الكواكب والكواكب الخارجيّة
Planets & exoplanets

إعداد:

Rosa M. Ros, Hans Deeg, Ricardo Moreno

الاتحاد الدوليّ لعلم الفلك

الجامعةُ التقنيّة كاتالونيا، إسبانيا

معهد الفيزياء الفلكيّة، جزر الكناري، إسبانيا

كليّة ريتامار(***Retamar***) ، مدريد، إسبانيا

ترجمة: خولة العقون

الأهداف

- فهمُ دلالة القيَم والأرقام في بيانات جداول خصائص النظام الشمسي وكواكبِه
- فهم الخصائص الأساسيّة التي تُميّز الأنظمة الكوكبيّة خارج المجموعة الشمسية

النظامُ الشمسيُّ

نبحثُ عن النماذج التي تُوصِل المعلومات للأطفال، وليس محض أعمال يدويّة أو فنّية

المُحتوى

نُريدُ تحقيقَ نماذجَ ذاتِ محتوىً
علميٍّ تُتيح عرض مبادئ
وأساسيّات معرفيّة مهمّةٍ

النشاط1: البُعد (المسافة) عن الشمس

عطارد	57 900 000 كلم		6 سم	0.4 AU
الزُهرة	108 300 000 كلم		11 سم	0.7 AU
الأرض	149 700 000 كلم		15 سم	1.0 AU
المرّيخ	228 100 000 كلم		23 سم	1.5 AU
المشتري	778 700 000 كلم		78 سم	5.2 AU
زحل	1 430 100 000 كلم		143 سم	9.6 AU
أورانوس	2 876 500 000 كلم		288 سم	19.2 AU
نبتون	4 506 600 000 كلم		450 سم	30.1 AU

AU اختصارٌ لـ Astronomical Unity أي الوحدة الفلكيّة

النشاط2: نماذج طول القطرِ

الشمس	1 392 000 كلم		139.0 سم
عطارد	4 878 كلم		0.5 سم
الزُهرة	12 180 كلم		1.2 سم
الأرض	12 756 كلم		1.3 سم
المريخ	6 760 كلم		0.7 سم
المشتري	142 800 كلم		14.3 سم
زحل	120 000 كلم		12.0 سم
أورانوس	50 000 كلم		5.0 سم
نبتون	45 000 كلم		4.5 سم

النشاط 2: نماذج الأقطارِ

قميص يحوي رسوماتٍ توضّح طول قطر كلّ كوكبٍ بمقياسٍ مُصغّر

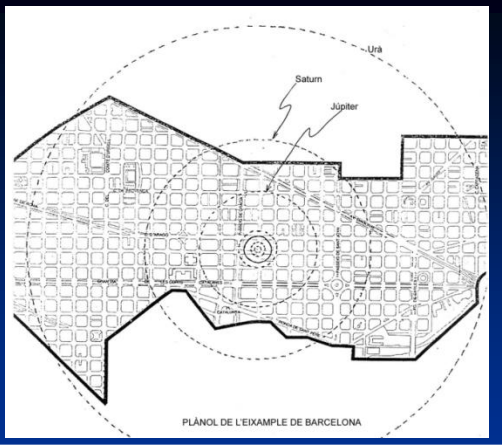
النشاط 3 : طول القطر والبعدُ عن الشمس

الشمس	1 392 000 كلم			25.0 سم	
عطارد	4 878 كلم	57 900 000 كلم		0.1 سم	10 م
الزُهرة	12 180 كلم	108 300 000 كلم		0.2 سم	19 م
الأرض	12 756 كلم	149 700 000 كلم		0.2 سم	27 م
المريخ	6 760 كلم	228 100 000 كلم		0.1 سم	41 م
المشتري	142 800 كلم	778 700 000 كلم		2.5 سم	140 م
زحل	120 000 كلم	1 430 100 000 كلم		2.0 سم	250 م
أورانوس	50 000 كلم	2 876 500 000 كلم		1.0 سم	500 م
نبتون	45 000 كلم	4 506 600 000 كلم		1.0 سم	800 م

عادةً ما تكون ساحةُ المدرسةِ كافيةً لتمثيلِ مقياسِ بُعد الأرض عن المرّيخ، وليس أكثر من ذلك

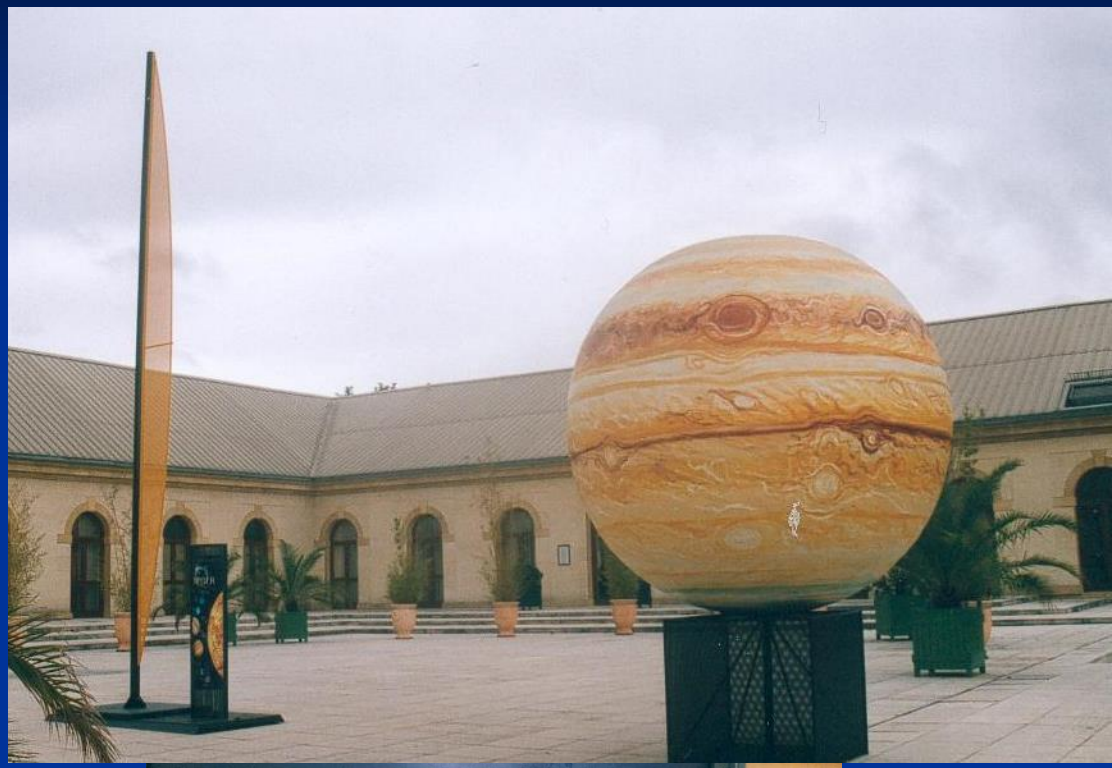
النشاط 3: تمثيلُ أطوال الأقطار والمسافةُ من الشمس في ملعب المدرسة

النشاط 4: النمذجة بمقياسِ المدينة (برشلونة نموذجًا)



Puerta Instituto	آلةُ الغسيل	الشمس
Puerta Hotel Diplomatic	بيضةُ الكافيار	عطارد
Pasaje Méndez Vigo	حبة البازلّاء	الزهرة
Entre Méndez Vigo y Bruc	حبةُّ البازلّاء	الأرض
Paseo de Gracia	حبة الفلفل الأسود	المريخ
Calle Balmes	برتقالة	المشتري
Pasaje Valeri Serra	يُوسُفيّ	زحل
Calle Entenza	كستناء	أورانوس
Estación de San	كستناء	نبتون

