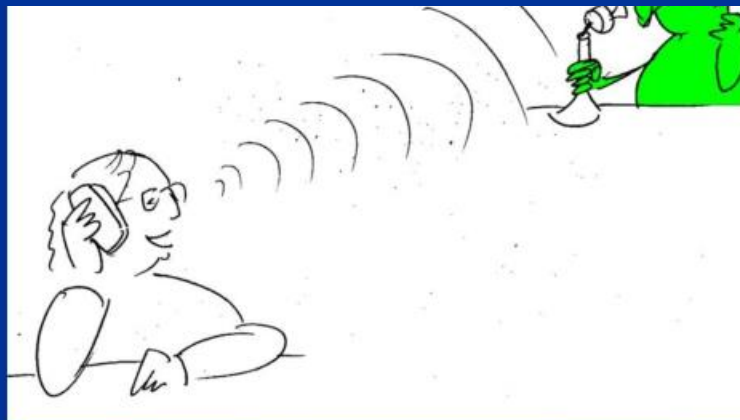


Дејност 5: Модел на времената

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

Времето, необходимо на светлината да премине от
Земята до Луната е: $t = \text{разстояние Земја-Луна} / c = 384\,000$
 $\text{km} / 300\,000 = 1,3 \text{ s}$

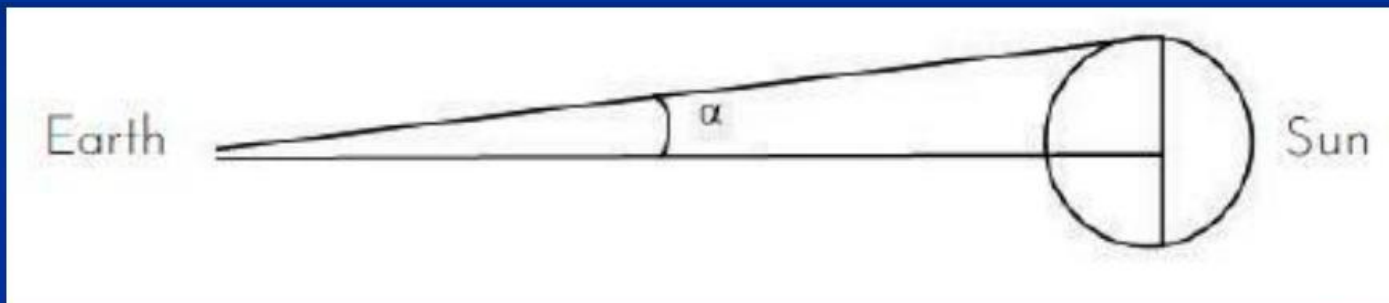
Какъв би бил разговорът
между планети чрез „видео“?



Времето необходимо на слънчевата светлина , за да стигне до...

Mercury	57 900 000 km		3.3 minutes
Venus	108 300 000 km		6.0 minutes
Earth	149 700 000 km		8.3 minutes
Mars	228 100 000 km		12.7 minutes
Jupiter	778 700 000 km		43.2 minutes
Saturn	1 430 100 000 km		1.32 hours
Uranus	2 876 500 000 km		2.66 hours
Neptune	4 506 600 000 km		4.16 hours

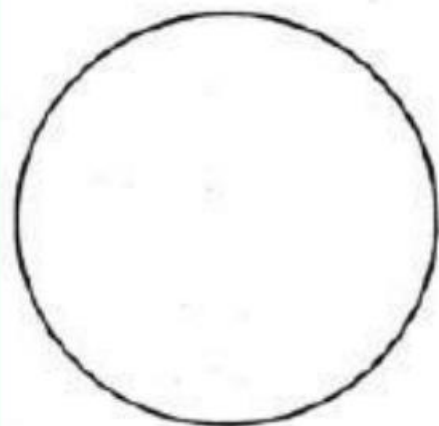
Дейност 6: Слънцето, както се вижда от планетите



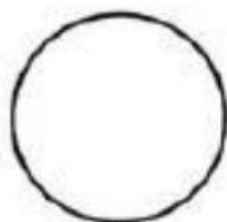
• $\alpha = \tan \alpha = \text{радиус Слънце} / \text{разстояние до Слънцето}$
 $= 700\,000 / 150\,000\,000 = 0.0045 \text{ radian} = 0.255^\circ$

■• От Земята до Слънцето измерваме $2\alpha = 0.51^\circ$

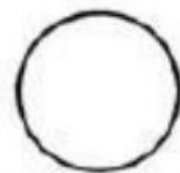
Дејност 6: Слњцето, како се вижда од планетите



From Mercury



From Venus



From Earth



From Mars



From Jupiter



From Saturn





From Uranus



From Neptune

Дейност 7: Модел на плътности

Sun	1.41 g/cm³		Sulfur (1.1-2.2)
Mercury	5.41 g/cm³		Pyrite (5.2)
Venus	5.25 g/cm³		Pyrite (5.2)
Earth	5.52 g/cm³		Pyrite (5.2)
Mars	3.90 g/cm³		Blende (4.0)
Jupiter	1.33 g/cm³		Sulfur (1.1-2.2)
Saturn	0.71 g/cm³		Pine wood (0.55)
Uranus	1.30 g/cm³		Sulfur (1.1-2.2)
Neptune	1.70 g/cm³		Clay (1.8-2.5)



Дейност 8: Модел на сплескване на планетите

- Изрежете картонени ленти с размери 35 x 1 см.

- Прикрепете ги към цилиндрична пръчка 50 см дължина и 1 см диаметър. Оставете долния край свободен, за да може да се движи по пръчката.

