

Planeetat ja eksoplaneetat

Rosa M. Ros, Hans Deeg, Ricardo Moreno

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



Tavoitteet

- Osallistuja ymmärtää aurinkokunnan planeettoihin liittyvien datataulukoiden arvojen merkityksen
- Osallistuja ymmärtää aurinkokunnan ulkopuolisten planeettakuntien tärkeimmät ominaisuudet



Aurinkokunta

Pohdimme malleja,
jotka antavat oikeaa
tietoa, emme tee vain
askartelua ja taidetta.



Mallit sisällön perusteella

Tarkastelemme sellaisia malleja, joissa on tieteellistä sisältöä ja jotka kuvaavat konkreettisia ajatuksia, asioita ja ilmiöitä



Aktiviteetti 1: Etäisyydet Auringosta

Mercurius	57 900 000 km	→	6 cm	0,4 AU
Venus	108 300 000 km	→	11 cm	0,7 AU
Maa	149 700 000 km	→	15 cm	1,0 AU
Mars	228 100 000 km	→	23 cm	1,5 AU
Jupiter	778 700 000 km	→	78 cm	5,2 AU
Saturnus	1 430 100 000 km	→	143 cm	9,6 AU
Uranus	2 876 500 000 km	→	288 cm	19,2 AU
Neptunus	4 506 600 000 km	→	450 cm	30,1 AU



Aktiviteetti 2: Halkaisijoiden malli

Aurinko	1 392 000 km	→	139,0 cm
Merkurius	4 878 km	→	0,5 cm
Venus	12 180 km	→	1,2 cm
Maa	12 756 km	→	1,3 cm
Mars	6 760 km	→	0,7 cm
Jupiter	142 800 km	→	14,3 cm
Saturnus	120 000 km	→	12,0 cm
Uranus	50 000 km	→	5,0 cm
Neptunus	45 000 km	→	4,5 cm



Aktiviteetti 2: Halkaisijoiden malli



T-paita, jossa planeettojen koot ovat oikeassa suhteessa toisiinsa



Aktiviteetti 3: Halkaisijat ja etäisyydet Auringosta

Aurinko	1 392 000 km		→	25,0 cm	
Merkurius	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
Maa	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
Saturnus	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
Neptunus	45 000 km	4 506 600 000 km	→	1,0 cm	800 m

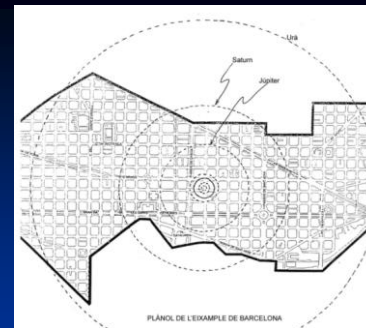
Koulun pihalla ylettää usein vain Marsiin asti, ehkä Jupiteriin



Aktiviteetti 3: Halkaisijat ja etäisyydet Auringosta pihalla



Aktiviteetti 4: Malli kaupungissa (Barcelona)



Aurinko	Pyykkikone	<i>Puerta Instituto</i>
Merkurius	Kaviaari-muna	<i>Puerta Hotel Diplomatic</i>
Venus	Herne	<i>Pasaje Méndez Vigo</i>
Maa	Herne	<i>Entre Méndez Vigo y Bruc</i>
Mars	Pippuri	<i>Paseo de Gracia</i>
Jupiter	Appelsiini	<i>Calle Balmes</i>
Saturnus	Mandariini	<i>Pasaje Valeri Serra</i>
Uranus	Kastanja	<i>Calle Entenza</i>
Neptunus	Kastanja	<i>Estación de Sans</i>

Malli Metzlin kaupungissa (Ranska)



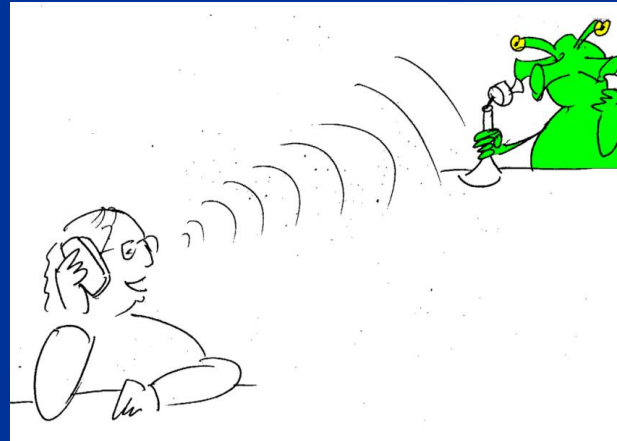
Aktiviteetti 5: Ajan mallit

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

Aika, joka valolla kestää Maasta Kuuhun on:

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

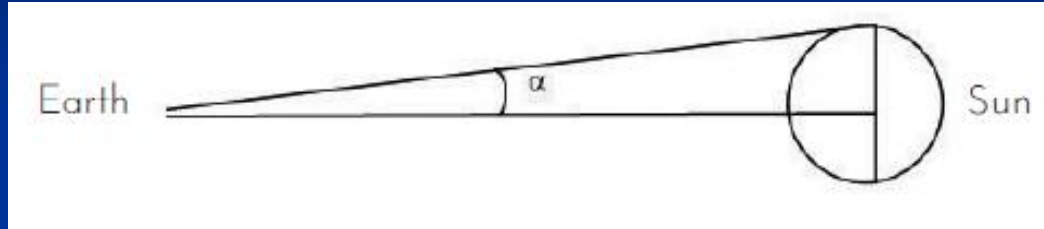
**Miten videopuhelu
kahden planeetan välillä
toimisi?**



Auringonvalolla menee kulkemiseen...