نموذج في مدينة ماتز(Metz)، فرنسا



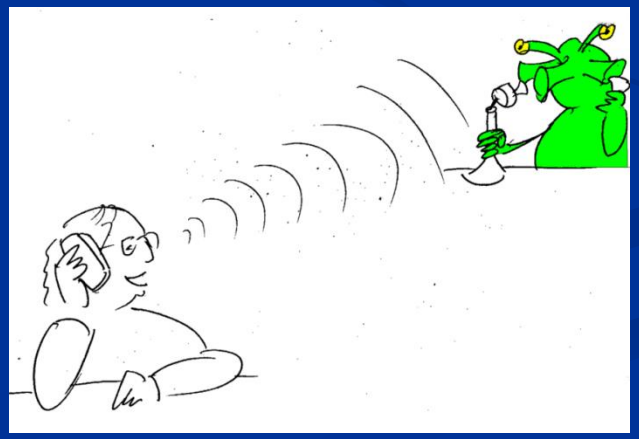
النشاط 5: نموذجُ الزمن

- سرعةُ الضوء (C) = 300000 كلم/ ثانية
- الوقتُ أو المدّة الزمنيّة التي يستغرقها الضوء للذهاب من الأرض والوصول إلى القمر نجدُها بالحسابِ البسيط الآتي:
- الزمن= المسافة من الأرض إلى القمر/ سُرعة الضوء

= 384000 كلم / 300000 كلم في الثانية

= 1,3 ثانية

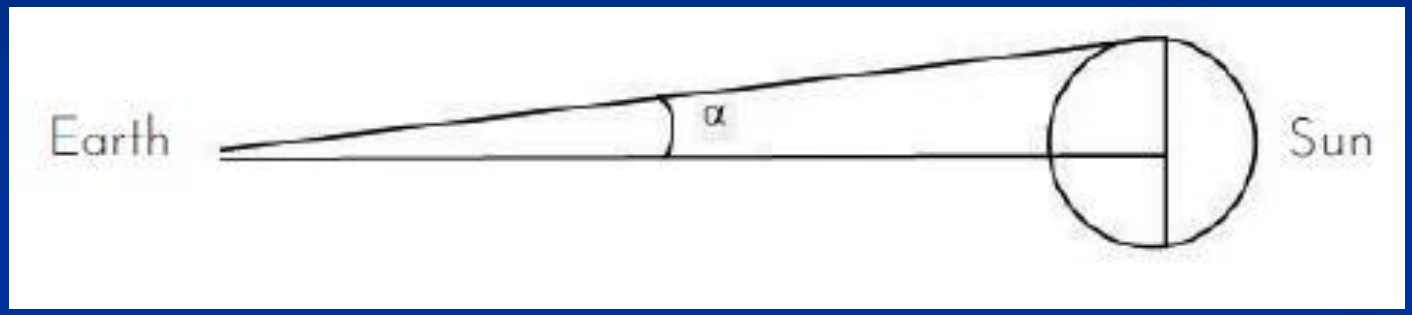
كيف يمكنُ أن يكون الاتّصال بالفيديو بين كوكبٍ وآخر؟



يستغرق شعاعُ الشمس هذا الزّمن ليصلَ إلى:

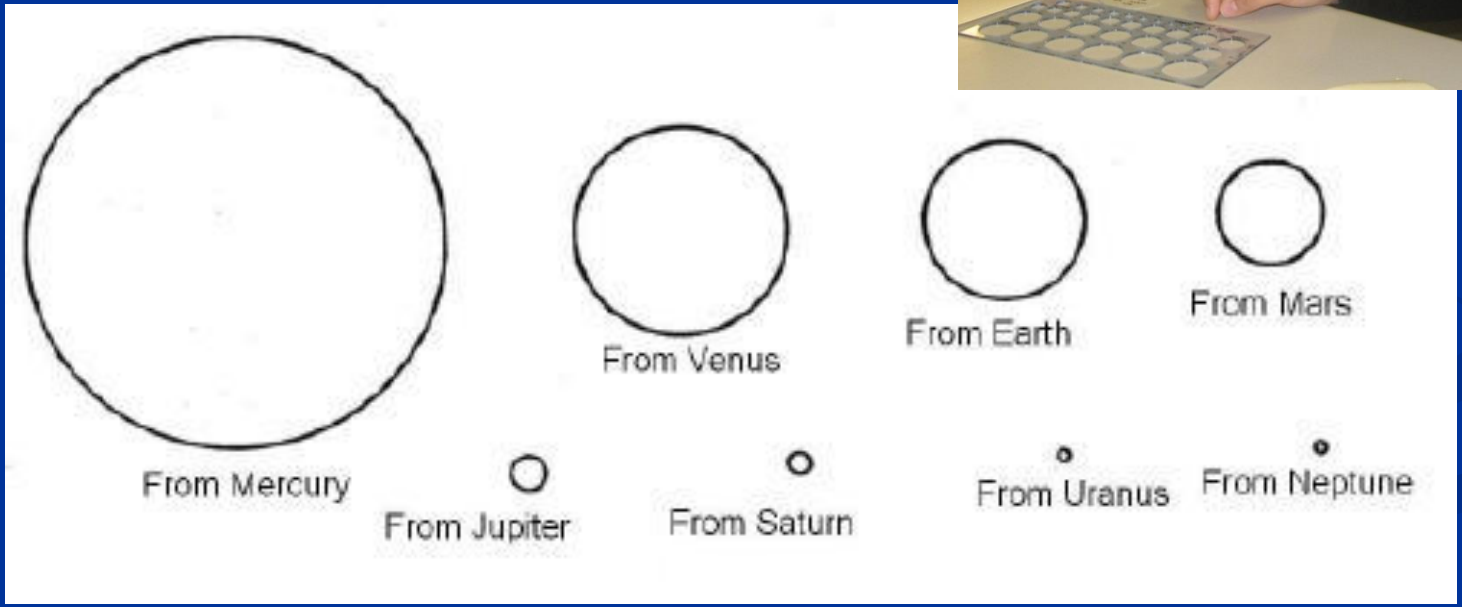
عطارد	57 900 000 كلم		3.3 دقائق
الزُهرة	108 300 000 كلم		6.0 دقائق
الأرض	149 700 000 كلم		8.3 دقائق
المريخ	228 100 000 كلم		12.7 دقائق
المشتري	778 700 000 كلم		43.2 دقيقة
زحل	1 430 100 000 كلم		1.32 ساعة
أورانوس	2 876 500 000 كلم		2.66 ساعة
نبتون	4 506 600 000 كلم		4.16 ساعة

النشاط 6: الشمسُ كما تُرى من الكواكبِ



- الزاوية α = جيب الظلّ α = نصف قطر الشمس/ المسافة من الشمس
- = 700 000/150 000 000 =0,0045 راديان= 0.255°
- بالنسبة لمُشاهدٍ من الأرض فإن زاوية الشمس تساوي 2α
- 2 α = 0.51°

النشاط 6: الشمس كما تُرى من الكواكبِ



النشاط 7: نموذج الكثافة

الشمس	1.41 g/cm^3	⇒	الكبريت (1.1-2.2)
عطارد	5.41 g/cm^3	⇒	بيريت (Pyrite) (5.2)
الزهرة	5.25 g/cm^3	⇒	بيريت (5.2)
الأرض	5.52 g/cm^3	⇒	بيريت (5.2)
المريخ	3.90 g/cm^3	⇒	بليند Blende (4.0)
المشتري	1.33 g/cm^3	⇒	كبريت(1.1-2.2)
زحل	0.71 g/cm^3	⇒	خشب الصنوبر(0.55)
أورانوس	1.30 g/cm^3	⇒	الكبريت(1.1-2.2)
نبتون	1.70 g/cm^3	⇒	طين (1.8-2.5)

النشاط 8: نموذج التسطيح

- قُصَّ شرائط من الورق المقوّى بأبعاد 35 x 1سم.
- ألصِقْها في عصا أسطوانيّة طولُها 50 سم، وقطرُها 1 سم
- أبقِ على الجزء السفليّ ضيّقًا حتى يتحرّك بسهولة مع العصا (العمود الأسطوانيّ)
- أدِر العصا بين يديك دوراتٍ كاملة سريعة، في اتجاهين متعاكسين كلّ مرّة
- قوّة الدوران المركزيّ ستشوّهُ وتغيّر شكلَ أشرطةِ الورق المقوّى تمامًا كما تتشوّه الكواكبُ

النشاط 8: نموذج التسطيح

الكواكب	(نصف القطر الاستوائي- نصف القطر القطبيّ)/ نصف القطر الاستوائيّ
عطارد	0.0
الزهرة	0.0
الأرض	0.0034
المريخ	0.005
المشتري	0.064
زحل	0.108
أورانوس	0.03
نبتون	0.03