- Завъртете пръчката между ръцете си с бързи завъртания в едната и в другата посока. Центробежната сила деформира картонените ленти, както планетите се деформират.



Дейност 8: Сплескване

Планети	(екваториален радиус-полярен радиус)/ Екваториален радиус
Mercury	0.0
Venus	0.0
Earth	0.0034
Mars	0.005
Jupiter	0.064
Saturn	0.108
Uranus	0.03
Neptune	0.03



Дейност 9: Модел на орбитални периоди

- Прикрепете гайка към единия край на въжето и дръжте въжето срещу него. Обърнете въжето над главата си.
 - Когато пуснете повече въже, отнема повече време за завършване на орбитален период
 - Ако премахнете част от въжето, отнема по-малко време



Дейност 9: Данни за земната орбита

Средната орбитална скорост $v = 2\pi R / T$

За Земята

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

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

(Средната орбитална скорост на Слънцето около галактическият център е 220 km/s или 800 000 km/h.)



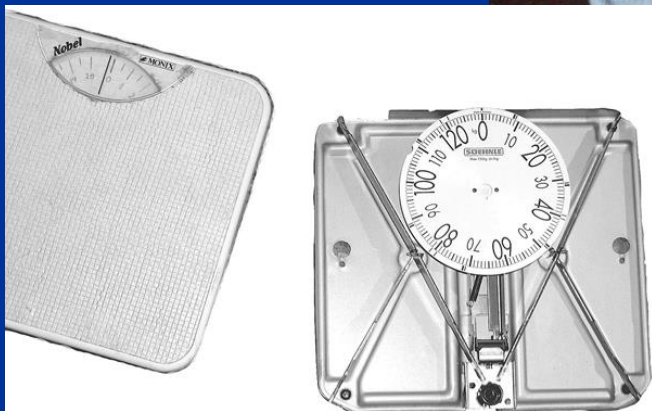
Дејност 9: Орбитални данни

Planet	Orbital period (days)	Distance from the Sun (km)	Orbital average speed (km/s)	Orbital average speed (km/h)
Mercury	87.97	57.9 x 10 ⁶	47.90	172 440
Venus	224.70	108.3 x 10 ⁶	35.02	126 072
Earth	365.26	149.7 x 10 ⁶	29.78	107 208
Mars	686.97	228.1 x 10 ⁶	24.08	86 688
Jupiter	4331.57	778.7 x 10 ⁶	13.07	47 052
Saturn	10759.22	1 430.1 x 10 ⁶	9.69	34 884
Uranus	30.799.10	2 876.5 x 10 ⁶	6.81	24 876
Neptune	60190.00	4 506.6 x 10 ⁶	5.43	19 558





Дејност 10: Модел на гравитационно ускорение на повърхноста

- повърхностна гравитация, $F = G M m / d$ с $m=1$ и $d=r$, тогава $g = GM / R$ където тестото $M = 4 \rho R r / 3$
- Sustituyendo $g = 4 \rho G R r / 3$



Дейност 10: Модел на гравитационно ускорение на повърхността

Planets	Equat. Radius	Density		Calc. acc.	Real acceleration.	
Mercury	2 439 km	5.4 g/cm ³		0.378	3.70 m/s ²	0.37
Venus	6 052 km	5.3 g/cm ³		0.894	8.87 m/s ²	0.86
Earth	6 378 km	5.5 g/cm ³		1.000	9.80 m/s ²	1.00
Mars	3 397 km	3.9 g/cm ³		0.379	3.71 m/s ²	0.38
Jupiter	71 492 km	1.3 g/cm ³		2.540	23.12 m/s ²	2.36
Saturn	60 268 km	0.7 g/cm ³		1.070	8.96 m/s ²	0.91
Uranus	25 559 km	1.2 g/cm ³		0.800	8.69 m/s ²	0.88
Neptune	25 269 km	1.7 g/cm ³		1.200	11.00 m/s ²	1.12
Moon					1.62 m/s ²	0.16

Дейност 11: Модел на "ударни кратери"

- Покрийте пода с вестници, за да предотвратите бъркотия
- В плитка кутия поставете слой от 1 или 2 см брашно със сито, за да стане повърхността много гладка
- Върху брашното със сито поръсете слой от няколко милиметра какао на прах
- От около 2 м височина пуснете супена лъжица какао на прах, за да създадете следи като ударни кратери
- Използваното брашно може да се използва за нов експеримент



Activity 12: Escape velocity

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


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

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

the scape velocity results:

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

Дейност 12: Escape velocity

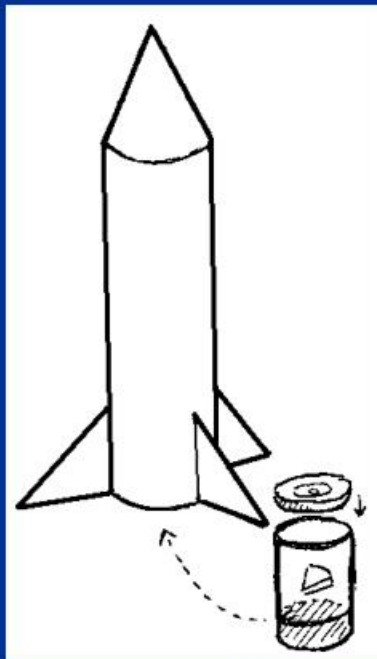
Planets	Equatorial Radius	$g_{\text{Planet}}/g_{\text{Earth}}$		Escape Velocity
Mercury	2 439 km	0.378		4.3 km/s
Venus	6 052 km	0.894		10.3 km/s
Earth	6 378 km	1.000		11.2 km/s
Mars	3 397 km	0.379		5.0 km/s
Jupiter	71 492 km	2.540		59.5 km/s
Saturn	60 268 km	1.070		35.6 km/s
Uranus	25 559 km	0.800		21.2 km/s
Neptune	25 269 km	1.200		23.6 km/s

