

Planetes i exoplanetes

Rosa M. Ros, Hans Deeg

International Astronomical Union

Universitat Politècnica de Catalunya, Espanya

Instituto de Astrofísica de Canarias, Espanya



Objectius

- Comprendre el significat dels valors numèrics que resumeixen les taules de dades dels planetes del Sistema Solar.
- Entendre les principals característiques dels sistemes planetaris extrasolars.



Sistema Solar

Busquem un altre tipus
de models que donin
informació, i que no
només siguin treballs
manuais



Segons l'aspecte

Volem models amb més contingut i que permetin mostrar alguns aspectes concrets



Activitat 1: Maqueta de distàncies al Sol

Mercuri	57 900 000 km		6 cm	0,4 AU
Venus	108 300 000 km		11 cm	0,7 AU
Terra	149 700 000 km		15 cm	1,0 AU
Mart	228 100 000 km		23 cm	1,5 AU
Júpiter	778 700 000 km		78 cm	5,2 AU
Saturn	1 430 100 000 km		143 cm	9,6 AU
Urà	2 876 500 000 km		288 cm	19,2 AU
Neptú	4 506 600 000 km		450 cm	30,1 AU



Activitat 2: Maqueta de diàmetres

Sol	1 392 000 km		139,0 cm
Mercuri	4 878 km		0,5 cm
Venus	12 180 km		1,2 cm
Terra	12 756 km		1,3 cm
Mart	6 760 km		0,7 cm
Júpiter	142 800 km		14,3 cm
Saturn	120 000 km		12,0 cm
Urà	50 000 km		5,0 cm
Neptú	45 000 km		4,5 cm

Activitat 2: Maqueta de diàmetres



Samarreta amb els diàmetres
dels planetes a escala

Activitat 3: Diàmetres i distàncies al Sol

Sol	1 392 000 km			25,0 cm	
Mercuri	4 878 km	57 900 000 km		0,1cm	10 m
Venus	12 180 km	108 300 000 km		0,2 cm	19 m
Terra	12 756 km	149 700 000 km		0,2 cm	27 m
Mart	6 760 km	228 100 000 km		0,1 cm	41 m
Júpiter	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
Urà	50 000 km	2 876 500 000 km		1,0 cm	500 m
Neptú	45 000 km	4 506 600 000 km		1,0 cm	800 m

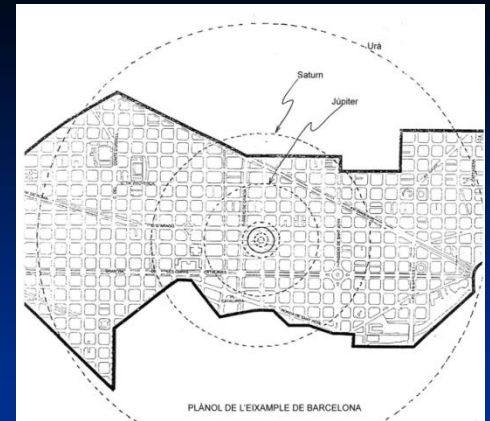
Normalment no hi ha cap pati d'escola
que arribi més enllà de Mart



Activitat 3: Maqueta de diàmetres i distàncies al pati ...



Activitat 4: Maqueta a la ciutat (*Barcelona*)



Sol	“renta plats”	<i>Porta de l’Institut</i>
Mercuri	boleta caviar	<i>Porta Hotel Diplomatic</i>
Venus	pèsol	<i>Pasatge Méndez Vïgo</i>
Terra	pèsol	<i>Entre Méndez Vïgo i Bruc</i>
Mart	gra de pebre	<i>Passeig de Gràcia</i>
Júpiter	taronja	<i>Carrer Balmes</i>
Saturn	mandarina	<i>Pasatge Valeri Serra</i>
Urà	nou	<i>Carrer Entença</i>
Neptú	nou	<i>Estació de Sants</i>

Model a la ciutat de Metz (França)

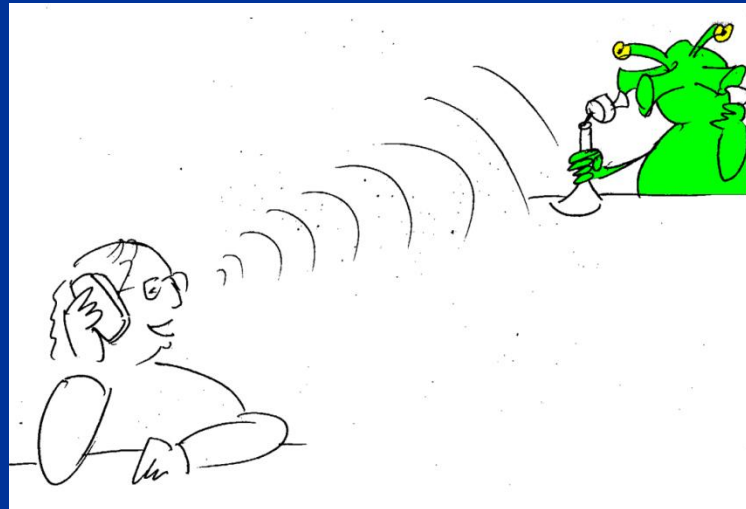


Activitat 5: Maqueta de temps

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

El temps que tarda la llum de la Lluna a la Terra és:
= distància TL/ c = $384\,000 \text{ km} / 300\,000 \text{ km/s} = 1,3 \text{ s}$

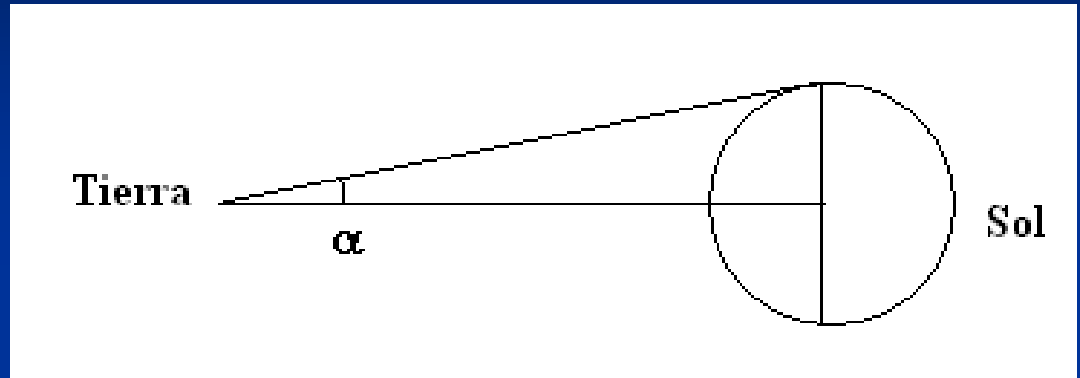
Com seria la conversa
entre planetes per
"vídeo-conferència"?



