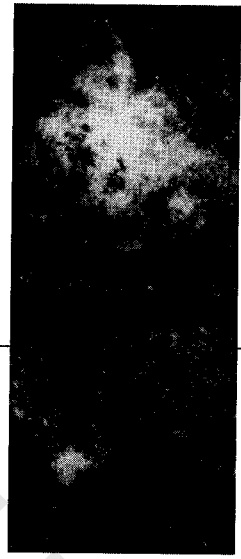
8

استكشاف المنظومة الشمسية



وأخيراً سنضع الشمس نفسها في مركز الكون.

نيكولاس كوپرنيكوس
De Revolutionibus Orbium Coelestium (1543)

الأهداف:

- ذِكر عناصر المجموعة الشمسية.
- بيان الفرق الأساسي بين الكوكب والنجم.
- إيراد الدليل الداعم للنظرية السديميّة في تكوين المنظومة الشمسية.
- ذِكر أطوار القمر.
- إعطاء لمحةٍ إلى تطوُّر إدراكنا للمنظومة الشمسية، مع الإشارة إلى إسهامات كلٍّ من بطليموس، وكوپرنيكوس، وغاليليو، وتيخو براهه، وكپلر، ونيوتن.
- عرض القوانين التي تحكُم حركةَ الأجسام تحت تأثير قوة الثقالة.
- تفسير الحركات الظاهرية للكواكب، ومنها الحركة التراجعية.

obeikandl.com

- بيان الاختلاف بين الشهر الفلكي للقمر وشهره الاقتراني.
- التمييز بين دوران الأجرام السماوية في مداراتها ودورانها حول محاورها.
- عرض حركات السواتل الطوّافة حول الأرض ومَرْكبات الفضاء البَيْكوكبيَّة (بين الكواكب).
- مقايسة الخصائص العامة للكواكب التسعة الكبيرة وأقمارها.
- وصف الكويكبات (الكواكب الثانوية).

1.8 وصف عام

تتألَّف منظومتُنا الشمسيةُ solar system من الشمسِ وجميعِ الأجرام المرتبطة بها تثاقلياً ـ وهي الكواكب التسعة مع أقمارها، والكويكبات (تسمى أيضاً الكواكب الثانوية)، والمذنَّبات، والغبار والغاز البَيْكوكَبيّ.

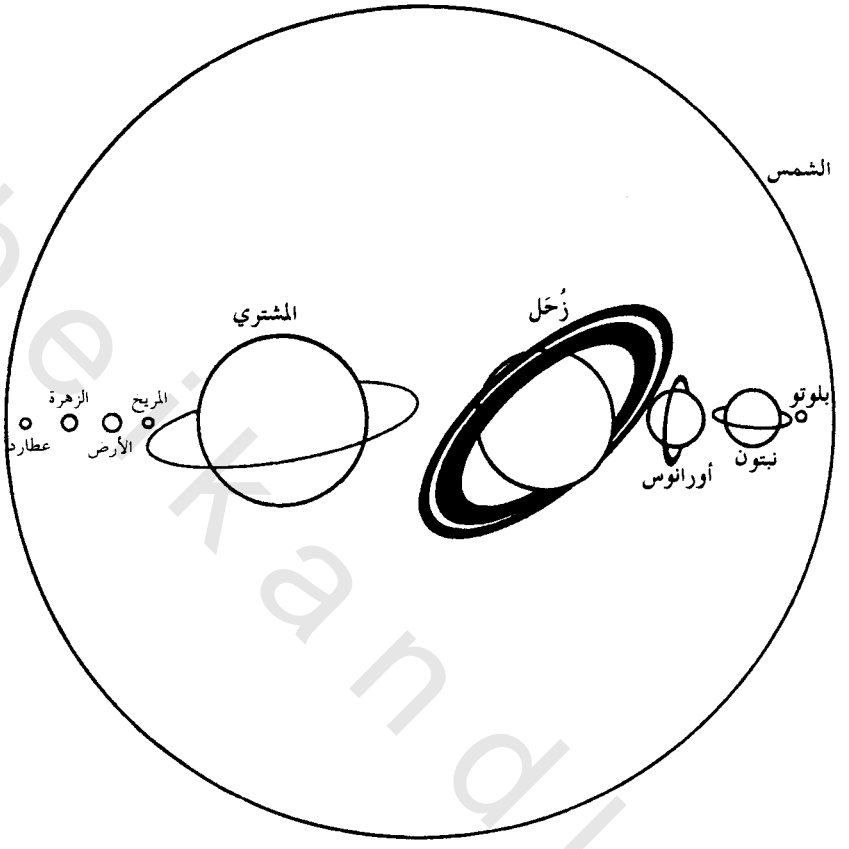
والكواكبُ planets أجرامٌ تدور حول النجوم مباشرةً، والأقمارُ moons أجرامٌ تدور حول الكواكب. والكواكب وأقمارها أخفض كتلةً وحرارةً من النجوم؛ فالنجوم تولِّد ضوءَها من ذاتها، خلافاً للكواكب والأقمار التي لا تكفي كتلتُها لإحداث تفاعلات الاندماج النووي اللازمة للاشتعال، فهي إذاً تضيء بانعكاس ضوء النجوم عليها.

تتفاوت كواكبُ منظومتنا الشمسية من حيث الكتلة؛ فأخفُّها بلوتو وأثقلها المشتري، الذي تبلغ كتلتُه 318 مرة كتلةَ الأرض. إلا أن كتلةَ الكواكبِ كلِّها مجتمعةً لا تزيد على 0,001 كتلةَ الشمس.

وتتفاوت الكواكبُ كذلك من حيث الحجم؛ فأصغرها بلوتو وأكبرها المشتري، الذي يبلغ قطره 0,1 قطرَ الشمس (الشكل 1.8).

ما الفرق الأساسي بين الكوكب والنجم؟ .....

.....



الشكل 1.8 الحجوم النسبية للكواكب. (ليست وفق مقياس رسمٍ مع الشمس).

الجواب: الكوكبُ أخفضُ كتلةً وحرارة من النجم، وهو يضيء بفعل انعكاس ضوء نجمٍ عليه. (يولِّد النجمُ ضوءَه من ذاته).

2.8 منشأ الكواكب

تكوَّنت المنظومةُ الشمسيةُ ـ وفقاً لنموذج السديم الشمسي solar nebular model ـ منذ نحو خمسة مليارات سنة من سحابةٍ بَيْنجميّة شرقية دوّارة (الفقرة 3.4). تقلَّص السديمُ إلى الشمس البدائية proto-Sun التي يكتنفها قرصٌ دوّار

تكوَّنت فيه الكواكبُ من تنامي الغبار والغاز (الشكل 4.4). ثم بَدَّدَت الشمسُ الوليدةُ معظمَ الغاز والغبار المتخلِّف.

ويجد علماء الفلك في خصائص المنظومة الشمسية اليوم ما يعضد النظريةَ السديمية هذه.

تطوف revolve الكواكبُ جميعُها حول الشمس في اتجاه واحد من الغرب إلى الشرق، أي عكس اتجاه حركة عقارب الساعة كما تُرى من فوق. تسمى حركةُ الكواكب هذه الحركة الطرديَّة direct motion (الشكل 2.8). وتدور الكواكبُ كذلك حول محورها في الوقت الذي تطوف فيه حول الشمس. ووُجد أنّ دورانَها جميعاً حول محاورها (فيما عدا الزُّهَرة وأورانوس) طرديٌّ أيضاً.

يسمى المستوي الوسطي لمدار الأرض حول الشمس مستوي فلك البروج ecliptic. ويلاحَظ أن مداراتِ كلِّ الكواكب تقع في مستوٍ واحد تقريباً، وكأنها مسارب في مضمار سباق. أما مَيْل inclination كوكب بلوتو، وهو الزاوية الواقعة بين مستويه المداري وفلك البروج، فهو حالةٌ خاصَّةٌ شاذّة (الجدول 2.8).

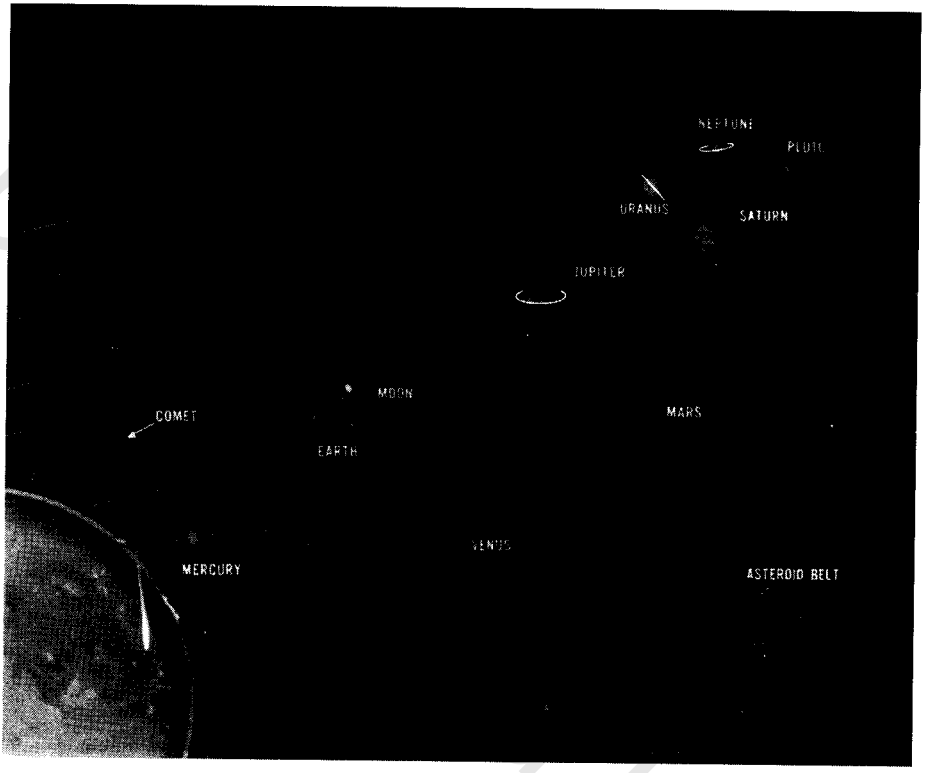
وتسمّى الكواكبُ التي تقع مداراتُها أقربَ إلى الشمس من بُعد مدار الأرض عن الشمس الكواكبَ السُّفلية inferior، في حين تسمى الكواكبُ التي تقع مداراتُها خارجَ مدار الأرض الكواكبَ العُلوية superior.

بالاستعانة بالشكل 2.8 عدِّد (أ) الكواكب السُّفلية و(ب) الكواكب العُلوية.

(أ) .....

(ب) .....

الجواب: (أ) عطارد والزُّهَرة؛ (ب) المريخ والمشتري وزُحل وأورانوس ونبتون وبلوتو.



الشكل 2.8 ترتيب مدارات الكواكب حول الشمس (بدون التقيّد بمقياس رسم معيّن).

3.8 أسماء أيام الأسبوع

هناك خمسةٌ من الكواكب ـ هي عطارد والزُّهرة والمرّيخ والمشتري وزُحَل ـ تبدو في السماء كنجوم شديدة السطوع. وقد عرفَ الأقدمون هذه الكواكبَ الخمسةَ الساطعةَ إضافةً إلى الشمس والقمر، واعتقدوا أنَّ كلاً منها يهيمن على أحد أيام الأسبوع أو يحكمه، فسُمّي باسمه (باللاتينية).

وأسماء الأسبوع التي نستعملها [بالإنكليزية] مستوحاةٌ من الأنغلو ـ سكسونيّين الذين وضعوا لها أسماء للآلهة بدلاً من أسمائها الرومانية. أما أسماء الأيام بالفرنسية والإسبانية فهي مطوَّعةٌ عن اللغة اللاتينية مباشرة.