Дејност 12: Изстрелване на ракета

- Картон

- Контейнер за фолио

- $\frac{1}{4}$ ефервесцентни таблетки





Извънслънчеви планетарни системи



През 1995 г. Мишел Майор и Дидие Келоз
обявиха откриването на екзопланета в
орбита около 51 Pegasi



2M1207b directly imaged (ESO)

Първото изображение
на екзопланета

16 март 2003



ЗАВИСИМ ОТ ТЕХНОЛОГИЯТА



Галилей наблюдавал Сатурн със своя телескоп през 1610 г. за първи път. Той не видял хубаво пръстена, и го разтълкувал като звезда с три тела.

Трябваше да се чака Хюйгенс (1659) с подобър телескоп за откриване на пръстена.

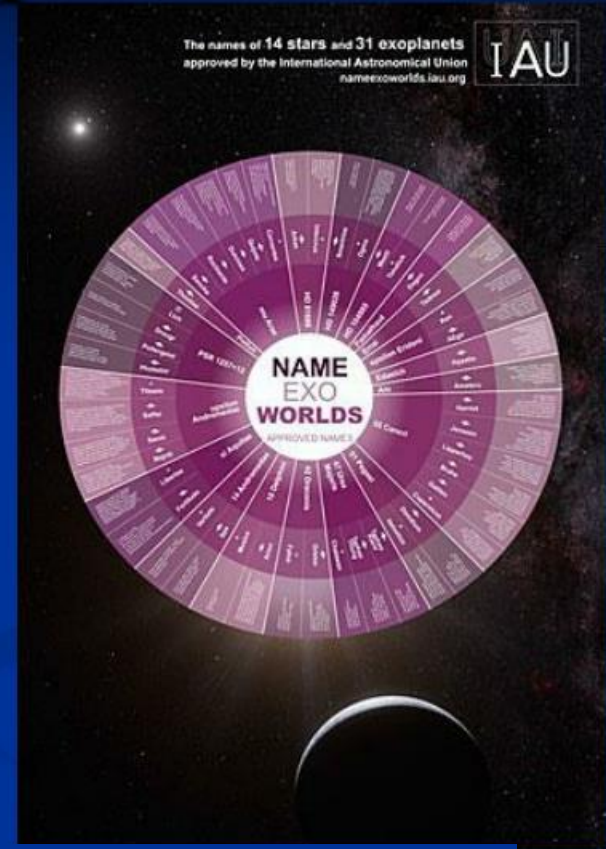
Поради тази причина картината на Рубенс (1636-1638) символизира Сатурн с три обекта според откритието на Галилей.



Имена на екзопланети

Буквата се поставя след името на централната звезда, започвайки с "b" за първата планета, намерена в системата (e.g. *51 Pegasi b*).

Следващата планета се нарича със следващата буква от азбуката c, d, e, f и т.н. (*51 Pegasi c*, *51 Pegasi d*, *51 Pegasi e* or *51 Pegasi f*).



Методи за откриване на екзопланети

Използват се много методи:

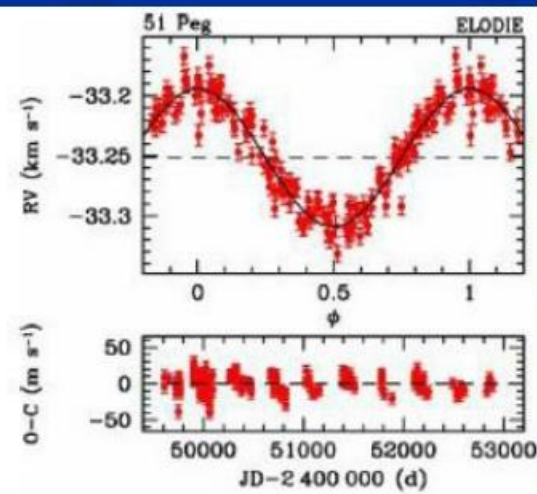
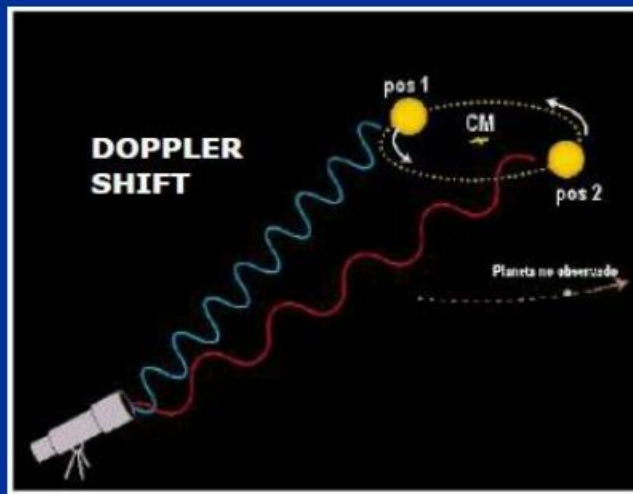
- Радиална скорост и Доплеров ефект
- Транзитен метод
- Микролеци
- Други



Метод на откриване: радиална скорост

Промяната на радиалната скорост на звездата при орбита около барицентъра на планетата и звездната система се измерва с помощта на ефекта на Доплер.