النشاط 9: نموذج الدَور المداريّ

- ألصِق حبةَ بندُقٍ في نهايةِ حبلٍ، وأمسك طرفَه الآخَر، أدِر الحبلَ حول رأسك من الأعلى
- كلّما أرخيت الحبل أكثر وصارت المسافة بين يدك والطرف الآخر أكبر، ازدادت المدّة التي تستغرقها حبة البندق لإكمال دورةٍ في مدارها حول رأسك
- كلّما أنقصتَ من طول الحبل، تقلّصت المدّة التي تستغرقها كلّ دورةٍ حول المدار

النشاط 9: البيانات المداريّة للأرض

السرعة المداريّة المتوسّطة $v = 2\pi R / T$

بالنسبة للأرض

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

$v = 2\,582\,100$ كلم/اليوم $= 107\,590$ كلم/سا $= 29.9$ كلم/ثا

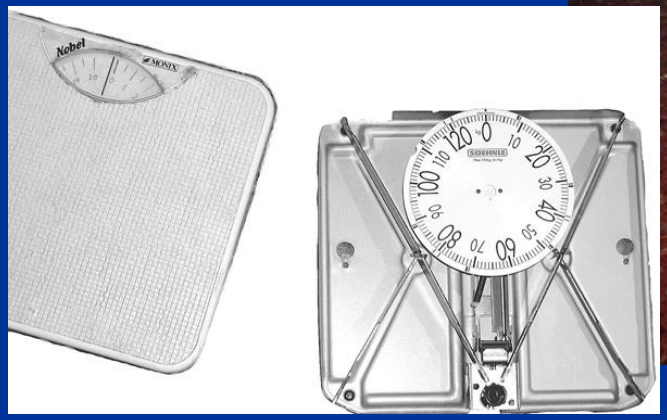
(السرعة المداريّة للشمس حول مركز المجرّة تُساوي 220 كلم/ ثانية، أي ما يعادلُ 800000 كلم/ ساعة)

النشاط 9: البيانات المداريّة

الكوكب	الدور المداري (بالأيام)	البُعد عن الشمس (كلم)	السرعة المداريّة المتوسّطة (كلم/ثانية)	السرعة المداريّة المتوسّطة (كلم/ساعة)
عطارد	87.97	57.9×10^6	47.90	172 440
الزهرة	224.70	108.3×10^6	35.02	126 072
الأرض	365.26	149.7×10^6	29.78	107 208
المريخ	686.97	228.1×10^6	24.08	86 688
المشتري	4331.57	778.7×10^6	13.07	47 052
زحل	10759.22	$1\,430.1 \times 10^6$	9.69	34 884
أورانوس	30.799.10	$2\,876.5 \times 10^6$	6.81	24 876
نبتون	60190.00	$4\,506.6 \times 10^6$	5.43	19 558

النشاط 10: نماذج التسارُع الجاذبيّ للسطح

- جاذبيّة السطح, $F = G\,M\,m/d^2$ لدينا $m = 1,\ d = R.$
- ومنه $M = 4/3\ \pi\ R^3\ \rho$ ، $g = G\,M\,/\,R^2,$
- بالتعويض نجد $g = 4/3\ \pi\ G\ R\ \rho$



النشاط 10: التسارع الجاذبيّ للسطحِ

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

النشاط 11: نموذج فوّهات الاصطدام

- غطِّ الأرضيّة بورق الجرائد لتجنّب الفوضى التي قد تُحدثها التجربة
- في صندوق عمقُه صغيرٌ، ضَع طبقة بسُمك 1 أو 2 سم من الطحين باستعمال المصفاة ليكون السطح متجانسًا وناعمًا
- رُشَّ طبقة بسمك بضع مليمتراتٍ من مسحوق الكاكاو فوق طبقة الطحين، باستعمال المصفاة
- على علوِّ مترين (2 م)، اِرمِ ملعقةَ طعامٍ من مسحوق الكاكاو، وراقب حدوث تأثيرٍ على سطح الأرضيّة يُشبِه منظر فوّهات الاصطدام
- يُمكن إعادة تهيئة الأرضيّة للتجربة مرّة أخرى

النشاط 12: سرعة الإفلات

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

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

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

نتائج السرعة في الفضاء:

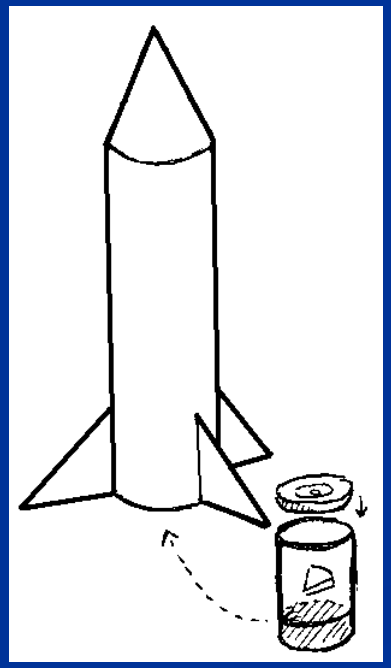
$$v = (2gR)^{1/2}$$

النشاط 12: سرعة الإفلات

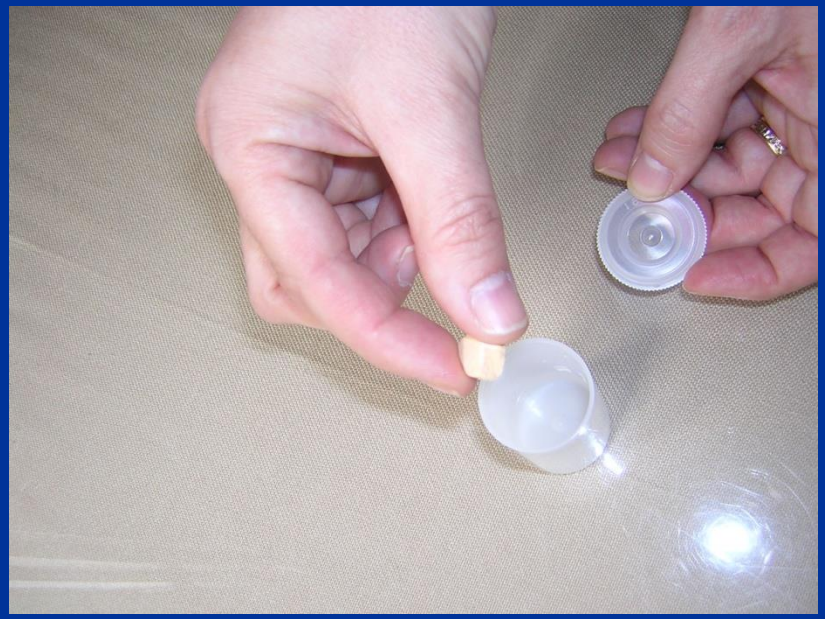
الكواكب	نصف القطر الاستوائيّ	جاذبية الكوكب/ جاذبية الأرض g_{Planet}/g_{Earth}		سرعة الإفلات
عطارد	2 439 كم	0.378		4.3 كم/ثا
الزهرة	6 052 كم	0.894		10.3 كم/ ثا
الأرض	6 378 كم	1.000		11.2 كم/ثا
المريخ	3 397 كم	0.379		5.0 كم/ثا
المشتري	71 492 كم	2.540		59.5 كم/ثا
زحل	60 268 كم	1.070		35.6 كم/ثا
أورانوس	25 559 كم	0.800		21.2 كم/ثا
نبتون	25 269 كم	1.200		23 كم/ثا