الجدول 1.8 أيام الأسبوع

اليوم	الجِرم الحاكم	المقابل الأنغلو - سكسوني	باللاتينية	بالفرنسية	بالإسبانية
(الأحد)	الشمس	–	Dies Solis	Dimanche	Domingo
(الإثنين)	القمر	–	Dies Lunae	Lundi	Lunes
(الثلاثاء)	المرّيخ	Tiw	Dies Martis	Mardi	Martes
(الأربعاء)	عطارد	Woden	Dies Mercurii	Mercredi	Miercoles
(الخميس)	المشتري	Thor	Dies Jovis	Jeudi	Jueves
(الجمعة)	الزُّهرة	Frigg	Dies Veneris	Vendredi	Viernes
(السبت)	زُحل	Seterne	Dies Saturni	Samedi	Sabado

بالاستعانة بالجدول 1.8 اذكر: (أ) أيّ أيام الأسبوع [بالإنكليزية] أقرب إلى اسم الآلهة اللاتينية الأصلية؟ .....؛ (ب) أيها يحمل أسماء الآلهة الأنغلو - سكسونية؟ .....

.....

الجواب: (أ) Saturday؛ (ب) Tuesday، Wednesday، Thursday، Friday.

4.8 أطوار القمر

القمر هو التابعُ الطبيعيُّ الوحيد للأرض، وهو يطوف حولها في الوقت الذي يطوف كوكبُنا حول الشمس، وينوِّر في السماء من انعكاس ضياء الشمس عليه.

يتغيَّر مظهرُ القمر بانتظامٍ كلَّ شهر. وتُنيرُ الشمسُ نصفَه دوماً، لكن الشكلَ الساطعَ الذي نراه للقمر من الأرض (والذي يسمّى طور القمر phase) يتبدَّل في أثناء دورانه حولها. تسمى هذه الدورةُ المتواترة دوريّاً لأشكاله

الظاهرية أطوار القمر phases of the Moon[1].

تأمَّل الشكل 3.8 ولاحظْ أنَّ القمرَ الجديد new Moon مظلمٌ، وغيرُ مرئيٍّ في السماء لأن الوجهَ المظلم للقمر يكون مقابلاً للأرض. ثم ما يلبث بعد بضعة أيام أن يعقبه الهلالُ المتنامي waxing crescent، الذي كثيراً ما يُرى قرصُه مُناراً إنارةً خافتةً بضوء الشمس منعكساً من الأرض، في ظاهرةٍ تسمى الوهج الأرضي earthshine.

بانقضاء نحو سبعة أيام على قمر جديد يكون قد قطَعَ رُبُعَ دورته حول الأرض، فيبزغ وقتَ الظهيرة، ونتمكن من رصد ما يسمى نور الرُّبع الأول first quarter[2]. يلي ذلك مرحلة القمر المحدودب المتنامي waxing gibbous، حيث يكون أكثر من نصف قرصه المنير مرئياً من الأرض.

وبمرور نحو أسبوعين من دورته يصير القمرُ بدراً full Moon ينير السماء طوال الليل بتمام قرصه الوضّاء. يُذكر أن القمرَ البدرَ يحدث 12,37 مرة في كلِّ سنة[3]. ومن ثم فإن حدوث بَدْرَيْن في شهرٍ واحد يمكن أن يصادف مرةً كلَّ 2,72 سنتين في المتوسط. يسمى القمرُ البدرُ الثاني في شهرٍ معيَّن القمرَ الأزرق[4] blue Moon. ومما يحدث مرةً كلَّ 19 سنة تقريباً أنْ يَقَعَ في السنة شهران بقمرَيْن بَدْرَيْن، ذلك لأن شهر شباط (فبراير) لا يحدث فيه قمرٌ بدر.

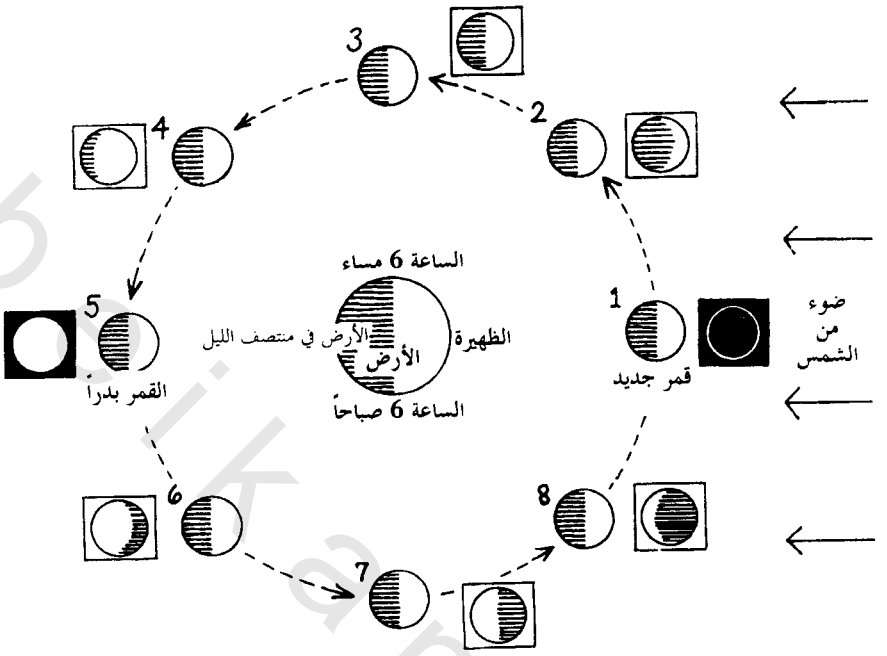
---

(1) وفي التنْزيل العزيز: (والقمرَ قَدَّرْناهُ مَنازِلَ حتى عادَ كالعُرْجونِ القديم([يس 39]. (المعرِّب)

(2) الربع الأول: وجهٌ من أوجه القمر عندما يكون قريباً من تربيعه الشرقي، أي حين يكون نصفُه الغربي مرئياً للناظر إليه من الأرض. (المعرِّب)

(3) أي في كل سنة شمسية، لأن السنة الشمسية تزيد 11 يوماً تقريباً على السنة القمرية. (المعرِّب)

(4) إن العبارة الإنكليزية «once in a blue moon» تفيد أمراً نادر الوقوع، أو «مرةً كلَّ حين». وهي ـ بترجمتها الحرفية: «مرةً عند كلِّ قمرٍ أزرق» ـ لها أساسٌ من الواقع؛ فقد يبدو القمر أزرق اللون في حالاتٍ نادرة، بسبب وجود جسيماتٍ في الغلاف الجوّي الأرضي. (المعرِّب)



الشكل 3.8 أطوار القمر ـ كما تُرى من الأرض ـ مرسومةٌ ضمن مربَّعات. تضيء الشمسُ نصفَ القمر دوماً، كما يظهر في الدائرة الداخلية. يُحسَب مطال القمر باتجاه الشرق من السماء، مع العلم بأن المطالات: 0 و 90 و 180 و 270 تقابل أطوار قمر جديد، وتربيعِه الأول، والقمرِ البدر، وتربيعِه الأخير، على الترتيب.

ينمحق الجزءُ المرئيُّ من قرص القمر الساطع، أي يبدأ بالتناقص wane، بعد أن يستكمل القمرُ رحلتَه حول الأرض في غضون الأسبوعين الأخيرين من دورته.

إن متوسط الزمن الذي يتطلَّبه القمرُ ليكرِّر أطوارَه المذكورة آنفاً يبلغ 29,5 يوماً، ويسمّى الشهرَ الاقتراني synodic month أو lunation. وفي هذا السياق، فإن عُمر القمر يُقاس اعتباراً من غرَّته [إلى غرَّته التالية].

حدِّدِ الأطوارَ المقابلةَ لمواقع القمر المشار إليها في مداره حول الأرض، كما هي معلَّمةٌ في الشكل 3.8: (أ) هلالٌ متنامٍ .....؛

(ب) التربيع الأول .....؛ (ج) محدودبٌ متنامٍ .....؛ (د) محدودبٌ متناقص (منمحق) .....؛ (هـ) التربيع الثالث .....؛ (و) هلالٌ منمحق .....

✪ ارقُبِ القمرَ يومياً مدةَ شهرٍ إن استطعت. دوِّن أرصادك في ما يتصل بمظهره الساطع، وموقعِه بالنسبة إلى الشمس، ووقت بزوغه وأُفوله. استفِدْ من المعلومات الواردة في هذا الفصل لتفسير التغيُّرات التي تلاحظها.

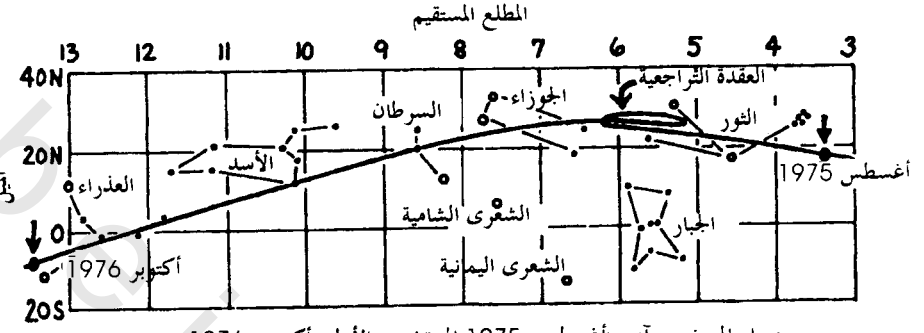
5.8 رصد الكواكب ✪

يتعذَّر تحديد مواقع الكواكب على الخرائط النجميّة، لأن النجوم تحافظ على مواقعها النسبية في السماء عشرات السنين، وأما الكواكبُ فلا. وكلمة planet (كوكب) مشتقةٌ من كلمة يونانية تعني «الطوّاف» أو «الجوّال». وتتحرَّك الكواكبُ عبر الكرة السماوية قريباً من فلك البروج.

يَظهر كوكبا الزُّهرة وعطارد وهما يتحرَّكان في سماء الأرض إلى الأمام وإلى الخلف على جانبَي الشمس. ويبلغ المطال elongation الأعظمي (وهو بُعد الكوكب شرق الشمس أو غربها) للزُّهرة 48° ولعطارد 28°.

وتطوف الكواكبُ: المرِّيخ والمشتري وزُحَل نحو الشرق عموماً في ما بين كوكبات دائرة البروج. وتبدو الكواكب في بعض الأحيان وقد عَكَسَتِ اتجاه حركتها نحو الغرب بما يُطلَق عليه اسم الحركة التراجعية retrograde motion، إلى حينٍ قبل أن تستأنف حركتها الطردية. تسمى هذه الحركةُ الخلفيةُ الظاهرية، ثم استئناف الحركةِ الأماميةِ من جديد العقدةَ التراجعية retrograde loop (الشكل 4.8).

وبإمكانك معرفة المواقع الدقيقة للكواكب في ليلةٍ ما عن طريق المنشورات الفلكية وبرمجيات الكمبيوتر والتقاويم (انظر «مصادر مفيدة» في نهاية الكتاب).



مسار المريخ من آب (أغسطس) 1975 إلى تشرين الأول (أكتوبر) 1976

الشكل 4.8 رصد مواقع متعاقبة لكوكب المرّيخ في ما بين كوكبات دائرة البروج، في أثناء رحلات مركبة الفضاء الأمريكية فايكينغ التاريخية إلى الكوكب الأحمر.

اقترِحْ طريقةً للبحث عن كوكبٍ معيَّن كالمشتري في السماء الليلةَ .....

.....