La llum del Sol tarda en arribar a...

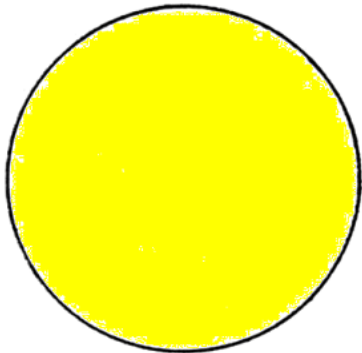
Mercuri	57 900 000 km		3,3 minuts
Venus	108 300 000 km		6,0 minuts
Terra	149 700 000 km		8,3 minuts
Mart	228 100 000 km		12,7 minuts
Júpiter	778 700 000 km		43,2 minuts
Saturn	1 430 100 000 km		1,32 hores
Urà	2 876 500 000 km		2,66 hores
Neptú	4 506 600 000 km		4,16 hores

Actividad 6: El Sol vist des dels planetes

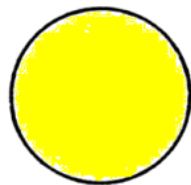


- $\alpha = \tan \alpha = \text{radi del Sol} / \text{distància al Sol} =$
 $= 700\,000 / 150\,000\,000 = 0,0045 \text{ radians} = 0,255^\circ$
- Des de la Terra el Sol mesura $2\alpha = 0,51^\circ$

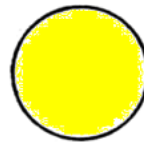
Activitat 6: El Sol vist des dels planetes



desde Mercurio



desde Venus



desde la Tierra



desde Marte



desde Júpiter



desde Saturno



desde Urano



desde Neptuno

Activitat 7: Densitats

Sol	1,41 g/cm³		Sofre (1,1-2,2)
Mercuri	5,41 g/cm³		Pirita (5,2)
Venus	5,25 g/cm³		Pirita (5,2)
Terra	5,52 g/cm³		Pirita (5,2)
Mart	3,90 g/cm³		Blenda (4,0)
Júpiter	1,33 g/cm³		Sofre (1,1-2,2)
Saturn	0,71 g/cm³		Fusta de pi (0,55)
Urà	1,30 g/cm³		Sofre (1,1-2,2)
Neptú	1,70 g/cm³		Argila (1,8-2,5)



Activitat 8: Model d' aplanament

- Tallar tires de cartolina de 35x1 cm,
- Subjectar-les a un pal cilíndric de 50 cm de llarg i 1 cm de diàmetre, fixant la part superior i deixant la part inferior lliure perquè pugui desplaçar-se al llarg del pal,
- Es fa girar el pal en fregar entre les mans amb un ràpid moviment de rotació en un sentit i un altre, La força centrífuga deforma les bandes de cartolina de la mateixa manera que deforma els planetes,



Activitat 8: Aplanament

Planetes	$(\text{radi equatorial} - \text{radi polar}) / \text{radi equatorial}$
Mercuri	0,0
Venus	0,0
Terra	0,0034
Mart	0,005
Júpiter	0,064
Saturn	0,108
Urà	0,03
Neptú	0,03



Activitat 9: Model de velocitats de rotació

- subjectem una corda per l'extrem oposat al que hem fixat una femella i ho fem girar com una ona per sobre del nostre cap
- en anar deixant anar corda veurem que necessita més temps per fer una volta
- si retirem corda necessita menys temps per donar la volta



Dades de l'òrbita terrestre

Velocitat orbital mitjana $v=2\pi R/T$

Per a la Terra

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

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

(La velocitat orbital mitjana del Sol al voltant del centre galàctic és 220 km/s o 800000 km/h)



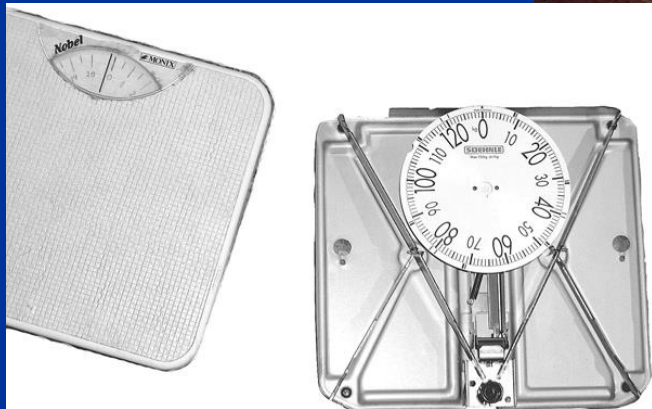
Dades orbitals

Planeta	Periodo orbital (dies)	Distància des del Sol (km)	Velocitat orbital mitjana (km/s)	Velocitat orbital mitjana (km/h)
Mercuri	87,97	57,9 10^6	47,90	172440
Venus	224,70	108,3 10^6	35,02	126072
Terra	365,26	149,7 10^6	29,78	107208
Mart	686,97	228,1 10^6	24,08	86688
Júpiter	4331,57	778,7 10^6	13,07	47052
Saturn	10759,22	1 430,1 10^6	9,69	34884
Urà	30,799,10	2 876,5 10^6	6,81	24876
Neptú	60190,00	4 506,6 10^6	5,43	19558



Activitats 10: Model de gravetats superficials

- gravetat superficial, $F = G M m / d^2$ amb $m=1$ $d=R$
llavors $g = GM / R^2$ on la massa $M = 4 \pi R^3 \rho / 3$
- Substituint $g = 4 \pi G R \rho / 3$



Gravetat superficial

Planeta	Radi equatorial	Densitat		Gravetat supef, calc	Gravetat supef, real	
Mercuri	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
Terra	6378 km	5,5 g/cm ³		1,000	9,80 m/s ²	1,00
Mart	3397 km	3,9 g/cm ³		0,379	3,71 m/s ²	0,38
Júpiter	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
Urà	25559 km	1,2 g/cm ³		0,800	8,69 m/s ²	0,88
Neptú	25269 km	1,7 g/cm ³		1,200	11,00 m/s ²	1,12
Lluna					1,62 m/s ²	0,16

Activitat 11: Model de “cràteres d'impacte”

