

بيع من الكتاب أكثر من 2.000.000 نسخة في الولايات المتحدة الأمريكية

علم الفلك

دليل للتعلم الذاتي

دينال . موسيه

تعريب : سعيد محمد الأسعد

مكتبة العبيكان

علم الفلك دليل للتعلم

علم الفلك

دليل للتعلم الذاتي

دينال . موشيه

تعریب : سعید محمد الأسعد

مكتبة العبيكان

المقدمة: المشهد الكوني



ما أغرب حالتنا هنا على الأرض نحن البشر: حلَّ كلُّ مَا في زياره قصيرة لا يُعرف لها سبباً، ومع ذلك يبدو أحياناً أنه يتحرى لذلك هدفاً.

ألبرت أينشتاين (1879 - 1955)

في ليلة صافية سماوتها حالكة الظلمة، تستطيع أن ترى بعينك المجردة نحواً من ألفي نجم، كما تستطيع أن تنظر تريليونات الكيلومترات في أعماق الفضاء لتمعن النظر آلاف السنين في الماضي السحيق.

قد تتساءل وأنت ترعى النجوم: ماذا تعني السماء المرصعة بالنجوم؟ وما موعدي أنا في هذا الكون الرحيب؟ والحقُّ أنك لست وحدك منْ تتساءل؛ فطالما افتئنَ الناس بروعةِ السماء وحاروا بغموضها.

ولئن كان الفلكُ أقدم العلوم، فهو في الوقت نفسه أحدثُها؛ وفي حين تتحققُ اليوم اكتشافاتٌ مثيرةً باستعمال أعقد الأدوات والتقنيات، يفلح الشُّدَّاد المثابرون من الفلكيين في تقديم إسهاماتٍ مهمةً كذلك.

يعنى هذا الكتاب بتعليمك المفاهيم الأساسية لعلم الفلك واستكشاف الفضاء. وسترى أنك تستمتع أكثر فأكثر برصد النجوم مع تنامي معرفتك وإدراكك، وأنك عَذُوتْ أقدر على تصفح وب لمطالعة المزيد عن الموضوعات الفلكية التي تستهويك بدءاً من علم الفلك القديم، ووصولاً إلى أحدث النظريات الفلكية والرحلات الفضائية.

يحسن، في أثناء دراستك، أن ترجع دوماً إلى:

الخرائط النجمية ، وخرائط القمر ، المثبتة في نهاية الكتاب، وهي خرائط خاصة سهلة القراءة تساعدك على تحديد أجرام السماء الهامة وتعريفها. ويمكنك كذلك القيام ببعض الأنشطة البسيطة  لتمثيل فكرة أساسية تمثيلاً عملياً.

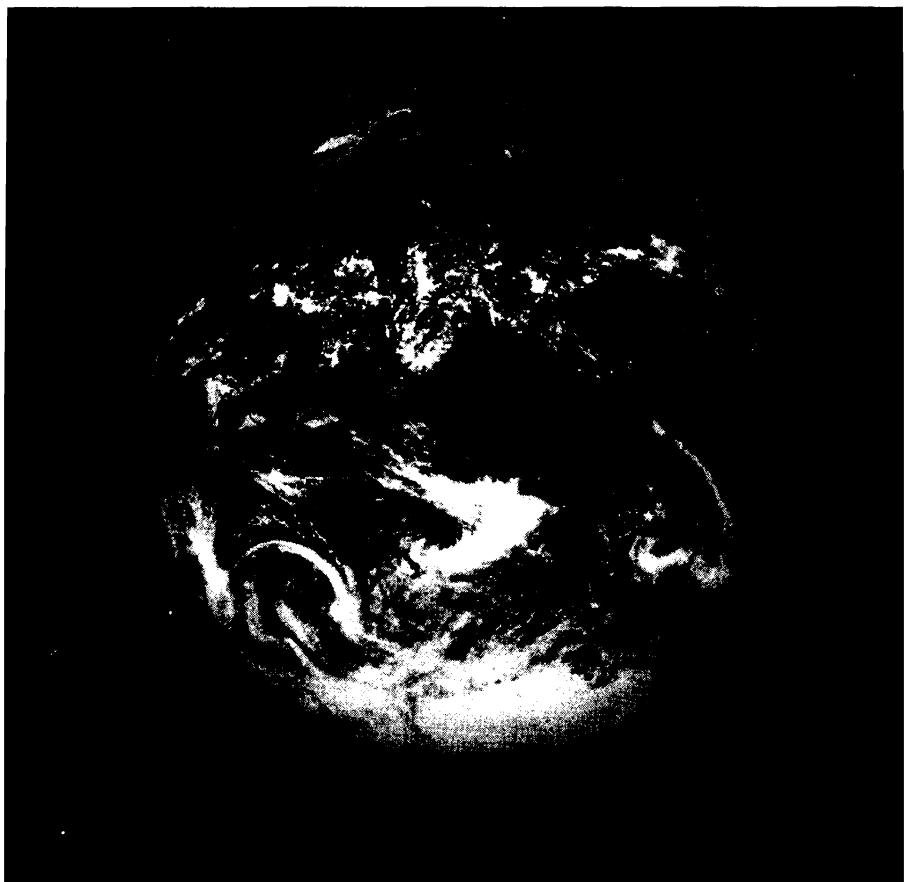
هيا انطلق الآن في توسيع آفاق تفكيرك بدراسة المنظومات العظيمة للفضاء والزمن، وهو ما نسميه الكون.

إن الأرض مثلكنَا وموانانا، وهي كرّة صخرية يبلغ قطرها نحوأ من 13 كيلومتر (8000 ميل)، عائمة في لُج المكان-الزمان اللانهائي (الشكل 1.).

ويتّممي كوكب الأرض إلى المنظومة الشمسية⁽¹⁾ solar system (الشكل 2) التي تتّألف من نجم واحد - هو الشمس - وتسعة كواكب معروفة، مع أقمارها وكويكباتها ومذنباتها وجسيماتها الغبارية، وتطوف كلّها جمِيعاً حول الشمس. ويبلغ قطر كامل المنظومة الشمسية زهاء 12 مليار كيلومتر (8 مليارات ميل).

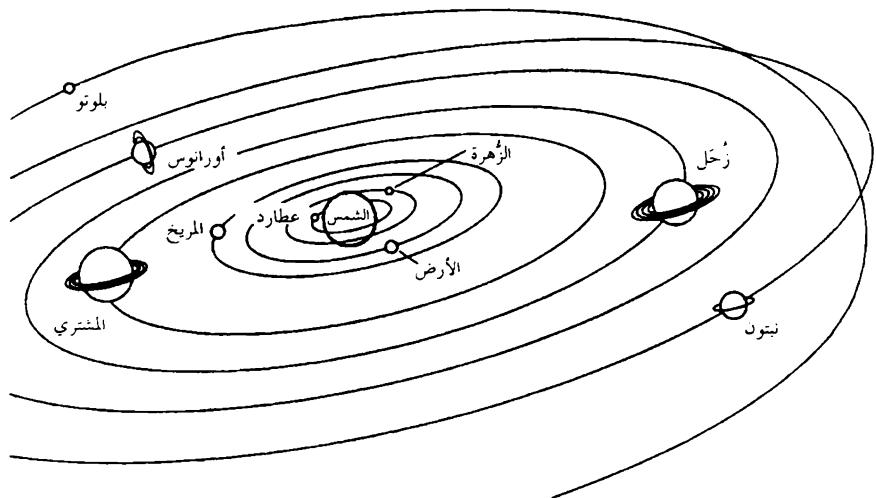
تقع الشمس والمنظومة الشمسية في إحدى الأذرع اللولبية العظيمة

(1) سأعتمد تعبير «المنظومة الشمسية» في الغالب ترجمة لعبارة solar system، التي تسمى أيضاً: المجموعة الشمسية، والنظام الشمسي. (المغرب)



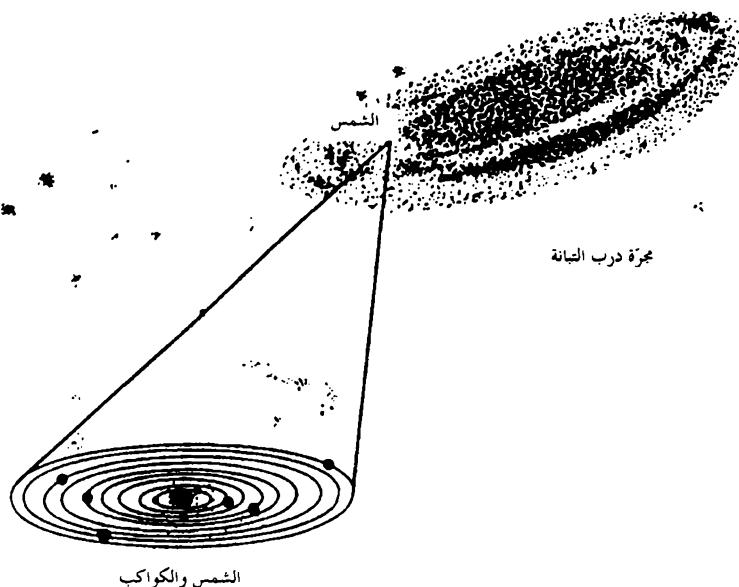
الشكل م. 1 صورة للأرض ملتقطة من الفضاء. لاحظ ضياء الشمس يظهر - بصورة مثيرة - للمحيطات الزرقاء، والامتدادات الأرضية البنية الضاربة إلى الحمرة، والسماء البيضاء الممتدة من منطقة البحر المتوسط إلى القلنسوة الجليدية للقارّة القطبيّة الجنوبيّة.

لمجرة درب التبانة Milky Way Galaxy (الشكل م.3). وتضم مجرتنا الهائلة هذه ما يزيد على 200 مليار نجم، إضافة إلى غاز وغبار ينجمي interstellar. جميعها يدور حول المركز، علماً بأن قطر مجرة درب التبانة يناثر 100,000 سنة ضوئية. (1 سنة ضوئية = 10 تريليونات كيلومتر أو 6 تريليونات ميل تقريباً).

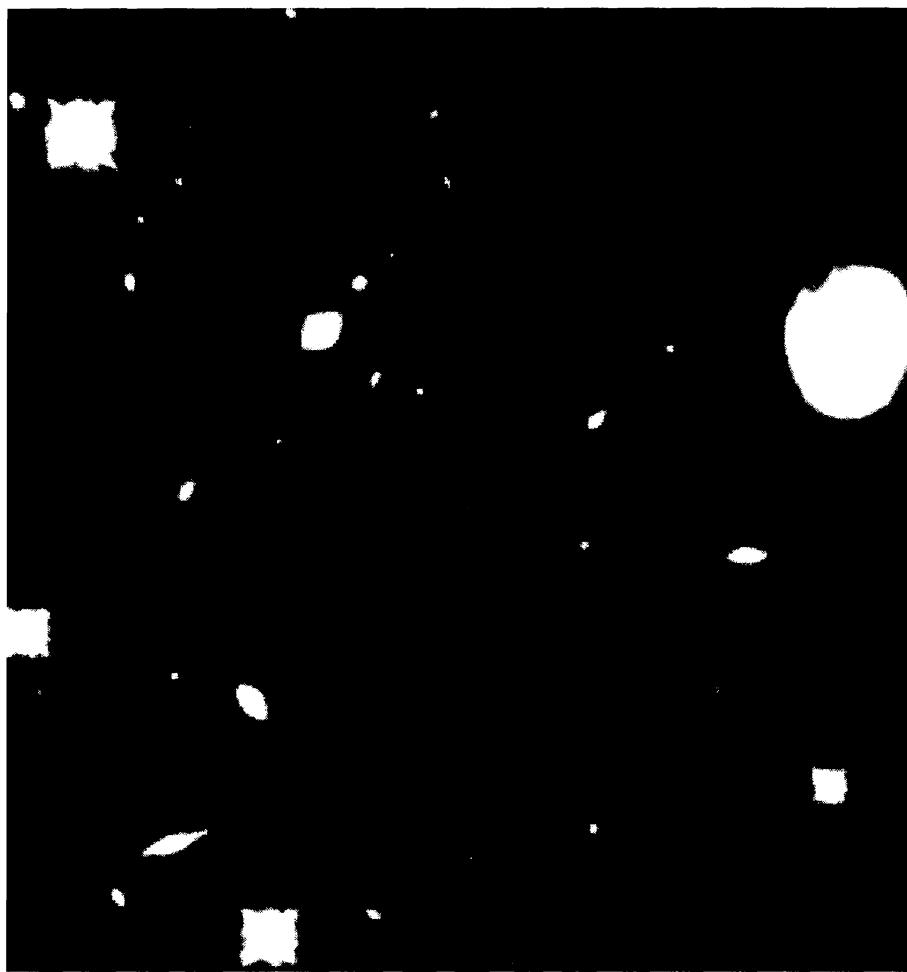


الشكل م.2 المنظومة الشمسية. (الرسم ليس وفقاً لمقياس معين).

وليست مجرة درب التبانة إلا واحدة من مليارات المجرات الواقعة عند حافة الكون المرصود، وتبعد عنا قرابة 15 مليار سنة ضوئية (الشكل م.4).



الشكل م.3 موقع المنظومة الشمسية في مجرة درب التبانة.



الشكل ٤. مئات المجرات النائية ضمن رقعة صغيرة من السماء في كوكبة الطوقان *Ursa Major* تضم كل مجرة ملايين النجوم.

إدراك حقيقة السماء المرصعة بالنجوم



الأفق كأس فوقنا مقلوبةٌ كم تحتها خليع الليب الأحزنُ
لا ترتجي يا نفس منها موئلاً فمالها نحو الفناء محنتُم

رباعيات عمر الخيام (1048 - 1131)

الأهداف:

- تحديد موقع الأجرام السماوية عن طريق مَطْلَعِها المستقيم وَمَيْلَها على الكورة السماوية.
- تعرُّف بعض النجوم الساطعة والكواكب النجمية التي تُرى في كلِّ فصلٍ من فصول السنة.
- تفسير ما يبدو من أن النجوم تتحرك على مسارات قوسية الشكل في السماء ليلاً.
- تفسير ظهور بروجٍ مختلفٍ في السماء في كلِّ فصلٍ من فصول السنة.
- تعليل الحركات الظاهرية اليومية والسنوية للشمس.
- تعريف دائرة البروج.

- وصف مظهر السماء المرصّعة بالنجوم عند رؤيتها من خطوط عرض مختلفة على الأرض.
- تعريف اليوم النجمي واليوم الشمسي، وبيان سبب اختلافهما.
- بيان طرائق علماء الفلك في تصنيف الأجرام السماوية وفقاً لسيطرتها الظاهري (لأقدارها).
- تفسير سبب تغيير نجم القطب وموقع الاعتدال الربيعي على مدى آلاف السنين.

1.1 المشهد كما يراه الراصد:

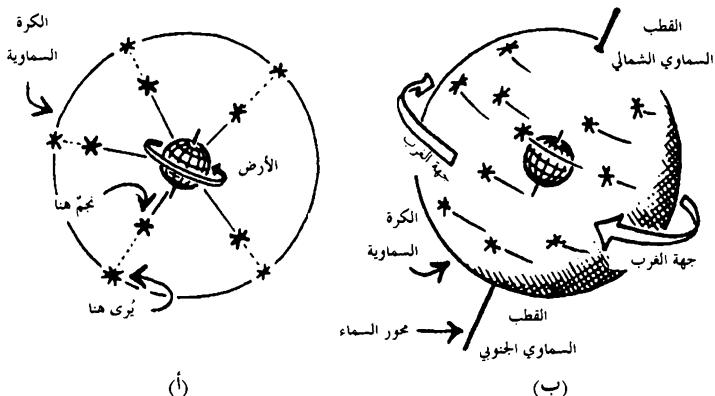
في ليلة صافية وحالكة تبدو السماء كقبة عملاقة مرصّعة بالنجوم، فندرك دون عناء لماذا كان الأقدمون يعتقدون أن السماء بنجومها كرة هائلة تدور حول الأرض.