Mercurius	57 900 000 km	→	3.3 min
Venus	108 300 000 km	→	6.0 min
Maa	149 700 000 km	→	8.3 min
Mars	228 100 000 km	→	12.7 min
Jupiter	778 700 000 km	→	43.2 min
Saturnus	1 430 100 000 km	→	1.32 tuntia
Uranus	2 876 500 000 km	→	2.66 tuntia
Neptunus	4 506 600 000 km	→	4.16 tuntia

Aktiviteetti 6: Aurinko eri planeetoilta nähtynä



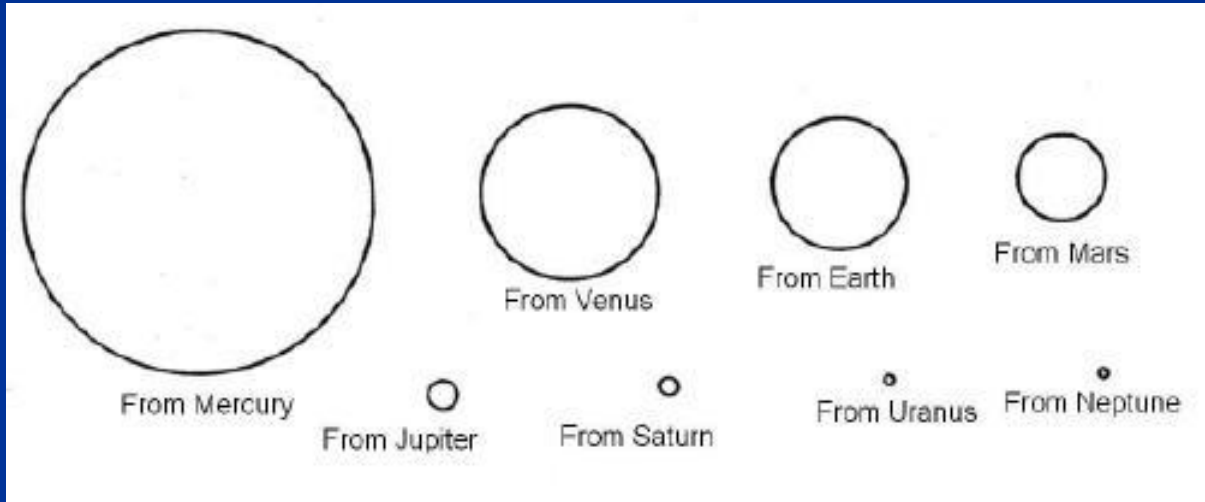
$$\tan \alpha = \text{Auringon säde} / \text{etäisyys Aurinkoon} = A_r / A_D$$

$$\alpha = \arctan(A_r / A_D)$$

$$= \arctan(696\,000 / 149\,700\,000) = 0,0046 \text{ rad} = 0,266^\circ$$

→ Maasta Aurinko näyttää $2\alpha = 0,53^\circ$

Aktiviteetti 6: Aurinko eri planeetoilta nähtynä



Aktiviteetti 7: Tiheyksien malli

Aurinko	1,41 g/cm³	→	Rikki (1.1-2.2)
Mercurius	5,41 g/cm³	→	Pyriitti eli katinkulta (5.2)
Venus	5,25 g/cm³	→	Pyriitti eli katinkulta (5.2)
Maa	5,52 g/cm³	→	Pyriitti eli katinkulta (5.2)
Mars	3,90 g/cm³	→	Sinkkivälke (4.0)
Jupiter	1,33 g/cm³	→	Rikki (1.1-2.2)
Saturnus	0,71 g/cm³	→	Mäntypuu (0.55)
Uranus	1,30 g/cm³	→	Rikki (1.1-2.2)
Neptunus	1,70 g/cm³	→	Savi (1.8-2.5)



Aktiviteetti 8: Litistyvä malli

- Leikkaa kartongista 35 x 1 cm suikaleita
- Kiinnitä ne pyöreään, 50 cm pitkään ja 1 cm paksuun tikkuun. Kiinnitä suikaleet alareunasta toisiinsa, mutta älä tikkuun, jotta reuna voi liikkua tikkuun ylös ja alas.
- Pyöritä tikkuun käsiesi välissä nopeasti suunnasta toiseen. Keskipakoisvoiman takia suikaleet muodostavat litistyneen pallon muotoisen muodon, samaan tapaan kuin planeetat ovat keskipakoisvoiman takia litistyneitä.