- Recobrir el sòl amb diaris per no embrutar i recollir la farina
- Posar una capa llisa de 1 o 2 cm de farina amb un colador
- Posar una capa d'uns pocs mil·límetres de cacau en pols sobre la farina amb un colador
- Des d'uns 2 m d'alçada deixem caure una cullerada sopera de cacau en pols que deixés marques, similars als cràters d'impacte
- Acabat el model es pot reciclar la farina per repetir-ho



Activitat 12: Velocitat d'alliberament

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

Llavors: $-GM_{\text{planeta}} m/R_{\text{Planeta}} + \frac{1}{2} mv^2 = 0$

$$\frac{1}{2} mv^2 = g_{\text{planeta}} m R_{\text{planeta}}$$

la velocitat d'alliberament resulta:

$$v = \sqrt{2gR}$$

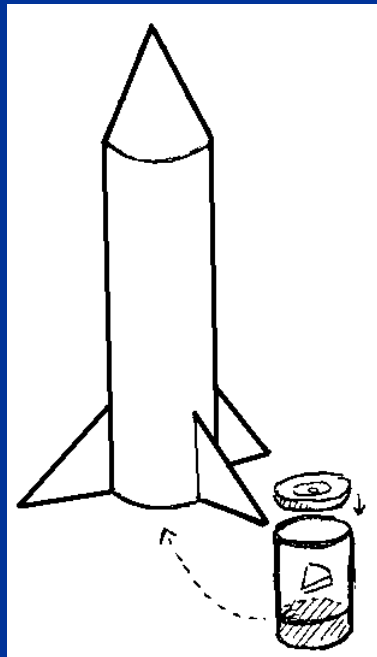


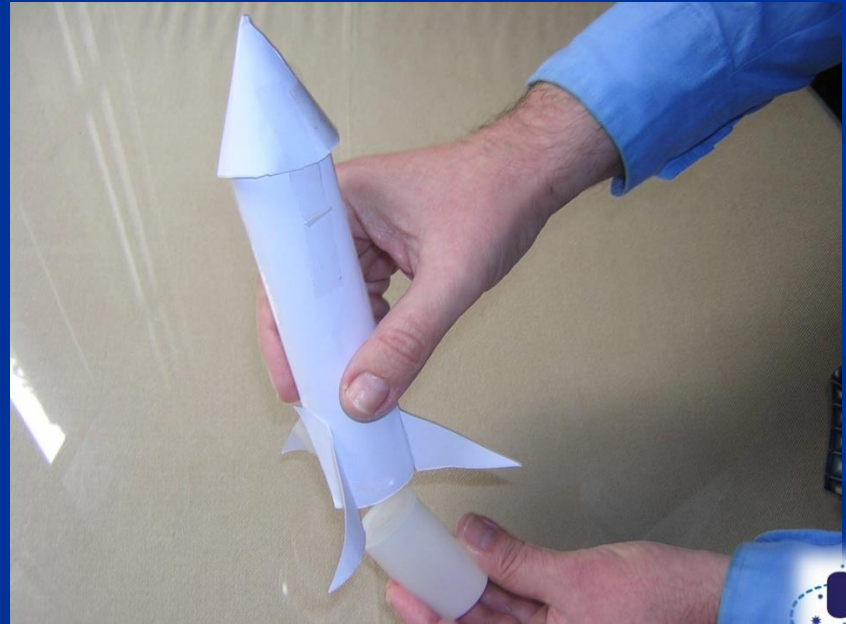
Activitat 12: Velocitats d'alliberament

Planeta	Radi equatorial	Gravetat superficial		Velocitat d'alliberament
Mercuri	2 439 km	0,378		4,3 km/s
Venus	6 052 km	0,894		10,3 km/s
Terra	6 378 km	1,000		11,2 km/s
Mart	3 397 km	0,379		5,0 km/s
Júpiter	71 492 km	2,540		59,5 km/s
Saturn	60 268 km	1,070		35,6 km/s
Urà	25 559 km	0,800		21,2 km/s
Neptú	25 269 km	1,200		23,6 km/s

Llançament de coets

- Cartulina
- Càpsula de pel·lícula
- $\frac{1}{4}$ aspirina efervescent





Sistemes planetaris extrasolars



1995 Michael Mayor i Didier Queloz
anunciaren la detecció d'un exoplaneta
orbitant 51 Pegasi,



primera fotografia
d'un exoplaneta
16 març 2003

2M1207b directly imaged (ESO)



Depenem de la tecnologia



Galileu en 1610, observa per primera vegada Saturn, amb el seu telescopi no veu un fi anell sinó que ho interpreta com un astre amb tres cossos, Cal esperar a Huygens (1659) amb un telescopi millor per resoldre l'anell, Per aquest motiu la pintura de Rubens (1636-1638) simbolitza Saturn amb tres objectes segons la descoberta de Galileu,

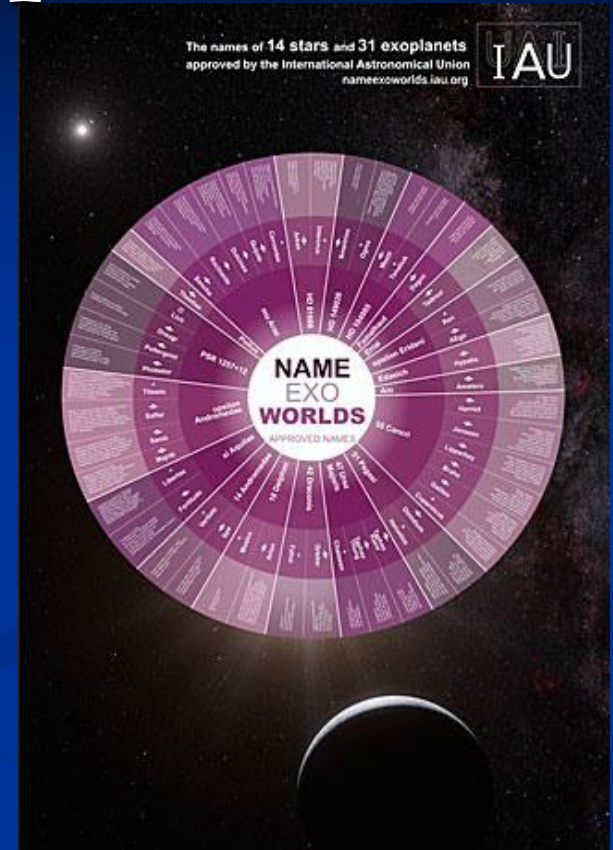


Noms per a exoplanetes

Es posa una lletra després de el nom de l'estrella central començant per "b" per al primer planeta es troba al sistema (*p.e. 51 Pegasi b*)