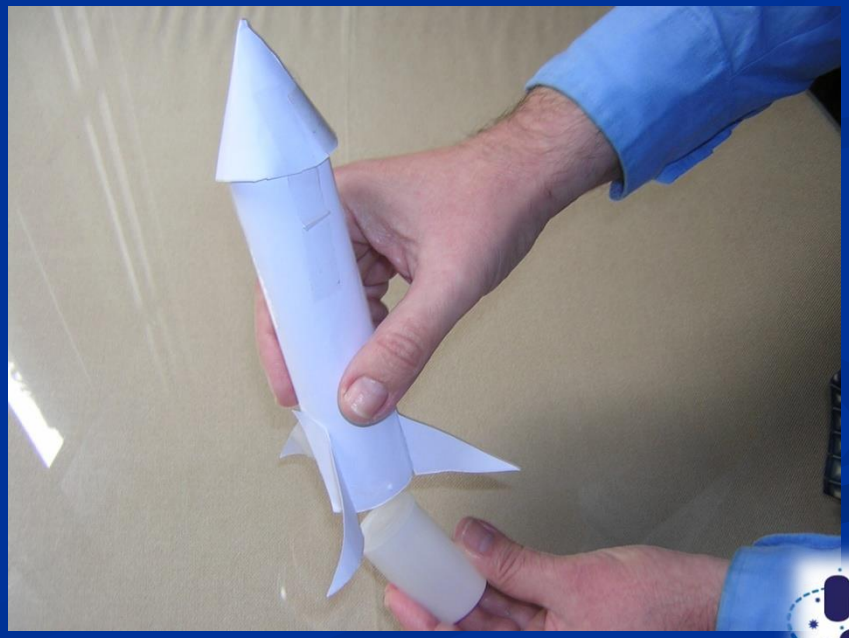
النشاط 12: إطلاق صاروخ

- ورق مقوّى
- حاوية شريط تصوير
- رُبع قرص فوّار (أدوية)



Redoxon





أنظمة الكواكب خارج المجموعة الشمسية

في 1995 م، أعلن العالِمانِ مايكل مايور Michael Mayor
وديدييه كيلوز Didier Queloz اكتشاف كوكب خارج
المجموعة الشمسيّة يدور حول النجمِ 51 Pegasi

2M1207b directly imaged (ESO)

التقاط أول صورة لكوكبٍ
خارجيٍّ 16 مارس 2003

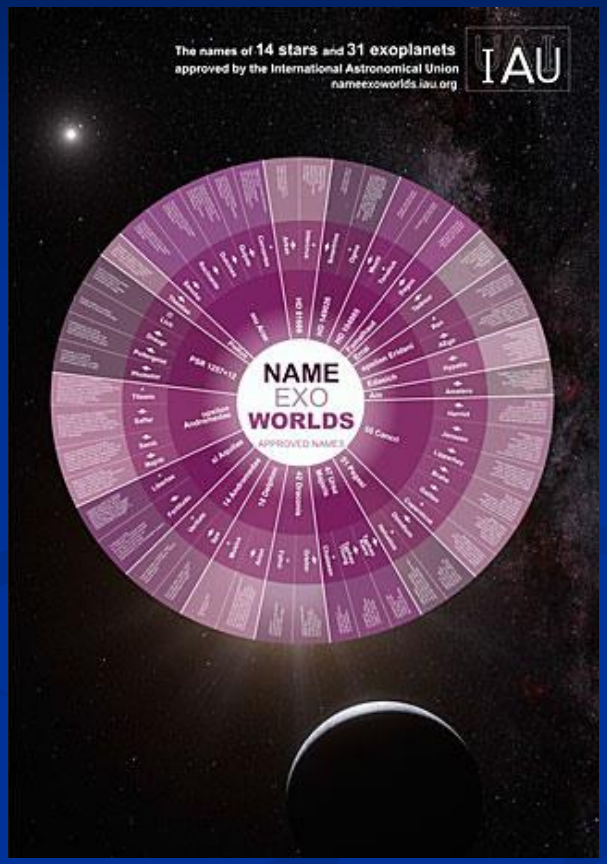
التكنولوجيا هي ما نُعوّلُ عليه

رصدَ غاليلي غاليليو زحلَ بمنظاره لأوّل مرّة سنةَ 1610م. لم يُشاهد غاليلي حلقة زحل بشكلٍ مُحدّد وواضحٍ، لكنّه فسّر رصدَه له بأنّه نجمٌ تدورُ حوله ثلاثةُ كواكب. حتّى جاء هويجنز Huygens بتلسكوب أفضل، متمكّنًا من رؤيةِ الحلقات سنةَ 1659م. لهذا السبب يظهرُ زحل في لوحة الرسّام روبنز Rubens (1636-1638) مُحاطًا بثلاثة أجسامٍ مستوحاة من اكتشاف غاليلي القديم.

أسماءُ الكواكب الخارجيّة

لتسمية الكواكب الخارجيّة، يُضافُ حرفٌ بعد اسم النجم المركزيّ، بدءًا بحرف b الذي يوافق اسم أوّل كوكب في ذلك النّظام النجمي مثل: *Pegasi b*.

أمّا الكواكب الموالية فتسمّى وَفقًا لترتيب الأبجديّة الإنجليزيّة c d e f..



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

طُرُق اكتشافِ ورصدِ الكواكب الخارجيّة

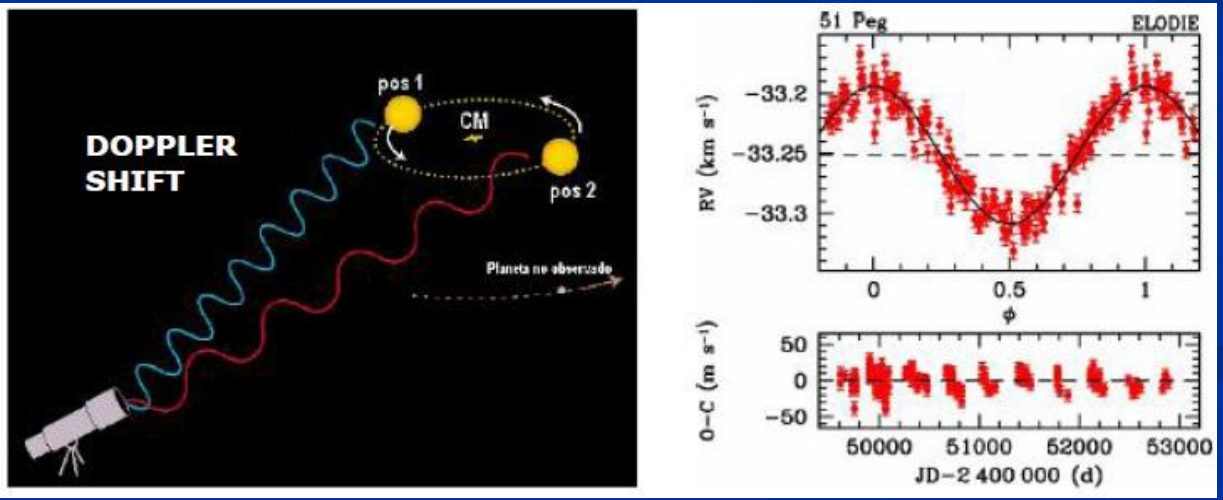
هناك طرقٌ عديدةٌ من بينها:

- السرعة الشُّعاعيّةُ وتأثير دوبلر
- طريقة العبور
- العدسات المجهريّة
- طرق أخرى

طريقة الكشف باستعمال السرعة الشُّعاعيّة

يُقاسُ تغيّر السرعة الشُّعاعيّة للنجم عندما يدور في مدارٍ حول مركز ثقل الكوكب والنظام الشمسيّ، باستعمال تأثير دوبلر

وهذه هي الطريقة التي سمحت للعلماء باكتشاف أوّل كوكب خارجيّ 51 Pegasus

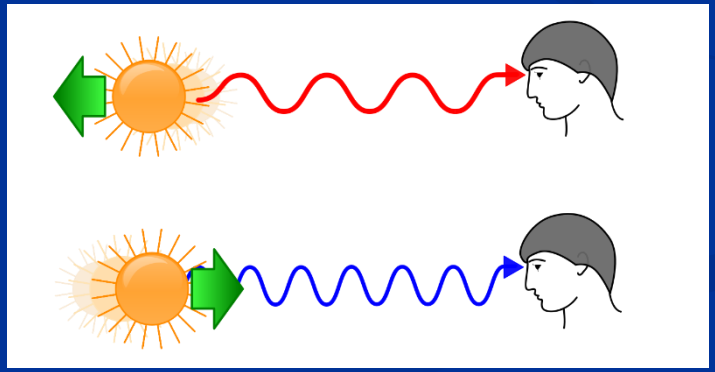


النشاط 13: تأثير دوبلر

تأثيرُ دوبلر هو التغيّر في الطول الموجيّ للضوء عندما يكون مصدر الضوء في حركة.