Aktiviteetti 8: Litistytvä malli

Planeetta	(päiväntasaajan ympärysmitta-napojen yli mitattu ympärysmitta)/ päiväntasaajan ympärysmitta
Merkurius	0,0
Venus	0,0
Maa	0,0034
Mars	0,005
Jupiter	0,064
Saturnus	0,108
Uranus	0,03
Neptunus	0,03



Aktiviteetti 9: Kiertoaikamalli

- Kiinnitä paino narun päähän ja ota narusta kiinni. Pyöritä narua pääsi yläpuolella. Pidä narusta tiukasti kiinni, jotta paino ei pääse lentämään
- Jos siirrät kättäsi kohti painosta vastakkaista narun päätä, painolla menee kauemmin kiertää koko kierros
- Jos taas vähennät pyörivän narun pituutta, kierrokseen menee vähemmän aikaa



Aktiviteetti 9: Maan kiertoradan tiedot

Keskimääräinen kiertonopeus $v = 2\pi r / t$

Maalle

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

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

(Auringon keskimääräinen kiertonopeus galaksin keskuksen ympäri on 220 km/s tai 800 000 km/h.)



Aktiviteetti 9: Kiertorata-aineisto

Planeetta	Kiertoaika (päivää)	Etäisyys Auringosta (km)	Keskimääräinen kiertonopeus (km/s)	Keskimääräinen kiertonopeus (km/h)
Merkurius	87,97	$57,9 \times 10^6$	47,90	172 440
Venus	224,70	$108,3 \times 10^6$	35,02	126 072
Maa	365,26	$149,7 \times 10^6$	29,78	107 208
Mars	686,97	$228,1 \times 10^6$	24,08	86 688
Jupiter	4331,57	$778,7 \times 10^6$	13,07	47 052
Saturnus	10 759,22	$1 430,1 \times 10^6$	9,69	34 884
Uranus	30 799,10	$2 876,5 \times 10^6$	6,81	24 876
Neptunus	60 190,00	$4 506,6 \times 10^6$	5,43	19 558



Aktiviteetti 10: Malli planeettojen pinnoilla olevasta painovoimasta

Painovoima pinnalla,

$$F = G M m / d^2$$

Jossa $m = 1$ $d = R$

joten $g = G M / R^2$

ja $M = 4/3 \pi R^3 \rho$

kun $g = 4/3 \pi G R \rho$



Aktiviteetti 10: Painovoima planeettojen pinnoilla

massa on kaikilla planeetoilla sama, mutta paino (planeetan vetovoima) vaihtelee

Planeetat	Päiväntas. säde	Tiheys	→	Laskettu kiihtyvyys	Todellinen kiihtyvyys	
Merkurius	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
Maa	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
Saturnus	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
Neptunus	25 269 km	1,7 g/cm ³	→	1,200	11,00 m/s ²	1,12
Kuu			→		1,62 m/s ²	0,16

Aktiviteetti 11: Törmäyskraatterimalli

- Levitä lattialle sanomalehteä sotkun välttämiseksi
- Laita matalaan laatikkoon 1-2 cm jauhoja siivilän läpi, jotta saat pinnasta sileän
- Sirottele jauhun päälle muutaman millin kerros kaakaojauhetta siivilän avulla
- Noin 2 metrin korkeudesta, tiputa ruokalusikallisia kaakaojauhetta, jotka muodostavat törmäyksissä syntyneiden kraattereiden kaltaisia jälkiä
- Jauhoa voi käyttää uudelleen myöhemmissä kokeissa



Aktiviteetti 12: Pakonopeus

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

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

$$E_{\text{mec}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = 0$$

$$g_{\text{planet}} = GM_{\text{planet}}/R_{\text{planet}}^2$$

Silloin:

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

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

joten pakonopeus on:

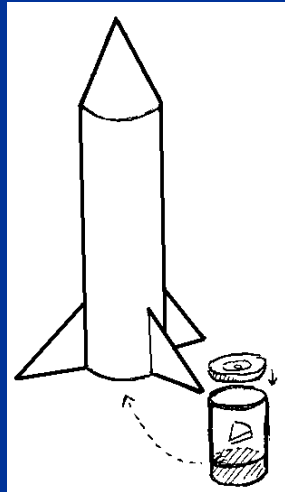
$$v = (2gr)^{1/2}$$

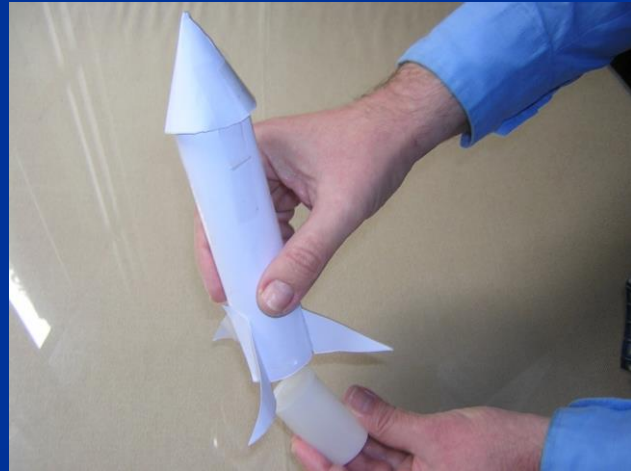
Aktiviteetti 12: Pakonopeus

Planeetta	Päiväntas. säde	$g_{\text{Planet}}/g_{\text{Maa}}$	→	Pakonopeus
Merkurius	2 439 km	0,378	→	4,3 km/s
Venus	6 052 km	0,894	→	10,3 km/s
Maa	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
Saturnus	60 268 km	1,070	→	35,6 km/s
Uranus	25 559 km	0,800	→	21,2 km/s
Neptunus	25 269 km	1,200	→	23,6 km/s