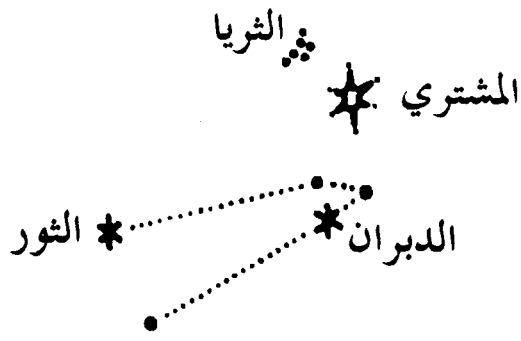
.....

.....

.....

.....

الجواب: بالاستعانة بالمنشورات الفلكية أو برمجيات الكمبيوتر أو أحد التقاويم العلمية، حدِّدْ أولاً الكوكبةَ التي يقع فيها كوكبُ المشتري اليومَ من دائرة البروج. ثم عيِّنْ موقعَ الكوكبة على خرائطك النجميّة. افترضْ ـ على سبيل المثال ـ أنك وجدتَ المشتري في كوكبة الثور. فإذا وُجدت هذه الكوكبةُ في السماء الليلةَ استطعتَ رصد المشتري بسهولة، وكان هو «النجم» الساطع الذي لا ينتمي إلى الكوكبة (الشكل 5.8).



الشكل 5.8 كوكب المشتري في كوكبة الثور.

✪ دوِّن موقعَ كلٍّ من كوكَبَي الزُّهَرة والمرِّيخ على مدى عدة شهور. حاولْ رصدهما في السماء إن استطعت. استعِنْ بالمعلومات الواردة في هذا الفصل لتفسير الحركات التي ترصد.

6.8 نبذة تاريخية

أدى البحثُ عن تفسيرٍ بسيط للحركات المرصودة للكواكب في السماء إلى إحداث تغييرٍ في نظرة الإنسانية إلى هذا العالَم.

وصفَ عالِمُ الفلك الإسكندريُّ بطليموس Ptolemy في كتابه «الْمِجَسْطِي» Almagest ـ الذي قد يرقى إلى السنة 150 بعد الميلاد ـ النموذجَ الأرضيَّ المَرْكزِ geocentric model للكون[1]. وقد شَجَّعَ اعتقادُهم آنذاك أن الدائرةَ شكلٌ «تام» يمثِّل الكمال، على افتراض أن الشمسَ والقمرَ والكواكبَ تتحرك على دوائرَ صغيرةٍ أطلقوا على كلّ واحدة منها اسم الدُّحروج epicycle، تدور مراكزُها حول الأرض على دوائر أكبر منها سَمَّوها دوائرَ بطليموس deferents.

(1) أي الذي عُدَّت فيه الأرضُ مركزَ الكون. (المعرِّب)

ولِمَا يربو على أربعةَ عشر قرناً من الزمن لقيَ هذا النظامُ البطليموسيُّ Ptolemaic system قبولاً عاماً بصفته أساسَ العمل الفلكي. ولا شكَّ في أنه استطاع أن يَصِفَ، بدرجة عالية من الدقّة، المواقعَ المرصودةَ للأجرام السماوية المعروفة في ذلك الوقت وحركاتِها، وأن يجسِّد النظرةَ التي كانت سائدةً بين الناس عن الكون بحكم رصدهم للسماء. وبتعديلات طفيفة فقط، غَدَتْ هذه النظريةُ الأرضيةُ المَرْكزِ جزءاً لا يتجزَّأ من المبدأ الأساسي للكنيسة الرومانية الكاثوليكية في القرون الوسطى.

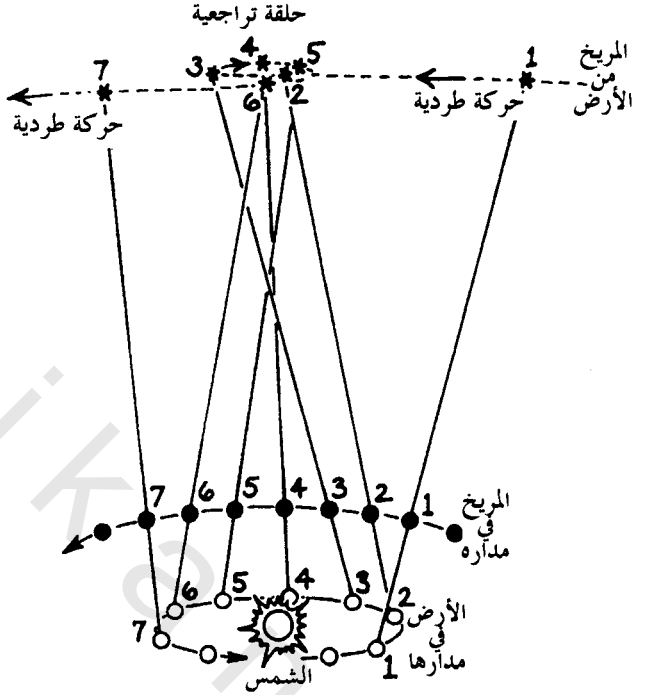
ثم نَشَرَ عالِمُ الفلك البولوني نيكولاس كوپرنيكوس Nicolaus Coprnicus (1543-1473) نموذجَه الانقلابيّ الشمسيَّ المَرْكزِ heliocentric model سنة وفاته. في النظام الكوبرنيكيّ Copernican system تدور الكواكبُ ـ والأرضُ أحدها ـ حول مركزٍ ثابت هو الشمس. ووفقاً لهذا النموذج تنشأ حركاتُ التطواف الظاهريةُ للكواكب عن اجتماع الحركاتِ المدارية الحقيقية للأرض والكواكب المرصودة في آنٍ واحد.

تفسَّر الحركةُ الظاهريةُ لكوكب المرّيخ (الشكل 6.8) كما يأتي: في الواقع لا يتحرك المريخ حركةً تراجعيةً في مداره أبداً، بل إنّ الكواكبَ كلَّها تتحرَّك إلى الأمام. وما العقدةُ التراجعيَّةُ في السماء إلا نتيجة للحركة النسبيّة للأرض والمريخ؛ فالأرض ـ التي هي أكبر سرعةً ـ عندما تدرك المريخَ وتتجاوزه، يبدو هذا الأخير وكأنه يطوف بحركة تراجعيَّة. ألا ترى أن ذلك يشبه مراقبتك سيّارةً تتحرك ببطءٍ على الطريق عندما تتجاوزها بسيارة أسرع منها؟

ما هو التغيير الذي كان الناسُ بحاجةٍ إليه، في نظرتهم الفلسفية إلى الأرض، لكي يقبلوا بنظرية كوپرنيكوس بديلاً عن نظرية بطليموس؟ ....

.....

openkandil.com



الشكل 6.8 الحركة الظاهرية لكوكب المرّيخ كما وَصَفَها النموذجُ الشمسيُّ المركز. تدلُّ الأرقام على مواقع الكوكب عند أبعادٍ زمنيةٍ مقدارها شهر واحد. (1 ـ 3): يظهر المريخ وقد تباطأت حركته الطرديَّة عندما تدركه الأرض. (4): يبدو المريخ في حركةٍ تراجعية عند تجاوُز الأرض له. (5 ـ 7): يستأنف المريخُ حركتَه الطرديَّةَ عندما تتقدَّمه الأرض.

الجواب: أن الأرض عادت لا تُعَدُّ مركزَ الكون بكامله، ولا هي الأعلى أهمية.

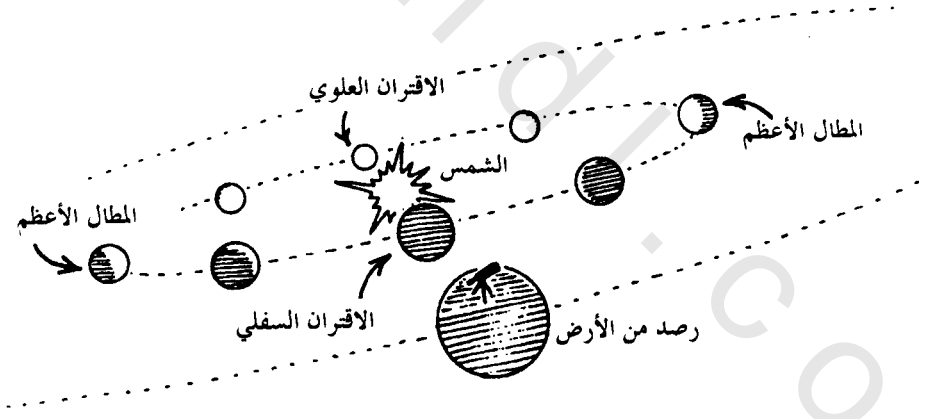
7.8 بواكير المعطيات المقرابية

كان العالِمُ الإيطالي غاليليو غاليليه Galileo Galilei (1564 ـ 1642) أولَ من استعمل المقراب لأغراض رصد السماء. وقد وفَّرت أرصادُه معطياتٍ مهمة حقاً لنظرية كوپرنيكوس.

رصدَ غاليليو مشهدَ جبال القمر ونجوده وفوَّهاته والمساحات الشاسعة الدكناء عليه، إضافةً إلى البقع الشمسية وحركاتها، فاقتنعَ بأن السماء متغيرة لا تثبت على حالٍ واحدة. كذلك فإن اكتشافه لأربعة أقمارٍ كبيرة تطوف حول المشتري أكَّد اعتقاده بأن الأرض ليست هي مركزَ كلِّ الحركات السماوية.

لاحظَ غاليليو أن كوكب الزُّهَرة الساطع يتغيَّر مظهرُه وحجمه بانتظام، ولم يتمكن النظام البطليموسي من تعليل أطوار الزُّهرة، إلا أن نظام كوپرنيكوس أعطى له تفسيراً بسيطاً.

يبدي كلٌّ من الكوكبَيْن السفليَّين: الزُّهَرة وعطارد أطواراً عندما يعكسان ضوءَ الشمس على الأرض من مواقع مختلفة من مدارَيْهما حول الشمس (الشكل 7.8). يلاحَظ أن الكوكبَ السفلي يبدو أكملَ ما يكون إضاءةً وهو



الشكل 7.8 أطوار كوكب الزُّهرة كما تُرصَد بمقرابٍ من الأرض.

في طَوْر احديدابه، قرب وضع الاقتران العُلوي superior conjunction، وهي النقطة الواقعة على الجانب البعيد من الشمس عندما تُرى من الأرض؛ في حين يبدو هلالاً وأكبر ما يكون حجماً قرب وضع الاقتران السفلي inferior

conjunction، وهي النقطة الواقعة بين الأرض والشمس.

في سنة 1616 حَظَرتِ الكنيسةُ الرومانية الكاثوليكيةُ الكتبَ المنادية بمبادئ كوپرنيكوس [التي عدّتها ضرباً من الهرطقة]. وسُمِح لغاليليو بمتابعة بحوثه شريطة ألاّ يحمل مبادئ الهرطقة، أو يعلِّمها، أو يدافع عنها. ومع ذلك أيَّد غاليليو نظامَ كوپرنيكوس في دراسةٍ له بعنوان: «محاورة حول نظامَي الكون الرئيسيَّين» نُشِرت سنة 1632.

وفي السنة التالية ـ وقد أمسى غاليليو شيخاً ناهز السبعين بعد حياة حافلة ـ أكرهتْه محاكمُ التفتيش Inquisition على النكوص عن آرائه الفلكية، ولزومِ منْزله بقيةَ حياته. وطوال 350 سنة ظلَّ الجدل محتدماً بين العلماء واللاهوتيين والمؤرّخين حول توافق الدين والعلم، إلى أن تحرَّكت الكنيسةُ تدريجياً لتصحيح قرارها الجائر بحقّ غاليليو، فبرَّأته منذ عهد قريب جداً (سنة 1992).