ونحن نعلم اليوم أن النجوم نائية، وأن الشموس المتقيدة تنطلق بأقصى سرعة عبر الفضاء على مسافات مختلفة من الأرض، وأن الأرض تدور يومياً حول محورها axis (وهو الخط الوهمي الواصل بين القطبين الشمالي والجنوبي عبر مركزها).

لكن صورة السماء على أنها كرة هائلة الحجم جوفاء تحوي النجوم وتدور حول الأرض ما زالت مفيدة حتى اليوم. يطلق الفلكيون على هذه الصورة المفترضة للسماء اسم الكرة السماوية celestial sphere. (كلمة celestial مشتقة من الكلمة латинская تعني السماء).

يستعين الفلكيون بالكرة السماوية لتحديد موقع النجوم وال مجرّات، ورسم مسارات الشمس والقمر والكواكب طوال العام. فعندما ننظر إلى النجوم تخيل نفسك داخل الكبة السماوية تنظر نحو الخارج (الشكل 1.1).

المشاهد كما يدور



الشكل 1.1 (أ) تبدو نجوم السماء، لراصد على الأرض، على درجة واحدة من البعد عنه. (ب) نتمثل النجم ثابتة على كرة سماوية دوامة نحو جهة الغرب يومياً (أي خلافاً لاتجاه الدوران الفعلي للأرض على محورها).

لماذا تبدو النجوم على الكرة السماوية متحركةً ليلاً عند رصدها من الأرض؟ ..

الجواب: لأن الأرض تدور على محورها داخل الكرة السماوية.

1.2 البروج (الكواكب)

من الممتع فعلاً - بعد شيء من الدرابة - أن تخرج لترقب السماء وترى نجماً فتنياً أبيض مائلاً إلى الزرقة، أو نجماً عملاقاً أحمر منذرًا. وقد لا تعتقد في نفسك القدرة على تمييز نجم من نجم بادئ الأمر، إلا أنك ستفعل بالتأكيد.

والخرائط النجمية القابلة للتنزع، المثبتة في آخر هذا الكتاب، وضعٌ خصيصٌ للفلكيين المبتدئين الذين يرصدون قريباً من خط العرض 40°

شمالاً. (إنها مفيدة لرعاة السماء الأغرة على خطوط العرض المتوسطة لنصف الكرة الشمالي).

تَظُهر النجوم وكأنها تنتمي إلى مجموعات تُؤلَّف نماذج متميزة في السماء. تسمى هذه النماذج النجمية بروجاً أو كوكبات constellations. واعلم أن تدربك على تعين أشهر البروج يعينك على تمييز نجوم فرادى فيها.

والبروج الثمانية والثمانون التي أقرّها رسمياً الاتحاد الفلكي الدولي International Astronomical Union مدرجة في الملحق رقم 1. وتعرض الصور النجمية أشهر البروج المتألقة في خطوط العرض هذه، مع الإشارة إلى أن أسماءها اللاتينية وأسماء المجموعات النجمية asterisms غير الرسمية الشائعة مثبتة بحروف كبيرة مميزة.

وقد أطلق الناس منذآلاف السنين على البروج بعض أسماء الحيوانات كالأسد Leo (الشكل 2.1)، أو أسماء شخصيات أسطورية كالصياد الجبار Orion (انظر الشكل 1.5). هذا وقد بلغ عدد البروج التي عرفها قدماء الإغريق منذ ما ينوف على ألفي سنة خلت ثمانية وأربعين برجاً.

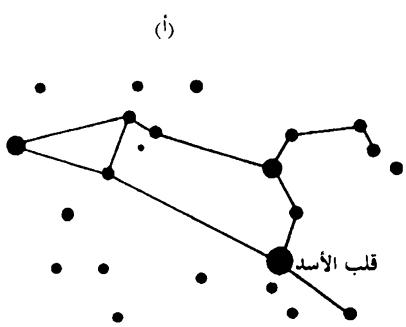
أما اليوم فيستعمل علماء الفلك الأسماء التاريخية للبروج بغية الإشارة إلى 88 جزءاً من السماء، بدلاً من الأسماء الأسطورية القديمة. وهم يستعينون بأسماء البروج لتحديد موقع الأجرام؛ فقولهم مثلاً إن كوكب المريخ في برج الأسد يساعد على تحديد موقع ذلك الكوكب، تماماً كما القول بأن مدينة هيوستن هي في ولاية تكساس يساعد على تحديد موقع تلك المدينة.

انظر في خرائطك النجمية ولاحظ أن الخط المتقطّع يشير إلى فلك البروج ecliptic، وهو المسار الظاهري للشمس حيال نجوم الخلفية. إن البروج الثاني عشر الواقعة حول فلك البروج تُؤلَّف دائرة البروج المألوفة

أسماؤها لمن يقرأون الطالع .

اذكر أسماء البروج الاثني عشر⁽¹⁾

الجواب: الحوت، الحمل، الثور، الجوزاء (التوأمان)، السرطان، الأسد، العذراء (السنبلة)، الميزان، العقرب، القوس (الرامي)، الجدي، الدلو.



الشكل 2.2 يُرى برج الأسد أوضَّحَ ما يَكُونُ فِي أَوَّلِ الرَّبِيعِ عَنْدَمَا يَكُونُ فِي كَبِّ السَّمَاءِ.
 (أ) أَسْطُوعُ نَجْوَمِ Regulus (قَلْبُ الْأَسْدِ) يَدُلُّ عَلَى مَوْقِعِ الْقَلْبِ مِنْهُ، فِي حِينَ تَصُورُ النَّجْوَمُ الْسَّتَّةُ الَّتِي تَؤَلِّفُ شَكْلًا مُنْجَلِّيًّا لِبَنْدَتِهِ، وَمُثَلِّثُ النَّجْوَمِ جَزْءَهُ الْخَلْفِيُّ وَذِيلِهِ.
 (ب) الْأَسْدِ.

(1) جُمِعَتْ أَسْمَاءُ الْبَرُوجِ فِي هَذِينِ الْبَيْتَيْنِ الْلَّطَيْفَيْنِ :
 حَمْلُ الثُّوْرُ جَوْزَةُ السَّرَطَانِ وَرَعِيَ الْلَّيْلُ سَنَلُ الْمِيزَانِ
 وَرَمِيَ عَقْرَبُ بِقَوْسِ لَجْدِيِّ نَزَحَ الدَّلُو بِرَزْكَةِ الْحِيتَانِ (الْمَعْرَبِ)

1.3 البروج حول القطبين

تفحّص خرائطك النجمية بدقة، لتلاحظ وجود عدة بروج حول - قطبية على الخرائط الأربع، قريباً من القطب السماوي الشمالي (موسومة هكذا: + POLE+).

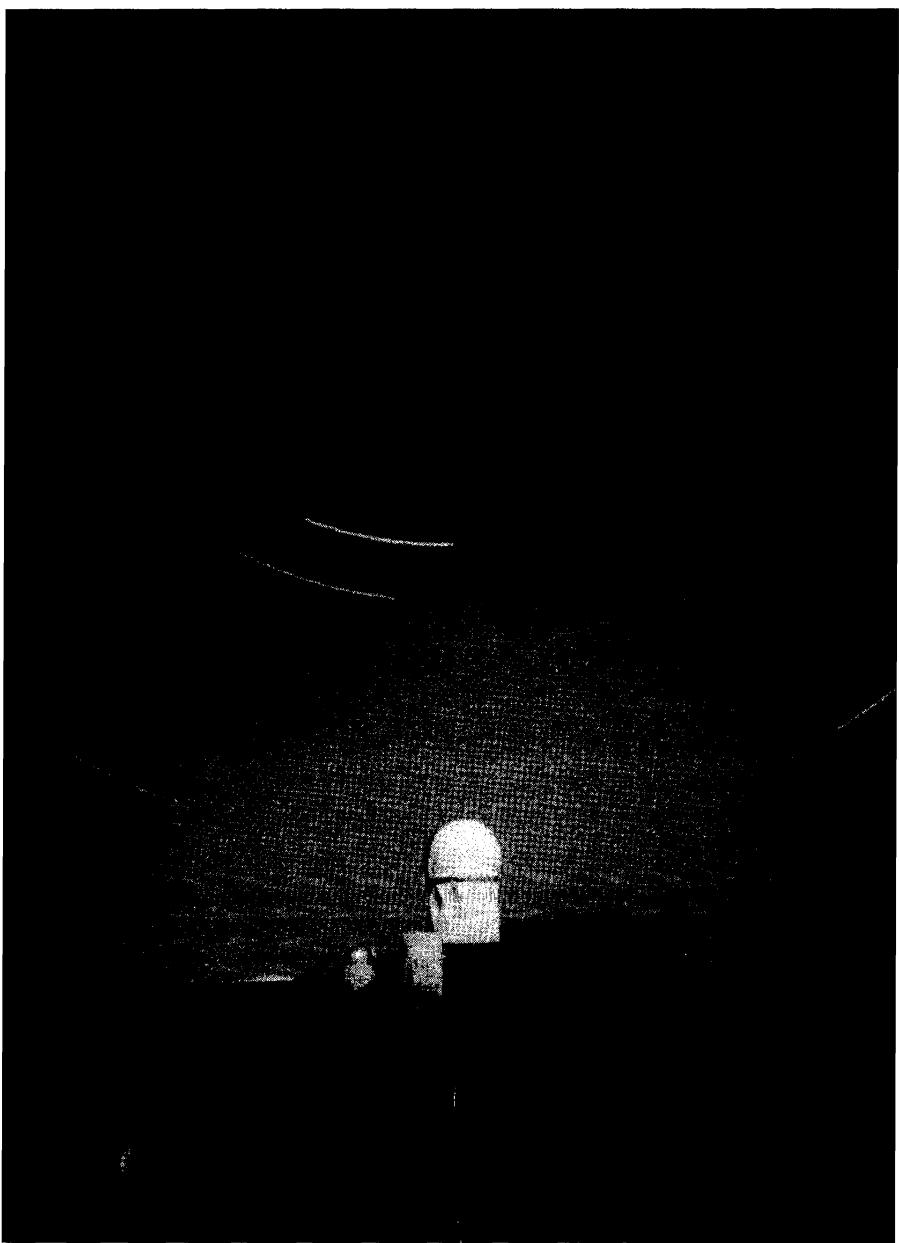
إنها بروج حول القطب الشمالي north circumpolar constellations تظهر فوق الأفق الشمالي طوال السنة قريباً من خط العرض 40° شمالاً (الشكل 3.1). ويلاحظ عند خط العرض هذا أن القطب السماوي الجنوبي south circumpolar وما يجاوره من البروج حول القطب الجنوبي لا ترتفع فوق الأفق في أي ليلة من السنة.

اذكر البروج حول - القطبية الثلاثة التي هي أقرب إلى نجم القطب Polaris، وارسم معالمها الخارجية.....

الجواب: البروج حول - القطبية الثلاثة التي ستتمكن من تبيئها على الخرائط النجمية هي ذات الكرسي Cassiopeia وقيفاوس Cepheus والدب الأصغر Minor. حاول - بعد أن تعرف حدودها الخارجية - العثور عليها في السماء فوق الأفق الشمالي. ملاحظة: عند خط العرض 40° شمالاً أو أعلى من ذلك يكون برجا الدب الأكبر Ursa Major والثين Draco حول القطب أيضاً.

1.4 كيف تستعمل الخرائط النجمية

يمكنك استعمال الخرائط النجمية في منطقة مكشوفة لتعرف البروج والنجوم التي تراها في السماء ليلاً، وتحديد موقع ما تريد رصده منها.



لشكل 3.1 صورة ملتقطة بطريقة التعریض الزمني، بتوجيه المصوّرة إلى القطب السماوی الشمالي فوق مرصد کیت پیک Kitt Peak الوطني في الولايات المتحدة. تظهر آثار مسارات النجوم التي تدل على الدوران الفعلي للأرض.

اختر الخريطة التي تصور السماء في الشهر والوقت الذي ترصد أنت فيها. اقلب الخريطة بحيث يظهر اسم الاتجاه البوصلي المقابل لك في قاعدة الخريطة. ستجد بعد ذلك أن خريطتك النجمية تعطيك صورة السماء، من القاعدة إلى المركز، كما تراها أنت من خط أفقك إلى النقطة الواقعة فوق رأسك مباشرة [على الكرة السماوية].

فإذا كان مكان وجودك مثلاً جهة الشمال عند الساعة العاشرة ليلاً أوائل شهر نيسان (أبريل) أوائل شهر شباط (فبراير) سم برجاً معروفاً يسطع جهة الجنوب قرابة الساعة الثامنة ليلاً في مستهل شهر مارس (مارس)

الجواب: الجبار.

5.1 كيف تعرّف البروج

ترتاءى البروج الواقعة فوق الأفق الجنوبي في الليل، وتتغير بتغير فصول السنة. اقلب كل خريطة بحيث تكون الكلمة SOUTH (الجنوب) عند القاعدة. استعمل خرائطك النجمية لتعرف أشهرِ البروج التي تسقط في كل فصل (مثل برج الأسد في الربيع وبرج الجبار في الشتاء).

تعرّف ثلاثة بروج يمكن رؤيتها هذا الفصل، وعبر عنها برسوم تخطيطية

الجواب: تتوقف إجابتك على الفصل الذي أنت فيه؛ فإذا كنتَ تقرأ الكتاب في فصل الربيع مثلاً فقد يقع اختيارك على بروج الأسد والعذراء والعقرب.

6. أسماء النجوم

أطلق القدماء على أكثر من 50 من أسطع نجوم السماء أسماء عربية ويونانية ولاتينية. وأنت تجد أسماء النجوم الساطعة أو المعروفة مطبوعة على خرائطك النجمية بحروف استهلالية كبيرة.

يستعمل الفلكيون اليوم حروفًا وأرقاماً لتعريف مئاتآلاف النجوم، فيشيرون إلى أسطع النجوم في برج ما بحرف يوناني مقترباً باسم الكوكبة اللاتيني بصيغة الإضافة أو النسبة. وقد جرت العادة على أن يرمز لأسطع النجوم في كوكبة ما بالرمز اليونيـاني α (ألفا)، وإلى الذي يليه سطوعاً بالرمز β (بيتا)، وهكذا. (انظر الأبجدية اليونانية في الملحق رقم 3). وهكذا يشار إلى نجم قلب الأسد Regulus باسم Leonis α ، أو أسطع نجوم كوكبة الأسد. أما أضعف النجوم سطوعاً (وهي غير مدرجة في الخرائط) فتُعرف بأرقام خاصة في الفهارس النجمية الدليلية.

هذا ولا يمكنك في المدن المكتظة أن ترى سوى أسطع النجوم؛ فإذا ابتعدت عن أصوات المدينة وأبنيتها وكانت السماء حالكة وصفافية، تمكنت من رؤية زهاء 2000 نجم بعينك المجردة.

بالرجوع إلى خريطة السماء في الصيف، سُمّ النجوم الثلاثة الساطعة التي تعين رؤوس المثلث الصيفي Summer Triangle المعروفة

الجواب: النسر الواقع Vega وذئب الدجاجة Deneb والنسر الطائر Altair. ابحث عن المثلث الصيفي في السماء صيفاً.

7.1 السطوع

تبعد بعض النجوم في السماء أسطع من بعضها الآخر. إن القدر الظاهري apparent magnitude لجرم سماوي هو معيار سطوعه الملحوظ من الأرض، فقد تبدو النجوم ساطعةً لأنها تُضيء كثيرةً من الضوء، أو بسبب قربها من الأرض نسبياً.