Именно с този метод беше открита първата екзопланета 51 Pegasus b.

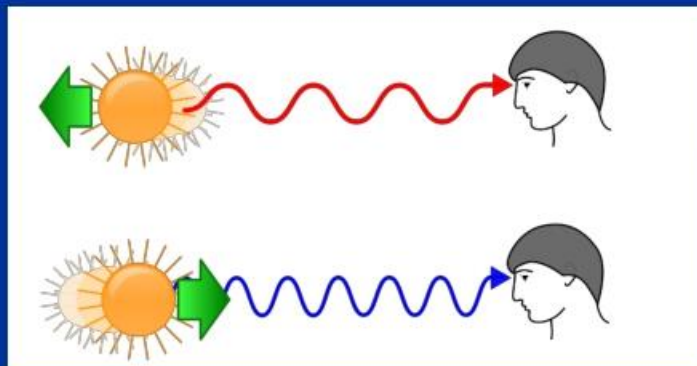


Дейност 13: Ефект на Доплер

Ефектът на Доплер е промяната на дължината на вълната на светлината, когато източникът е в движение.

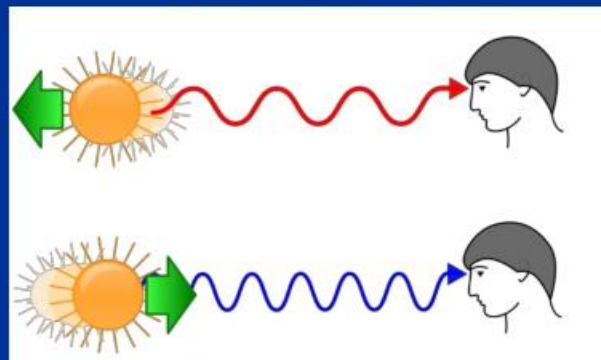
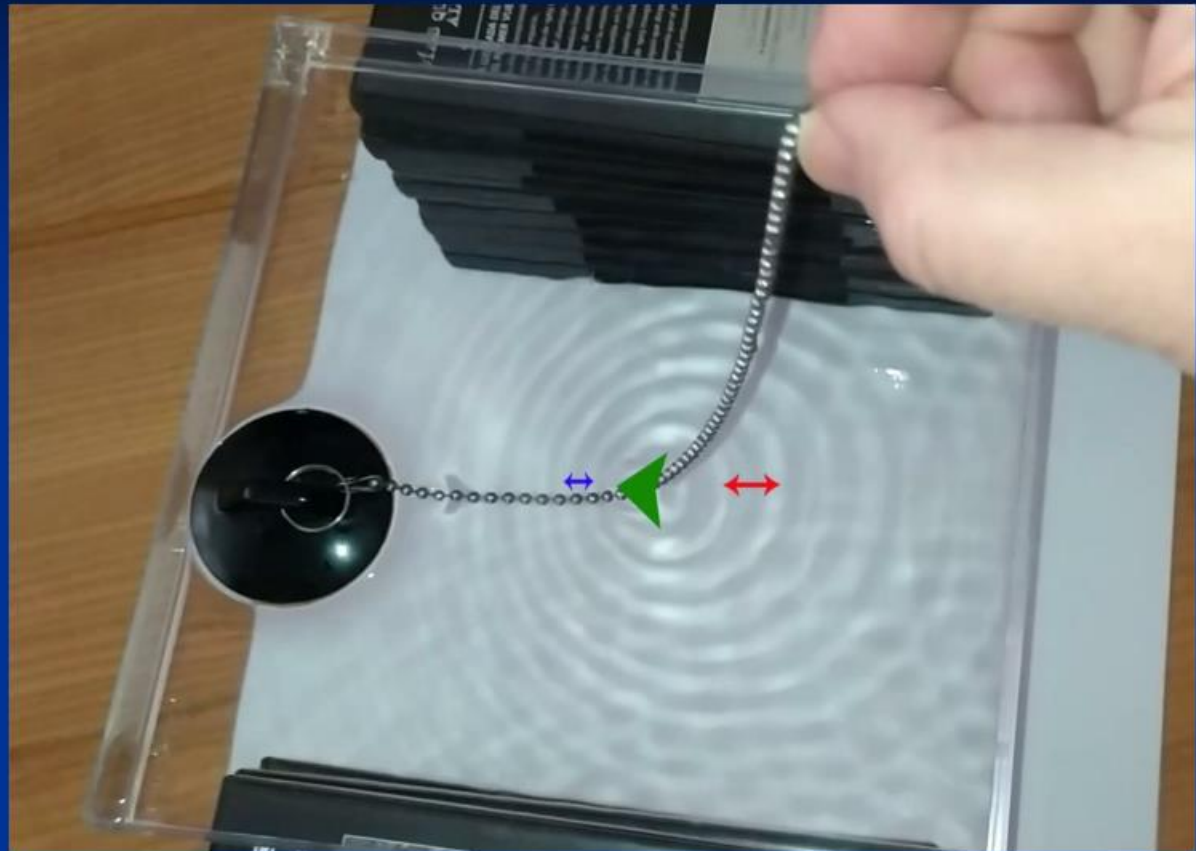
Когато източникът се приближи, **дължината на вълната се скъсява** и наблюдаваната светлина се измества към синята част на видимият спектър.

Когато се отдалечава, **дължината на вълната се удължава** и наблюдаваната светлина се измества към червената част на видимия спектър.