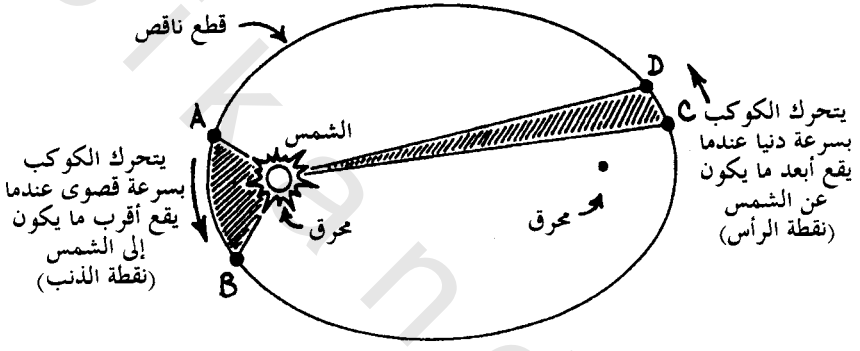
8.8 قوانين الحركة الكوكبيَّة

استنبط عالِم الفلك الألمانيُّ يوهان كپلر Johannes Kepler (1571 ـ 1630) وصفاً بسيطاً ودقيقاً للحركة الكوكبية. وكان يعمل مستمداً من مدوَّناتٍ موروثةٍ عن العالِم الفلكي الدانمركي تيخو براهه Tycho Brahe (1546 ـ 1601) الذي كان قد أثبتَ مواقعَ النجوم والكواكب بدقة لم يُسبق إلى مثلها منذ 20 سنة. ومن الطريف أن بقايا مرصد براهه ونتاجَه معروضةٌ في جزيرة ڤِن Ven السويدية اليوم للزائرين المهتمين.

أسهمتْ قوانين كِپْلر Kepler's laws الثلاثة إسهاماً كبيراً في رفع درجة دقة التنبُّؤات المتعلقة بمواقع الكواكب. وتنصّ هذه القوانين على:

1. أنّ كلَّ كوكبٍ يطوف حول الشمس في مدارٍ على شكل قطعٍ ناقصٍ تقع الشمسُ في أحد محرقيه.

2. أنّ الكوكب يتحرك بحيث «يمسح» الخطُّ الواصل بين الشمس والكوكب قطاعات متساوية المساحة خلال أزمنة متساوية. فكما هو واضح من الشكل 8.8، ينتقل الكوكب من A إلى B ومن C إلى D في الزمن نفسه. وبتعبير آخر، تكون حركةُ الكواكب في سرعتها القصوى عندما تقع أقرب إلى الشمس (نقطة الرأس perihelion)، وفي سرعتها الدنيا عندما تقع أبعد ما تكون عنها (نقطة الذَّنَب aphelion)[1].



الشكل 8.8 الحركة الكوكبية.

3. أنّ الزمنَ الذي يقتضيه كوكبٌ للدوران حول الشمس يتعلق بكِبَر هذا المدار، بحيث يتناسب مربَّعا الزمنَيْن اللازمَيْن لأيّ كوكبَيْن لإتمام دورةٍ لهما حول الشمس مع مكعَّبَيْ متوسط بُعدَيهما عنها.

يمكن استعمال قانون كِبْلر الثالث هذا لإيجاد متوسط بُعد كوكب (d) عن الشمس، مقارنةً بمتوسط بُعد الأرض (1 واحدة فلكية) عنها (راجع

(1) وهذا منطقيٌّ وفق القانون الثاني لكبلر، ويمكن ملاحظتُه بالنظر إلى المساحات المظلَّلة في الشكل 8.8. فلكي تتساوى هذه المساحات يتعيَّن أن تكبر المسافة المقطوعة على المدار خلال زمنٍ معيَّن أكثر فأكثر كلما اقترب الكوكب من الشمس على مداره. إذن، ووفق هذا القانون، تتغيَّر سرعة الكوكب في أثناء دورانه على مداره الإهليلجي، فتتزايد باقترابه من الشمس وتتناقص بابتعاده عنها. (المعرِّب)

الفقرة 2.4). يُحسَب الدَّورُ المداريُّ (p) لكوكب بالسنوات عن طريق الأرصاد. ويعبَّر عن قانون كپلر الثالث رياضياً بالعلاقة: $d^3 = p^2$.

على سبيل المثال، يبلغ الدَّور المداري لكوكب المشتري 11,86 سنة، ومن ثم يُحسب متوسط بُعد المشتري (d) عن الشمس من: $d^3 = (11.8)^2 \cong 141$. أي أن: $d = \sqrt[3]{141}$ (من الواحدات الفلكية).

كم يكون بُعد كوكبٍ عن الشمس إذا تبيَّن بالرَّصد أنَّ دَوْرَه المداري 8 سنوات؟ أوضح إجابتك .....

.....

الجواب: 4 واحدات فلكية، أو 4 أضعاف متوسط بُعد الأرض. بتطبيق القانون الثالث لكپلر:

$$p^2 = d^3$$

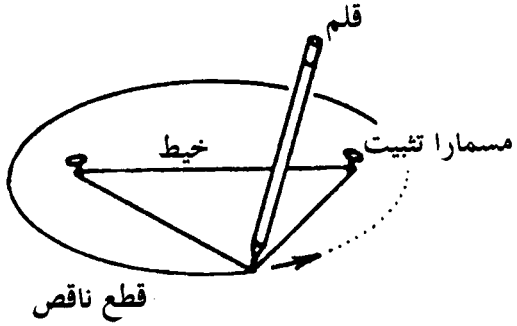
$$d^3 = (8)^2 = 64$$

$$d = \sqrt[3]{64} = 4$$

ملاحظة: القَطْع الناقص ellipse (الإهليلج) منحنٍ مغلقٌ يتحقَّق فيه أن مجموع بُعْدَي أيِّ نقطة عليه عن نقطتين ثابتتين ـ هما المحرقان أو البؤرتان foci- يساوي ثابتاً مفروضاً. ومطال المدار الإهليلجي eccentricity يعبِّر عن مقدار انحراف القطع الناقص عن أن يكون دائرة تامة، ويُحسب بقسمة طول المسافة بين المحرقين على طول المحور الكبير. علماً بأن نصف المحور الكبير semi-major axis هو الذي يحدِّد مقاس القطع الناقص.

ارسم قطعاً ناقصاً بتثبيت مسمارين صغيرين (هما المحرقان) على لوحة. اربط خيطاً حولهما، واستعملْ قلماً ترسم به على أن يبقى مشدوداً إلى الخيط المنبسط إلى مداه (الشكل 9.8).

obeikandl.com



الشكل 9.8 طريقة رسم قطعٍ ناقص.

9.8 الحركة والثقالة

رأينا أن قوانين كپلر تفسِّر كيف تُرصَد الكواكب وهي تتحرك. أما الفيزيائيُّ والرياضيُّ الفذّ السير إسحاق نيوتن (1642 ـ 1727) فقد صاغ قوانين لتفسير تحرُّك الكواكب على الصورة التي تتحرك بها، فنَشَر كتابه: المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية The Mathematical Principles of Natural Philosophy عام 1687.

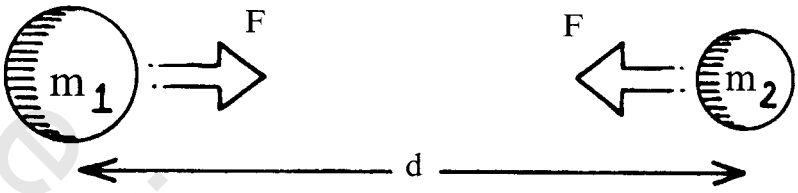
تنصّ قوانين نيوتن في الحركة Newton's laws of motion على ما يلي:

1. يبقى جسمٌ ما على حالته من السكون أو الحركة المنتظمة ما لم تعمل فيه قوىً تُغيِّر من حالته تلك.
2. إن القوة النهائية F المطبَّقة على جسم تساوي كتلة ذلك الجسم m مضروبةً بتسارعه a. ونكتب: $F = ma$
3. إذا تآثر جسمان أحدثا قوَّتَيْن متساويتَيْن ومتعاكستَيْن أحدهما على الآخر.

أما قانون نيوتن في الثقالة law of gravity فنصُّه:

يتجاذب جسمان كتلتاهما m1 و m2 ويفصلهما البُعد d بقوة F تسمى قوة الثقالة، التي تتناسب طرداً مع جداء الكتلتين وعكساً مع مربَّع البُعد

بينهما (الشكل 10.8). ويكتب هذا القانون رياضياً: $F = Gm1m2/d2$ حيث G هو ثابت تثاقلي (الملحق 2).



الشكل 10.8 قانون نيوتن في الثقالة.

ومن الضروري وجودُ قوة جذبٍ للإبقاء على الكواكب دوّارةً في مساراتها المنحنية حول الشمس، إذ بدونها تطوح الكواكبُ هائمةً في لُجّ الفضاء. هذه القوةُ توفِّرها ثقالةُ الشمس التي تعمل باستمرارٍ على جذب الكواكب نحو الشمس[1].

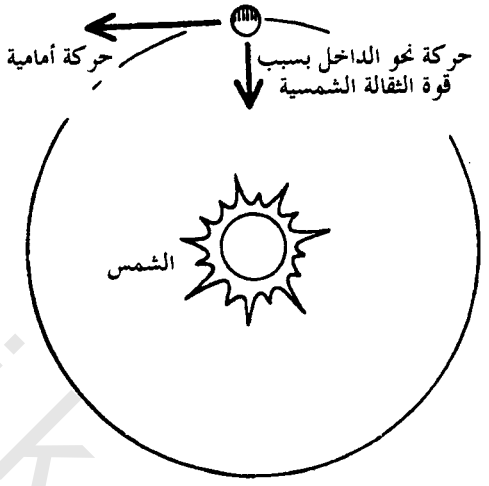
إن اجتماع حركة الكواكب نحو الأمام وحركتها الانجذابية نحو الشمس بتأثير قوة الثقالة من شأنه أن يبقي الكوكب في مساره حول الشمس (الشكل 11.8).

وقد أدرك نيوتن بعبقريته أن قانونه في الثقالة يصحّ على الأجسام الساقطة على الأرض، وعلى حركة القمر والكواكب، وكذلك على الأجسام المادية كافة. فحكَمَ أن قانون الثقالة وقوانين الحركة الثلاثة هي قوانين أساسيةٌ في الفيزياء. ووُجد فعلاً أنَّ قوانينَه عامةٌ شاملة universal تنطبق على الأجسام كلِّها في أيِّ مكان من الكون.

عمَّم نيوتن قوانين كپلر في الحركة الكوكبية، وردَّها رياضيّاً إلى مبادئ

(1) إن هذه الهيمنة التثاقلية التي تفرضها الشمسُ على الكواكب تسوِّغ تسميتنا للعائلة الشمسية بالمنظومة الشمسية. (المعرِّب)

obeikandi.com



الشكل 11.8 شكلا الحركة اللذان يبقيان الكوكب طوّافاً في مداره حول الشمس.

أساسية، واستعمل في عمله فرعاً جديداً من الرياضيات ابتدعه، هو ما نسميه اليوم حساب التفاضل والتكامل.

طبّق قوانين نيوتن لتفسير بقاء الأقمار في مداراتها حول كواكبها .....

.....

.....

.....

الجواب: إن تركيب حركتَيْن على القمر يبقيانه في مداره حول كوكبه: حركته نحو الأمام وحركته نحو الداخل الناجمة عن جذب ثقالة الكوكب.