في القرن الثاني قبل الميلاد قام الفلكي الإغريقي هيبارخوس Hipparchus بتقسيم النجوم المرئية إلى ستة أصناف، أو أقدار، تبعاً لدرجة سطوعها النسبي، فرقم الأقدار من 1 (الأكثر سطوعاً) إلى 6 (الأقل سطوعاً).

ويعتمد الفلكيون اليوم صيغة أكثر دقة لنظام التصنيف القديم؛ فبدلاً من تقدير درجة السطوع بالعين المجردة يستعملون جهازاً يسمى المضواء أو مقياس الضوء photometer لقياس درجة السطوع. ويدرك أن أقدار أسطع النجوم سلبية: فـقدر أسطع نجم ليلي، وهو الشُّعُرِي اليمانية Sirius، هو -1,46. وتراوح الأقدار بين 26,72 - للشمس وقرابة +28 لأخفت الأجرام المرصودة بالمقاريب الكبيرة، علماً بأن فارق قدر واحد يعني نسبة سطوع تقارب 2,5.

إن الأقدار مدونة على الخرائط النجمية وفي الجدول 1.1. فمثلاً نحن نستقبل من نجم النسر الواقع Vega، وقدره 0، وقدره أكبر بنحو 2,5 مرتين مما نستقبله من نجم ذنب الدجاجة Deneb ذي القدر 1، وقدره أكبر بنحو 6,3 مرات مما نتلقيه من نجم القطب ذي القدر 2. (ستناقش الأقدار بفضل بيان في الفقرة 14.3).

..... ماذا يعني الفلكيون بالقدر الظاهري؟

الجواب: درجة ما يbedo عليه جرم سماويٌ من سطوع.

8.1 تحديد الموضع على الأرض

كلما ازداد إدراكك لحركة النجوم ازدادت متعتك برصدتها. إن نموذج الكروية *celestial globe* يساعدك على تحديد موقع الأجرام السماوية، تماماً كما يساعدك نموذج الكروة الأرضية *terrestrial globe* على تحديد موقع أماكن على الأرض.

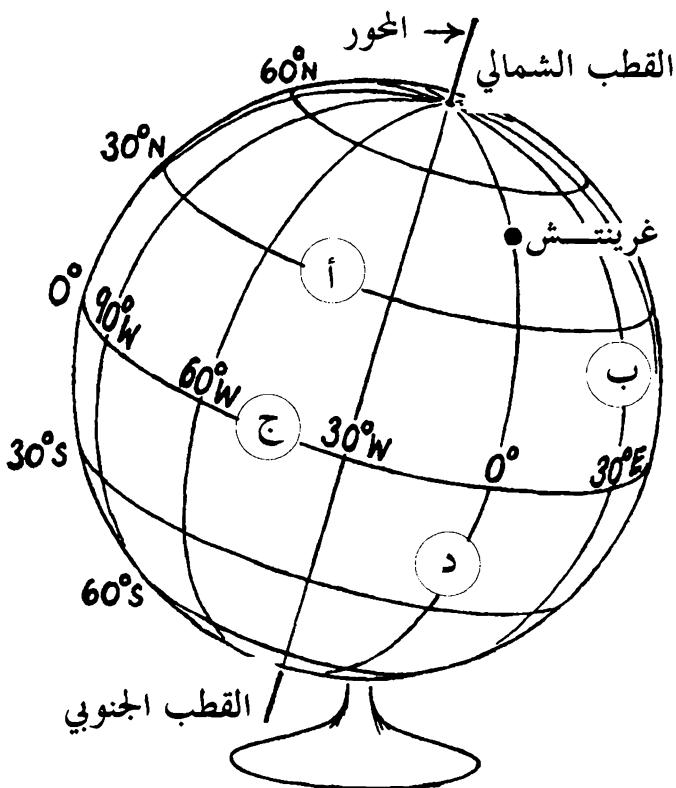
تذكّر كيف تعمل الخرائط الأرضية؟ فنحن نصوّر الأرض ككرةً نرسم عليها خطوطاً وهميّةً نسترشد بها، وتتقاسس كلُّ الأبعاد والمواقع اعتباراً من خطين مرجعيين رئيسيين معلَّمَيْن بـ 0° ، أحدهما - وهو خط الاستواء- equator يمثل الدائرة العظمى التي تتوسط المسافة بين القطبين الشمالي والجنوبي والتي تقسم الكرة نصفين؛ والآخر - وهو خط الزوال الرئيسي أو دائرة الطول الأساسية prime meridian يمتدّ من قطب إلى قطب عبر غرينتش بإنكلترا.

تسمى الخطوط الوهمية الموازية لخط الاستواء بخطوط العرض latitude lines، وتلك الممتدة بين القطبين بخطوط الطول longitude lines (أو دوائر الزوال meridians). ويمكن تحديد موقع أي مدينة على الأرض إذا عرفت إحداثياتها بالنسبة إلى خطوط العرض والطول. كذلك يمكن قياس المسافات على سطح الكرة الأرضية بتقسيم هذه الأخيرة إلى 360 قسماً تسمى الدرجات °. (انظر تعريف القياس الراوي في الملحق 3).

انظر إلى نموذج الكرة الأرضية في الشكل 4.1، وحدد عليه خط الاستواء، وخط الزوال الرئيسي، وخط العرض 30° شمالاً، وخط الطول 30° شرقاً.

- (ب) (أ)
..... (د) (ج)

الجواب: (أ) 30° شمالاً؛ (ب) 30° شرقاً؛ (ج) خط الاستواء؛ (د) خط الروافل الرئيسي.

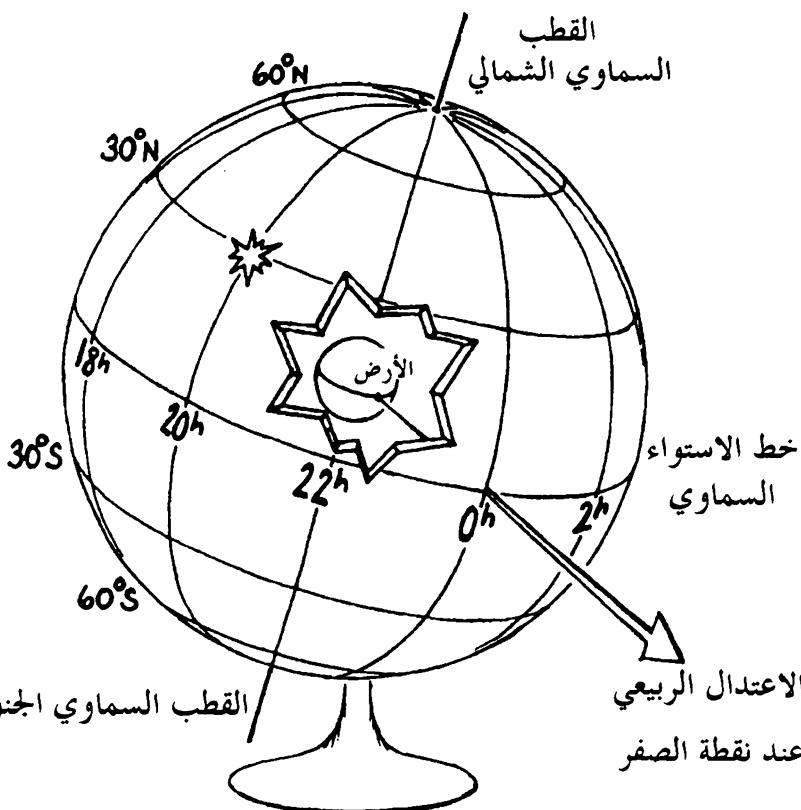


الشكل 4.1 نموذج الكرة الأرضية.

٤.١ الإحداثيات السماوية

يرسم الفلكيون على الكرة السماوية خطوطاً وهميةً أفقيةً وشاقوليةً شبيهةً بخطوط العرض وخطوط الطول على الأرض، ويستعملون لهذه الغاية إحداثيات سماوية لتحديد موقع الأجرام السماوية.

خط الاستواء السماوي celestial equator هو مسقط خط الاستواء الأرضي على السماء. يُسمى البُعد الزاوي فوق خط الاستواء السماوي وتحتة الميل declination (أو dec). أما البُعد المقياس باتجاه الشرق على امتداد خط الاستواء السماوي من نقطة الصفر - التي تسمى الاعتدال الربيعي vernal



الشكل 5.1 نموذج الكرة السماوية.

equinox فُيسَمِّي مَطْلِعًا مستقيماً right ascension (أو RA) يُقاس بالساعات . $15^\circ = 1^h$ ، حيث

وكما يمكن تحديد موقع أي مدينة على الأرض عن طريق إحداثيات خطوط الطول والعرض، كذلك يمكن تحديد موقع أي جرم سماوي على الكورة السماوية عن طريق إحداثيات مطلعه المستقيم وميله.

حدّد موقع النجم المبين في الشكل 5.1

10. تحديد الموضع على الكرة السماوية

إن لكل نجم موقعاً على الكرة السماوية، وهو موقعه الذي يظهر عند النظر إليه من الأرض. إنَّ مَيْلَ النجوم ومطلعها المستقيم لحقبة epoch نظامية (أي لنقطة زمانية تختار مرجعاً ثابتاً) يتغير تغييرًا طفيفاً على مدى سنوات كثيرة، ويمكن قراءتها من نموذج كرة سماوية أو من أطليس نجمي أو من برمجيات كومبيوترية (انظر مثلاً الجدول 1.1 الذي ستعود إليه مراراً عند تناول ما فيه من معلومات ضمن فصول مقبلة من الكتاب).

تتغير موضع الشمس والقمر والكواكب على الكرة السماوية بانتظام. ويمكنك معرفة موقعها الشهرية من أحدث المنشورات الفلكية أو من موقع Web أو البرمجيات الكومبيوترية (انظر «المصادر المفيدة»).

في حقبة معينة، قد تتحدد موضع النجوم عند الإحداثيات نفسها تقريباً على الكرة السماوية، في حين تغير موضع الشمس والقمر والكواكب بانتظام. فسر ذلك

الجواب: لما كانت النجوم أجراماً نائيةً جداً عن الأرض، تعذر إمكان رؤية حركتها بالعين المجردة، مع أنها تنتقل عدة كيلومترات في الثانية في اتجاهات مختلفة. أما الشمس والقمر والكواكب فهي أقرب إلى الأرض بكثير، فتسنن لنا رؤية حركتها بالنسبة إلى النجوم البعيدة.

الجدول 1.1 أسطُع النجوم

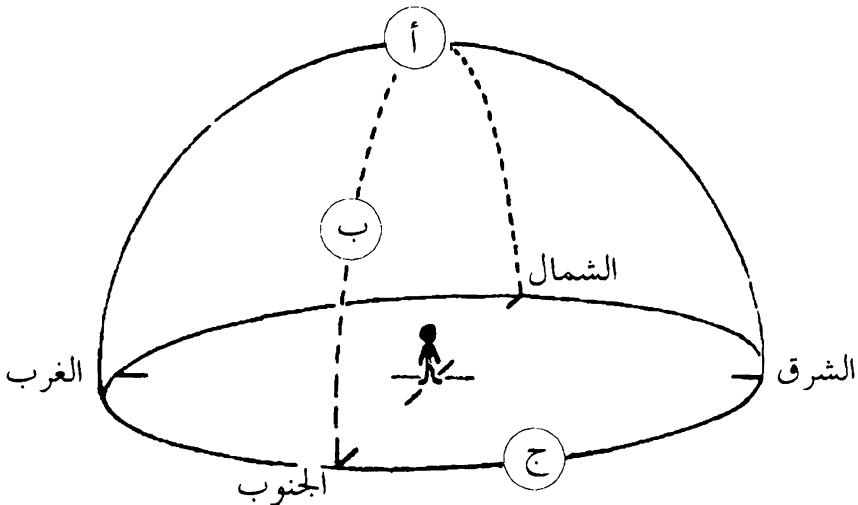
قَدْرُهُ المطلق	قَدْرُهُ الظاهري	بعد (ly)	صنفه الطيفي	مَيْلٌ	مطلعه المستقيم m h	قَدْرُهُ الظاهري	اسم النجم	
4.8	8	1m	G	- -	- -	-26.72		الشمس
1.5	9	A	43 -16	45 06	-1.44	α الكلب الأكبر	الشُّعُرِي اليمانية	
-5.4	313	A	41 -52	24 06	-0.62	α كارينا	سُهْيل	
4.2	4	G	50 -60	40 14	-0.01	α قططوس	رِجل قططوس	
-0.6	37	K	11 +19	16 14	-0.05	α العوَاء	السمَّاك الرامع	
0.6	25	A	47 +38	37 18	0.03	α الشلياق	السر الواقع	
-0.8	42	G	00 +46	17 05	0.08	α ذو الأعنة	العرق	
-6.6	773	B	12 -08	15 05	0.18	β الحبار	الرَّجُل	
2.8	11.4	F	14 +05	40 07	0.41	α الكلب الأصغر	الشُّعُرِي الشَّاسِيَة (الغمصاء)	
-2.9	144	B	14 -57	38 01	0.45	α الهر	آخر النهار	
-5.0	522	M	24 +07	55 05	0.45	α الحبار	منكب الجوزاء	
-5.5	526	B	22 -60	04 14	0.58	β قططوس	حَضَار	
2.1	17	A	52 +08	51 19	0.76	α العُقَاب	السر الطائر	
-0.8	65	K	30 +16	36 04	0.87	α الثور	الدبران	
-3.6	262	B	09 -11	25 13	0.98	α العدراء	السَّبِيلَة	
-5.8	604	M	26 -26	30 16	1.06	α العقرب	قلب العقرب	
1.1	34	K	02 +28	45 07	1.16	β الجوزاء	رأس الجوزاء	
1.6	25	A	38 -29	58 22	1.17	α الحوت الجنوبي	فم الحوت	
-7.5	1467	A	17 +45	41 20	1.25	α الدجاجة	الذئب	
-4.0	321	B	05 -63	27 12	1.25	α الصليب	ثَيْرُ نَعْيم	
-4.0	352	B	41 -59	48 12	1.25	β الصليب	الصلب الجنوبي	

المختصرات:

المطلع المستقيم: h = ساعات؛ m = دقائق زمنية.

المَيْل: " = درجات، " = دقائق قوسية.

(light minute) - lm (light year) = ly سنة ضوئية.



الشكل 6.1 خطوط المرجع الموضعية لراصد.

1.1 خطوط المرجع الموضعية

إن خطوط المَيْل والمطلع المستقيم ثابتة بالنسبة إلى الكرة السماوية وتتحرك معها وهي تدور حول الراصد. لكن ثمة خطوطاً مرجعية أخرى مفيدة تتصل بموقع كل راصد، وتظلُّ ثابتةً مع الراصد لدى مرور الأجرام السماوية.

ومن موقعك فإن السَّمَت zenith هو النقطة الواقعة فوق رأسك مباشرة على الكرة السماوية؛ والأفق السماوي celestial horizon هو الدائرة العظيمة على الكرة السماوية، التي تصنع زاوية قدرها 90° اعتباراً من سَمَت رأسك. ومع أن الكرة السماوية مليئة بالنجوم، فإنك لا ترى إلا تلك النجوم التي تقع فوق خط أفقك. أما خط الزوال السماوي أو دائرة الطول السماوية meridian فهو الدائرة العظيمة المارة بسمت رأسك وينقطع في الشمال والجنوب على خط أفقك، مع العلم بأن ما يقع فوق الأفق من خط الزوال السماوي هو نصفه فقط.