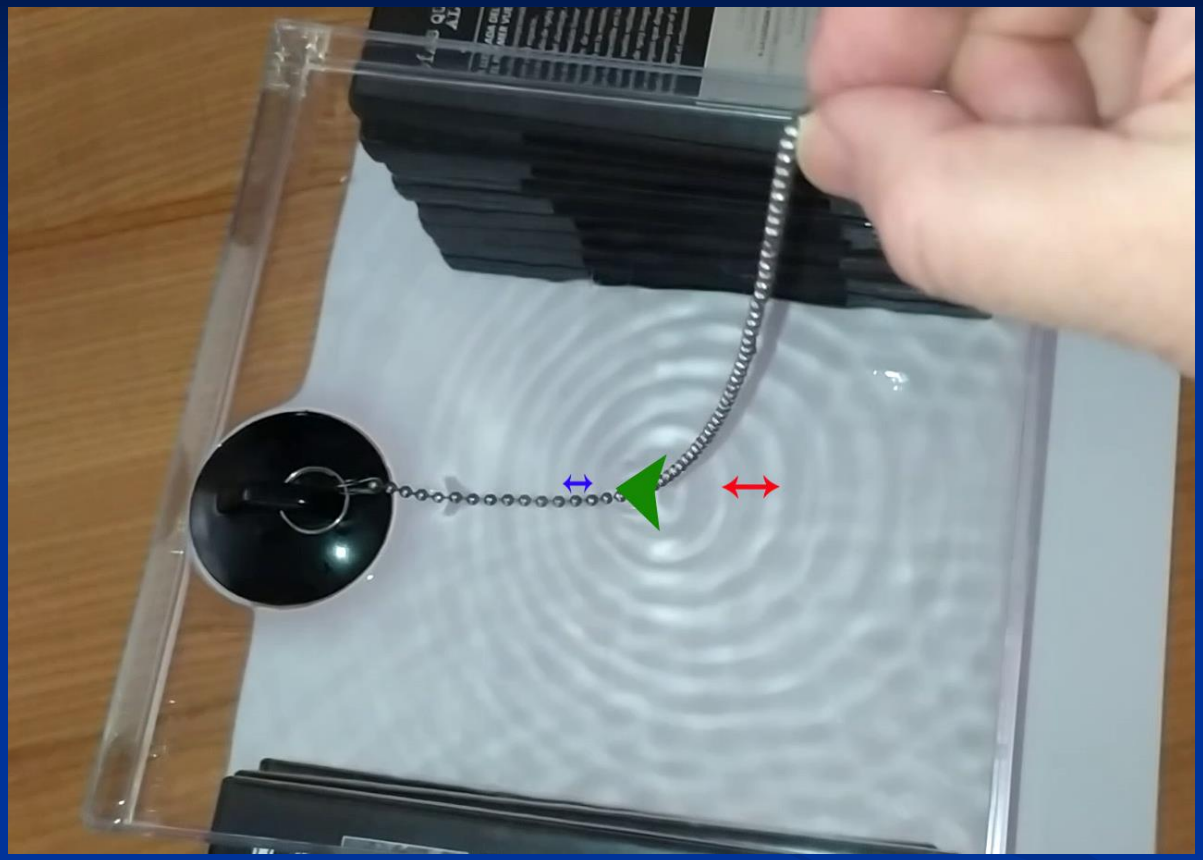
-عندما يقترب مصدر الضوء يُصبح الطول الموجيّ أقصرَ، ويبدو الضوء المرئيّ متحوّلًا إلى اللّون الأزرق من طيف الضوء المرئيّ.

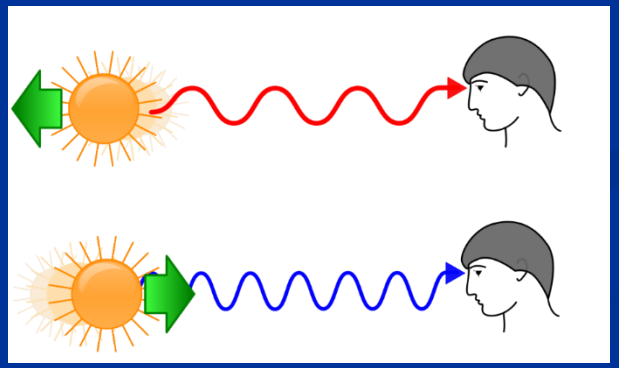
-أمّا عندما يبتعد مصدر الضوء، فإن الطول الموجيّ يزداد، ويبدو الضوء متحوّلًا إلى اللون الأحمر من طيف الضوء المرئيّ.



النشاط 13: تأثير دوبلر

تجربة تأثير دوبلر عن طريق سدّادة الماء، وهي غطاءٌ بلاستيكيّ متصلٌ بسلسلة معدنيّة وضوء الهاتف

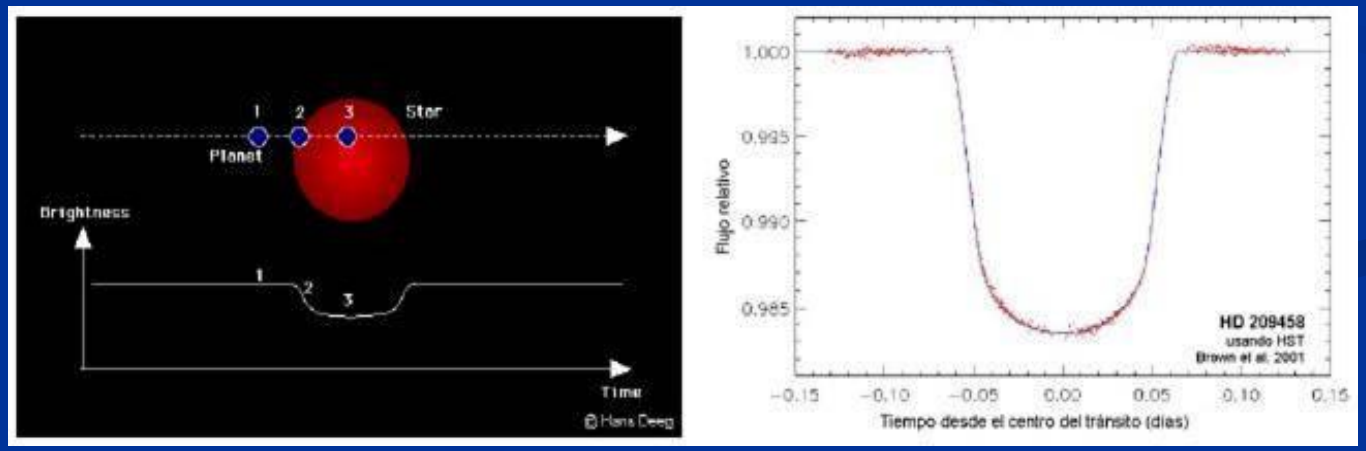




طريقة الكشف باستعمال ظاهرة العبور

أثناء عبورِ كوكب خارجيٍّ، فإنّ شدّة لمعان النجم المركزي الذي يدورُ حوله الكوكب الخارجيّ، تنقصُ بشكلٍ خفيفٍ.

أمّا النجوم من فئة النجوم التي تنتمي إليها الشمس، فإن كان حجم الكوكب الذي يدور حولها يُقارب حجمَ كوكب المشتري، فإن شدّة لمعانها أثناء ظاهرة العبور، تنقص بنسبة 1 بالمائة. في حين تنقص شدّة اللّمعان بنحو 0,01 بالمائة، إن كان الكوكبُ بحجم الأرض.



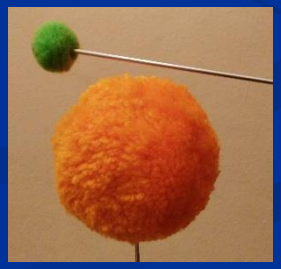
النشاط 14: مُحاكاةُ العبورِ

باستعمال كُريّتيْن: إحداهما كبيرة (تُمثِّل الشمس) والأخرى صغيرة (تمثِّل الكوكب الخارجيّ الذي يعبُر النجمَ)

عندما تكون عين المُشاهِد في المستوِي نفسِه مع المدار، فإنّك ترى أن الكوكب الخارجيّ عندما يعبر أمام النجم فإنّه يحجُب جزءًا منه، وبذلك تنقُص شدّة لمعان النجم قليلًا.