10.8 حركة القمر المدارية

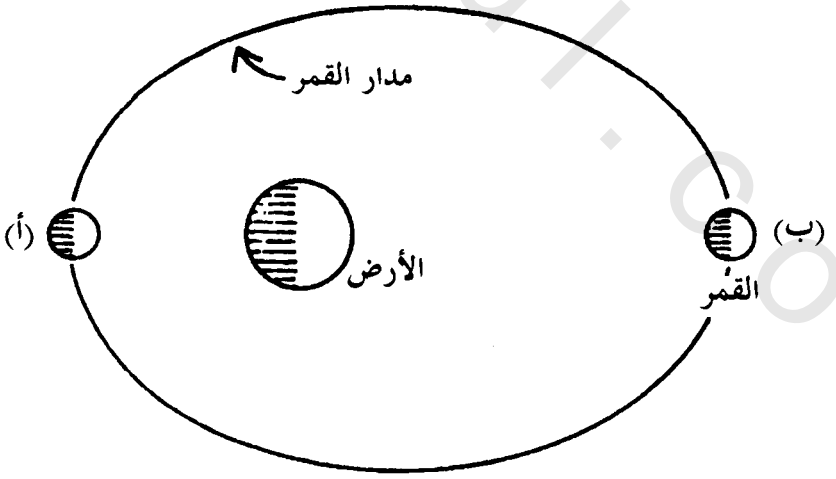
إن مدار القمر قطعٌ ناقصٌ تقع الأرضُ في أحد محرقيه، وهو يدور حولها بسرعة وسطى قدرها 1,02 كم/ثا (2295 ميل/ساعة).

يُتِمُّ القمرُ دورةً واحدةً حول الأرض بالنسبة إلى النجوم في زمنٍ يقارب 27,3 يوماً، وتسمى هذه المدةُ شهراً نجميّاً (أو فلكياً) sidereal month.

يبلغ متوسط القُطر الزاوي للقمر في السماء نحواً من $\frac{1}{2}^\circ$ ($31' 5''$ من القوس). ويبدو القمر أكبر من معدَّل حجمه عند نقطة الحضيض perigee، وهي أقرب نقطة إلى الأرض في مداره، وأصغر من معدَّل حجمه عند نقطة الأوج apogee، وهي أبعد نقطة عن الأرض في مداره.

عيِّن نقطتَيْ الأوج والحضيض في الشكل 12.8، واذكر أين يبدو القمرُ أكبر من معدَّل حجمه، وأين يبدو أصغر؟ (أ) .....؛ (ب) .....

الجواب: (أ) نقطة الحضيض. يبدو القمر أكبر؛ (ب) نقطة الأوج. يبدو القمر أصغر.



الشكل 12.8 مدار القمر حول الأرض.

obeikandl.com

11.8 الرَّصَف

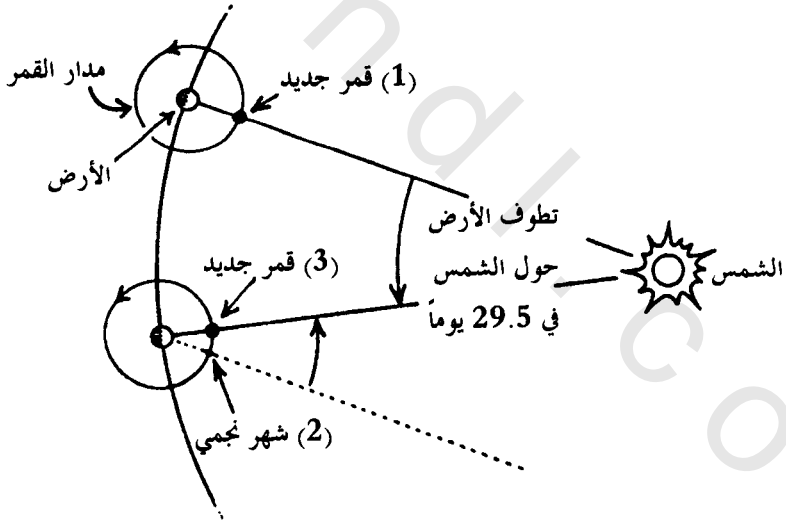
إذا كنتَ هاوياً لألعاب المفردات اللغوية أو لأحاجيِّ الكلمات المتقاطعة، فإن كلمة الرَّصَف syzygy كلمةٌ مناسبة؛ وهي تعني وقوع ثلاثة أجرامٍ سماوية، كالشمس والقمر والأرض، على استقامةٍ واحدة.

بالاستعانة بالشكل 13.8 علِّل لماذا كان الشهرُ الاقترانيُّ ـ أو شهر أطوار القمر ـ أطولَ من الشهر النجميِّ (الفلكي) بيومين .....

.....

.....

.....



الشكل 13.8 إن المدة بين قمرَين جديدين هي أطول بيومين من الشهر النجميّ.

الجواب: ابدأ بقمر جديد (1). بعد 27,3 يوماً يكون القمر قد أتمَّ دورةً حول الأرض (2). لكن الأرضَ والقمر قد طافا في ذلك الوقت أيضاً حول

الشمس معاً. فلا بدَّ من انقضاء يومين آخرين قبل أن ينتظم القمرُ والأرضُ والشمسُ على خطٍّ واحد، ويعود القمرُ جديداً ثانية (3).

12.8 الرحلات الفضائية

تنصاع المركَباتُ الفضائيةُ لقوانين الفيزياء الأساسية التي تخضع لها الأجرامُ الفلكيةُ الطبيعية.

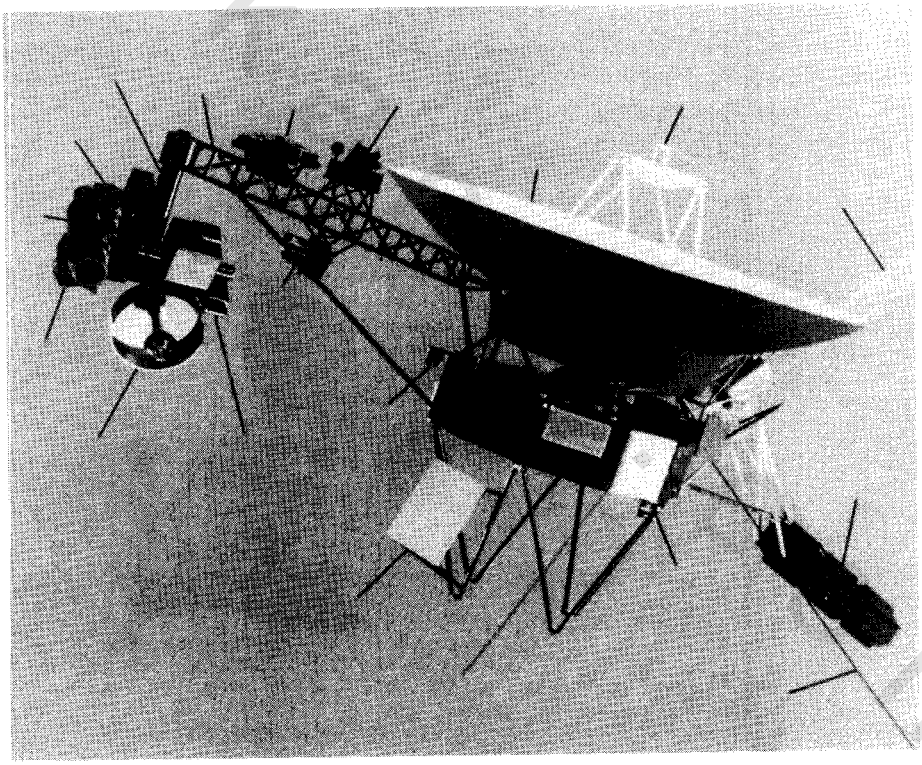
يسمى كلُّ جسم يدور في فلكٍ حولَ جِرمٍ آخر أكبر منه الساتل satellite. فالصواريخ تُطلِق أقماراً صُنعيةً في مداراتٍ حول الأرض بسرعة أمامية forward velocity لا تقلُّ عن 8 كم/ثا (17،300 ميل/سا)، تعمل حصيلةُ حركتِها الأمامية وحركتِها الانجذابية نحو الأرض بتأثير قوة الثقالة الأرضية على إبقاء هذه السواتل طوّافة في مداراتها. وعلى حين تُصَمَّم معظمُ السواتل لتحترق بفعل الاحتكاك إذا هي دخلت راجعةً إلى الغلاف الجويّ الأرضي، تُصنَع المركباتُ المأهولةُ وتجهيزاتها بحيث تبقى سليمةً بعد دخولها عائدةً إلى جوِّ الأرض، وتهبط بسلام.

كان أولَ قمرٍ صُنعيٍّ أُطلِقَ إلى الفضاء الخارجي الساتلُ الروسي المسمى سبوتنيك Sputnik 1، وهو كرةٌ معدنيةٌ تزن 82 كيلوغراماً (180 رطلاً إنكليزياً) مزوَّدةٌ بجهاز إرسال وبطاريات، أُطلق إلى الفضاء بتاريخ 4 تشرين الأول (أكتوبر) سنة 1957 إيذاناً باستهلال عصر الفضاء. واليومَ تعمل مئاتٌ من السواتل الربوطية الخاصة بالاتصالات والأحوال الجويّة والبحوث العلمية والملاحة والأغراض العسكرية، تطلقها دولٌ كثيرة، في مدارات لها حول الأرض.

تُرسَل المركباتُ الفضائيةُ الربوطيَّة في مهمّات لاستكشاف الكواكب، وهي تُطلَق بسرعة أمامية إلى مدارات لها حول الشمس. وتُحسَب حركاتُها علمياً بتطبيق قوانين نيوتن، تماماً كما تُحسَب الحركاتُ الكوكبية نفسُها.

تمكَّنت المركباتُ الفضائية الرَّبوطية من رصد الكواكب كلِّها عن كثب، في ما عدا پلوتو. وتُزَوَّد هذه المركباتُ بمصوِّرات، ومجسّاتِ معطيات، وأجهزةِ كمبيوتر مبرمجةٍ لتعمل آلياً، بعيداً عن أيِّ تدخُّلٍ إنسانيٍّ مباشر. على أنّ أيّاً منها لم تَعُدْ حتى اليوم، وهي تعود إلى الأرض بصُوَرٍ ومعطيات تبثُّها لأغراض التحليل العلمي.

على أن أكثر رحلات الفضاء طموحاً، التي استغرقت عدة كواكب، كانت مشروعَ ڤوياجر الأمريكي U.S. Project Voyager؛ فقد أُطلقت المركبتان التوءَمان: ڤوياجر 1 وڤوياجر 2 (الشكل 14.8) سنة 1977، انتهازاً لفرصة

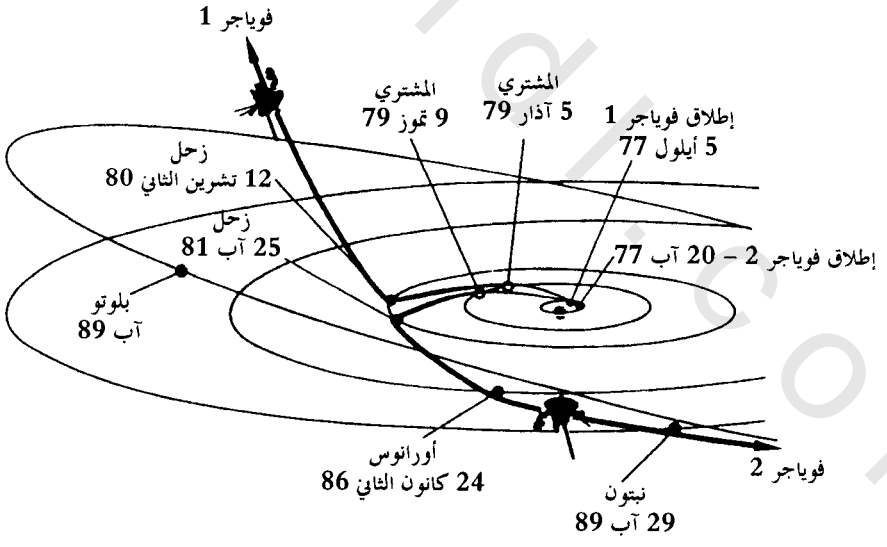


الشكل 14.8 مركبة الفضاء ڤوياجر التي تزن 800 كغ (نحو طن واحد). وتضمّ 11 مجموعةً من مجسّات الأجرام المستهدَفة، ومجسّات الجُسَيْمات والحقول والأمواج. تقوم مولّداتُ الطاقة النووية ـ الكهربائية بتغذية أجهزة المركبة ومعدّاتها اللاسلكية والكومبيوترية.