بالرجوع إلى الشكل 6.1 حدد سمت الراسيد، والأفق السماوي، وخط الزوال السماوي.

(أ) ؛ (ب) ؛ (ج)

(ج)

الجواب: (أ) السمت؛ (ب) خط الزوال؛ (ج) الأفق.

12.1 خط الزوال السماوي

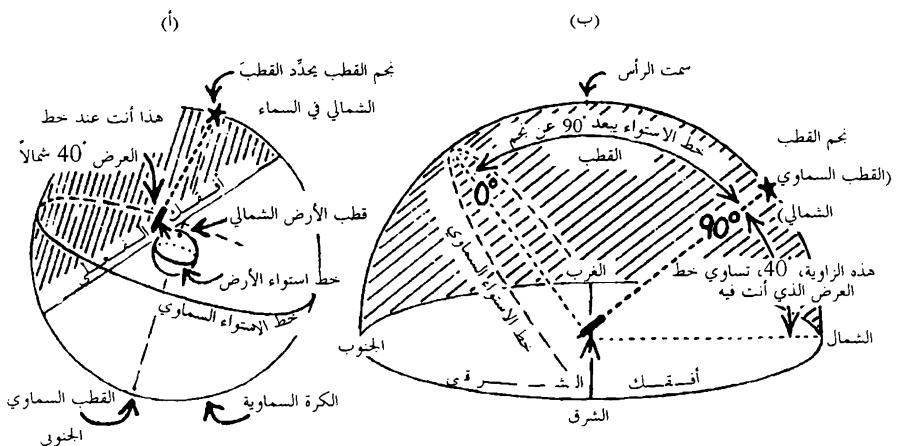
اخْرِجْ إِلَى الْعَرَاءِ وَتَبَيَّنْ سَمْتَكَ وَأَفْقَكَ السَّمَاوِيِّ وَخَطَّ الزَّوَالِ السَّمَاوِيِّ، وَذَلِكَ بِتَصُورٍ نَفْسِكَ، شَأْنَ الرَّاصِدِ، فِي مَرْكَزِ الْكَرْهَةِ السَّمَاوِيَّةِ الْعَظِيمَةِ.

فِي لَيْلَةِ حَالَكَةِ صَافِيَّةِ مُنْجَمَةِ، وَلَّ وَجْهَكَ شَطَرَ الْجَنْوَبِ وَحاوَلَ أَنْ تَرْصِدَ النَّجُومَ الْقَرِيبَةَ مِنْ خَطِّ الزَّوَالِ السَّمَاوِيِّ عَدَةَ مَرَاتٍ فِي أَوْقَاتٍ مُتَبَاينةٍ مِنَ الْلَّيلِ. صِفْ مَا تَرَى

الجواب: تتحرك النجوم من الشرق إلى الغرب وتُعبر transit خط الزوال السماوي. ذلك بسبب دوران الأرض من الغرب إلى الشرق. تتكون culminate النجوم (أي تبلغ أعلى ارتفاع ظاهري لها) عندما تكون على خط الزوال السماوي.

13.1 علاقة خطوط العرض بالرصد

إن النجوم التي تظهر فوق أفقك ومساراتها عبر السماء منوطة بموقع خط العرض الذي أنت فيه على الأرض، إذ يختلف مظهر السماء باختلاف خطوط العرض (الشكل 7.1).



الشكل 7.1 الوجهة المحلية للكرة السماوية عند خط العرض 40° شمالاً. (أ) مشهد من نقطة مفترضة في الخارج. (ب) مشهد الراصد.

فلو نظرت إلى السماء من القطب الشمالي ثم من القطب الجنوبي لرأيت نجوماً مختلفة تماماً. وتعمل الأرض على قطع مشهد الكبة السماوية الذي تراه نصفين.

ويمكنك تحديد اتجاه الكبة السماوية بالنسبة إلى أفقك وسمت رأسك عند أي مكان على الأرض. ففي نصف الكبة الشمالي يقع القطب السماوي الشمالي فوق أفقك الشمالي عند خط عرض مساوٍ لخط العرض الذي أنت فيه. ولا يبعد نجم القطب إلا أقل من درجة واحدة عن القطب السماوي الشمالي، وهو يحدد موقع القطب في السماء. وتمر دائرة الميل، المساوية - عددياً - لخط العرض الذي أنت فيه، عبر سمت رأسك. أما في نصف الكبة الجنوبي فيقع القطب السماوي الجنوبي فوق أفقك الجنوبي على ارتفاع مساوٍ لموقعك على خط العرض، ولا يتميز بوجود نجم القطب.

أين تبحث عن نجم القطب من كلِّ من المواقع الآتية:

(ب) خط الاستواء؟ ؟

(ج) خط العرض 40° شمالاً؟ ؟

(د) بيتك؟

الجواب: (أ) عند سمت رأسك؛ (ب) على خط أفقك؛ (ج) 40° فوق أفقك الشمالي؛ (د) عند ارتفاعٍ فوق أفقك الشمالي مساوٍ لخط عرض بيتك.

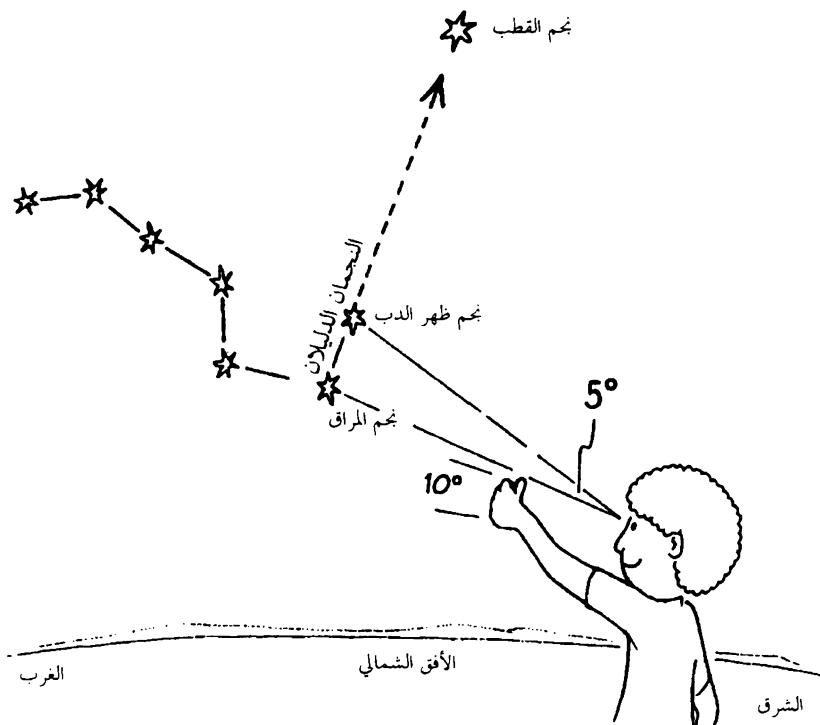
14. الحركة اليومية الظاهرية للنجوم

تبعد النجوم - عند رصدها من على سطح الأرض الدوامة - متحركةً وفق مساراتٍ دائريَّة يومية diurnal circles حول القطبين السماويين.

ومع أن نجم القطب ليس من سواطع النجوم، إلا أن أهميته قديمة لأغراض الملاحة. وبحكم موقعه الذي هو أقرب إلى القطب السماوي الشمالي، فهو النجم الوحيد الذي يвидُّ وكأنه لا يبرُّ مكانه في السماء. وبإمكانك اكتفاء نجم القطب بتتبع النجميَّن «الدلليَّن» pointer stars: **الدب** Big Dipper والمراق Merak في حوض مجموعة الدب الأكبر Ursa Major (الشكل 8.1).

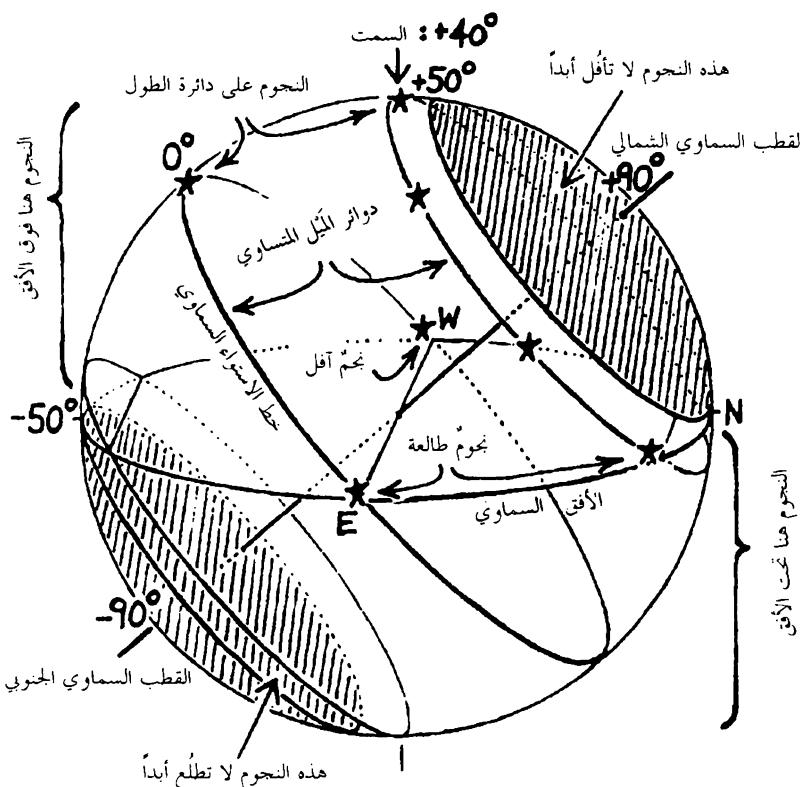
لما كان القطبان السماويان يقعان على ارتفاعاتٍ متميزة في السماء عند خطوط عرضٍ متميزة، فإنَّ الجزء من الدائرة اليومية لنجم، الواقع فوق الأفق، يختلف باختلاف خطوط العرض على الأرض (الشكل 9.1).

على سبيل المثال، إذا كنتَ ترصُّد عند خط العرض 40° شمالاً، قريباً من خط عرض مدينة دنفر بولاية كولورادو الأميركيَّة، فسترى (الشكل 9.1) أنَّ النجوم ضمن 40° (وهو خط العرض الذي أنت فيه) من القطب السماوي الشمالي (أي تلك النجوم الواقعة بين الميل $50^{\circ} +$ والميل $+90^{\circ}$) تكون فوق أفقك دوماً. تسمى هذه النجوم التي لا تتأُّفل أبداً بالنجوم



الشكل 8.1 النجمان «الدليلان»، ظهر الدب والمراكب، الواقعان في حوض مجموعة الدب الأكبر يهديانك إلى نجم القطب. يبلغ البُعد الزاوي بين ذينك النجمين قرابة 5° على الكرة السماوية. تحدد قبضة اليد والذراع مبسوطة إلى مداها نحو 10° . هذه الأمثلة وأضربابها تساعدك على تقدير مسافات زاوية أخرى في السماء.

حول - القطبية الشمالية north circumpolar stars (2) أن النجوم الواقعة ضمن 40° (وهو خط العرض الذي أنت فيه) من القطب السماوي الجنوبي لا تظهر فوق أفقك أبداً. هذه النجوم التي لا تطلع أبداً - من قبيل نجوم كوكبة ثُعْين Crux - تُسمى النجوم حول - القطبية الجنوبية south circumpolar stars (3) أن النجوم الأخرى، التي تؤلف شريطاً حول خط الاستواء السماوي، تطلع وتغيب. تقع تلك النجوم عند الميل 40° شماليًّاً (المساوي لخط العرض الذي أنت فيه)، وهي تعبّر سمت رأسك عند اجتيازها دائرة الطول السماويّة التي أنت فيها.



الشكل ٩.١ السماء كما تبدو من خط العرض 40° شمالاً. يقع القطب السماوي الشمالي عند 40° فوق الأفق الشمالي، والكرة السماوية تدور حوله. تشير دوائر الميل المتتساوي إلى المسارات الدائرية اليومية.

افترض أنك ترصد عند خط العرض 50° شمالاً، قريباً من خط العرض الذي تقع عليه مدينة فانكوفر Vancouver الكندية. عُذ إلى الجدول 1.1 لمعرفة درجات ميل النجوم السواطع: العيوق Capella، والنسر الواقع Vega، وسُهيل Canopus. أي هذه النجوم:

- (أ) يقع فوق خط الأفق دوماً؟ ؟ (ب) يقع فوق خط الأفق أحياناً؟ ؟ (ج) لا يقع فوق خط الأفق أبداً؟

الجواب:

- (أ) العيوق (بِمَيْل $46^{\circ} 00'$). النجوم التي تقع ضمن 50° من القطب السماوي الشمالي (أي بين الميدين $40^{\circ} + 90^{\circ}$) تكون فوق الأفق دوماً.
- (ب) النسر الواقع (بِمَيْل $38^{\circ} 47'$). هذا النجم يطلع ويأفل.
- (ج) سُهَيْل (بِمَيْل $52^{\circ} 41'$). يقع ضمن 50° من القطب السماوي الجنوبي (أي بين الميدين $40^{\circ} - 90^{\circ}$).

15.1 مشاهد غير اعتيادية

صف مشهد المسارات الدائرية اليومية للنجوم لو كنت ترصدها عند:

..... (أ) القطب الشمالي

..... (ب) خط الاستواء

فصل إجابتك. (تذَكَّر أن الكرة السماوية تدور حول القطبين السماوَيْن)

الجواب:

- (أ) ستبدو النجوم كُلُّها متحركة على مساراتٍ دائريَّة في جزء السماء الموازي للأفق. تدور الكرة السماوية حول القطب السماوي الشمالي،

الذي يقع عند سمت رأسك في القطب الشمالي.

(ب) ستبدو النجومُ جميعُها وهي تبزغ عموديةً على الأفق شرقاً، وتأفل عموديةً عليه غرباً. تدور الكرة السماوية حول القطبين السماوين، اللذين يقعان على الأفق عند خط الاستواء.

1.16 الحركة الظاهرة السنوية للنجوم

يتبدل مظهر السماء في أثناء الليل بسبب دوران الأرض، كما يتبدل مظهرها ببطءٍ من ليلة إلى أخرى.

فيلاحظ الراصد أن النجوم تبدو كلَّ ليلة وقد ابتعدت قليلاً نحو الغرب عن مواقعها في الوقت نفسه من الليلة البارحة. وواقع الأمر أن كل نجم ينبع كلَّ ليلة مبكراً أربع دقائق عن البارحة، أي نحو ساعتين في مدة شهر. فإذا كان النجم فوق الأفق في النهار حالت الشمس الساطعة دون رؤيته.

إذن فالنجوم التي تضيء السماء في وقت معين يطرأ عليها تغيير ملحوظ من شهر إلى شهر ومن فصل إلى فصل. وبمرور اثنين عشر شهراً تبلغ الدقائق الأربع اليومية أربعاً وعشرين ساعة، وعندها تبدو السماء بنجومها وقد عادت سيرتها الأولى.

يعزى هذا التغيير في مظهر السماء بتغيير الفصول إلى حركة الأرض حول الشمس، فالأرض تدور حول الشمس دورة كلَّ عام.

ولو تخيلت نفسك ممتطياً الأرض الطوافة في فلكها حول الشمس داخل الكرة السماوية وناظراً نحو الخارج مباشرة، لرأيت على خط نظرك فيضاً متنوعاً من نجوم السماء ليلاً، وبحيث ترى - على مدار عام كامل - دورة كاملة من النجوم.