Aktiviteetti 12: Raketin laukaisu

- Kartonkia
- Filmipurkki
- $\frac{1}{4}$ poretabletti





Aurinkokunnan ulkopuoliset planeettajärjestelmät



1995 Michael Mayor ja Didier Queloz ilmoittivat löytäneensä eksoplaneetan kiertämästä tähteä 51 Pegasi



2M1207b suoraan kuvattu (ESO)

Ensimmäinen kuva
eksoplaneetasta
16.3.2003



Olemme riippuvaisia teknologiasta



Galilei näki Saturnuksen kaukoputkellaan ensimmäistä kertaa vuonna 1610. Hän ei kuitenkaan nähnyt ohutta rengasta, vaan tulkitsi sen kolmikappaleiseksi tähdeksi.

Renkaat saatiin näkyviin vasta Huygensin paremmalla kaukoputkella 1659. Tämän takia Rubensin vuosina 1636-1638 maalaama taulu kuvaa Saturnuksen kolmena kappaleena Galilein löydöksen perusteella.



Eksoplaneettojen nimet

Keskustähden nimen perään lisätään kirjain, alkaen b:stä, joka annetaan ensimmäiselle löytyneelle planeettakunnan planeetalle
(*e.g. 51 Pegasi b*).

Seuraava planeetta nimetään aina aakkosten seuraavalla kirjaimella: c, d, e, f, jne

(*51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e tai 51 Pegasi f*).



Eksoplaneettojen havaintotavat

On monia mahdollisia tapoja

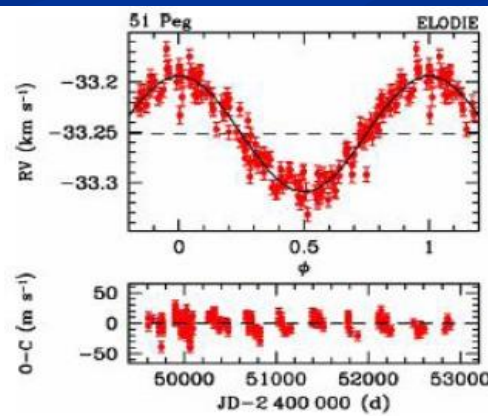
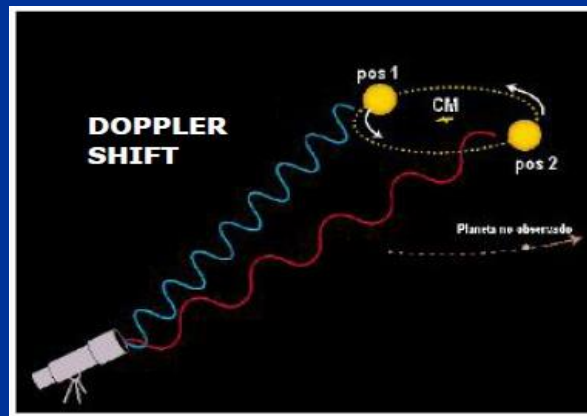
- Säteisliike ja Doppler-ilmio
- Ylikulkumetodi
- Gravitaatiolinssit
- Muita



Havaintotapa: Säteisliike

Vaihtelu tähden säteisliikkeessä sen kiertäessä tähti-planeetta-järjestelmän massakeskipistettä saadaan mitattua Doppler-ilmion avulla.

Ensimmäinen eksoplaneetta 51 Pegasus b havaittiin tällä menetelmällä.

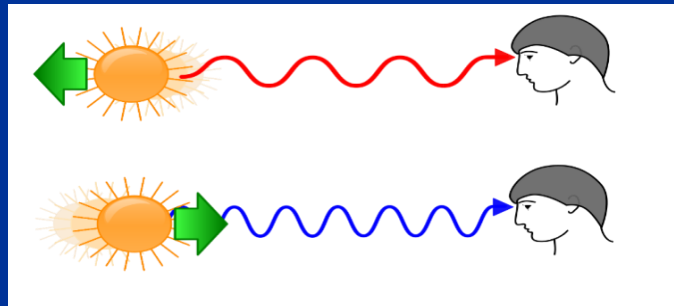


Aktiviteetti 13: Doppler-ilmiö

Doppler-ilmiö on muutos aallonpituudessa, kun säteilyn lähde on liikkeessä.