Дейност 13: Ефект на Доплер

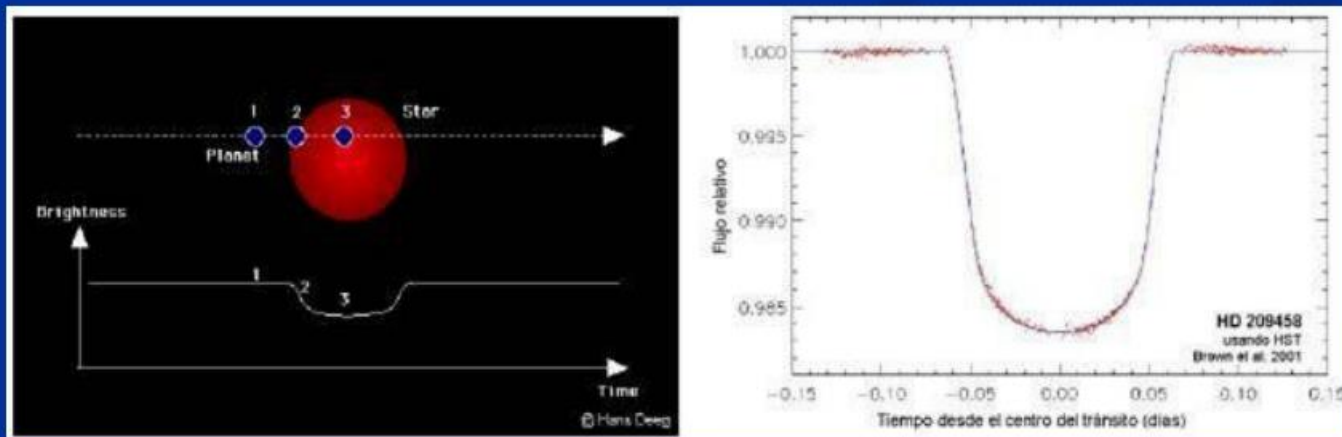
Той е възпроизведен с вана с вода, плаващо тяло с верижка и светкавица от мобилен телефон.



Метод на откриване: Транзити

По време на транзита на екзопланета, яркостта на звездата претърпява малък спад.

За звезди от слънчев тип и планети с размер на Юпитер, намалението на яркостта е приблизително 1%, в случай на планети с размер на Земята, намалението е около 0,03%.

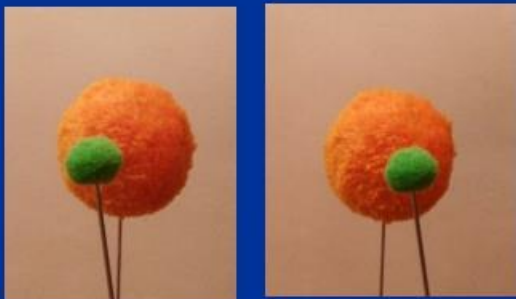


Деятност 14: Симулация на транзит

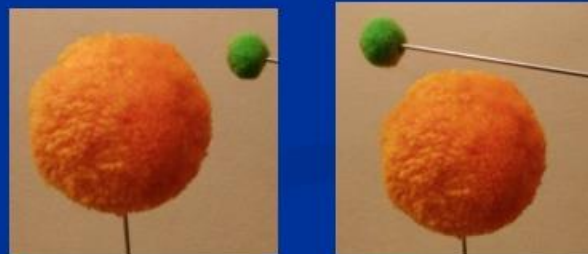
Използвайки две топки: една голяма за звездата и една малка за екзопланетата, обикаляща около звездата.

С наблюдателя в същата равнина на орбитата и наблюдението от това място ще видите как екзопланетата минава пред звездата и яркостта на звездата намалява.

Но ако наблюдателят не е в същата равнина на орбита, няма да се наблюдава промяна в кривата на яркостта.



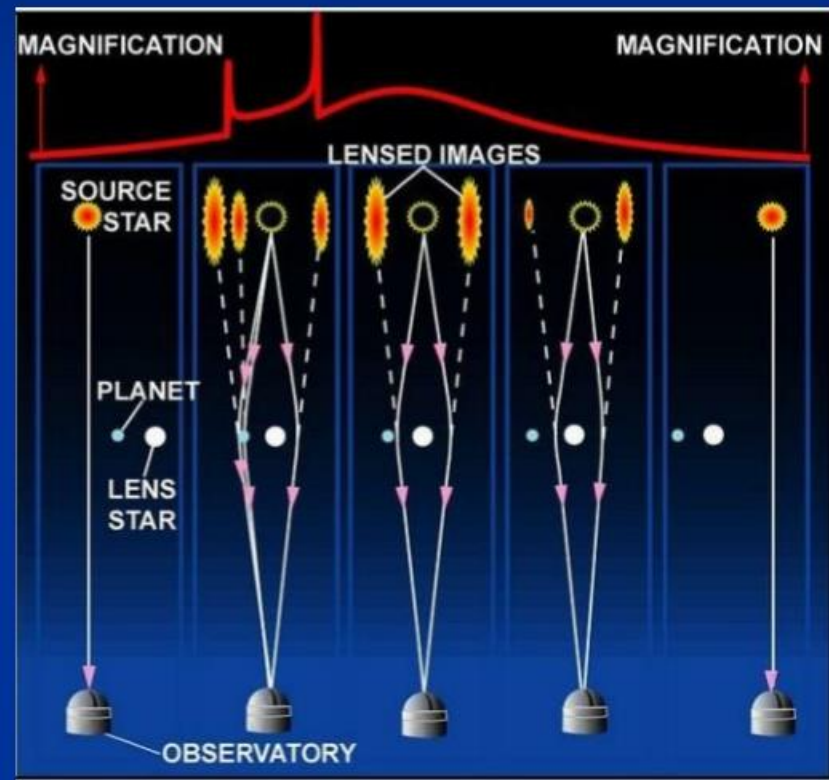
Наблюдател в равнината на орбитата



Наблюдател извън равнината на орбитата

Метод на откриване: Микролещи

Има уголемяване или изкривяване, което подчертава системата звезда-екзопланета, поради подравняването на системата със звезда или обект, който прави гравитационната леща.