حدوث تسامُتٍ كوكبيٍّ لا يحدث إلا كل 176 سنة. شملت المهمةُ الفضائية - التي دامت 12 سنة - حوادث مقابلة مع المشتري وزُحَل وأورانوس ونبتون، ومنظوماتها الحلقيَّة الفريدة، إضافةً إلى 48 قمراً من أقمارها.

ولهذه الغاية رُسِمَ مسارُ المركبة بدقة عالية، واستُعملت تقنيةُ مساعدة الثقالة gravity assist، التي تقوم على الاستفادة من الحقل الثاقلي gravitational field للكوكب في تغيير سرعة المركبة الفضائية دون استنفاد وقودها، استُعملت في كلِّ مقابلة لزيادة سرعة المركبة ڤوياجر، وحَنْي مسار تحليقها بدرجة تكفي لنقلها إلى الوجهة التالية.

وقد أفاءت مركبتا ڤوياجر 1 و 2 كلتاهما صُوَراً ومعطيات نفيسةً بلغت في مجموعها 118،000، وأحدثت انقلاباً حقيقياً في علم الفلك الكوكبي. بل إن ڤوياجر 1 تغادر المنظومةَ الشمسيةَ حالياً لترقى فوق مستوي دائرة



الشكل 15.8 الجدول الزمني لمشروع ڤوياجر. أُطلقت ڤوياجر 2 أولاً، وبعد 16 يوماً أُطلقت ڤوياجر 1 على مسارٍ أسرع وأقصر. تواريخ المقابلات الفلكية هي نقاط تقاطع مسارَي المركبتين ومسارات الكواكب.

البروج بزاوية تقارب 35°، وبسرعة تناهز 520 مليون كيلومتر (320 مليون ميل) في السنة؛ في حين تنطلق ڤوياجر 2 تحت مستوي دائرة البروج بزاوية تقارب 48° وبسرعة نحو 470 مليون كيلومتر (290 مليون ميل) في السنة.

كم سنةً استغرقت المركبةُ الفضائية ڤوياجر 2 ـ منذ انطلاقها ـ للوصول إلى:
(أ) المشتري؟ ..... ؛ (ب) زُحَل؟ ..... ؛
(ج) أورانوس؟ ..... ؛ (د) نپتون؟ .....

الجواب: (أ) سنتين؛ (ب) 4 سنوات؛ (ج) 8,5 سنوات؛ (د) 12 سنة.

الجدول 2.8 خصائص الكواكب

	عطارد	الزهرة	الأرض
متوسط البُعد عن الشمس			
بملايين الكيلومترات	57,9	108,2	149,6
(بملايين الأميال)	(36)	(68)	(93)
بالوحدات الفلكية	0,39	0,72	1,00
متوسط السرعة المدارية، كم/ثا	47,87	35,02	29,79
الدور المداري، النجمي	87,97 يوماً	224,70 يوماً	365,26 يوماً
الاقتراني (بالأيام)	116	584	–
الدور المحوري، النجمي (بالأيام والساعات والدقائق والثواني)	58,6 يوماً	243,019 يوماً	سا د ثا 4 56 23
ميل المدار على فلك البروج	7° 00′	3° 24′	0° 00′
لا مركزية المدار	0,206	0,007	0,017
التفلطح	0	0	0,0034
القطر الاستوائي، بالكيلومتر (بالميل)	4،879 (3،030)	12،104 (7،520)	12،756 (7،930)

	عطارد	الزهرة	الأرض
الكتلة (الأرض = 1)	0,06	0,82	1,00
الكثافة، طن/م3	5,43	5,24	5,52
الثقالة السطحية (الأرض = 1)	0,38	0,90	1,00
التوابع المؤكَّدة	0	0	قمر واحد

الجدول 2.8 خصائص الكواكب (تتمة)

	المرّيخ	المشتري	زحل
متوسط البُعد عن الشمس			
بملايين الكيلومترات	227,9	778,3	1429,4
(بملايين الأميال)	(142)	(486)	(888)
بالوحدات الفلكية	1,52	5,20	9,56
متوسط السرعة المدارية، كم/ثا	24,13	13,06	9,65
الدور المداري، النجمي الاقتراني (بالأيام)	686,98 يوماً 780	11,86 سنة 399	29,46 سنة 378
الدور المحوري، النجمي (بالأيام والساعات والدقائق والثواني)	سا د ثا 24 37 26	9,842 ساعة	10,656 ساعة
ميل المدار على فلك البروج	°1 ′48	°1 ′18	°2 ′30
لا مركزية المدار	0,093	0,048	0,056
التفلطح	0,0065	0,065	0,098
القطر الاستوائي، بالكيلومتر (بالميل)	6،794 (4،220)	142،980 (88،850)	120،540 (74،900)
الكتلة (الأرض = 1)	0,11	317,83	95,16
الكثافة، طن/م3	3,94	1,33	0,70
الثقالة السطحية (الأرض = 1)	0,38	2,54	1,08
التوابع المؤكَّدة	قمران	16 قمراً حلقات	18 قمراً حلقات

الجدول 2.8 خصائص الكواكب (تتمة)

	أورانوس	نپتون	پلوتو
متوسط البُعد عن الشمس			
بملايين الكيلومترات	2875,0	4504,4	5915,8
(بملايين الأميال)	(1787)	(2799)	(3676)
بالوحدات الفلكية	19,22	30,11	39,55
متوسط السرعة المدارية، كم/ ثا	6,80	5,43	4,74
الدور المداري، النجمي الاقتراني (بالأيام)	84,01 سنة 370	164,79 سنة 367	247,69 سنة 367
الدور المحوري، النجمي (بالأيام والساعات والدقائق والثواني)	17,239 ساعة	16,109 ساعة	6,39 ساعة
ميل المدار على فلك البروج	°0 ′48	°1 ′48	°17 ′6
لا مركزية المدار	0,046	0,009	0,249
التفلطح	0,023	0,017	؟0
القطر الاستوائي، بالكيلومتر (بالميل)	51،120 (31،770)	49،530 (30،780)	2300 (1430)
الكتلة (الأرض = 1)	14,50	17,20	0,003
الكثافة، طن/م3	1,30	1,76	1,1
الثقالة السطحية (الأرض = 1)	0,91	1,19	0,06
التوابع المؤكَّدة	17 قمراً حلقات	8 أقمار حلقات	قمر واحد

13.8 معلومات عامة عن الكواكب

يساعدنا علمُ الكواكب المقارَن - comparative planetology - وهو دراسةُ كوكبٍ بمقارنته بغيره - على تحسين إدراكنا لكوكبنا، فضلاً على سائر كواكب منظومتنا الشمسية. ويبيِّن الجدول 2.8 الخصائصَ العامة للكواكب التسعة السيّارة.

لاحظَ علماء الفلك أنَّ عطارد والزُّهَرة والأرض والمرِّيخ تشترك بخصائص فيزيائية ومداريّة متماثلة، فأطلقوا عليها اسم الكواكب الأرضية terrestrial planets لشَبَهِها بالأرض؛ وأنَّ المشتري وزُحَل وأورانوس ونپتون تتماثل في ما بينها أيضاً فأسْمَوْها الكواكبَ العملاقة giant أو المشترويّة Jovian (نسبةً إلى كوكب المشتري). أما پلوتو الغامض فلا ينسلك في أيٍّ من المجموعتين.

ادرسِ الجدول 2.8 واستنتجْ أوجه اختلاف الكواكب الأرضية عن الكواكب العملاقة من حيث (أ) بُعدها عن الشمس، (ب) حجمُها، (ج) كتلتُها، (د) كثافتها.

الكواكب الأرضية	الكواكب العملاقة
(أ)	(أ) .....
(ب)	(ب) .....
(جـ)	(جـ) .....
(د)	(د) .....

الجواب:

الكواكب الأرضية	الكواكب العملاقة
(أ) قريبة من الشمس	(أ) بعيدة عن الشمس
(ب) صغيرة القطر	(ب) كبيرة القطر
(ج) صغيرة الكتلة	(ج) كبيرة الكتلة
(د) عالية الكثافة	(د) منخفضة الكثافة

14.8 أيامٌ وسنوات

نسمّي دَوْراً مدارياً[1] period of revolution المدةَ اللازمة لجِرمٍ سماويٍّ ليطوف دورةً واحدةً تامةً حول مداره.

(1) أو orbital period (المعرِّب)

ونسمّي دَوْراً مدارياً نجمياً (أو فلكياً) sidereal revolution period مدةَ سنة للكوكب بالنسبة إلى النجوم بالقياس الزمني الأرضي. أما الدَّور المدرائيُّ الاقتراني synodic revolution period لكوكب فهو دورُه المداريُّ كما يُرى من الأرض، ويعادل الزمنَ اللازمَ للكوكب ليعود إلى موقعٍ ظاهريٍّ aspect معيَّن بالنسبة إلى الشمس كما يظهر ذلك من الأرض، كوضعِ الاقتران conjunction مثلاً.

يختلف الدَّورُ الاقترانيُّ لكوكبٍ عن دَوْرِه النجميِّ لأن الأرضَ نفسَها تطوف في مدارها حول الشمس.

من ناحيةٍ أخرى فإن الدَّوْر المحوري period of rotation هو المدة اللازمة لجِرمٍ سماوي ليُتمَّ دورةً واحدةً حول محوره. والدَّورُ المحوريُّ النجميُّ sidereal rotation period لكوكب هو مدة يومٍ نجميٍّ (فلكي) على الكوكب (الفقرة 1.23). والدَّورُ المحوريُّ الاقتراني synodic rotation period لكوكب هو مدة يومٍ شمسيٍّ واحد عليه، أي الفاصل الزمني بين عبورَيْن زواليَّيْن meridian transits متعاقبَيْن للشمس، كما قد يَرى ذلك راصدٌ على ذلك الكوكب.

ومنذ عَهْد بعيد يُتَّخَذ دورانُ الأرضِ حول محورها معياراً لضبط الزمن timekeeping، إلا أن دوران الأرض ليس منتظماً تماماً؛ فدقَّته جيدةٌ حتى نحو 0,001 من الثانية يومياً. في مقابل ذلك هناك الميقاتيات الذرّية atomic clocks التي هي أكثر الميقاتيات دقّة، وهي تعمل على أساس قياس تردُّدات الطنين الطبيعي لذرَّةٍ معلومة ـ من السيزيوم cesium أو الهيدروجين أو الزئبق ـ إذ تصل دقَّتُها إلى واحد من مليار من الثانية يومياً. وتتولى الهيئةُ الدولية لمراقبة دوران الأرض International Earth Rotation Service رصدَ الفارق بين المعيارَيْن الزَّمنيَّيْن، وتقوم كلَّ حين بإدخال إضافات من ثانية واحدة، تسمّى الثواني الكبيسة leap seconds، على ميقاتيات العالَم كافةً حسب الضرورة.