لكن إن لم تكُن عينُ المشاهد في المستوي نفسِه مع المدارِ، فلن تلاحِظَ أي تغيّرٍ في منحنى شدّة لمعان النّجم

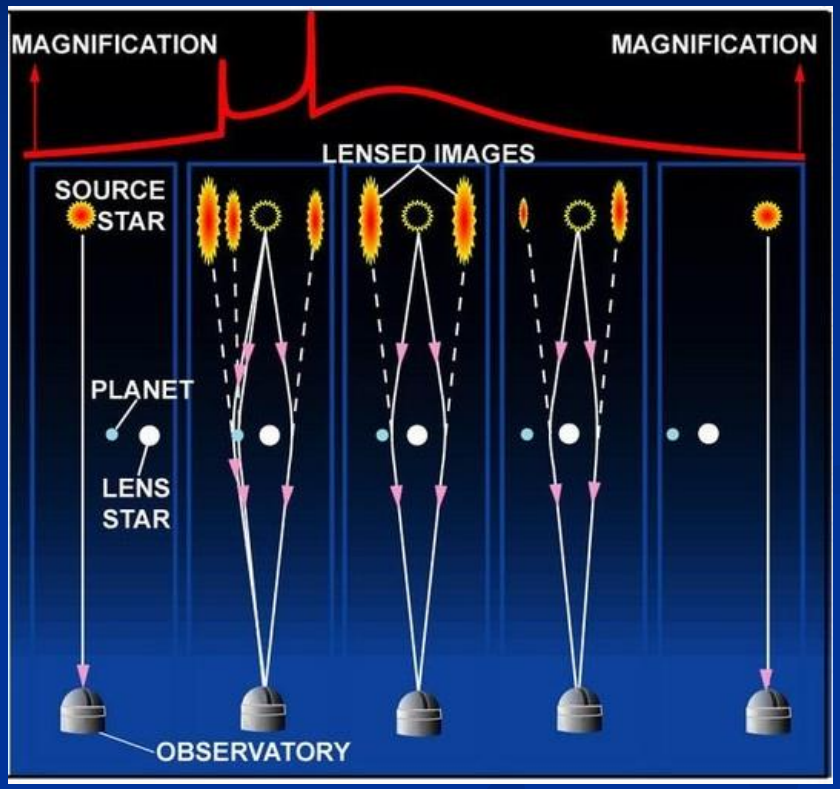
مُشاهِدٌ في المستوي نفسه للمدار



مُشاهِدٌ في مستوٍ مختلفٍ عن مستوي المدار

طريقة الكشف باستعمالِ العدساتِ المجهريّة

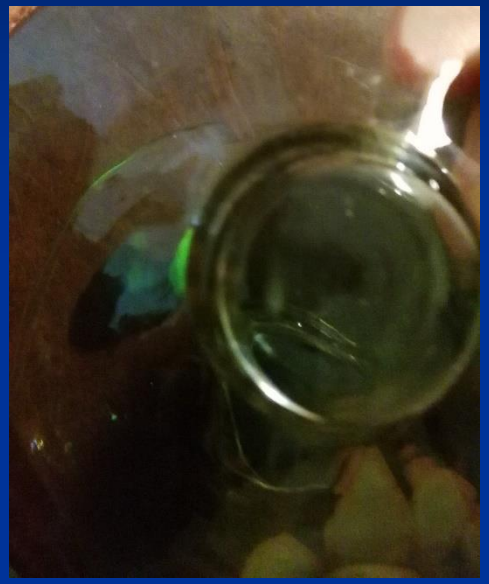
يوجدُ تشوّه أو توسّعٌ يميّز النظام النجمي للكواكب الخارجيّة، وذلك بسببِ اصطفافِ كواكب النظام على خطٍّ واحدٍ مع النجم أو الجسم الذي يكوّنُ العدسة التجاذبيّة.



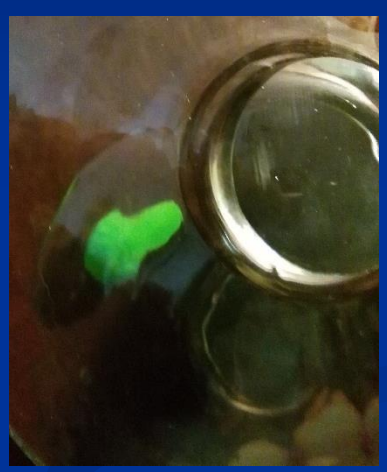
لا بُدّ أن يوجدَ اصطفافٌ خطّي كاملٌ مرئيّ

There must be co بين الأجسام الثلاثة: الأرض، جسم العدسة والنجم الذي يدور حوله الكوكب الخارجيّ)