أيلول (سبتمبر). ففي أي وقت سيكون عند سمك رأسك بتاريخ 1 آذار (مارس)؟

(ب) هل ستتمكن من رؤيتها؟ وضح إجابتك

الجواب:

(أ) قرابة الساعة التاسعة صباحاً. فالنجم تبكي في بزوغها بنحو ساعتين.

(ب) لا؛ فالشمس الساطعة في تلك الساعة من النهار تحجب النجم النائي عن الرؤية.

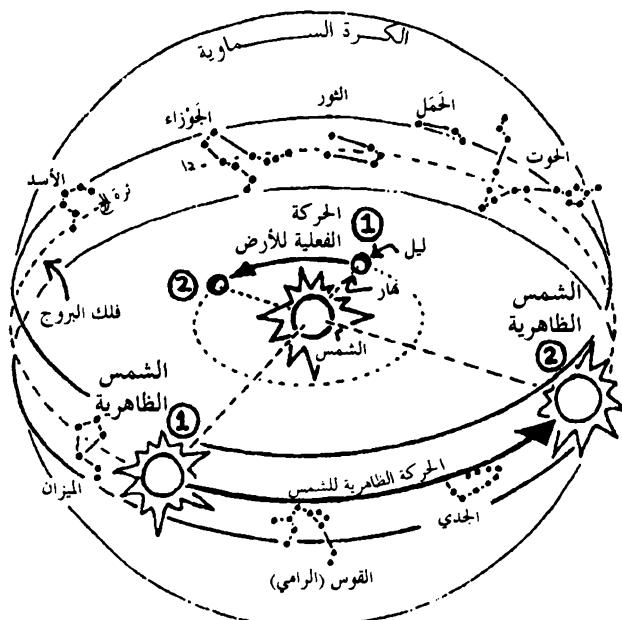
17.1 فلك البروج

إذا كانت النجم مرئية في النهار لاحظت أن الشمس تتحرك بينها - ظاهرياً - نحو الشرق في غضون السنة. ويرسم الدارسون فلك البروج - و هو مسار الشمس الظاهري بالنسبة إلى نجوم الخلفية - على نماذج كرة السماء و خرائط النجوم لأغراضٍ مرجعية.

يسمي الشريط المحيط بالسماء، الذي يبلغ عرضه نحو 16° ويقع مركزه على فلك البروج، بدائرة البروج zodiac. وقد قسم قدماء المنجمين دائرة البروج إلى 12 برجاً، أو صورة signs، يمتد كل منها 30° على خط الطول (انظر الملحق 3). ولدائرة البروج سمة خاصة استرعت الانظار، ذلك أن القمر والكواكب عند ظهورها من السماء تَتَّخِذ هي الأخرى مسارات قريبة من فلك البروج وعبر هذه البروج الاثنى عشر (الشكل 10.1).

ما هي دائرة البروج؟

الجواب: شريط بعرض 16° تقريباً، يحيط بالسماء ويتمركز على فلك البروج، ويتألف من 12 برجاً.



الشكل 10.1 تبجم الحركة الظاهرية السنوية للشمس حول الكبة السماوية عن الحركة الفعلية للأرض حول الشمس. وبدوران الأرض حول الشمس تتبدل مختلف كوكبات دائرة البروج في السماء ليلاً.

1.18 الحركة الظاهرية السنوية للشمس

تنشأ الحركة الظاهرية باتجاه الشرق للشمس من بين النجوم عن دوران الأرض الفعلي حول الشمس. ويبدو أن الشمس تدور دورة كاملة حول الكبة السماوية كل عام.

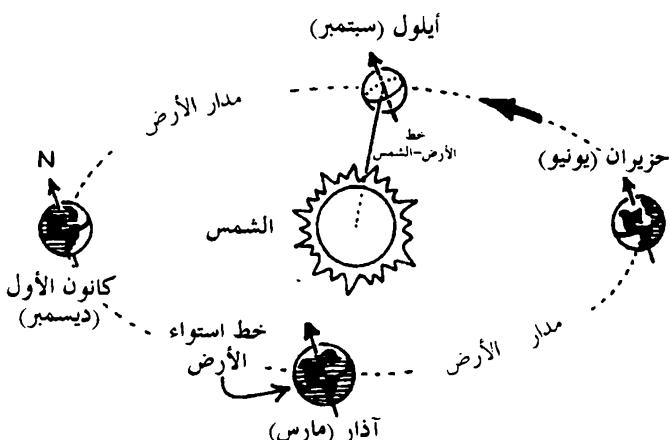
كم تقطع الشمس على فلك البروج على وجه التقرير يومياً؟ استفِدْ من أن الشمس تدور 360° حول فلك البروج في سنة (زهاء 365 يوماً)

الجواب: 1° تقريراً.

$$\text{طريقة الحل: } \frac{360}{365} \cong 1^\circ \text{ يومياً}$$

19.1 الفصول على الأرض

يكون مسارُ الشمس عبر السماء في ذروته صيفاً وفي حضيشه شتاءً. ويرد تفاوت ارتفاع الشمس فوق الأرض وقت الظهيرة طوال السنة إلى ميلان محور الأرض على مستوى مدارها حول الشمس (الشكل 11.1).



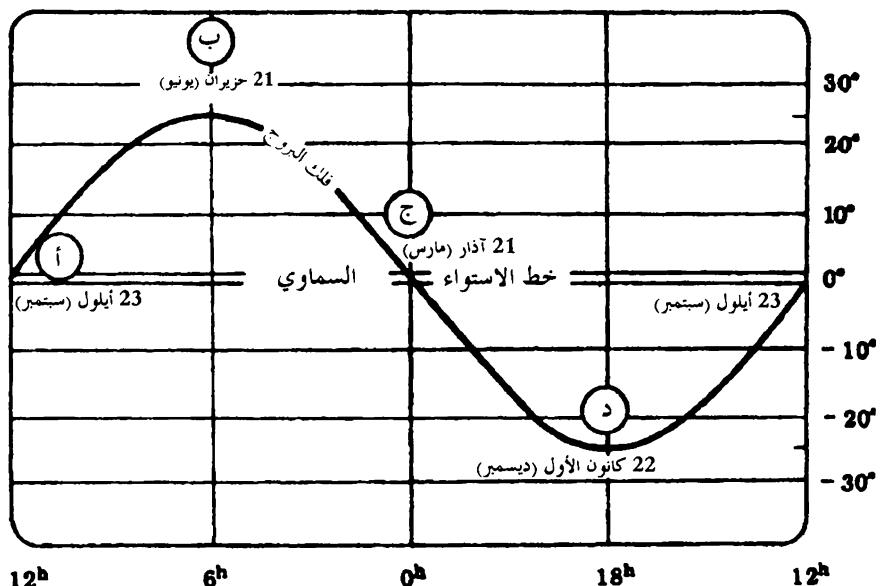
الشكل 11.1 إن ميلان محور الأرض يجعل كلاً من نصفِ الكورة يحصل على مقادير متباعدة من ضياء الشمس على مدار السنة، مع دوران كوكبنا حول الشمس.

يبقى خط استواء الأرض مائلاً طوال العام قرابة 23,5° على مستوىه المداري، ومن ثم يتغير ميلان خط الأرض - الشمس مع استمرار دوران تلك حول هذه الأخيرة. وتسبّب الشمس ضياءها على الأرض من زوايا مختلفة في أثناء العام، فتحدث تباين الفصول والتغييرات الفصلية المتمثلة في طول النهار والليل.

بالرجوع إلى الشكل 11.1 هل ترى أن نصف الكورة الشمالي يميل باتجاه الشمس أم بعيداً عنها (أ) في شهر كانون الأول (ديسمبر)؟

 (ب) في شهر حزيران (يونيو)؟

الجواب: (أ) بعيداً عنها؛ (ب) باتجاهها.



الشكل 12.1 خريطة مسطحة للسماء.

1. 20 الاعتدالان والمنقلبان

يمكنك تحديد الموضع الظاهري للشمس من السماء في يوم معين بالرجوع إلى فلك البروج على نموذج للكرة السماوية أو خريطة سماوية مسطحة كالتى في الشكل 12.1 .

والاعتدال الربيعي vernal equinox، الذي يحدث بتاريخ 21 آذار (مارس) تقريباً، هو موقع الشمس وهي تعبر خط الاستواء السماوي باتجاه الشمال، وهي نقطة على الكرة السماوية اختيرت لتكون ساعة الصفر 0^h من المطلع المستقيم (انظر الفقرة 9.1). أما الاعتدال الخريفي autumnal equinox، الذي يحدث بتاريخ 23 أيلول (سبتمبر) تقريباً، فهو موقع الشمس وهي تعبر خط الاستواء السماوي باتجاه الجنوب. وعند الاعتدالين يتساوى طول الليل والنهار.

يحدث المُنْقَلَبُ الصيفي summer solstice بتاريخ 21 حزيران (يونيو) تقريباً، والمُنْقَلَبُ الشتوي winter solstice بتاريخ 22 كانون الأول (ديسمبر) أو نحو ذلك. والمُنْقَلَبان هما الموقعان اللذان يكون عندهما موقع الشمس في أقصى الشمال وفي أقصى الجنوب في أثناء السنة. وعند هذين الوقتين يقع أطول أيام السنة وأقصرها، على الترتيب، في نصف الكرة الشمالي.

بالرجوع إلى الشكل 12.1 عِيْن الاعتدال الربيعي
والاعتدال الخريفي؛ والمُنْقَلَبُ الصيفي
والمُنْقَلَبُ الشتوي

الجواب: الاعتدال الربيعي (ج)؛ الاعتدال الخريفي (أ)؛ المُنْقَلَبُ الصيفي (ب)؛ المُنْقَلَبُ الشتوي (د).

1.21 ارتفاع الشمس

لا يمكن أن تكون الشمس عمودية في كبد السماء تماماً للراصدين عند خطوط العرض المتوسطة midlatitudes؛ فأقصى ارتفاع تبلغه الشمس في يوم معين يعتمد على ميلها declination وخط العرض الذي تقع عنده منطقتك.

في أي مكان على الأرض ينبغي أن تقف لكي تعبر الشمس سمت أفقك مباشرة وقت (أ) الاعتدال الربيعي؟ (ب) المُنْقَلَبُ الصيفي؟
(ج) الاعتدال الخريفي؟ (د) المُنْقَلَبُ الشتوي؟

الجواب: (أ) على خط الاستواء؛ (ب) عند خط العرض $23,5^{\circ}$ شمالاً (مدار السرطان)؛ (ج) على خط الاستواء؛ (د) عند خط العرض $23,5^{\circ}$ جنوباً (مدار الجدي).

1.22 الآثار الملحوظة لحركات الأرض

كيف تسبّب حركة الأرض في الفضاء بإحداث تغييرات ملحوظة في مظهر السماء بالنسبة إلى راصد يقف على الأرض؟

الجواب: يجب أن تضمن إجابتك الأفكار الآتية:

يتغيّر مظهر السماء المرصّعة بالنجوم ليلاً بسبب الدوران اليومي للأرض.

تبدل الموضع [الظاهري] للنجوم المرئية بتبدل الفصول بسبب الدوران السنوي للأرض حول الشمس.

تنشأ الحركة الظاهرية اليومية للشمس من الدوران الفعلي للأرض على محورها، في حين تنجم الحركة الظاهرية السنوية للشمس عن الدوران الفعلي للأرض في فلكها.

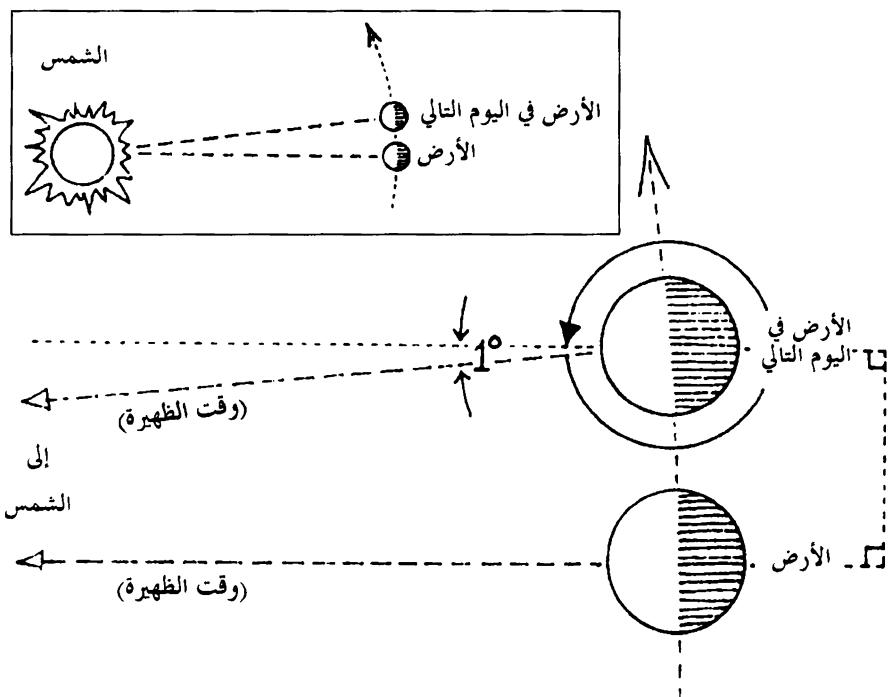
1.23 اليوم

يوفر دوران الأرض حول نفسها أساساً لضبط الزمن باستعمال الأرصاد الفلكية. فالـاليوم الشمسي solar day المعتاد يقيس زمن دورة الأرض باتخاذ الشمس معلماً مرجعياً؛ والـاليوم الفلكي (النجمي) sidereal day يقيس ذلك الزمن باتخاذ النجوم مرجعاً.

يبلغ طول اليوم النجمي 23 ساعة و56 دقيقة و4 ثوان، وهو الزمن اللازم لنجم كي يعبر دائرة خط الزوال (دائرة الطول) meridian متوازيين، أو هو الزمن الذي تستغرقه الأرض لإتمام دورة كاملة في الفضاء.

ويبلغ طول اليوم الشمسي 24 ساعة، أي المدة اللازمة للشمس كي تنجز عبورَين متتاليين لدائرة خط الزوال.

نلاحظ أن اليوم الشمسي أطول من اليوم النجمي بنحو أربع دقائق، ذلك لأن الأرض، بدورانها على محورها، تتحرك أيضاً طوافـة في فلكها حول الشمس. وتقضـي نواميسـ الكون أن تتمـ الأرض ما يزيد قليلاً على دورةـ كاملـة في الفضاء قبلـ أن تعودـ الشمسـ إلىـ الظهورـ علىـ دائرةـ خطـ الزوالـ (الشكلـ 13.1).



الشكلـ 13 يزيد طولـ اليومـ الشمسيـ علىـ اليومـ النجميـ بسببـ دورانـ الأرضـ فيـ فلكـهاـ حولـ الشـمسـ فيـ الوقـتـ الـذـيـ تـدـوـمـ فـيهـ عـلـىـ مـحـورـهـاـ. وـفـيـ المـدـةـ الـوـاقـعـةـ بـيـنـ ظـهـرـيـنـ مـتـتـالـيـنـ تـتـمـ الأـرـضـ مـاـ يـزـيدـ قـلـيلـاـ عـلـىـ دـوـرـةـ كـامـلـةـ فـيـ الفـضـاءـ.

يجدر بالذكر أن الميقاتية clock التي تعمل وفق النظام الفلكي مفيدة لأغراض الرصد بنوع خاص؛ إذ تعود النجوم كلُّها إلى مواقعها في السماء كلَّ 24 ساعة، أي إنَّ النجم يبزغ، ويعبِّر خط الزوال، ثم يأفل في الوقت الفلكي نفسه طوال أيام السنة.