El següent planeta es nomena amb la següent lletra de l'alfabet c, d, e, f, etc

(*51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e ó 51 Pegasi f*)



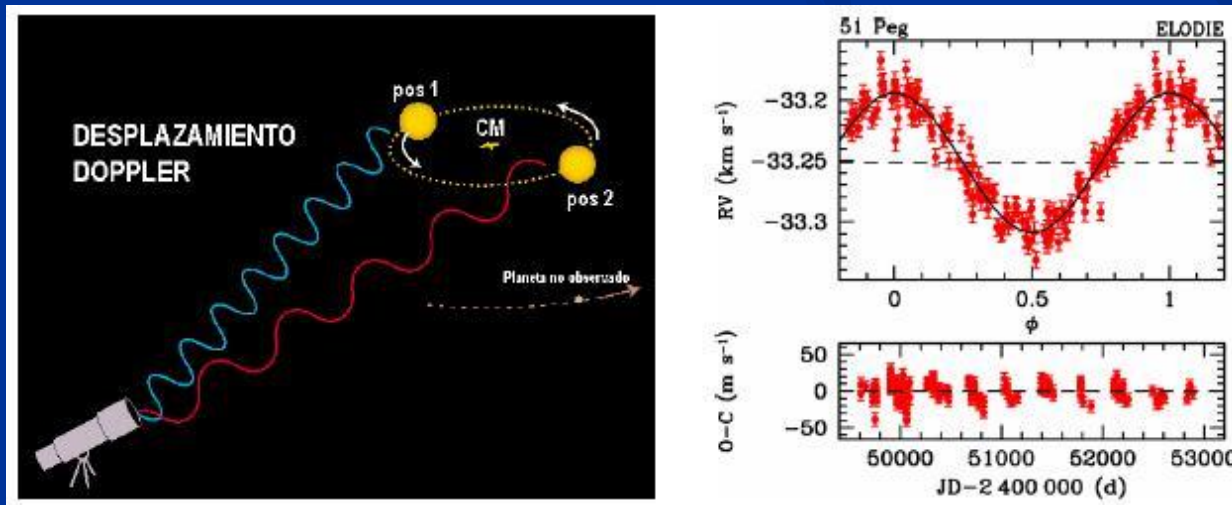
Mètodes usats per a detectar exoplanetes

S'utilitzen molts mètodes, p.e.:

- ❑ Velocitat radial o efecte Doppler
- ❑ Mètode de trànsits
- ❑ Microlensing
- ❑ altres

Mètode de detecció: Velocitat radial

Es mesura la variació de la velocitat radial de l'estrella causada per l'efecte Doppler a l'orbital al voltant del baricentre de sistema planeta + estrella. Va ser amb aquest mètode que es va aconseguir detectar el primer exoplaneta 51 Pegaso b

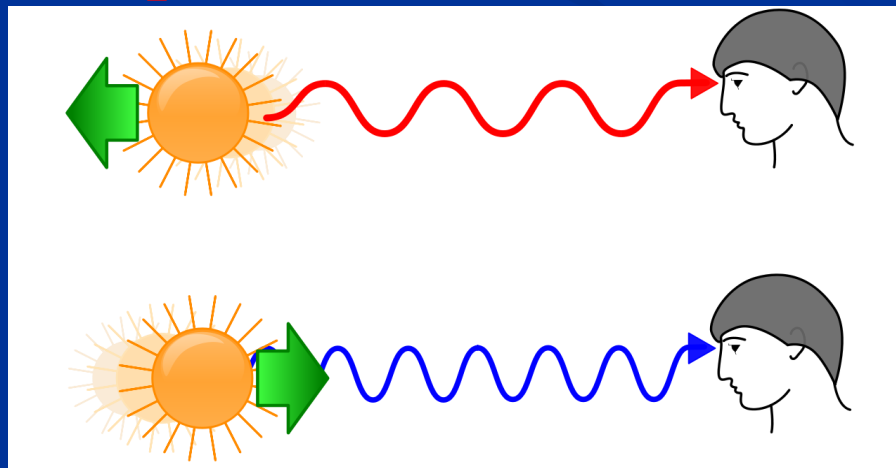


Activitat 13: Efecte Doppler

L'efecte Doppler també fa variar la longitud d'ona d'una font de llum so quan la font es mou.