Трябва да има пълно визуално подравняване между трите тела (земя, обект-леща и звезда-екзопланета).

Дейност 15: Симулация на микролеци



Само с едно столче на чаша за вино не се вижда нищо.

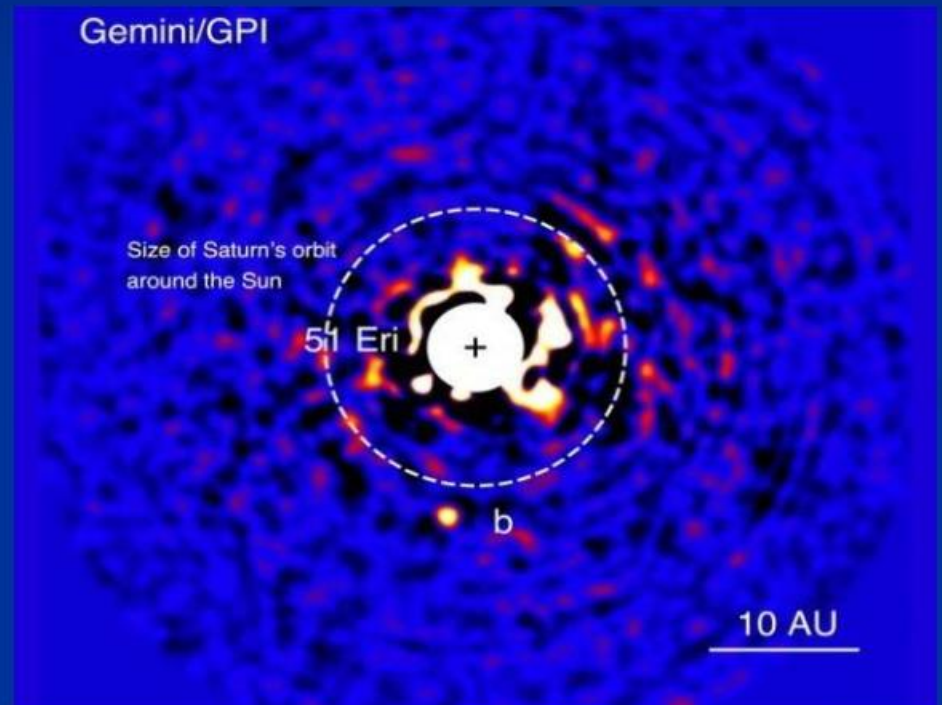


С чифт «столчета» за чаши за вино

След това минаваме един през друг и се появява точка, а след това дори две.

Метод на откриване: Директен

Образът на звездата се изучава до определяне на екзопланети около нея.