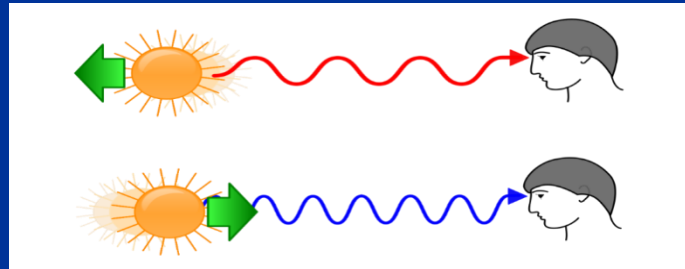
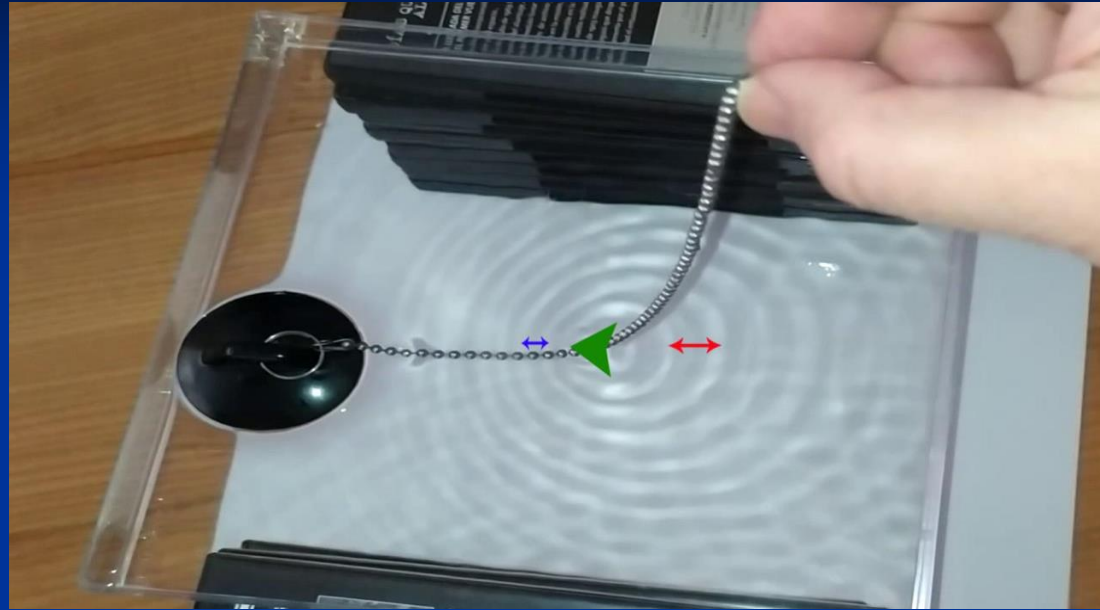
Kun valonlähde lähenee, aallonpituus lyhenee ja siirtyy kohti näkyvän valon spektrin sinistä osaa.

Kun se loittonee, aallonpituus lyhenee ja nähty valo on lähempänä näkyvän valon punaisia aallonpituuksia.



Aktiviteetti 13: Doppler-ilmiö

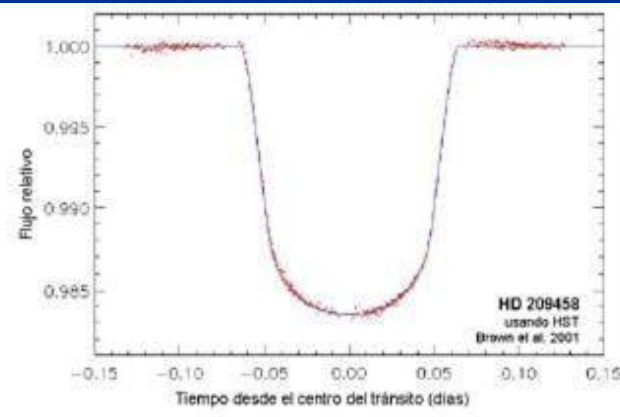
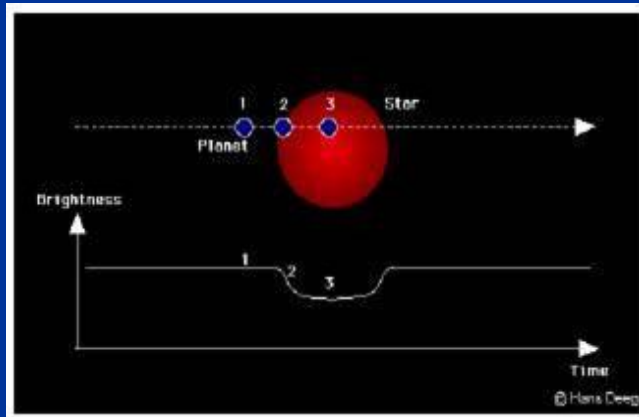
Doppler-ilmiötä
pystyy
havainnollistam-
aan vesiastian,
ketjullisen
tulpan ja
salamallisen
kameran avulla



Havaintotapa: Ylikulku

Kun planeetta kulkee tähtensä edestä, tähden kirkkaus pienenee hieman.

Auringonkaltaisille tähdille Jupiterin kokoisen planeetan ylikulku himmentää tähteä noin 1% ja Maan kokoisen planeetan ylikulku noin 0,03%



Aktiviteetti 14: Ylikulun simulointi

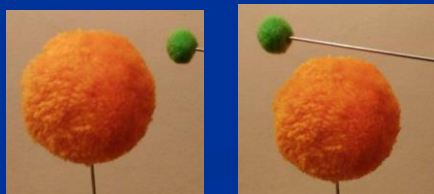
Käyttäen kahta palloa: yksi isompi kuvaamaan tähteä ja toinen pienempi kuvaamaan sitä kiertävää planeettaa.

Jos katsoja katsoo tähti-planeetta-järjestelmää kiertoradan tasosta, hän näkee planeetan kulkevan tähden edestä ja tähden kirkkauden himmenevän.