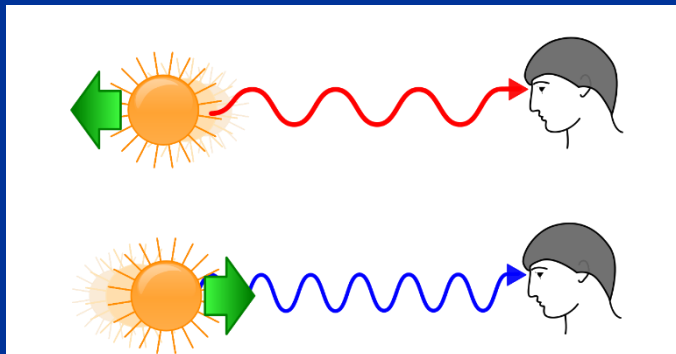
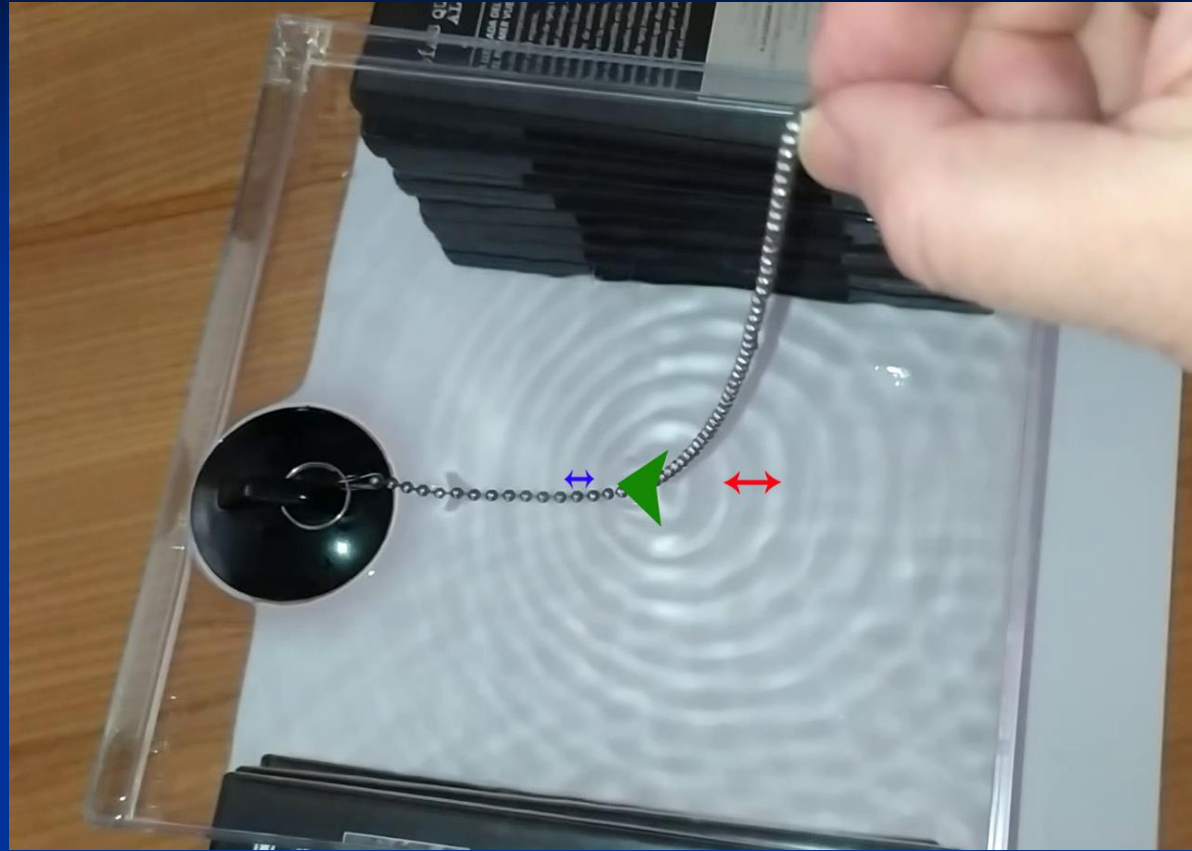
quan una font se'ns acosta, la longitud d'ona aparent de la seva radiació disminueix, la seva llum es desplaça cap a la part blava de l'espectre visible

quan la font lluminosa se'ns allunya la longitud d'ona aparent augmenta i la seva llum es desplaça cap a la part vermella de l'espectre visible



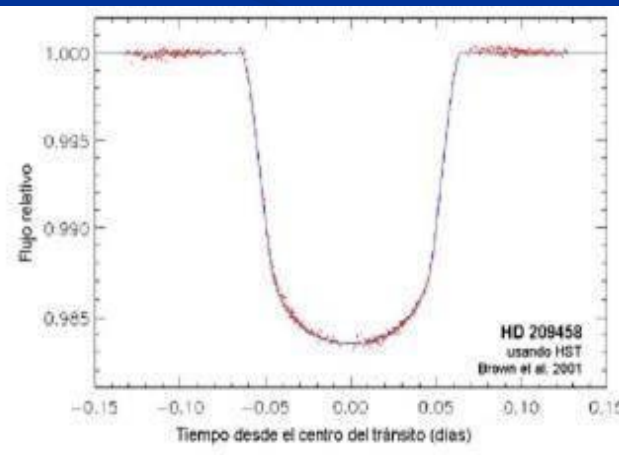
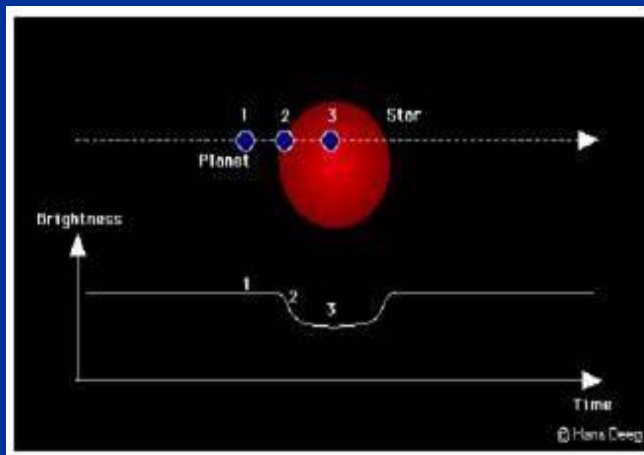
Activitat 13: Efecte Doppler

S'ha reproduït amb una cubeta d'aigua, un tap amb cadeneta i el flaix del mòbil.



Mètode de detecció: Trànsits

Durant el trànsit d'un exoplaneta, la brillantor de l'estrella pateix una petita disminució. Per estrelles de tipus solar i planetes de la mida de Júpiter, la disminució de la brillantor és d'aproximadament 1%, en el cas de planetes de la mida de la Terra la disminució està al voltant de l'0,03%



Actividad 14: Simulació de trànsit

Usant dues pilotes: una de gran per l'estrella i una de petita per l'exoplaneta girant en torn a l'estrella

Amb l'observador en el mateix pla de gir i si esta observant en aquest instant, veurà el planeta passar per davant de l'estrella i la corba de lluminositat tindrà una alteració

Però si l'observador no està en el mateix pla de gir, no s'observerà cap canvi en la corba de lluminositat