النشاط 15: مُحاكاة العدسات المجهريّة



لا يمكن رؤية أي شيءٍ باستعمال قاعدة الكأس لوحدها

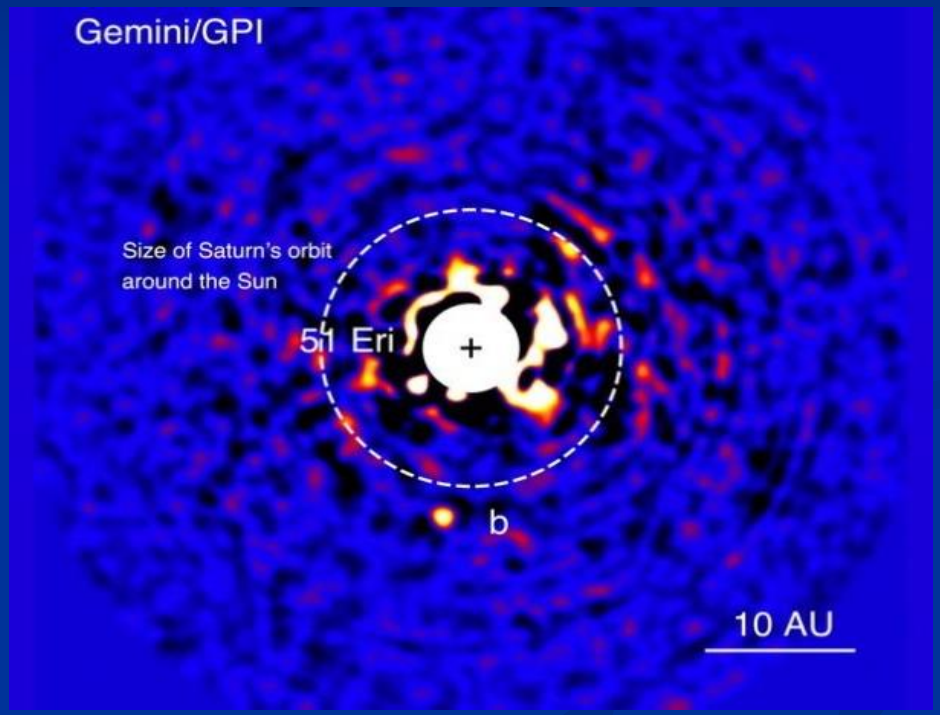


عند استعمال زوجٍ من قواعدِ كأس العصير

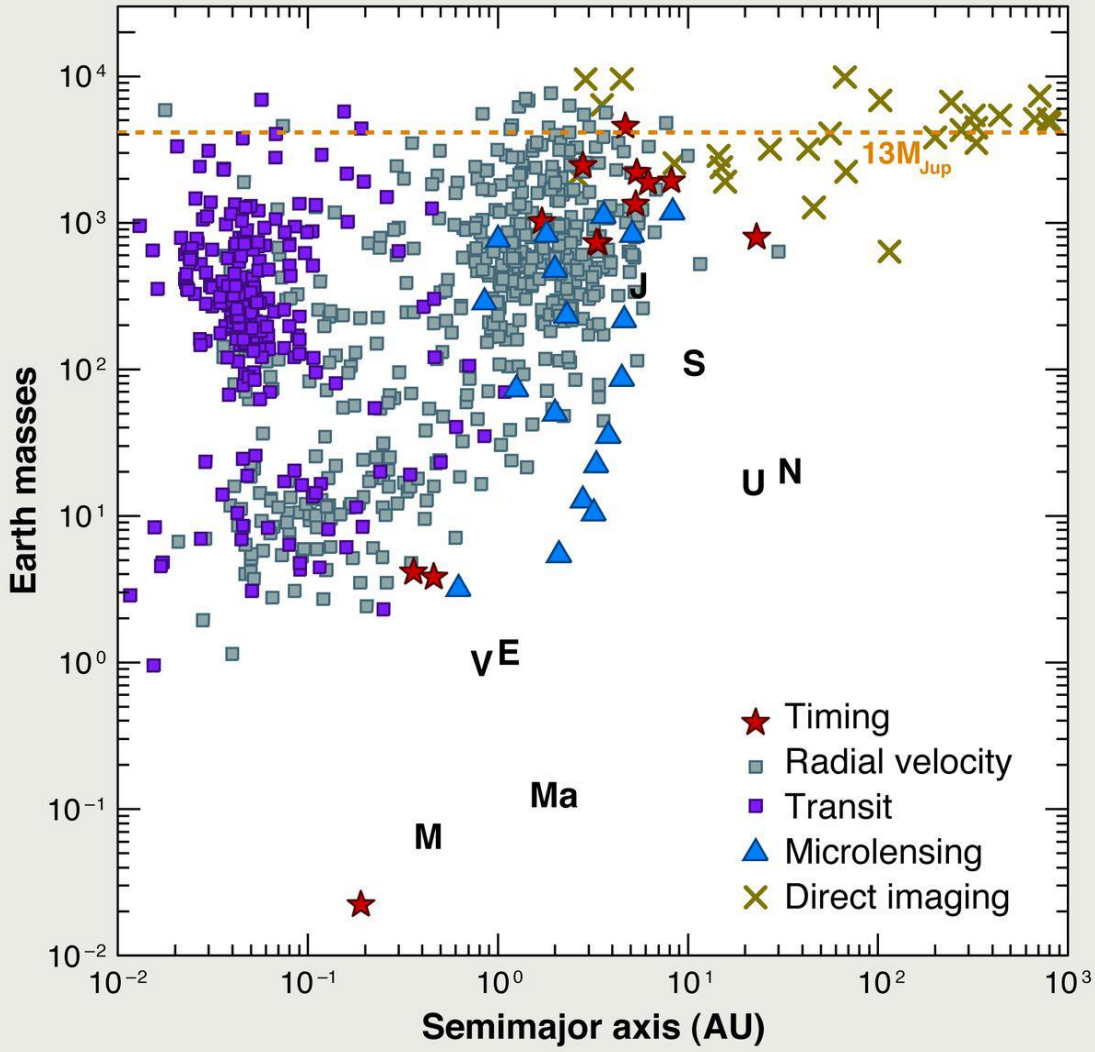
فإنّ لضوء يعبر من قاعدة فوق أخرى، مشكّلًا نقطة ثم اثنتين.

طريقة الرصدِ المُباشرة

تُدرَسُ صورة النجم بهدفِ تحديد الكواكب الخارجيّة المحيطة بها



إنّ الضوء المنبعث من النجم يجعل طريقة الرصد المباشرة صعبةً للغاية



2013 الكواكب الخارجيّة التي اكتُشِفت بواسطة طرق الكشف عن الكواكب الخارجيّة

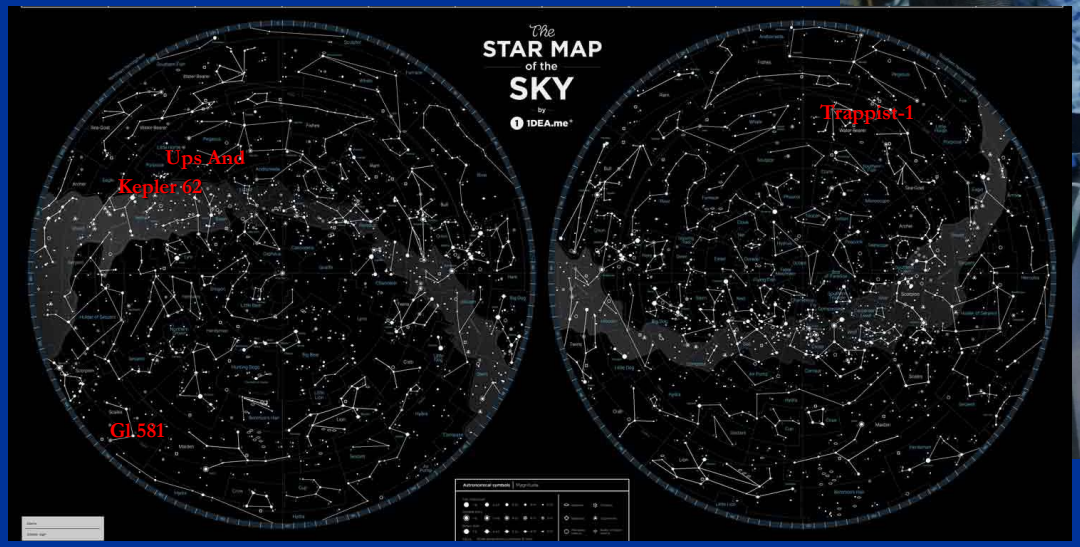
نماذجُ أنظمة الكواكبِ الخارجيّة

هناك أكثرُ من 2000 نظامِ كواكبَ خارجيةٍ تأكّد اكتشافُها، إضافةً إلى قائمة أخرى من آلافِ الكواكب الخارجيّة التي يُنتظَر تأكيد اكتشافها.

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

كُتلُ هذه الكواكب تُقارن مع المشتري (1.9×10^{27} كغ) أو الأرض (5.97×10^{24} كغ)، وذلك بسبب محدوديّة قدرات التكنولوجيا الحاليّة في الحصول على معلومات أكبر حول كتلة وخصائص هذه الكواكب.

النشاط 16: نماذجُ مقياس الكواكب الخارجيّة



المسافة: كلّ 1 وحدة فلكيّة = 1 م
مقياس القطر: 1000 كلم= 0,5 سم

النشاط 16: بناءُ النظام الشمسيّ

النظام الشمسيّ	المسافة بالوحدة الفلكيّة AU	القطر (كلم)	نموذج المسافة	نموذج القطر
عطارد	0.39	4879	40 م	0.2 سم
الزهرة	0.72	12104	70 م	0.6 سم
الأرض	1	12756	1 م	0.6 سم
المريخ	1.52	6794	1.5 م	0.3 سم
المشتري	5.2	142984	5 م	7 سم
زحل	9.55	120536	10 م	6 سم
أورانوس	19.22	51118	19 م	2.5 سم
نبتون	30.11	49528	30 م	2.5 سم

في هذا النموذج الشمس هي النجم المركزيّ G2V
بأخذ 35 سم قُطرًا للشمس

مقياس المسافة: كلّ وحدة فلكيّة AU= 1 م
مقياس القطر: كلّ 1000 كلم= 0.5 سم

النشاط 16: بناءُ أوّل نظامِ كواكب خارج المجموعة الشمسيّة

Upsilon Andromedae Titawin كواكب النظام النجميّ أبسيولن أنروميدا تيطاوين	سنة الاكتشاف	المسافة بالوحدة الفلكيّة AU	القطر (كلم)	نموذج المسافة	نموذج القُطر
Ups And b/Saffar	1996	0.059	108 000	6 سم	5.5 سم
Ups And c/Samh	1999	0.830	200 000	83 سم	10 سم
Ups And d/Majriti	1999	2.510	188 000	2.5 م	9 سم
Ups And e/Titawin e	2010	5.240	140 000	5.2 م	7 سم

يبعد النجم الحاضنُ المركزيّ F8V Ups Andromedae بـ 44 سنة ضوئيّة، يبلغ قطره 1,28 من قطر الشمس، أمّا في النموذج فيساوي 45 سم.