Jos katsojan kulma on eri kuin kiertoradan tason, planeetta ei koskaan kulje tähden edestä ja siten himmenemistä ei voi havaita.



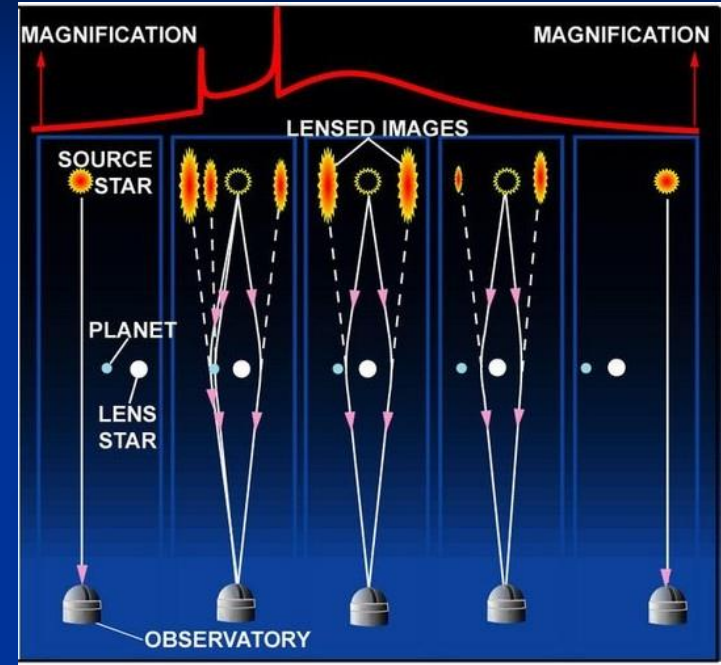
Katsoja kiertoradan tasossa



Katsoja ei kiertoradan tasossa

Havaintotapa: Gravitaatiolinssit

Tähti-planeetta-järjestelmä on sopivasti linjassa tähden tai muun painavan kappaleen kanssa, mikä synnyttää gravitaatiolinssin ja korostaa tähti-planeetta-järjestelmää suurentamalla tai vääristämällä sitä, miltä se meille näyttää.



Maan, linssinä toimivan kappaleen ja tähti-planeetta-järjestelmän täytyy olla suorassa linjassa tämän toimimiseksi.