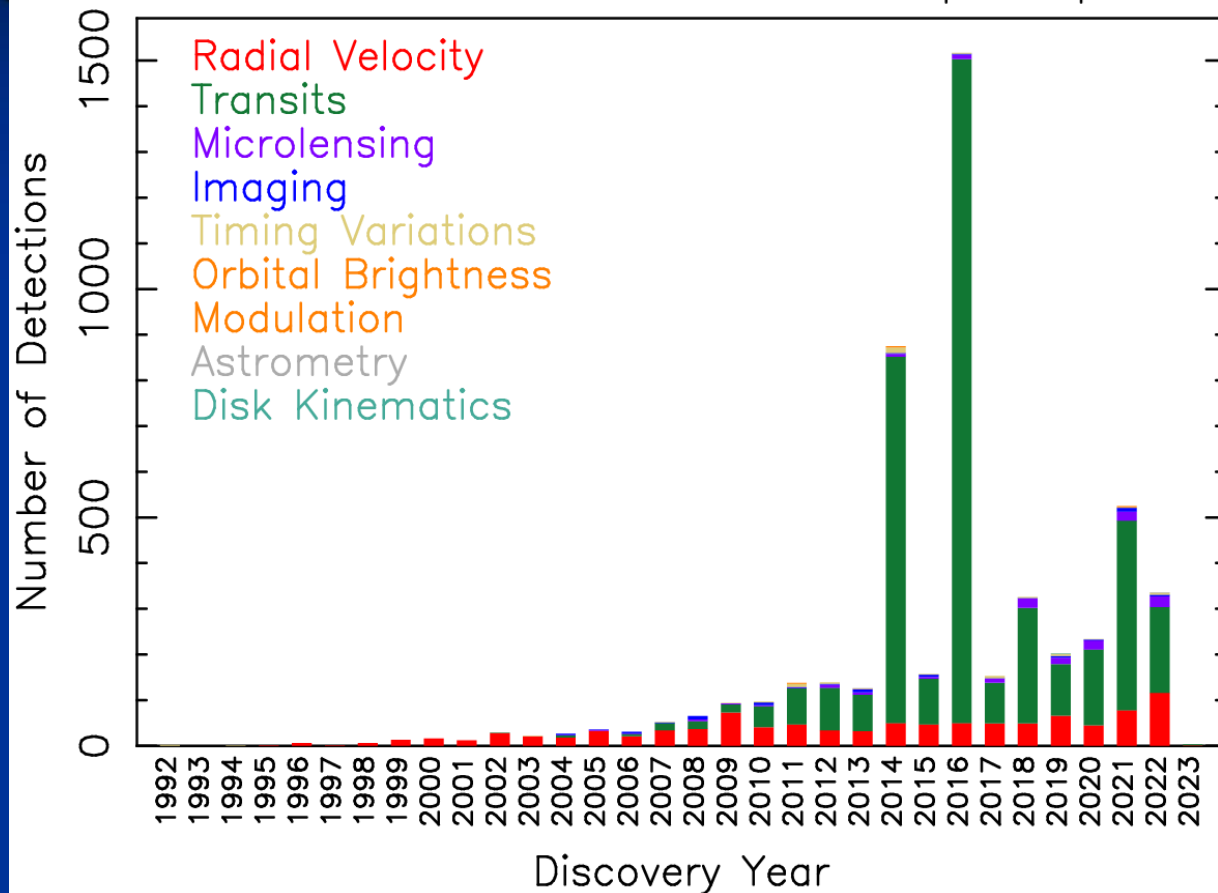


Поради количеството светлина, излъчвана от звездата, не е лесно за изпълнение.

Известни екзоплане ти 2023 според метода на откриване

Detections Per Year

26 Jan 2023
exoplanetarchive.ipac.caltech.edu



Модели на екзопланетни системи

В момента са открити около 4000 планетарни системи, повече от 5300 екзопланети и са направени наблюдения на около 10 000 кандидати за екзопланети.

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

Маси, сравнени с Юпитер (1.9×10^{27} kg) или спрямо Земята (5.97×10^{24} kg).

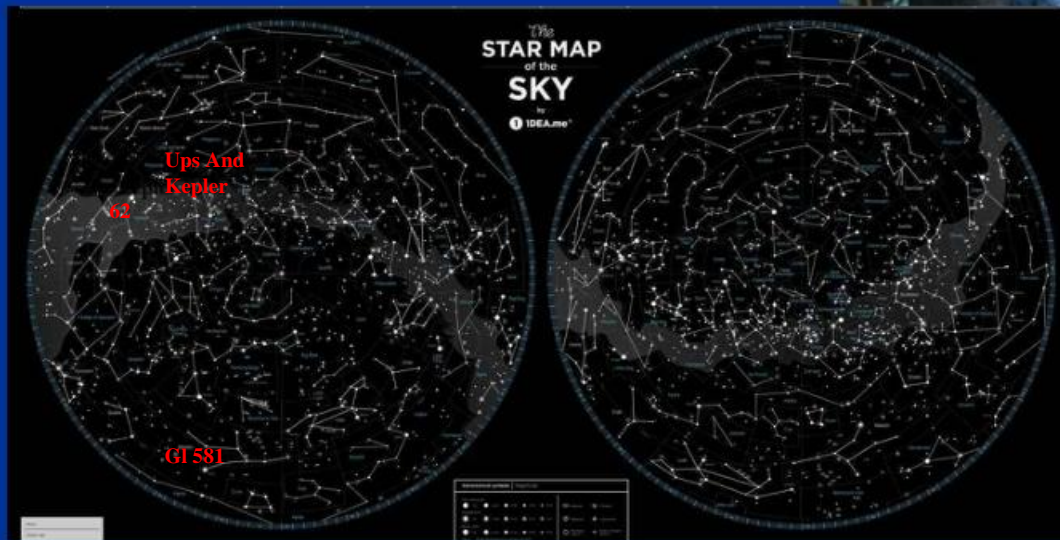


Причината са технологичните ограничения.



Дейност 16: Умалени модели на екзопланетни системи

Trappist-1



Разстояние $1 \text{ AU} = 1 \text{ m}$
Диаметър $10000 \text{ km} = 0.5 \text{ cm}$

Дейност 16: Изградете Слънчева система:

Solar System	Distance AU	Diameter km	Model Distance	Model Diameter
Mercury	0.39	4879	40 cm	0.2 cm
Venus	0.72	12104	70 cm	0.6 cm
Earth	1	12756	1m	0.6 cm
Mars	1.52	6794	1.5 m	0.3 cm
Jupiter	5.2	142 984	5 m	7 cm
Saturn	9.55	120 536	10 m	6 cm
Uranus	19.22	51 118	19 m	2.5 cm
Neptun	30.11	49528	30 m	2.5 cm

Звезда домакин-Слънце G2V, Диаметър на Слънцето в модела е 35 cm

Разстояние 1 AU = 1 m

Диаметър 10000 км = 0,5 см



Дейност 16: Изградете 1-ва екзопланета:

Upsilon Andromedae Titawin	Discovery year	Distance AU	Diameter km	Model Distance	Model Diameter
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

Звезда домакин Upsilon Andromedae F8V е на 44 св.г.
в Андромеда.