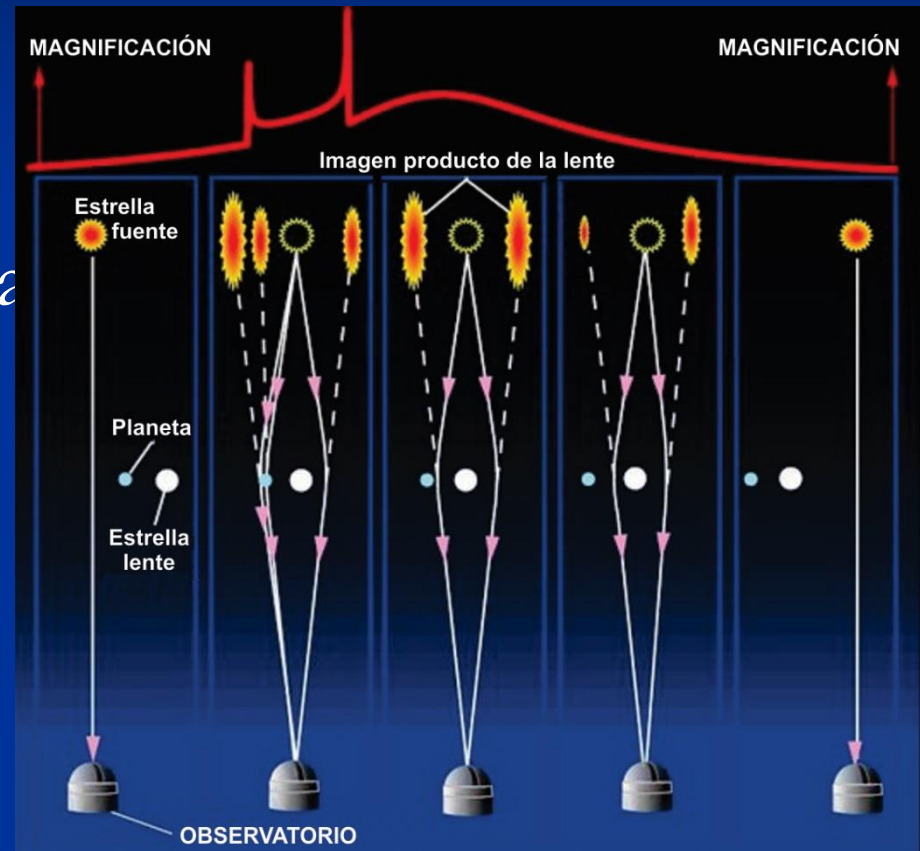
Observador en el pla de gir



Observador fora del pla de gir

Mètode de detecció: Microlents

Quan es té una ampliació o distorsió que ressalti el sistema estrella-exoplaneta a causa de l'alineament d'aquest sistema amb una estrella o objecte que contingui un lent gravitacional

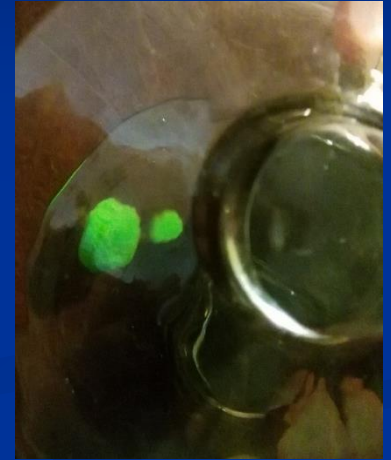


Hi ha d'haver completa alineació visual entre els 3 cossos (terra, objecte-lent i estrella-exoplaneta)

Activitat 15: Simulació de microlents



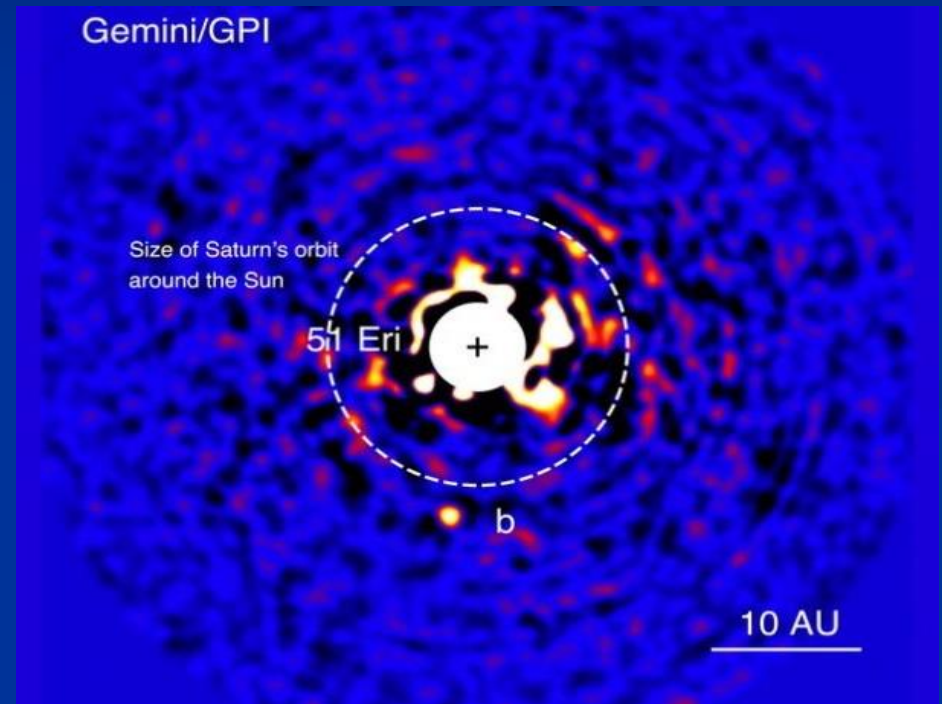
Amb només un
peu de copa i
no es veu res



Amb un parell de peus de copa
Després vam passar per davant
amb l'altre i sorgeix un punt i
després fins i tot dos