Aktiviteetti 15: Linssin simulointi



Kun käytössä on
yksi viinilasin jalka,
mitään ei näy



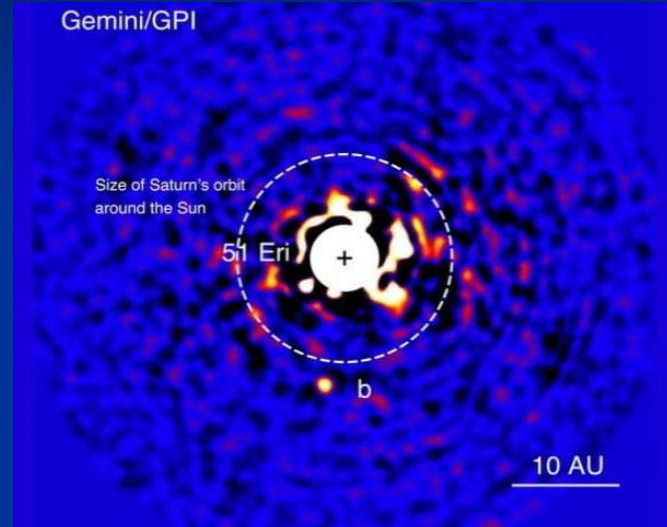
Kahdella viinilasin jalalla

Kun yhden siirtää toisen yli,
ilmaantuu piste, ja sitten toinen



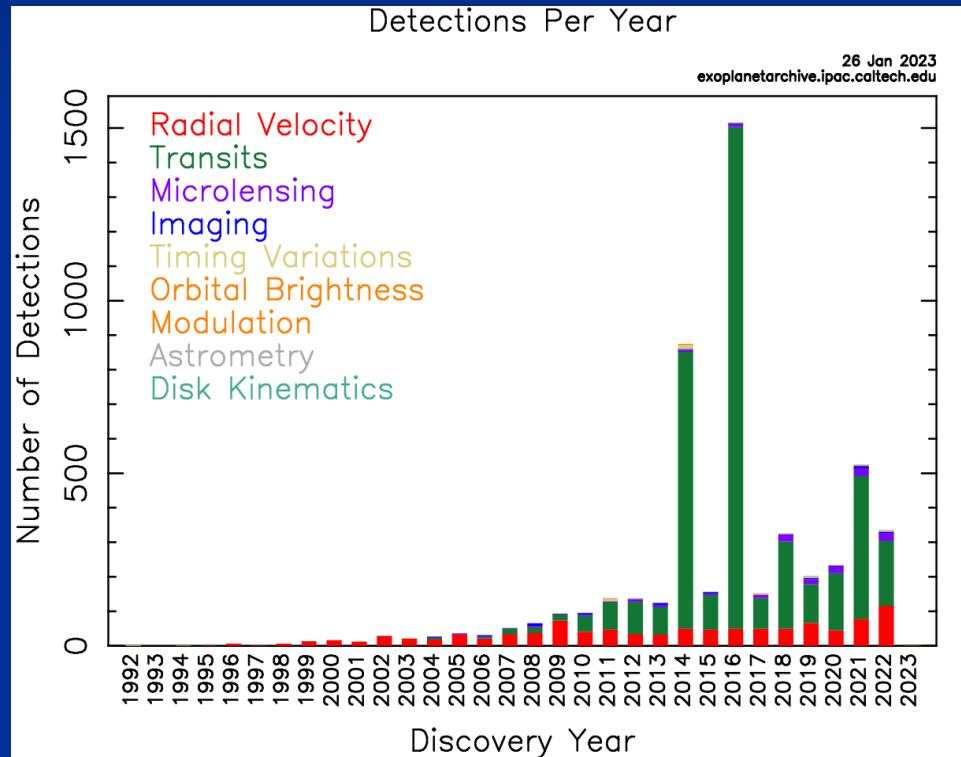
Havaintotapa: Suora havainto

Tähdestä otettua kuvaa tutkitaan, ja siitä etsitään tähden ympärillä kiertäviä eksoplaneettoja.



Tämä on vaikeaa, koska tähti on todella kirkas planeettoihin verrattuna.

Tässä kuvaajassa on 2023 tunnettua eksoplaneettaa niiden havaitsemistavan mukaan jaoteltuna



Eksoplaneettajärjestelmien mallit

Tällä hetkellä on löydetty noin 4 000 planeettajärjestelmää, yli 5 300 eksoplaneettaa ja havaintoja noin 10 000 eksoplaneettaehdokkaasta.

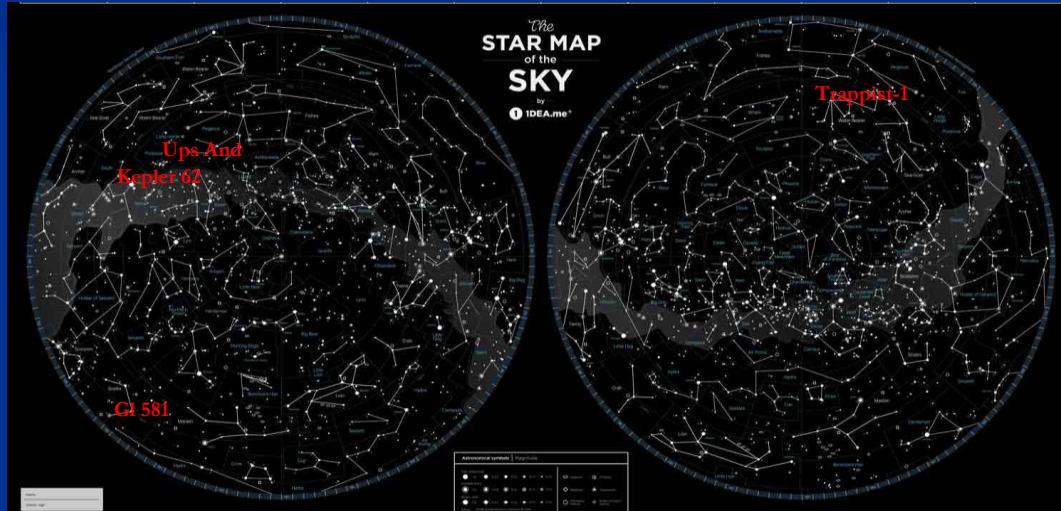
(NASA <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>)

Massoja verrataan Jupiteriin ($1,9 \times 10^{27}$ kg) tai Maahan ($5,97 \times 10^{24}$ kg).

Syynä on teknologiset rajoitukset



Aktiviteetti 16: Oikeiden mittasuhteiden eksoplaneettajärjestelmämalli



Etäisyys $1 \text{ AU} = 1 \text{ m}$
Halkaisija $10000 \text{ km} = 0,5 \text{ cm}$

Aktiviteetti 16: Rakenna aurinkokunta

Aurinkokunta	Etäisyys AU	Halkaisija km	Etäisyys mallissa	Halkaisija mallissa
Merkurius	0,39	4879	40 cm	0,2 cm
Venus	0,72	12104	70 cm	0,6 cm
Maa	1	12756	1m	0,6 cm
Mars	1,52	6794	1.5 m	0,3 cm
Jupiter	5,2	142984	5 m	7 cm
Saturnus	9,55	120536	10 m	6 cm
Uranus	19,22	51118	19 m	2,5 cm
Neptunus	30,11	49528	30 m	2,5 cm

Auringon halkaisija mallissa on 35 cm

Etäisyys 1 AU = 1 m Halkaisija 10000 km = 0,5 cm



Aktiviteetti 16: Rakenna eksoplaneettajärjestelmä

Upsilon Andromedae Titawin	Löytövuosi	Etäisyys AU	Halkaisija km	Etäisyys mallissa	Halkaisija mallissa
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

Keskustähti Upsilon Andromedae F8V on 44 valovuoden päässä Andromedan tähdistössä, halkaisija 1,28*Auringon halkaisija mallissa halkaisija 45 cm