وبإمكانك استعمال الإحداثيات السماوية celestial coordinates (انظر الجدول 1.1) لتحديد الزمن الفلكي في أي لحظة وأنت ترصد، فالوقت الفلكي المحلي يعادل المطلع المستقيم للنجوم على دائرة خط الزوال لمكان وجودك. فإذا رأيت، على سبيل المثال، نجم الشُّعُر اليمانية Sirius وهو يَعْبُر transit فاعلم أنَّ الزمن الفلكي هو 6 ساعات و 54,1 دقيقة.

ما هي حركة الأرض التي تُحدِّث فارق الدقائق الأربع بين اليوم النجمي واليوم الشمسي؟

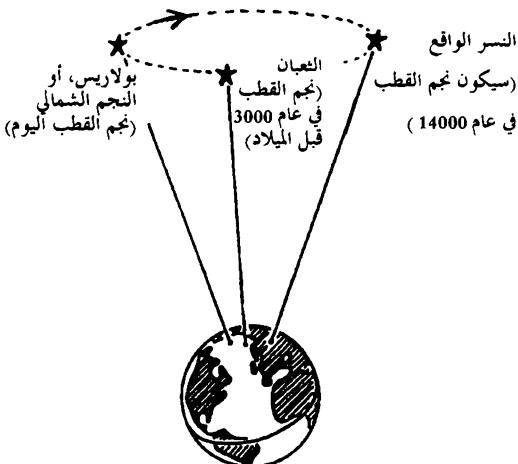
الجواب: دورانها حول الشمس.

24.1 المبادرة

ستكون خرائطك النجمية عوناً لك حياتك كلَّها. على أن من المهم أن تعلم أنها ستتقادم ويطول عليها الأمد بعد مئات السنين.

يَنْزَاح اتجاه محور الأرض في الفضاء انزياحاً ضئيلاً جداً حول دائرة مرأة كلَّ نحو 26,000 سنة. تُعرَّف هذه الحركة البطيئة لمحور الأرض حول شكلِ مخروطي في الفضاء باسم المبادرة precession. وتنشأ مبادرةً محور الأرض في المقام الأول عن فعل الشَّد الذي تبديه الشمسُ والقمر على الانتفاخ الاستوائي⁽¹⁾ equatorial bulge للأرض.

ومع مبادرة محور الأرض يتغيَّر نجمُ القطب تبعاً لذلك؛ فالاعتلال



الشكل 14.1 تمثل للمبادرة. يرسم محور الأرض، وبيطء شديد، شكلاً مخروطياً في الفضاء، ومن ثم يتغير نجم القطب بمرور الزمان.

الربيعي - أي نقطة الصفر لمطلع المستقيم - ينحرف غرباً حول فلك البروج بمعدل 50 ثانية أو نحو ذلك في السنة، ومن ثم فإنه ينحرف 30° ، أي برجاً كاملاً على دائرة البروج، في غضون 2150 سنة، تكون من بعدها الخرائط النجمية كلُّها متقدمة وغير صالحة. (يجري علماء الفلك ما يلزم من تعديلات لضبط خرائطهم النجمية كل 50 سنة).

وفي علم التنجيم اليوم تحمل كلُّ صورة على دائرة البروج اسم البرج الذي سُميَت باسمه أصلاً، والذي عاد لا ينطبق عليها اليوم بسببِ من مبادرة الاعتدالين.

ترى من الشكل 14.1 أن نجم القطب حالياً هو بولاريس، وأن الاعتدال الربيعي يقع في برج الحوت.

(أ) ما نجم القطب الذي كان في السنة 3000 قبل الميلاد؟

(ب) ما النجم الذي سيكون نجم القطب في السنة 14,000؟

الجواب: (أ) الثعبان؛ (ب) النسر الواقع.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل الأول وتمثّلها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهدًا استطاعتك، ثم انظر في الأجبوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. اذكر إزاء كل من المسميات التالية المستعملة على الكره الأرضية ما يقابلها على الكره السماوي:
.....
(أ) خط الاستواء
.....
(ب) القطب الشمالي
.....
(ج) القطب الجنوبي
.....
(د) خط العرض
.....
(ه) خط الطول
.....
(و) غرينتش / إنكلترا
2. بالاستعانة بالجدول 1.1، أي النجوم الخمسة التي هي أكثر سطوعاً في السماء تقع فوق خط الاستواء السماوي وأيها يقع تحته؟
3. عُد إلى الجدول 1.1 وقرّر أي النجوم الخمسة التي هي أكثر سطوعاً لا يمكن أبداً أن تظهر فوق الأفق عند خط العرض 40° شمالاً (أي قريباً من مدينة نيويورك)؟
4. حدّد المكان المناسب لوجودك على الأرض بحيث يتوازن مع كل وصفٍ نجميٍّ مما يأتي:

- (1) القارة القطبية الجنوبية (أخفض من 61° جنوباً). -- (أ) تبدو النجوم متحركة على مسارات دائريّة في السماء موازية لخط أفقك.
- (2) خط الاستواء. -- (ب) تبرغ النجوم بزوايا قائمة على الأفق شرقاً، وتأفل بزوايا قائمة على الأفق غرباً.
- (3) مدينة جاكسونفيل بولاية فلوريدا الأمريكية. -- (ج) يعبر نجم النسر الواقع سمت رأسك تقريباً.
- (4) القطب الشمالي. -- (د) يقع نجم α حضار دوماً فوق خط أفقك.
- (5) مدينة ساكرامنتو بولاية كاليفورنيا الأمريكية. -- (ه) يظهر نجم القطب قريباً من 30° فوق الأفق.
5. لماذا تبدو النجوم متحركة على مسارات قوسية في السماء ليلاً؟
6. بم تفسّر ظهور بروج مختلف في السماء في كلّ فصلٍ من فصول السنة؟
7. ما هي دائرة البروج؟

8. في أي مكان على الأرض ينبغي أن تكون موجوداً كي تمرّ الشمس عبر سمت رأسك مباشرة وقت حدوث (أ) الاعتدال الربيعي؟؛
 (ب) المنقلب الصيفي؟؛ (ج) المنقلب الشتوي؟

9. إذا بزغ نجم الليلة الساعة الثامنة، ففي أي وقت على وجه التقرير سيزغ بعد شهر من الآن؟
10. لماذا يزيد طول اليوم الشمسي قرابة أربع دقائق على اليوم النجمي (الفلكي)؟
11. ربّ النجوم الآتية تنازلية وفق درجة سطوعها: قلب العقرب (من القدر 1)؛ سُهيل (من القدر 1 -)؛ نجم القطب (من القدر 2)؛ النسر الواقع (من القدر 0)
12. لماذا سيتغير نجم القطب وموقع الاعتدال الربيعي على القبة السماوية بعد آلاف السنين، مفضياً ذلك إلى تقادم خرائطك النجمية؟

الأحوية

قارن أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة الآتية، فإن وجدتها صحيحةً كلّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعدُّ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقة أكبر إذا تعددتِ أخطاؤك.

- . 1 خط الاستواء الشمالي (أ) . الميل (د)

. 2 فوقه: السمك الراوح، والنسر الواقع .
تحته: الشُّعري اليمانية، وسهيل، و حضار .
(الفقرات 9.1 ، 10.1)

. 3 سهيل، و حضار . (الفقرات 10.1 ، 13.1 ، 14.1)

. 4 (أ) 4 ؛ (ب) 2 ؛ (ج) 5 ؛ (د) 1 ؛ (هـ) 3 . (الفقرات 10.1 ، من 13.1 إلى 15.1)

. 5 بسبب دوران الأرض على محورها . (الفقرات 1.1 ، 12.1 ، 14.1)

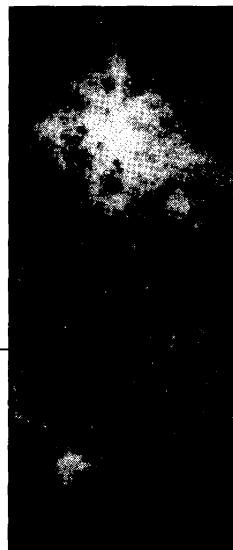
. 6 بسبب دوران الأرض حول الشمس . (الفقرة 16.1)

. 7 شريط بعرض 16° تقريباً يحدق بالسماء ويتمركز على فلك البروج
ويحتوى 12 برجاً . (الفقرة 17.1)

8. (أ) خط الاستواء؛ (ب) $23,5^{\circ}$ شمالاً (مدار السرطان)؛ (ج) $23,5^{\circ}$ جنوباً (مدار الجدي).
(الفقرات 19.1 إلى 21.1)
9. الساعة السادسة مساءً. (الفقرة 16.1)
10. لأن الأرض، في حين تدور على محورها، تطوف أيضاً في فلكها حول الشمس. وبالضرورة تُتِّم الأرض ما يزيد قليلاً على دورة كاملة في الفضاء الكوني قبل أن تعود الشمس إلى الظهور على دائرة الزوال.
(الفقرة 23.1)
11. سهيل، النسر الواقع، قلب العقرب، نجم القطب. (الفقرة 7.1)
12. بسبب مبادرة محور الأرض. (الفقرة 24.1)

2

الضوء والمخاريب



حيث الاستطلاع من الصفات الحتمية الباقية التي تميّز العقل الفاعل.

(1784 - 1709) صموئيل جونسون The Rambler

الأهداف:

- وصف الطبيعة الموجية للضوء، وكيف يتولد وكيف ينتقل.
- تعرّف أهم مناطق الطيف الكهرومطيسي من أقصر طول موجي إلى أطول طول موجي.
- بيان علاقة الطول الموجي بالتردد.
- بيان العلاقة بين لون نجم ودرجة حرارته.
- ذكر النوافذ (المناطق الطيفية) الثلاث في الغلاف الجوي الأرضي بحسب أهميتها في علم الفلك الرصدي.
- شرح طريقة عمل المخاريب الكاسرة والمخاريب العاكسة.

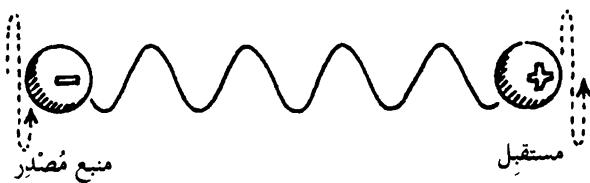
- تعريف مقدرة التجميع الضوئي، ومقدرة الفصل (المَيْز)، والتكتير في المقاريب.
- إبراد أهم عاملَيْن في أداء المقرب.
- الغرض من راسم الطيف.
- شرح طريقة عمل المقاريب الراديوية، وذكر بعض المنابع الراديوية الهامة.
- لماذا تقام المقاريب تحت الحمراء في موقع جافة وعالية جداً؟ وما هي الأجرام التي ترصدها؟
- لماذا يتعمّن عمل المقاريب فوق البنفسجية والمقاريب السينية ومقاريب أشعة غاما بالضرورة فوق الغلاف الجوي للأرض؟ وما هي الأجرام التي تدرسها؟

1.2 ما هو الضوء؟

إن معرفتنا بالكون مستمدّة في معظمها من تحليل ضوء النجوم. ولتفسير آلية انتقال ضوء النجوم تريليونات الكيلومترات في الفضاء ليصل إلى المقاريب الراصدة، يمثّل علماء الفلك الضوء شكلاً من أشكال الحركة الموجية.

والموجة wave اضطراب صاعد وهابط ينقل الطاقة من منبع مصدر إلى جهة مستقبلة دون انتقال فعلي للمادة. ويمكن ملاحظة حركة الأمواج بوضوح في البحر المحيط، حيث تُظهر الأمواج البحرية المتلاطمة في الجو العاصف ما تحمله من طاقة إظهاراً ناطقاً.

وموجة الضوء light wave اضطراب كهربائي مؤلف من ظواهر كهربائية ومحنتيسية سريعة التغيير، تنتقل الطاقة بفعلها من شحنات كهربائية متتسارعة في النجوم (المنبع) إلى شحنات كهربائية في شبكة عينك.



الشكل 1.2 رسم تمثيلي لموجة ضوء.

(المستقبل) (الشكل 1.2). وسرعان ما تدرك تلك الطاقة بالنظر إلى ضوء النجوم.

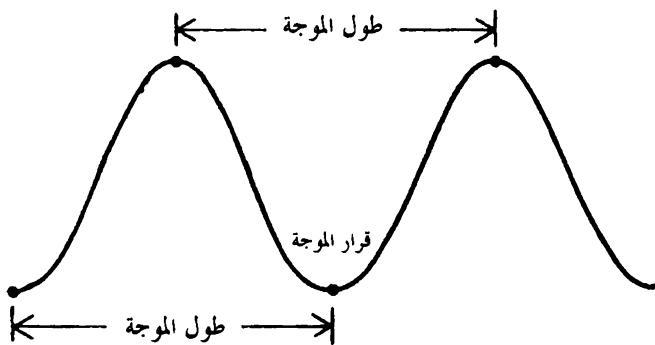
..... ما هي الموجة؟

الجواب: الموجة اضطراب صاعد وهابط ينقل الطاقة من منبع مصدر إلى مستقبل دون انتقال فعلي لل المادة.

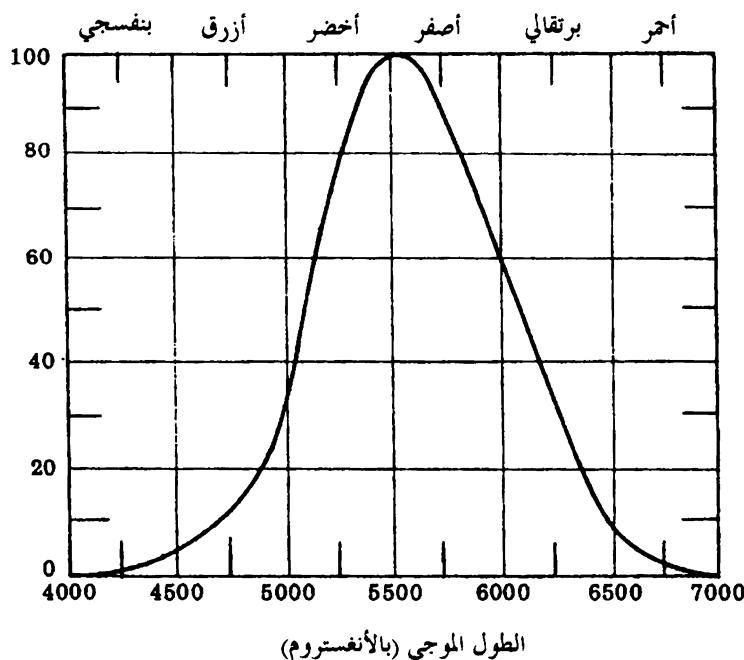
2. طول الموجة

تتميز الأمواج الضوئية بأطوالها؛ ويسمى البُعد بين أي نقطتين على موجة ما ونظيرتها على الموجة التالية، كالبعد بين ذروتي موجتين مثلاً، طول الموجة wavelength (الشكل 2.2).

تستجيب العين البشرية للأمواج ذات الأطوال الموجية القصيرة جداً. يطلق على هذه الأمواج التي تولد الرؤية اسم الضوء المرئي light visible (nm) (الشكل 3.2). ويقيس الفيزيائيون هذه الأمواج بواحدة النانومتر nanometer (Å)، ويستعمل علماء الفلك عموماً واحدة الأنغستروم Anders J. Angstrom (1814-1874) نسبة إلى الفيزيائي السويدي أندرز أنغستروم الذي كان أول من قاس الأطوال الموجية لضوء الشمس بواحدات



الشكل 2.2 طول الموجة، مقيساً بين ذروتين أو بين قرارتين.



الشكل 2.3 الحساسية النسبية للعين البشرية لمختلف ألوان الضوء المرئي وأطواله الموجية.