من الجدول 2.8 استنبط ما يلي:

(أ) أيُّ الكواكب العملاقة يتميَّز بأطول سنة؟ وكم تعادل بالسنوات الأرضية؟ .....

.....

(ب) أيُّ الكواكب يتميَّز بأطول يومٍ نجميّ؟ وكم يعادل بالأيام الأرضية؟ .....

.....

الجواب: (أ) نپتون؛ تعادل سنته 164,8 سنة أرضية؛ (ب) الزُّهَرة؛ يعادل يومُه 243 يوماً أرضياً.

15.8 الكويكبات

الكويكبات asteroids، أو الكواكب الثانوية، أجرامٌ صخريةٌ صغيرة غير منتظمة الأشكال تدور حول الشمس. وأغلبها يتبع مساراتٍ داخل منطقة تسمى الطَّوقَ الكويكبيّ asteroid belt، تقع بين مدارَي المرّيخ والمشتري[1].

ومن خلال مقراب تبدو الكويكباتُ شبيهةً بالنجوم. ويعود اكتشافُ أكبر كويكب إلى الفلكي الصِّقِلِّي غيوسيپِي پيازي Giuseppi Piazzi (1746 ـ 1826) عام 1801، الذي رقَّمه 1 وسمّاه سيريز Ceres، ويبلغ قطره 950 كيلومتراً (590 ميلاً). ومنذ ذلك الحين صُنِّفَ ما يربو على 6000 كويكب، يضاف إليها نحو 200 كويكب كلَّ سنة. ويبدو أن كتلة الكويكبات مجتمعةً لا يتجاوز 0,0001 من كتلة الأرض، علماً بأن مليارات أخرى منها دقيقة كجسيمات الغبار يحتمل وجودها أيضاً.

(1) وتبعد عن الشمس بنحو 2 إلى 4 واحدات فلكية. (المعرِّب)

obeikandl.com

كانت أولُ صورة تُلتَقَط لكويكبٍ عن قرب هي صورة الكويكب 951 غاسپرا Gaspra التي التقطتْها المركبةُ الفضائيةُ الأمريكيةُ غاليليو سنة 1991 (الشكل 16.8). يلاحَظ أن غاسپرا قطعةٌ صخريةٌ غليظةٌ غير منتظمة الشكل، تبلغ أبعادها زهاء 11 X 12 X 20 كم (7 X 12 X 8 أميال)، وتنتشر على سطحه فوَّهات، وتغشاه أنقاضٌ ترابية.

الشكل 16.8 أوّل صورةٍ قريبةٍ لكويكب، 951 غاسپرا، التقطتها مركبةُ الفضاء الأمريكيةُ غاليليو عندما كانت هي والكويكب على بُعد 55 مليون كيلومتر عن الأرض. يقارب قطرُ أصغرِ فوَّهاته 300 متر.

يدور غاسپرا عكس اتجاه حركة عقارب الساعة في زمنٍ يزيد قليلاً على سبع ساعات. وقد لوحظَ أن مقدار ضوء الشمس الذي تعكسه الكويكباتُ الأخرى على الأرض يتفاوت ويتكرَّر كلَّ عدَّة ساعات، وهذا يدلُّ على أنها

هي أيضاً غير منتظمة الأشكال، وأنها تدور حول نفسها (الشكل 16.8).

تُصنَّف الكويكباتُ في ثلاثة أنواع رئيسية بالاستعانة بالطيفيَّات الضوئية spectrophotometry، وهي الوسيلةُ الدقيقة لتعيين الأقدار magnitudes ضمن مناطق ذات أطوال موجيَّة معيَّنة. فكويكبات النوع C-type asteroids C سُمِّيت كذلك لغَلَبة الكربون على تركيبها، فهي شديدة الدُّكنة ويكثر وجودها في الطوق الكويكبي الخارجي. وهناك كويكبات النوع S-type asteroids S التي تحتوي على السيليكات ممزوجةً بالمعادن، وتتَّصف باعتدال درجة سطوعها، وتوافرها في الطوق الداخلي. ثم هناك كويكبات النوع M-type asteroids M التي يُعتقد أنها معدنيةٌ في معظم تركيبها، وتبدو ساطعةً جداً.

وأغلب الظن أن الكويكبات الساطعةَ هي تكتُّلاتٌ من المادة تكثَّفَتْ من السديم الشمسي الأصلي، لكنها لم تتنامَ بما يكفي لتكون كوكباً كبيراً. فأسطع الكويكبات هو كويكب 4 ڤيستا Vesta الذي يبلغ قطره 530 كيلومتراً (330 ميلاً)، وأخفتها ربما تكون شظايا ناشئةً عن حوادث تصادمٍ متكررة.

يجدر بالذكر أن بعض الكويكبات تقترب من الأرض دوريّاً اقتراباً نسبياً؛ فكويكبات آتِنْ Aten asteroids لها مداراتٌ داخل مدار الأرض، في حين تعبر كويكباتُ أپولو Apollo asteroids مدارَ الأرض وتتحرك ضمنه وصولاً إلى نقطة الرأس perihelion. وقد رُصدت كويكبات أپولو هذه فعلاً على مسافة مليون كيلومتر فقط أو أقل عن الأرض. أما كويكبات آمور Amor asteroids ـ التي تقع مداراتُها على بُعد 1 إلى 1,3 واحدة فلكية ـ فتبقى خارج مدار الأرض دوماً.

هذا ويخشى كثيرٌ من الناس حدوثَ تصادم كارثيٍّ مدمِّر لدى رؤية كويكب قريب أولَ مرة. ويقرِّر علماءُ الفلك أن الكويكبات التي يتجاوز قطرُها الكيلومتر تمثِّل خطراً وبيلاً مصلتاً. ولعلَّ المقاريبَ الحديثةَ قادرةٌ على رصد موقع كويكب كهذا قبل وصوله الأرضَ بعشرات السنين، فتُتَّخَذ

الإجراءاتُ اللازمة لاعتراضه تفادياً لخطره[1].

وإلى عهد قريب، أكَّد تحليلُ إشاراتٍ رادارية مرتدَّة عن كويكب، أنه أوَّلُ كويكب معدنيٍّ ذي مدار قريب من الأرض. وقد اكتُشِف الماء على شكل ماء إماهة water of hydration على كويكب 1 سيريز أولاً. ومَنْ يدري، فلربما صار بالإمكان - في غضون القرن الحادي والعشرين - نَقْبُ الكويكباتِ المعدنية لتوفير المواد الأوَّلية لمستعمِري الفضاء الخارجي، وللحملات العتيدة في ما بين الكواكب مستقبلاً.

وقد رُصِدَ عددٌ من الأجرام الجليدية الصغيرة، التي لا يُعرَف منشؤها على وجه اليقين، في مدارات حول الشمس خارج مدار كوكب نپتون. وربما أنها أوَّلُ الكويكبات التي رُصدت في منطقة خارجية على الإطلاق. من هذه الأجرام 2060 شيرون Chiron الغريب الأطوار الذي يبلغ قطره 120 كيلومتراً (62 ميلاً)، وولَّد غلافاً غازياً منتشراً لَفَّهُ عندما تحرك مقترباً اقتراباً شديداً من الشمس سنة 1990، مما يوحي بوجود جليد سطحيّ، وهذا من صفات المذنَّبات. لذلك فقد يكون شيرون مذنَّباً لا كويكباً «طبيعياً»، بل قد تكون هذه الأجرام الواقعة وراء كوكب نپتون هي الدليلَ المباشِر الأول على ما يسمى بحزام كويپر Kuiper belt، الذي يُفتَرض أنه مصدرُ المذنَّبات القصيرة الدَّوْر.

ما هي الكويكبات؟ .....

.....

الجواب: حشودٌ من أجرامٍ صخريةٍ غير منتظمة الأشكال، تطوف حول الشمس بين مدارَي المرّيخ والمشتري على وجه الخصوص.

(1) إن كويكباً يبلغ قطره كيلومتراً واحداً يصطدم بالأرض قمينٌ بأن يحرِّر كميةً من الطاقة تعادل انفجاراً نووياً بطاقة تدميرية قد تصل إلى 40،000 ميغا طن. لذلك يحثُّ علماءُ الفلك على إنشاء منظومة دولية للإنذار المبكِّر عند اقتراب كويكبات من الأرض. (المعرِّب)

الجدول 3.8 توابع المنظومة الشمسية

الكوكب	التابع	قطره (كم)	متوسط بُعده عن الكوكب[أ] (بالكيلومترات)	دوره المداري[ب] (بالأيام)	اكتشافه
الأرض	القمر	3،474	384،500	27,322	
المرّيخ	فوبوس	26x22x18	9،400	0,319	هول، 1877
	ديموس	16x12x10	23،500	1,262	هول، 1877
المشتري	ميتيس	(40)	128،000	0,295	سينوت/ ڤوياجر1، 1980
	أدراستيا	20	129،000	0,298	جويت، دانييلسون، 1979
	أمالثيا	262x146x134	180،000	0,498	بارنارد، 1892
	ثيبي	(100)	222،000	0,675	سينوت/ ڤوياجر1، 1980
	آيو	3،642	422،000	1,769	غاليليو، 1610
	أوروبا	3،138	671،000	3,551	غاليليو، 1610
	غانيميد	5،268	1،070،000	7,155	غاليليو، 1610
	كاليستو	4،608	1،885،000	16,689	غاليليو، 1610
	ليدا	10	11،110،000	238,7	كوال، 1974
	هيماليا	170	11،470،000	251,6	پيرين، 1904
	ليسيثيا	24	11،710،000	259,2	نيكولسون، 1938
	إلارا	80	11،470،000	259,6	پيرين، 1905
	أنانكي	20	21,200,000	631 R	نيكولسون، 1951
	كارمي	30	22,350,000	692 R	نيكولسون، 1938
	پاسيفي	36	23,330,000	735 R	ميلوتي، 1908
	سينوپي	28	23,370,000	758 R	نيكولسون، 1914
زُحَل	بان	20	134،000	0,575	شوولتر/ ڤوياجر 2، 1990
	أطلس	38x34x28	137،000	0,601	تيريل/ ڤوياجر 1، 1980
	پروميثيوس	148x100x68	139،000	0,613	كولينز/ ڤوياجر 1، 1980
	پاندورا	110x88x62	142،000	0,629	كولينز/ ڤوياجر 1، 1980
	جانوس*	198x192x152	151،000	0,695	دولفوس، 1966
	إپيميثيوس*	138x110x110	151،000	0,694	فاونتين/ ڤوياجر 1، 1980