Диаметър 1.28 на Слънцето в модела е 45 см

Разстояние 1 AU = 1 m

Диаметър 10000 км = 0,5 см



Дейност 16: Изграждане на „земни“ планети

Gliese 581 year	Discovery year	Distance AU	Diameter km	Model Distance	Model Diameter
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

Главната звезда Gliese 581 M2,5V е на 20,5 св.г. във Везни, Диаметър 0.29 на Слънцето в модела е 10 см

Разстояние 1 AU = 1 m
Диаметър 10000 км = 0,5 см



Дейност 16: Изградете "обитаеми земни" планети

Kepler 62	Discovery year	Distance AU	Diameter km	Model Distance	Model Diameter
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

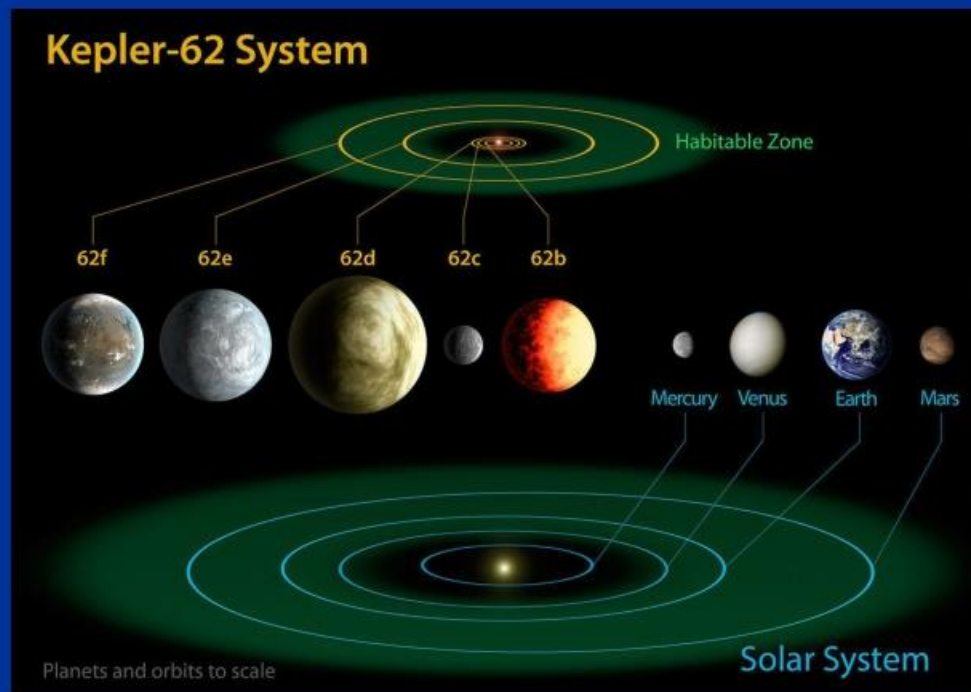
Главната звезда Kepler 62 K2V е на 1200 св.г. в Лира.
Диаметър 0,64 от Слънцето в модела е 22 см

Разстояние 1 AU = 1 m
Диаметър 10000 км = 0,5 см



Възможна обитаемост на екзопланетите

- В обитаемата зона на Кеплер-62: двете екзопланети може да имат течна вода на повърхността си. За Kepler-62e, който е близо до вътрешността на обитаемата зона, това ще изисква покритие от отразяващи облаци, което намалява радиацията, която нагрива повърхността. Kepler-62f, от друга страна, е във външната зона на обитаемата зона



Дейност 16: Изградете „обитаеми земни“ планети

Trappist-1	Discovery year	Distance AU	Diameter km	Model Distance	Model Diameter
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

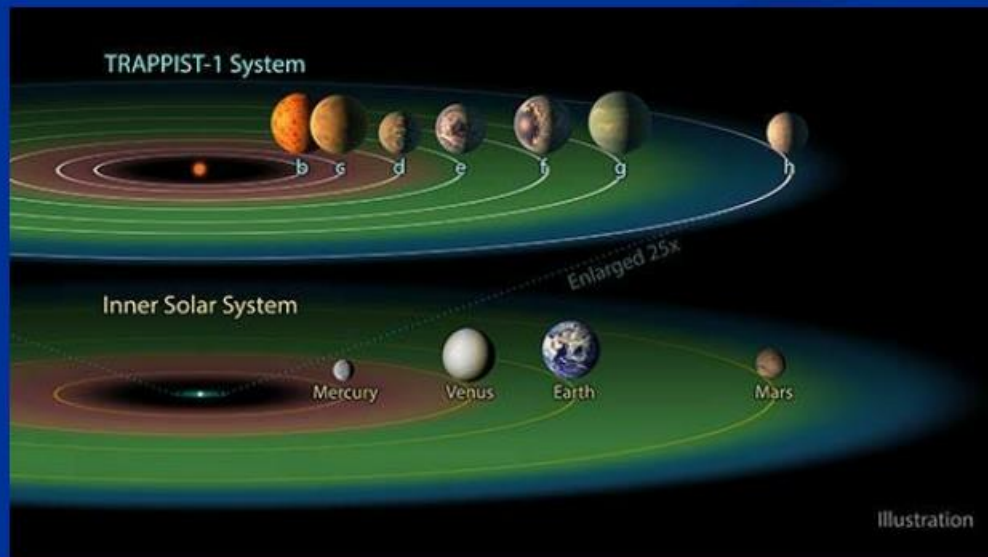
Главната звезда Trappist 1 M8V е на 40 св.г. Във Водолей, Диаметър 0.1 на Слънцето в модела е 4 см

Разстояние 1 AU = 1 м
Диаметър 10000 км = 0,5 см



Възможна обитаемост на екзопланети

- В системата Trappist-1 са скалисти и могат да имат големи количества вода на повърхността си, течна, под формата на пара или като ледена кора. В обитаемата зона на Trappist 1 е Trappist-1e, който изглежда има плътно ядро, сравнимо със Земята, което изглежда показва, че от всички планети в тази система, това е най-подобната на Земята и е вероятно да има защитна магнитосфера .



Изводи

- Знанието е по-"конкретно" за планетите
 - Връзките установяват „параметри“, които позволяват по-добро разбиране на измеренията
 - Слънчевата система «е празна»
 - Представяне на екзопланети.
- Разпознаване на методите за откриване.



**Благодаря Ви за
вниманието !**