النانومتر، علماً بأن $1 \text{ نانومتر} = 10^{-9} \text{ من المتر}$ ، و $1 \text{ أنسغستروم} = 0,10 \text{ نانومتر}$. ولتمثيل ذلك حسبيك أن تعلم أن قطر شعرة واحدة من رأسك يعادل $500,000 \text{ أنسغستروم}$!

وللضوء المرئي أطوال موجية تقع بين 4000 و7000 أنسغستروم. ويدرك تباين الأطوال الموجية للضوء المرئي على صورة ألوان colors مختلفة. يُسمى ترتيب الألوان وفقاً للطول الموجي الطيفي visible spectrum.

استعن بالشكل 3.2 في تحديد: (أ) لون الضوء الأقصر موجة
 (ب) لون الضوء الأطول موجة
 (ج) الطول الموجي (اللون) عندما تكون حساسية العين أعظمية

الجواب: (أ) البنفسجي؛ (ب) الأحمر؛ (ج) 5550 أنسغستروم (بين الأصفر والأخضر).

2.3 الطيف الكهرومطيسي

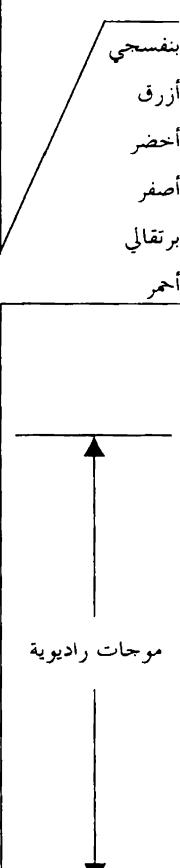
ليس الضوء المرئي إلا جزءاً صغيراً من كامل الإشعاع الكهرومطيسي في الفضاء؛ فالطاقة تنتقل أيضاً على شكل أشعة غاما وأشعة سينية وإشعاع فوق البنفسجي وإشعاع تحت أحمر وأمواج راديوية.

تبعد أشكال الإشعاع هذه مختلفة بعضها عن بعض بسبب تنوع مجالات الاستفادة منها: فالأطباء يستعملون أشعة غاما في معالجة الأمراض السرطانية، وأشعة السينية لأغراض التخدير الطبي. وتتصف أشعة فوق البنفسجية على بشرتك لون سُفْفة الشمس، على حين تمنحك الأشعة تحت الحمراء الدفء والحرارة. أما الأمواج الراديوية فتستعمل في الاتصالات.

إن كل أشكال الإشعاع هذه هي في الواقع الأمر من نوع الطاقة الأساسية ذاته الممثل بالضوء المرئي. وهي تختلف في خصائصها بسبب اختلاف

التردد (عدد الدورات في الثانية)	طول الموجة (سم)	الإشعاع الكهرومغناطيسي اسم المنطقة
تردد عاليٌ 10^{21}	قصير 10^{-9}	أشعة غاما
10^{16}	10^{-6}	أشعة سينية
10^{15}	3×10^{-5}	أشعة فوق بنفسجية
		مرئي
10^{14}	10^{-4}	أشعة تحت حمراء
10^{11}	10^{-1}	أمواج ميكروية
10^{10}	1	مَركبات فضائية
10^8	10^2	تلفزة و FM
10^7	10^3	أمواج قصيرة
10^6	10^4	موجات راديوية AM
10^5	10^5	
300 kHz	1 km	
تردد منخفض	طويل	

بنفسجي
 أزرق
 أخضر
 أصفر
 برتقالي
 أحمر



الشكل 4.2 يستعرض الطيف الكهرومغناطيسي للإشعاع الكهرومغناطيسي كله، من الأقصر موجة والأعلى ترددًا (أشعة غاما) إلى الأطول موجة والأدنى ترددًا (الأمواج الراديوية).

أطوالها الموجية؛ فأقصر الأمواج تحمل أكبر طاقة، وأطولها أصغرها طاقة. نسمى طيفاً كهرومغناطيسيّاً electromagnetic spectrum جملة الأمواج الكهرومغناطيسية مرتبةً بحسب أطوالها الموجية.

والأمواج الكهرومغناطيسية من الأطوال الموجية كافة هي ذات أهميّة لعلماء الفلك لأنَّ منها يوفر دليلاً مفتاحاً لمصدره.

بالرجوع إلى الشكل 4.2 اذكر ستة أشكال للإشعاع الكهرومغناطيسي اعتباراً من أقصى الأمواج (الطاقة العليا) إلى أطول الأمواج (الطاقة الدنيا)

الجواب: أشعة غاما، الأشعة السينية، الأشعة فوق البنفسجية، الضوء المرئي، الإشعاع تحت الأحمر، الأمواج الراديوية.

2.4 مجال الأطوال الموجية

ما هو مجال الأطوال الموجية التي يستغرقها الطيف الكهرومغناطيسي كله؟

الجواب: تتفاوت الأطوال الموجية من قياسٍ لا يتتجاوز جزءاً واحداً من تريليون (10^{12}) من المتر في حالة أقصى أشعة غاما إلى قياسٍ يزيد على الكيلومتر (10^3 متر) في حالة أطول الأمواج الراديوية.

2.5 سرعة الضوء

تنقل أنواع الأمواج الكهرومغناطيسية كافةً عبر الخواص بسرعة واحدة هي سرعة الضوء. وتقدّر سرعة الضوء في الخواص - التي يُرمز لها عادةً بالحرف C - بـ 300,000 كم/ثانية (186,000 ميل/ثانية).

سميت سرعة الضوء في الخواء «حد سرعة الكون» speed limit of the universe، وذلك لعدم وجود جرم معروف يمكن أن يتحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء. إن الرقم الدال على سرعة الضوء هو بالفعل من أهم الأرقام وأكثرها دقةً في علم الفلك (الملحق 2).

والسنة الضوئية light year (أو اختصاراً) هي المسافة التي يقطعها الضوء عبر الخواء في عام واحد، [وبها تقدر المسافات الفلكية].

كم كيلومتراً (ميلاً) تمثل السنة الضوئية الواحدة؟ استفد مما يأتي:

$$(1) \text{ المسافة} = \text{السرعة} \times \text{الزمن}$$

$$(2) \text{ عام واحد} = 3,156 \times 10^7 \text{ ثانية}$$

الجواب: قرابة 9,5 تريليونات كيلومتر (أو 6 تريليون ميل).

طريقة الحل: $300,000 \text{ كم} / \text{ثانية} = 3,156 \times 10^7 \text{ ثانية/سنة}$

$$187,000 \text{ ميل} / \text{ثانية} = 3,156 \times 10^7 \text{ ثانية/سنة}$$

2. التردد الموجي

يمكن وصف الحركة الموجية من حيث التردد وطول الموجة؛ فتردد حركة موجية يُعرف بعدد الأمواج المارة بنقطة ثابتة في زمن معين، وتقاس بـ عدد الدورات في الثانية (cps) cycles per second.

تستجيب عين الإنسان للأمواج الضوئية المختلفة الألوان ذات الترددات العالية جداً. ويتفاوت تردد موجات الضوء المرئي من $4,3 \times 10^{14}$ دورة/ثانية للأمواج الحمراء اللون إلى 7.5×10^{14} دورة/ثانية للأمواج البنفسجية، وتقع الألوان الأخرى بينهما.

الهرتز (Hz)، نسبةً إلى الفيزيائي الألماني هاينريش هرتز (1857 - 1894) الذي كان أول من تمكّن من توليد أمواج راديوية مخبرياً. وتُستقبل منظومة تضمّين مطالي AM radio أمواجاً راديوية ذات ترددات تقع ما بين 550 و 1650 كيلوهرتز (kHz) (kilohertz)؛ علماً بأن: $1\text{KHz} = 1000\text{cps}$. هذا في حين يقع نطاق تضمّين ترددات FM band بين 88 و 108 ميجا هرتز (MHz) (megahertz)؛ علماً بأن: $1\text{MHz} = 1,000,000\text{cps}$.

عُدْ إلى الطيف الكهروطيسي المبيّن في الشكل 4.2. أيّ الأمواج:

(أ) أعلى ترددًا من أمواج الضوء المرئي؟

(ب) أدنى ترددًا من أمواج الضوء المرئي؟

الجواب: (أ) أشعة غاما، الأشعة السينية، الإشعاع فوق البنفسجي.

(ب) الإشعاع تحت الأحمر، الأمواج الراديوية.

7. الطول الموجي والتردد

هل بإمكانك استنباط علاقـة عـامـة تربط طـول هـذـه الأـمـواـج الـكـهـرـطـيـسـية بـتـرـدـدـها؟.....

الجواب: إن طول الموجة متناسبٌ عكساً مع التردد؛ فالأمواج القصيرة تكون أعلى ترددًا، في حين تكون الأمواج الطويلة أدنى ترددًا (نسبةً).

8. انتشار الموجات (الحركة الموجية)

إن العلاقة التي وجدتها آنفًا هي مثالٌ لصيغةٍ تصحّ لجميع أنواع الحركة الموجية:

$$\text{سرعة الموجة} = \text{التردد} \times \text{طول الموجة}$$

يمكن استعمال هذه الصيغة لحساب تردد أي نوع من الأمواج الكهرومغناطيسية في الخواص إذا عُرف الطول الموجي (أو حساب الطول الموجي إذا عُرف التردد). لماذا؟ (راجع الفقرة 5.2).

الجواب: لأن لكل الأمواج الكهرومغناطيسية السرعة نفسها في الخواص - وهي سرعة الضوء، أو زهاء 300,000 كم/ثا (186,000 ميل/ثا).

2.9 المعادلة الموجية

تحقق من إدراكك للعلاقة بين السرعة (c) والتردد (f) وطول الموجة (λ) في الأمواج الكهرومغناطيسية. والصيغة هي:

احسب الطول الموجي لموجة راديوية ترددتها 100 KHz (أي: (cps 100,000

الجواب: 3 كم (1,86 ميل).

طريقة الحل: السرعة = التردد × طول الموجة

ومن ثم:

$$\frac{300,000 \text{ كم/ثا}}{100,000 \text{ دورة/ثا}} = \frac{\text{السرعة}}{\text{التردد}} = \frac{\text{طول الموجة}}{\text{التردد}}$$

$$\frac{186,000 \text{ ميل/ثا}}{100,000 \text{ دورة/ثا}} =$$

2.10 قوانين الإشعاع

تطلق النجوم - شأنَ سائرَ الأجرامِ الحارّة - طاقةً كهربائية من مختلف الأطوالِ الموجيةِ جميعها. وكلما ازدادت حرارةُ النجم ازدادت الطاقة الإشعاعيةُ التي يطلقها، مع الإشارة إلى أنَّ درجةَ حرارةِ النجم هي التي تحدّد أسطعَ الأطوالِ الموجية.

الجدول 2.1 أربعة نجوم حارة وباردة

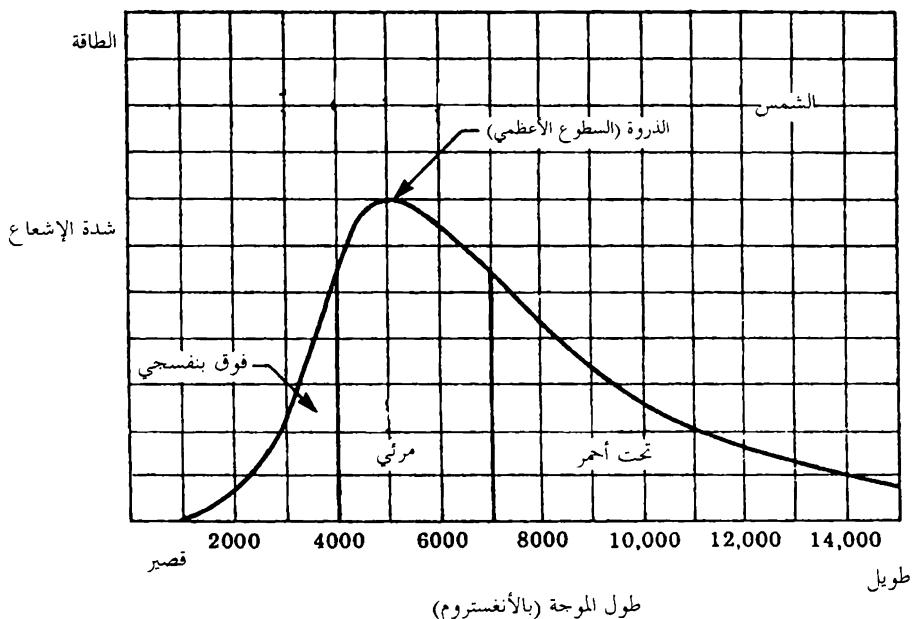
الفصل	النجم	الكوكبة	اللون	الحرارة السطحية (كلفن)
الصيف	النسر الواقع	الشيلiac	أزرق - أبيض	10,000
الصيف	قلب العقرب	العقرب	أحمر	3,000
الشتاء	الشعرى اليمانية	الكلب الأكبر	أزرق - أبيض	10,000
الشتاء	منكب الجوزاء	الجيار	أحمر	3,400

تطّلُقُ النجومُ طاقةً تقاربُ ما يطلقه جسمٌ أسود blackbody، الذي هو بمثابة مشعاع افتراضيٍّ مثاليٍّ. وينصُّ قانون فين في الإشعاع Wien's law of radiation على أنَّ الطولَ الموجيَّ λ_{\max} الذي يُصدرُ عنده جسمٌ أسود إشعاعاً أعظمياً يتتناسبُ عكساً مع درجةَ حرارةِ الجسم (T). والصيغة هي:

$$\lambda_{\max} = \frac{0.3}{T}$$

وفيها تقاس λ_{\max} بالستيمترات و T بالكلفن (K). ومن ثمَّ فكلما ازدادت حرارةُ نجمٍ قُصُرَ الطولُ الموجيُّ الذي يُطلقُ عنده إشعاعاً أعظمياً.

وإذا علمنا أنَّ بعضَ النجوم أشدُّ حرارةً من بعضها الآخر بآلاف الدرجات، أدركنا أنَّ بالإمكان الحكم على درجةِ حرارةِ نجمٍ من لونه (طول موجته). فالنجوم التي هي أشدَّ حرارةً تبدو بيضاءً مائلةً إلى الزرقة (طول



الشكل 5.2 منحنى إشعاع الشمس.

موجي قصير)، وأبرد النجوم تبدو حمراء (طول موجي طويلاً). أما النجوم الحارّة جداً (ذوات الأطوال الموجية القصيرة جداً) والنجم البارد جداً (ذوات الأطوال الموجية الطويلة جداً) فهي غير مرئية.

ابحث في السماء عن الأمثلة الواردة في الجدول 1.2.

وينص قانون ستيفان وبولتزمان في الإشعاع Stefan-Boltzmann radiation law على أن الطاقة الكلية (E) التي يطلقها جسم أسود يتناسب مع القوة الرابعة لدرجة حرارته المطلقة (T). إذن فإن جسماً تبلغ درجة حرارته ضعفي درجة حرارة الشمس يطلق طاقة تفوق طاقة الشمس 2^4 (أو 16) مرة.

ويبيّن منحنى الإشعاع radiation curve كمية الطاقة التي يطلقها جسم عند أطوال موجية مختلفة، وأيّ هذه الأطوال الموجية هو الأشد، وكذلك

كمية الطاقة الكلية التي يطلقها عند الأطوال الموجية كافة (تشير إليها المنطقة الواقعة تحت المنحنى).

ادرس الشكل 5.2 . (أ) يكون إشعاع الشمس أعظمياً في الأطوال الموجية (ب) إن كمية الطاقة الكلية التي تطلقها الشمس كضوء مرئي (أكبر، أقل) من الكمية التي تطلقها خارج المنطقة المرئية.