الكوكب	التابع	قطره (كم)	متوسط بُعده عن الكوكب[أ] (بالكيلومترات)	دوره المداري[ب] (بالأيام)	اكتشافه
زُحَل	ميماس	398	187،000	0,942	هيرشل، 1789
	إنسيلادوس	498	238،000	1,370	هيرشل، 1789
	تيثيس	1،060	295،000	1,888	كاسيني، 1684
	تيليستو	30x26x16	295،000	1,888	سميث/ ڤوياجر 1، 1980
	كاليپسو	30x16x16	295،000	1,888	پاسكو/ ڤوياجر 1، 1980
	دايوني	1،120	378،000	2,737	كاسيني، 1684
	هيلين	32	378،000	2,737	لاكس، لاكاشوز، 1980
	رِيا	1،528	526،000	4,518	كاسيني، 1672
	تيتان	5،150	1،221،000	15,94	هايغنز، 1655
	هيپيريون	185x140x113	1،481،000	21,28	بوند، لاسيل، 1848
	أيابيتوس	1،436	3،561،000	79,33	كاسيني، 1671
	فيبي	220	12,960,000	550.4 R	پيكيرينغ، 1898
أورانوس	كورديليا	26	49،800	0,336	تيريل/ ڤوياجر 2، 1986
	أوفيليا	30	53،800	0,38	تيريل/ ڤوياجر 2، 1986
	بيانكا	42	59،200	0,435	ڤوياجر 2، 1986
	كريسيدا	65	61،800	0,465	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	ديدمونة	54	62،600	0,476	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	جوليت	82	64،400	0,494	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	پورشيا	108	66،100	0,515	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	روزاليند	54	70،000	0,560	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	بيلندا	66	75،300	0,624	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	پَكْ	154	86،000	0,764	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	ميراندا	480x468x466	129،900	1,413	كويپر، 1948
	آرييل	1162x1156x1156	190،900	2,521	لاسيل، 1851
	أمبرييل	1،170	266،000	4,144	لاسيل، 1851
	تيتانيا	1،578	436،300	8,706	هيرشل، 1787
	أوبيرون	1،522	583،400	13,46	هيرشل، 1787

obeikandl.com

الكوكب	التابع	قطره (كم)	متوسط بُعده عن الكوكب[أ] (بالكيلومترات)	دوره المداري[ب] (بالأيام)	اكتشافه
أورانوس	كاليبان	(80)	7،169،000	579,4	غلادمان وآخرون، 1997
	سيكوراكس	(160)	12،214،000	1284	غلادمان وآخرون، 1997
	S/1986 U10 ج	(80)	76،000،000	0,638	كاركوشا/ ڤوياجر2، 1999
	S/1999 U1 ج				كاڤيلارز وآخرون، 1999
	S/1999 U2 ج				كاپيلارز، 1999
نپتون	نياد	58	48،000	0,30	تيريل/ ڤوياجر 2، 1989
	ثالاسا	80	50،000	0,31	تيريل/ ڤوياجر 2، 1989
	ديسپينا	148	52،500	0,34	سينوت/ ڤوياجر 2، 1989
	غالاتيا	158	62،000	0,43	سينوت/ ڤوياجر 2، 1989
	لاريسا	208x178	73،600	0,56	رايتسيما/ ڤوياجر 2، 1989
	پروتيوس	436x416x402	117،600	1,12	سينوت/ ڤوياجر 2، 1989
	تريتون	2,704	354,000	5.877 R	لاسيل، 1846
	نيريد	340	5،510،000	360,1	كويپر، 1949
پلوتو	كارون	1،186	19،100	6,387	كريستي، 1978

(أ) متوسط البُعد في وضع التقابل. (ب) الدَّور النجمي (الفلكي). (ج) مقترَح، بانتظار التأكيد.

R = مدار تراجعي. * توابع مشترِكة في المدار. القيم المحصورة بين قوسين قيمٌ تقديرية.

ملاحظة: في الحالة التي كان فيها اكتشافُ التابع نتيجةً لدراساتٍ تحليلية أجريت لاحقاً لصُوَرٍ بثَّتْها مركبتا الفضاء ڤوياجر 1 و 2، ذُكِر اسم الفلكي الذي رصدَ التابعَ أول مرة، مقترناً بسنة الاكتشاف إزاء اسم مركبة الفضاء.

obeikandl.com

16.8 مقايسات في الأقمار

تَقَدَّمَ لك أن الكواكبَ العملاقةَ أعظمُ كتلةً وأقوى جاذبيةً من الكواكب الأرضية، ومن هنا كانت أقدرَ على الاحتفاظ بالأقمار التي تكوَّنت في الجوار أو مرَّت به.

استعِنْ بالجدولين 2.8 و3.8 للإجابة عن الأسئلة التالية: (أ) كم عدد أقمار الكواكب الأرضية؟؛ (ب) ما عدد الأقمار المؤكَّدة الوجود للكواكب العملاقة؟ (ج) عدِّد أقمارَ الكواكب التي هي أكبر من قمرنا. (د) ما هو أكبر قمرٍ معروف في المنظومة الشمسية؟

(أ) .....

(ب) .....

(ج) .....

(د) .....

الجواب: (أ) للكواكب الأرضية ثلاثةُ أقمارٍ فقط. فللأرض قمرٌ واحد، وللمريخ قمران. (ب) للكواكب العملاقة أقمارٌ وحلقاتٌ كثيرة؛ 63 قمراً و 4 منظوماتٍ حلقية موجودةٌ على وجه اليقين. (ج) أقمار المشتري: غانيميد وكاليستو وآيو؛ وقمر زُحَل: تيتان. (د) غانيميد.

obeikandl.com

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الثامن وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. ممَّ تتألَّف المنظومة الشمسية؟ .....

.....

2. ما الفرق الجوهري بين النجم والكوكب؟ .....

.....

.....

3. اذكر حقيقتين تعضدان النظريةَ السديميةَ في تكوُّن المنظومة الشمسية .....

.....

4. أيُّ أطوار القمر ترى ـ عند خطوط العرض الشمالية المتوسطة ـ إذا كان القمر بازغاً في السماء قرابة

(أ) الساعة 6 مساء؟ .....

(ب) وقت الظهيرة؟ .....

5. وافِقْ بين كل شخصيةٍ علميةٍ والإسهام الذي قدَّمَتْه لتطوير فهمنا للمنظومة الشمسية.

obeikandl.com

--	(أ) وَصَفَ الرؤيةَ الأرضيةَ المركز للكون في كتابه «المجَسْطي» نحو سنة 150 م.	(1) كوپرنيكوس.
--	(ب) أَقَرَّ قوانينَه الثلاثةَ في الحركة الكوكبيَّة تجريبياً من معطياتٍ رصدية.	(2) غاليليو.
--	(ج) أول من استعمل المقراب في الرصد الفلكي واكتشفَ أطوارَ الزُّهَرة.	(3) كِپْلر.
--	(د) وَضَعَ كتاباً يصف فيه النموذجَ الشمسيَّ المركز للحركات الكوكبيَّة، نُشِر سنة 1543 وهي سنة وفاته.	(4) نيوتن.
--	(هـ) صاغَ القوانينَ الثلاثةَ الأساسيةَ في الحركة والقانون العام للجاذبية.	(5) بطليموس.
--	(و) رَصَدَ ودَوَّنَ الحركاتِ الكوكبيةَ ما يقارب 20 سنة.	(6) تيخو براهه.

6. ما الذي يبقي الكواكبَ في مداراتها حول الشمس؟ .....

.....

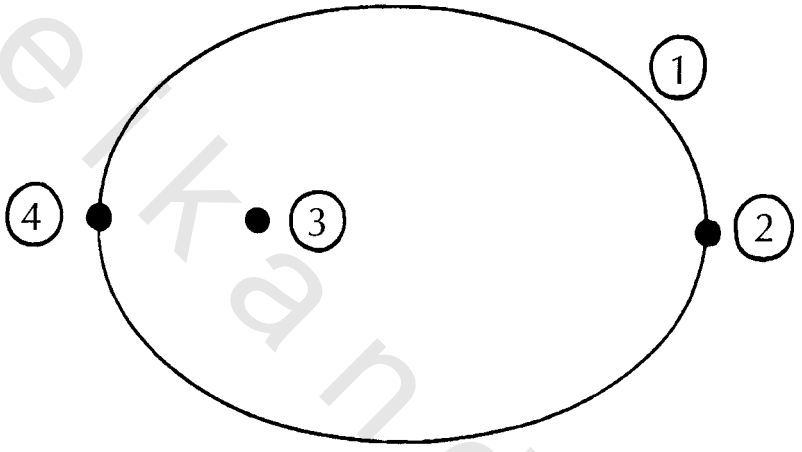
.....

.....

.....

obeikandl.com

7. استعِن بالشكل 17.8 في تعيين ما يلي: (أ) الشمس .....؛ (ب) القطع الناقص .....؛ (ج) نقطة الذَّنَب .....؛ (د) نقطة الرأس .....؛ (هـ) النقطة التي تكون فيها قوةُ الثقالة أعظمية .....؛ (و) النقطة التي تكون عندها حركةُ الكوكب أبطأ ما يمكن .....



الشكل 17.8 الحركة الكوكبية.

8. كم الفارق الزمنيّ بين الشهر القمريّ النجميّ (الفلكي) والشهر القمري الاقتراني؟ أوضح إجابتك .....

9. ما القوة التي تبقي مركباتِ الفضاء في مساراتها في أثناء انتقالها عبر المنظومة الشمسية؟ .....

10. صنِّف كلاًّ مما يلي بصفتها خَصِيْصَةً من خصائص (1) الكواكب الأرضية أو (2) الكواكب العملاقة.

(أ) بعيدة عن الشمس .....

(ب) صغيرة القطر .....

(ج) كبيرة الكتلة .....

obeikandl.com

(د) منخفضة الكثافة .....

(هـ) قصيرة دَوْر الدوران المداري .....

(و) قصيرة دَوْر الدوران المحوري .....

(ز) لها أقمار كثيرة .....

11. قابِلْ كلَّ وصفٍ مما يلي بالكوكب الذي ينطبق عليه الوصف. استعِنْ بالجدول 2,8.

-- (أ) أقربها إلى الشمس.

-- (ب) مداره أكثر المدارات مَيْلاً نحو مستوي فلك البروج.

-- (ج) له أطول يوم نجميّ.

-- (د) سنته تعادل سنتين أرضيتين.

-- (هـ) أكبرها كتلة.

-- (و) أعلاها كثافة.

(1) عطارد.

(2) الزُّهَرة.

(3) الأرض.

(4) المرّيخ.

(5) المشتري.

(6) زُحَل.

(7) أورانوس.

(8) نپتون.

(9) پلوتو.

12. ما هي الكويكبات؟ .....

obeikandl.com

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. من نجم واحد هو الشمس، وتطوف حولها تسعةُ كواكب مع أقمارها، إضافةً إلى الكويكبات، والمذنَّبات، والغاز والغبار البَيْكوكبيّ. (الفقرة 1.8)

2. الكتلة. فالكوكب أخفض كتلةً وحرارةً من النجم؛ وفي حين أن النجم يولِّد ضوءَه من ذاته، فإن الكوكب يضيء بانعكاس ضوء النجم عليه. (الفقرة 1.8)

3. تطوف الكواكبُ جميعُها حول الشمس في اتجاهٍ واحد. تقع مداراتُ كل الكواكب ـ باستثناء پلوتو ـ في مستوي فلك البروج تقريباً. (الفقرة 2.8)

4. (أ) البدر؛ (ب) التربيع الأول. (الفقرة 4.8)

5. (أ) 5؛ (ب) 3؛ (ج) 2؛ (د) 1 ؛ (هـ) 4؛ (و) 6. (الفقرات 6.8 إلى 9.8)

6. تركيب حركتها الأمامية وحركتها الانجذابية نحو الشمس بتأثير قوة الثقالة. (الفقرة 9.8)

7. (أ) 3؛ (ب) 1؛ (ج) 2 ؛ (د) 4؛ (هـ) 4 ؛ (و) 2. (الفقرتان 8.8 و9.8)

8. يومان. في الوقت الذي يطوف فيه القمرُ حول الأرض، تطوف الأرضُ

والقمرُ معاً حول الشمس .

(الفقرتان 10.8 و11.8)

9. الثقالة. (الفقرة 12.8)

10. (أ) 2؛ (ب) 1؛ (ج) 2؛ (د) 2؛ (هـ) 1؛ (و) 2؛ (ز) 2.

(الفقرات 13.8 إلى 15.8 والجدول 2.8)

11. (أ) 1؛ (ب) 9؛ (ج) 2؛ (د) 4؛ (هـ) 5؛ (و) 3.

(الفقرات: 2.8 و 13.8 و 14.8 والجدول 2.8)

12. أجرامٌ صخريةٌ غير منتظمة الأشكال، طوّافةٌ حول الشمس بين مدارَي المريخ والمشتري على وجه الخصوص. (الفقرتان 1.8 و 16.8)

obeikandl.com