Etäisyys 1 AU = 1 m

Halkaisija 10000 km = 0,5 cm



Aktiviteetti 16: Rakenna maankaltaisten planeettojen kunta

Gliese 581	Löytövuosi	Etäisyys AU	Halkaisija km	Etäisyys mallissa	Halkaisija mallissa
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

Keskustähti Gliese 581 M2,5V on 20,5 valovuoden päästä Vaa'an tähdistössä, halkaisija 0,29*Auringon halkaisija mallissa halkaisija 10 cm

Etäisyys 1 AU = 1 m Halkaisija 10000 km = 0.5 cm



Aktiviteetti 16: Rakenna maankaltaisten planeettojen järjestelmä

Kepler-62	Löytövuosi	Etäisyys AU	Halkaisija km	Etäisyys mallissa	Halkaisija mallissa
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

Keskustähti Kepler 62 K2V on 1200 valovuoden päässä Lyyran tähdistössä. Halkaisija on $0,64 \cdot$ Auringon halkaisija mallissa halkaisija 22 cm

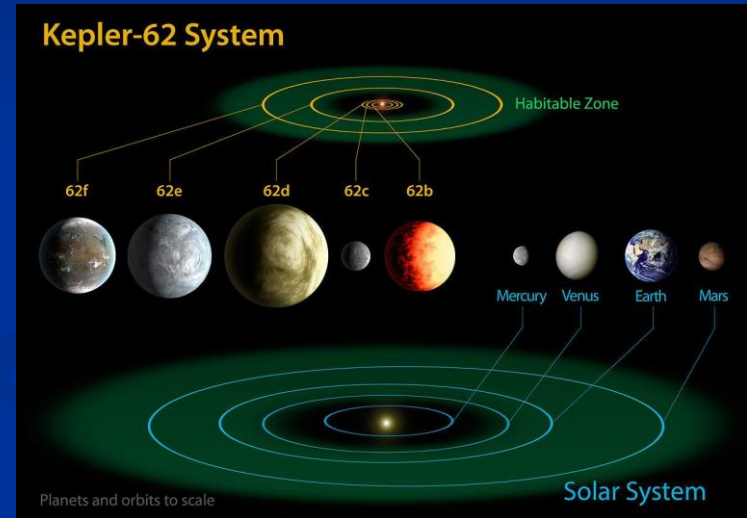
Etäisyys 1 AU = 1 m Halkaisija 10000 km = 0,5 cm



Eksoplaneettojen mahdollinen elinkepoisuus

Kepler-62:n elinkelpoisella vyöhykkeellä on kaksi eksoplaneettaa, joilla voisi olla vettä.

Kepler-62e:llä, joka on lähellä elinkelpoisen vyöhykkeen sisärajaa, tämä vaatisi heijastavien pilvien olemassaoloa, mikä vähentäisi planeetan pintaa lämmittävän säteilyn määrää. Kepler-62f sen sijaan on elinkelpoisen vyöhykkeen ulkoreunalla.



Aktiviteetti 16: Rakenna maankaltaisten planeettojen järjestelmä

Trappist-1	Löytövuosi	Etäisyys AU	Halkaisija km	Etäisyys mallissa	Halkaisija mallissa
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

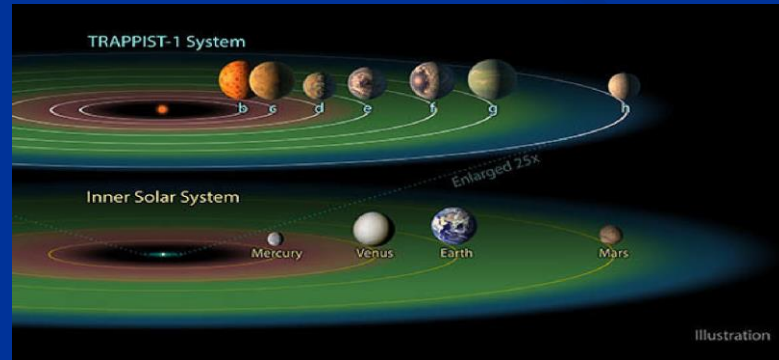
Keskustähti Trappist 1 M8V on 40 valovuoden päässä Vesimiehen tähdistössä, halkaisijaltaan 0,1*Auringon halkaisija mallissa halkaisija 4 cm

Etäisyys 1 AU = 1 m Halkaisija 10000 km = 0,5 cm



Eksoplaneettojen mahdollinen elinkelpoisuus

Trappist-1-järjestelmässä kolme planeettaa ovat kivisiä ja niiden pinnoilla voisi olla suuret määrät vettä, joko nestemäisenä, kaasuna tai jäätiköinä. Trappist 1:n elinkelpoisella vyöhykkeellä Trappist-1e:llä vaikuttaisi olevan tiivis ydin, kuten Maalla, mikä viittaa siihen, että se on tämän järjestelmän planeetoista kaikkein maankaltaisin, ja sillä on todennäköisesti suojaava magneettikehä.



Yhteenveto

- Mallit antavat konkreettista tietoa planeetoista
- Suhteelliset mitat antavat varsinaisia kokoja paremman käsityksen mittakaavoista
- Aurinkokunta on lähes kokonaan tyhjää avaruutta
- Johdatus eksoplaneettoihin ja niiden löytämistapoihin



Kiitos
huomiostanne!