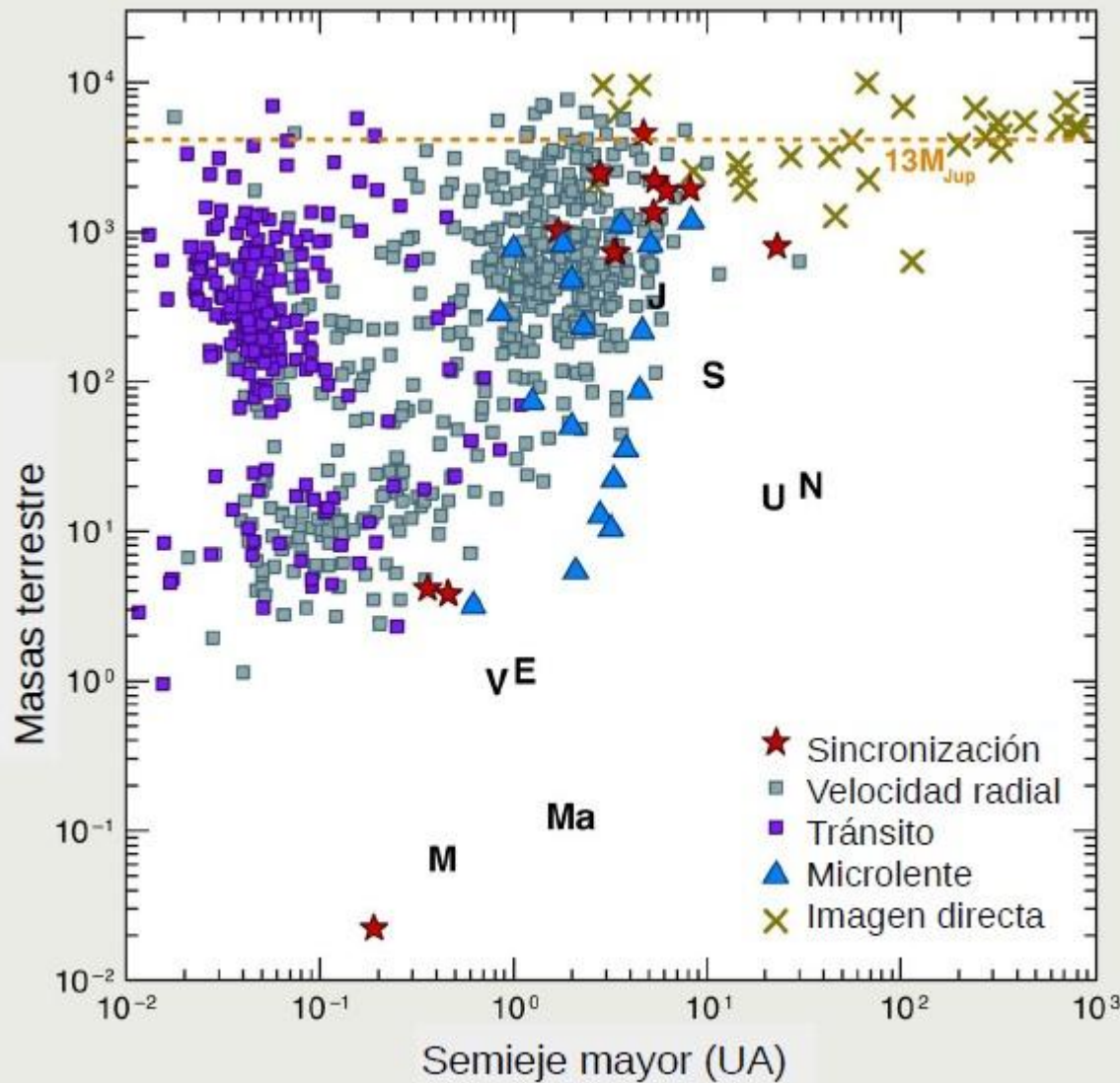
Mètode de detecció directa

S'estudia la imatge de l'estrella, per determinar els exoplanetes al voltant de la mateixa



Degut a la quantitat de llum que emet l'estrella,
no és senzill de dur a terme,

Exoplanetes coneguts a 2013, segons mètode de detecció



Models de sistemes d'exoplanetes

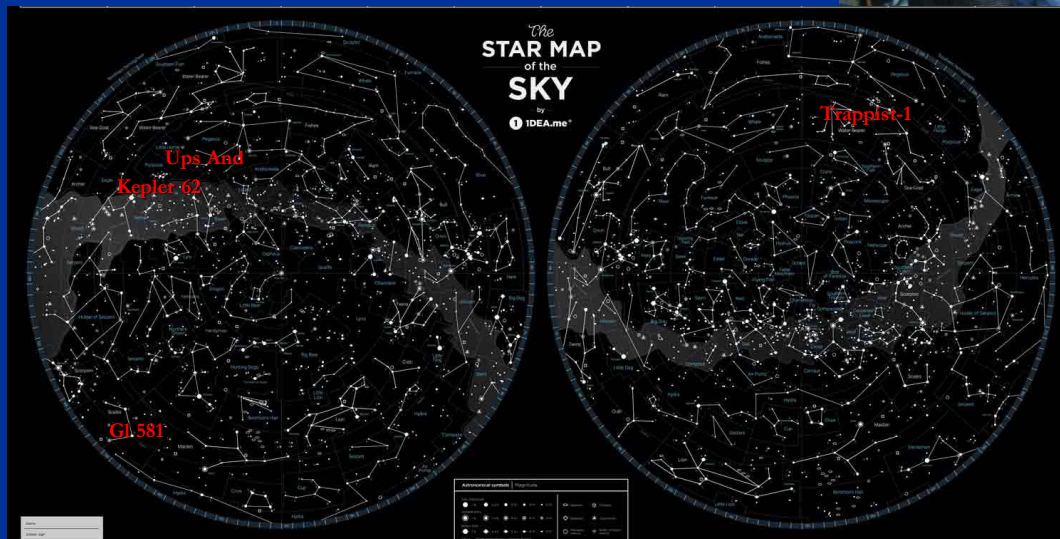
Els sistemes d'exoplanetes descoberts són més de 2000 confirmats i diversos milers d'exoplanetes candidats Jet Propulsion Laboratory (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>)

Les masses dels exoplanetes solen comparar-se amb la massa de Júpiter ($1,9 \times 10^{27} \text{ kg}$) o amb la massa de la Terra ($5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$),

* els límits tecnològics són la causa,



Activitat 16: Models a escala de sistemes exoplanetaris



Distància 1 ua = 1 m

Diàmetre 10000 km = 0,5 cm

Activitat 16: Construir Sistema Solar

Sistema Solar	Distància AU	Diàmetre km	Model Distància	Model Diàmetre
Mercuri	0,39	4879	40 cm	0,2 cm
Venus	0,72	12104	70 cm	0,6 cm
Terra	1	12756	1m	0,6 cm
Mart	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
Urà	19,22	51118	19 m	2,5 cm
Neptun	30,11	49528	30 m	2,5 cm

Estrella amfitriona Sol G2V, Diàmetre del Sol al model és 35 cm

Distància 1 ua = 1 m

Diàmetre 10000 km = 0,5 cm



Activitat 16: Construir (1r sistema exoplanetari):

Upsilon Andromedae Titawin	Descob, any	Distància AU	Diàmetre km	Model Distància	Model Diàmetre
Ups And b/Saffar	1996	0,059	108000	6 cm	5,5 cm
Ups And c/Samh	1999	0,830	200000	83 cm	10 cm
Ups And d/Majriti	1999	2,510	188000	2,5 m	9 cm
Ups And e/Titawin e	2010	5,240	140000	5,2 m	7 cm

Estrella amfitriona Ups And, F8V està a 44 a.l. d'Andromeda
Diàmetre 1,28 del Sol que al model és 45 cm

Distància 1 ua = 1 m

Diàmetre 10000 km = 0,5 cm



Activitat 16: Construir (amb planetes “terrestres”)

Gliese 581	Descob, any	Distància AU	Diàmetre km	Model Distància	Model Diàmetre
Gl.581 e	2009	0,030	15200	3 cm	0,8 cm
Gl.581 b	2005	0,041	32000	4 cm	1,6 cm
Gl.581 c	2007	0,073	22000	7 cm	1,1 cm