مقياس المسافة: كلّ 1 وحدة فلكيّة= 1 م

مقياس القطر: كلّ 1000 كلم= 0,5 سم

النشاط 16: بناء كواكب قابلة للحياة شبيهةٍ بالأرض

كواكب نظام النجم Gliese 581	سنة الاكتشاف	المسافة بالوحدة الفلكيّة AU	القطر (كلم)	نموذج المسافة	نموذج القطر
Gl.581 e	2009	0.030	15 200	3 سم	0.8 سم
Gl.581 b	2005	0.041	32 000	4 سم	1.6 سم
Gl.581 c	2007	0.073	22 000	7 سم	1.1 سم

يبعدُ النجم الحاضن المركزيّ Gliese 581 M2,5V بـ 20,5 سنة ضوئيّة، ويبلغ قطره 0,29 من قطر الشمس، أي 10 سم بمقياس النموذج

مقياس كلّ وحدة فلكيّة = 1 م

مقياس كلّ 10000 كلم= 0,5 سم

النشاط 16: بناء كواكب قابلة للحياة شبيهةٍ بالأرض

كواكب نظام النجم كبلر 62 Kepler 62	سنة الاكتشاف	المسافة بالوحدة الفلكيّة AU	القطر (كلم)	نموذج المسافة	نموذج القطر
Kepler-62 b	2013	0.056	33 600	5.6 سم	1.7 سم
Kepler-62 c	2013	0.093	13 600	9 سم	0.7 سم
Kepler-62 d	2013	0.120	48 000	12 سم	2.4 سم
Kepler-62 e	2013	0.427	40 000	43 سم	2 سم
Kepler-62 f	2013	0.718	36 000	72 سم	1.8 سم

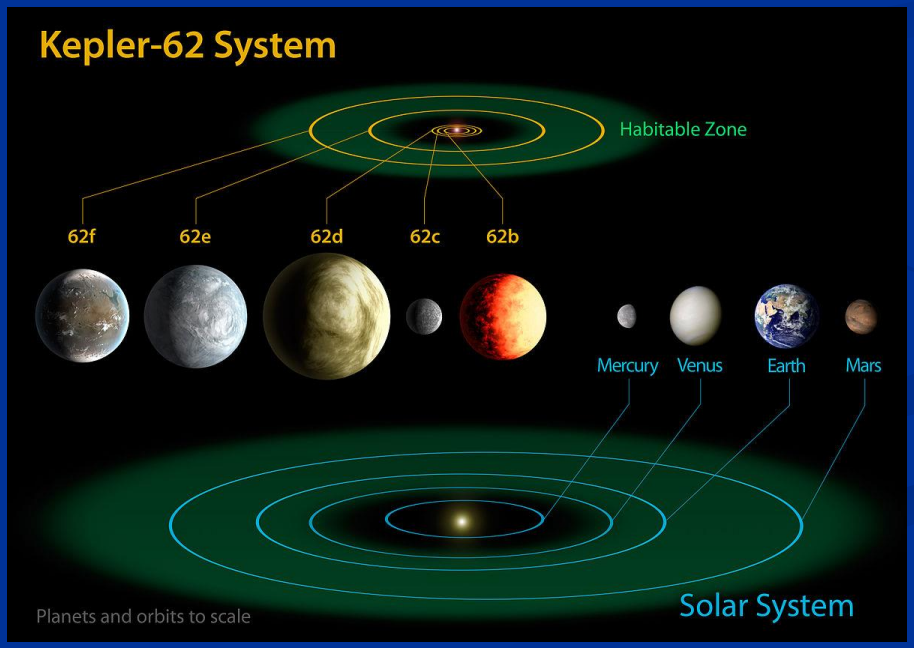
يبعدُ النجم المركزيّ في هذا النظام النجميّ Kepler 62 K2V بـ1200 سنةً ضوئيةً في كوكبة الميزان، ويبلغ قطره 0,64 من قطر الشمس، أي 22 سم في مقياس النموذج

مقياس المسافة: كلّ وحدة فلكية = 1 م

مقياس القطر: 1000 كلم= 0,5 سم

المناطق الممكنةُ القابلة للحياة ف الكواكب الخارجيّة

- في المنطقة القابلة للحياة للنجم كبلر 62 (Kepler-62)، نجدُ أنّ كوكبين خارجيين يدوران حول هذا النجم يمكنُ أن يوجد على سطحهما ماءٌ في حالة سائلة.
- أوّلُهما الكوكب الخارجيّ Kepler-62e القريب من المنطقة الداخليّة القابلة للحياة، الذي يحتمل أن يكون غلافه الجوّي مُغطًّى بالسحب العاكسة التي تمنع اختراق الإشعاعات الكونيّة المسبّبة لارتفاع درجة حرارة الكوكب.
- أمّا ثانيهما وهو كوكب Kepler-62f فيقعُ في المنطقة الخارجيّة القابلة للحياة في هذا النظام النجميّ للكواكب الخارجيّة



Activity 16: Build “habitable terrestrial”planets

نزام الكواكب لنجم Trappist-1	سنة الاكتشاف	المسافة بالوحدة الفلكيّة AU	طول القطر (كلم)	نموذج المسافة	نموذج القُطر
Trappist-1 b	2016	0.012	28 400	1.2 سم	1.4 سم
Trappist-1 c	2016	0.016	28 000	1.6 سم	1.4 سم
Trappist-1 d	2016	0.022	20 000	2.2 سم	1.0 سم
Trappist-1 e	2017	0.030	23 200	3.0 سم	1.2 سم
Trappist-1 f	2017	0.039	26 800	3.9 سم	1.3 سم
Trappist-1 g	2017	0.047	29 200	4.7 سم	1.5 سم
Trappist-1 h	2017	0.062	19 600	6.2 سم	1.0 سم

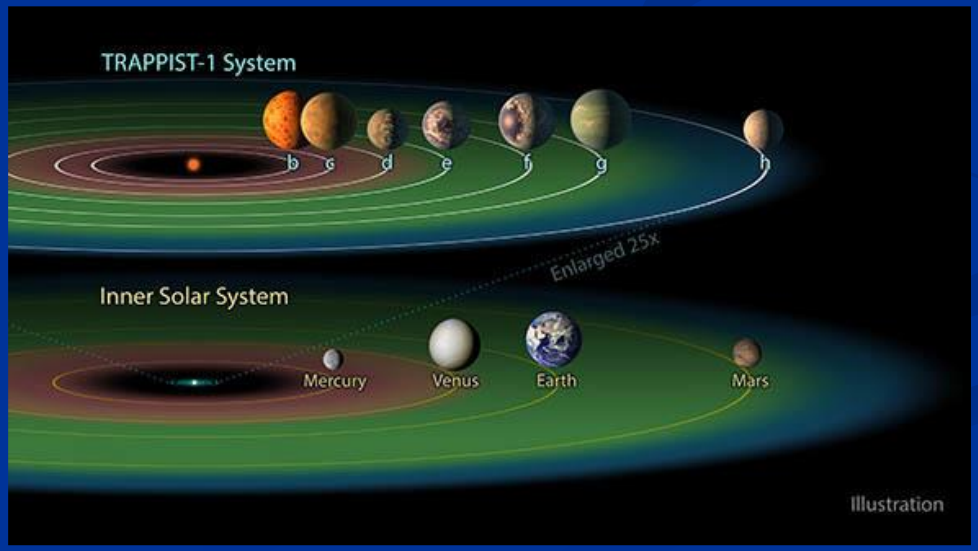
يبعدُ النجمُ الحاضن المركزيّ Trappist 1 M8V بـ 40 سنة ضوئيّة في كوكبة الدلو،
يبلغ طول قطره 0,1 من قطر الشمس، بأخذ 4 سم في مقياس نموذجه

مقياس المسافة: كل 1 وحدة فلكيّة= 1 م

مقياس القطر: كلّ 10000 كلم= 0,5 سم

المناطق المُمكنة القابلة للحياة في الكواكب الخارجيّة

- نظام ترابيست 1 (Trappist-1) هو نظامُ من الكواكب الخارجيّة الصخريّة التي يمكن أن تحويَ الماء على سطحِها، سواء في حالته السائلة في شكل بُخار أو في حالته المتجمّدة على شكل قشرة جليديّة
- في المنطقة القابلة للحياة لنظام النجم Trappist 1 يوجدُ الكوكب الخارجيّ Trappist-1e الذي يبدو أنّه يتميّز بنواة ذاتِ كثافةٍ عالية مقارنة بالأرض. وذلك يدلّ على أنه أكثر كوكبٍ خارجيّ شبيه بالأرض في هذا النظام النجميّ، ومن المحتمل أن يوجد به غلافٌ جوّيٌ مغناطيسيّ يحميه.



خلاصة

- معرفتنا عن خصائص الكواكب تتطوّر وتصبح أكثر دقةً
- العلاقات الرياضيّة والفيزيائيّة المختلفة ترسي عواملَ من شأنها تحسين فهمنا لأبعاد الكواكب والأنظمة النجميّة
- النظام الشمسيّ «فارغٌ» تقريبًا
- التعرّف إلى الكواكب الخارجيّة وطرق رصدِها والكشف عنها

شكرًا للمتابعة