Estrella amfitriona Gliese 581 M2.5V està a 20,5 a.l. a Lliura
Diàmetre 0,29 del Sol que al model és 10 cm

Distància 1 ua = 1 m
Diàmetre 10000 km = 0,5 cm



Activitat 16: Construir (planetes “terrestres habitables”)

Kepler 62	Descob, any	Distància AU	Diàmetre km	Model Distància	Model Diàmetre
Kepler-62 b	2013	0,056	33600	5,6 cm	1,7 cm
Kepler-62 c	2013	0,093	13600	9 cm	0,7 cm
Kepler-62 d	2013	0,120	48000	12 cm	2,4 cm
Kepler-62 e	2013	0,427	40000	43 cm	2 cm
Kepler-62 f	2013	0,718	36000	72 cm	1,8 cm

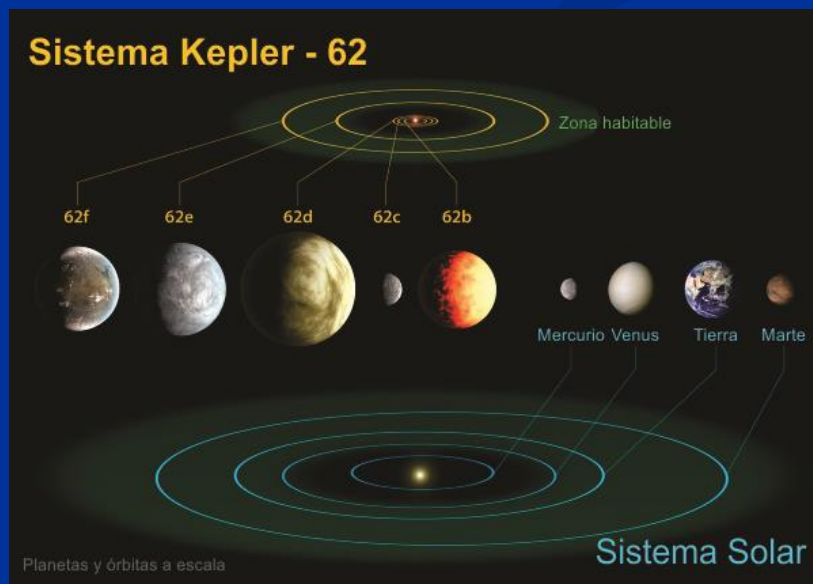
Estrella amfitriona Kepler 62 K2V està a 1200 a.l. a Lira
Diàmetre 0,64 del Sol que al model és 22 cm

Distància 1 ua = 1 m
Diàmetre 10000 km = 0,5 cm



Possible habitabilitat d'exoplanetes

- A la zona habitable de Kepler-62: els dos exoplanetes podrien tenir aigua líquida en les seves superfícies, Per Kepler-62e, que està prop de l'interior de la zona habitable, això requeriria la cobertura de núvols reflectants que redueixen la radiació que escalfa la superfície. Kepler-62f, d'altra banda, està a la zona exterior de la zona habitable



Construir (planetes “terrestres habitables”)

Nom exoplaneta	Descob, any	Distància AU	Diàmetre km	Model Distància	Model Diàmetre
Trappist-1 b	2016	0,012	28400	1,2 cm	1,4 cm
Trappist-1 c	2016	0,016	28000	1,6 cm	1,4 cm
Trappist-1 d	2016	0,022	20000	2,2 cm	1,0 cm
Trappist-1 e	2017	0,030	23200	3,0 cm	1,2 cm
Trappist-1 f	2017	0,039	26800	3,9 cm	1,3 cm
Trappist-1 g	2017	0,047	29200	4,7 cm	1,5 cm
Trappist-1 h	2017	0,062	19600	6,2 cm	1,0 cm

Estrella amfitriona Trappist 1 M8V està a 40 a.l. a Acuari

Diàmetre 0,1 del Sol que al model és 4 cm

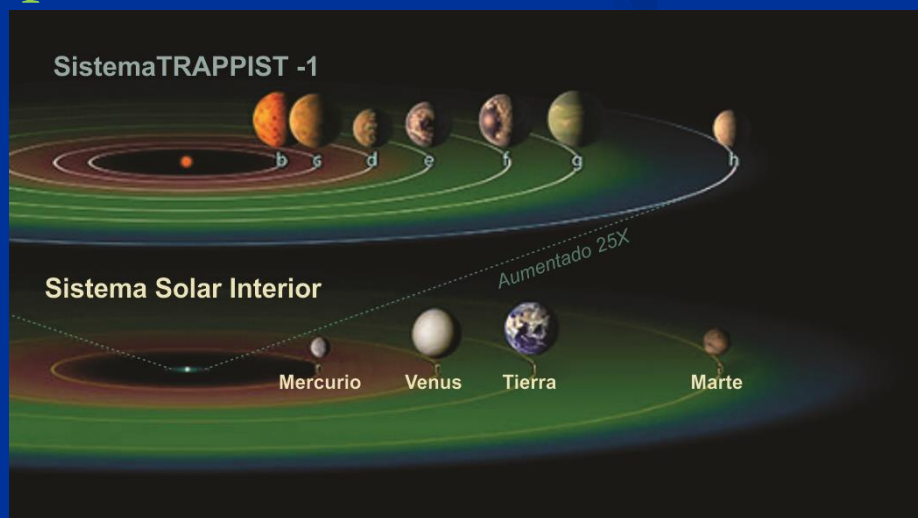
Distància 1 ua = 1 m

Diàmetre 10000 km = 0,5 cm



Posible habitabilidad de exoplanetas

- Els exoplanetes de sistema Trappist-1 són rocosos i podrien tenir grans quantitats d'aigua en la seva superfície, ja sigui líquida, en forma de vapor, o com una escorça de gel. A la zona habitable de Trappist 1 es troba Trappist-1e que sembla tenir un nucli dens, comparable amb la Terra el que sembla indicar que de tots els planetes d'aquest sistema, aquest és el més semblant a la Terra i és probable que tingui una magnetosfera protectora



Conclusions

- Coneixement més "concret" dels planetes
- S'estableixen relacions de "paràmetres" que permeten comprendre millor quines són les dimensions
- El Sistema Solar "aquesta buit"
- Introducció dels exoplanetes, Reconèixer els mètodes per a la seva detecció



Moltes gràcies per
la seva atenció!