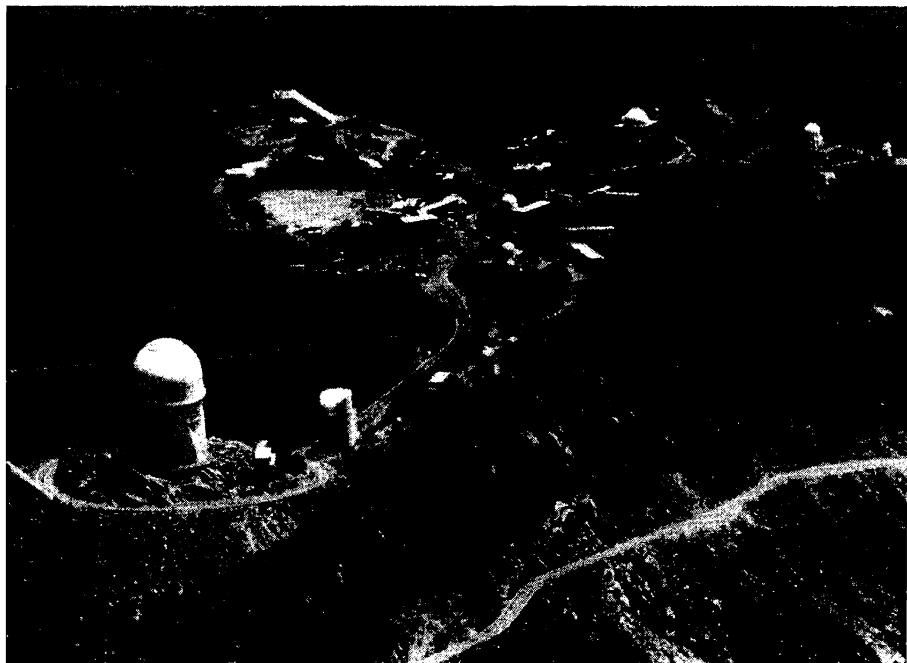
الجواب: (أ) المرئية؛ (ب) أقل.

2.11 الأرصاد الفلكية

يمتلك الفلكيون اليوم أدوات هي عدّتهم لرصد كلّ أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي من الفضاء وتحليلها. وبقطع النظر عن نوع الإشعاع المرصود، فإن الوظيفة الأساسية للمقراب هي جمع مقدار كافٍ من الإشعاع لأغراض التحليل العلمي.

يُصدّ غلاف الأرض الجوي معظم إشعاع الفضاء، فلا يسمح إلا للأطوال موجية معينة بالدخول لترصد بالمقاريب الأرضية. ويستطيع الفلكيون على الأرض أن يرصدوا الكون عبر نوافذ windows أو مجالات طيفية ثلاثة يكون غلافنا الجوي فيها شفافاً للإشعاع إلى حدّ بعيد؛ تلك هي النوافذ البصرية (الضوء المرئي) optical ، والراديوية radio ، وتحت الحمراء infrared .

والمرصد الفلكي astronomical observatory موقع مجهّز لرصد الأجرام السماوية. ويتحرّى الفلكيون لأرصادهم الأرضية التمركز عند الأطوال الموجية المرئية مواقع تغلب عليها سماء صافية الأديم على قمم الجبال، بعيداً عن أصوات المدن والتلوث (الشكل 6.2).



الشكل 6.2 موقع بيك، الذي يرتفع 2100 متر (6900 قدم) ويبعد 50 كيلومتراً (30 ميلاً) عن مدينة تكسون بولاية أريزونا الأمريكية، وهو مزود بمقاريب لستة مراصد، منها مرصد بيك الوطني والمرصد الشمسي الوطني، من مجموعة المراصد الفلكية البصرية الوطنية.

بِمَ تُنْصَحُ فَلَكِيَّنْ يَرِيدُونَ رَصْدَ الْكَوْنَ فِي مَجَالَاتِ أَشْعَةِ غَامِّ وَالْأَشْعَةِ السِّينِيَّةِ وَالْأَشْعَةِ فَوْقِ الْبَنْسِجِيَّةِ؟

الجواب: إقامة عدّة رصدتهم خارج الغلاف الجوي الأرضي، فتقنولوجيا عصر الفضاء تجعل بالإمكان إجراء أرصادٍ فضائية التمركز ضمن هذه الأطوال الموجية من الصواريخ أو المركبات الفضائية أو حتى من محطات الرصد التي تتخذ من القمر مقراً لها.

12. المقاريب البصرية

يكون المقراب البصري optical telescope صوراً لنجوم خافتة ونائية، وبإمكانه أن يجمع ضوءاً من الفضاء أكثر بكثير مما تستطيعه عين الإنسان. وقد صُنعت المقاريب البصرية في تصميمَيْن أساسَيْن، فمنها الكاسرة reflectors . ومتناها العاكسة refractors

وأهم أجزاء المقراب جسميَّته objective، وهي العدسة الرئيسية main lens (في المقاريب الكاسرة) أو المرآة mirror (في المقاريب العاكسة)، ووظيفتها جَمْعُ الضوء من جُرمٍ سماويٍّ، وضبطه بؤريًا لتَلَفِّ صورة. تسمى هذه الإمكانية في المقراب مقداراً لِتَجْمِيعِ الضوء light-gathering power .

تناسب مقدار تجميع الضوء هذه مع مساحة سطح التجميع، أو مع مربع الفتحة aperture (قطر العدسة الجسمية، عدسة رئيسية كانت أم مرآة). ويُقصد بـ قياس size المقراب قياس فتحته، كقولنا: مقراب قياسه 150 ميليمتراً أو 5 أمتار (6 بوصات أو 200 بوصة).

يمكنك أن ترى الصورة مباشرةً من خلال العدسة العينية⁽¹⁾ eyepiece التي هي بمثابة عدسة مكبّرة بالدرجة الأولى، أو أن تصوّرها أو تسجلها وتعالجها إلكترونياً. وإذا كان قياس عدسة عينك يقارب 5 مم (0,2 بوصة)، فإن مقارباً بقياس 150 مم (6 بوصات) تكون فتحته أكبر 30² مرة أو يزيد من عدسة عينك، وتبلغ مقدار تجميع الضوء فيها أكبر 900² (أو 900) مرة من قوة عينك. ومن ثم فإن نجماً قد يبدو أسطع 900 مرة باستعمال مقارب بقياس 150 مم (6 بوصات) مما يبدو لعينك المجردة. هذا مع العلم بأن الفلكيين يستعملون مقاريب عملاقة لكشف أجرام كابية الضوء وموغلة البعد.

(1) العينية عدسة توفر للعين - على مسافة مناسبة للرؤيا - صورة ناشئة عن العدسة الجسمية. (المغرب)

تبعد كل النجوم أكثر سطوعاً بالنظر إليها بمقراب، مما تبدو عليه للعين المجردة، إذ يتركز الضوء الإضافي الذي جمعه المقراب من النجم في نقطة واحدة. وباستعمال التعرض الزمني time exposure يمكن لمقراب علائق بقياس 10 أمتار (400 بوصة) أن يصور نجوماً غاية في الخفوت ربما وصلت أقدارها إلى 28، وهذا يساوي السطوع الظاهري لشمسنا ثُرى من القمر!

كم يزيد السطوع الذي يbedo فيه نجم يُرى بمقراب قياسه 10 أمتار (400 بوصة) على ما يbedo لعينك المجردة؟ وَضْحَ ذلك.....

الجواب: يbedo أسطع 4 ملايين ضعف وأكثر. فالمقراب الذي قياسه 10 أمتار (400 بوصة) هو أكبر 2000 مرة من عدسة عينك، وبذلك فهو يجمع كمية من الضوء أكبر 2000^2 (أو 4) ملايين مرة.

13. المنظار ثنائي العينة

يعد المنظار أول الأدوات العملية للرصد، لسهولة حمله واستعماله. فَوَضْفَ منظارٍ بأنه 50×7 يعني أن قياس فتحته 50 مم، وأن $\times 7$ تعني درجة التكبير.

لماذا تُظهر لك المناظير والمقاريب أجراماً سماوية تزيد كثيراً عما يمكنك رؤيته بعينك المجردة؟.....

الجواب: لأن المناظير والمقاريب تستطيع تجميع كمية ضوء أكبر بكثير مما تستطيع العين تجميعه. (تذَكَّر أن مقدرة تجميع الضوء متناسبة مع مربع الفتاحة).

14. المقاريب الكاسرة

للمقراب الكاسر عدسة جسمية objective lens رئيسية مثبتة على النهاية الأمامية لأسطوانة أنبوية. يدخل ضوء النجم هذه العدسة وينكسر refract مؤلفاً صورة قرب مؤخر الأنبوب.

يسمى البُعْد بين هذه العدسة والصورة الطول البؤري focal length ويمكنك النظر إلى الصورة باستعمال عدسة مكِبّرة قابلة للتنزع تسمى العينية أو eyepiece. يجدر بالذكر أن الأنبوب مصمم ليحجب الغبار والرطوبة والضوء المتبعثر.

ومنذ زمن يرقى إلى سنة 1609 وجَه العالم الفلكي غاليليو غاليلي Galileo Galilei (1564 - 1642) مقراباً كاسراً نحو السماء. وكان قياس أكبر مقراب صنعه لا يتجاوز 50 مم (بوصتين).

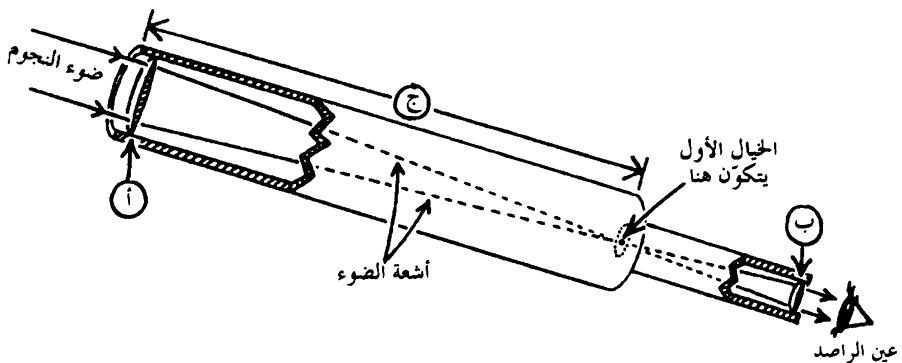
أما اليوم فتقع قياسات المقاريب الكاسرة بين 60 مم (2,4 بوصة) للمبتدئين في عالم الفلك، و 1 م (40 بوصة) وهو أكبر مقراب في العالم، يوجد في مرصد ييركيز Yerkes Observatory في ويليامزبي بولاية ويسكونسن الأمريكية الذي تم إنشاؤه سنة 1897.

من الشكل 7.2 عَيْنْ على المقراب الكاسر: (أ) العدسة الجسمية؛ (ب) العدسة العينية؛ (ج) الطول البؤري للجسمية. وادرك الغرض من (أ) و (ب).

(أ)

(ب)

(ج)



الشكل 7.2 مقراب كاسر بعدسية جسمية ذات طول بؤري طويل، وعدسية عينية ذات طول بؤري قصير.

الجواب:

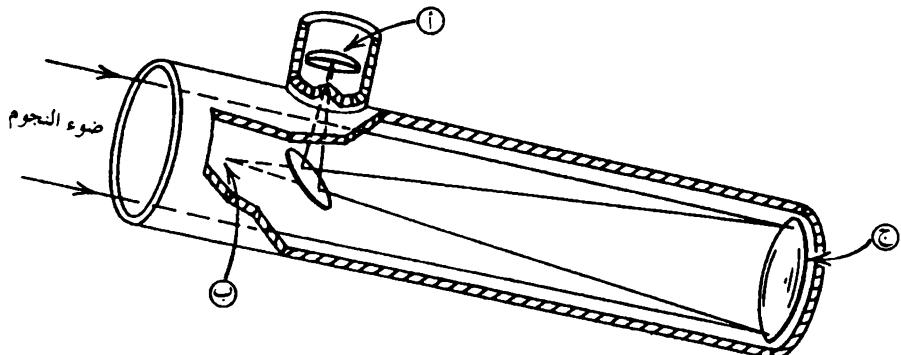
- العدسة الجسمية: لتجمیع الضوء وتتألیف الصورة.
- العدسة العینیة: لتكبیر الصورة التي کوئنتها الجسمیة.
- الطول البؤري للجسمیة.

2.15 المقاريب العاكسة

للمرکب العاكس reflecting telescope مرآة مقوسة صقيلة جدا هي المرآة الرئيسية primary mirror، مثبتة في طرف أنبوب مفتوح. فعندما يردد ضوء النجم على هذه المرآة ينعكس نحو أعلى الأنبوب مؤلفا صورة عند ما يسمى بالبؤرة الأولى prime focus.

يمكنك وضع أفلام فوتografية أو تجهيزات إلكترونية عند البؤرة الأولى لتسجيل الصورة، أو يمكنك استعمال مرايا إضافية لعكس الضوء مرة أخرى إلى موضع آخر تشاهد منه الصورة. فمرکب نيوتن Newtonian telescope

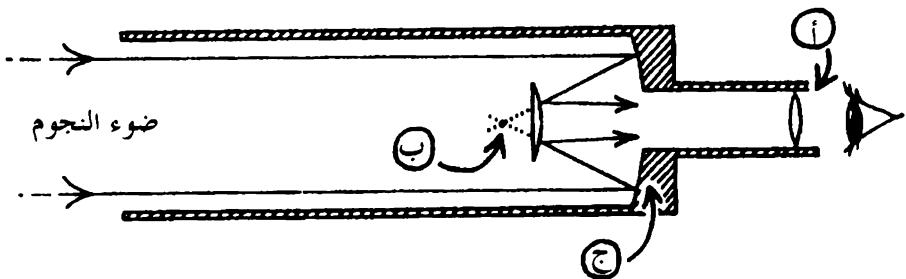
يُستعمل مرآة صغيرة مستوية لعكس الضوء عبر ثقب في جهة المقراب التي تشمل العينية (الشكل 8.2).



الشكل 8.2 رسم لمقراب نيوتن العاكس يظهر مرآة الرئيسية، ومرآة الثانوية الصغيرة المنحرفة، وعدسَة العينية.

ويُستعمل مقراب كاسيغرين Cassegrain telescope مرآة صغيرة محدبة هي المرآة الثانوية secondary mirror لعكس الضوء عبر ثقب في المرآة الرئيسية عند النهاية السفلية للأنبوب (الشكل 9.2). وهذا النوع من المخاريب ملائم وأكثر تراصداً من المقراب الكاسر أو مقراب نيوتن العاكس ذي الفتحة المماثلة. ومن أنواع المخاريب الأخرى مقراب شميدت - كاسيغرين- Schmidt-Cassegrain telescope الذي يجمع مرآة رئيسية كروية متناهية قصر الطول البؤري عند النهاية الخلفية لأنبوب محكم الختم، إلى عدسة رقيقة في المقدمة.

تتفاوت المخاريب العاكسة من حيث قياساتها، من مقراب نيوتن للمبتدئين بقياس 75 مم (3 بوصات)، إلى أكبر مقراب عاكس في العالم بقياس 10 م (400 بوصة) وهو مقراب كيك Keck Telescope على قمة البركان



الشكل 9.2 رسم تمثيلي لمقراب كاسينغرين العاكس، يظهر مرآته الرئيسية المقعرة، ومرآته الثانية الصغيرة المحدبة، وعدسته العينية.

الهاجع ماونا كيا Mauna Kea بولاية هواي الأمريكية (الشكل 15.2).

عُد إلى الشكلين 8.2 و 9.2 وعيّن على المقراب العاكس مرآته الرئيسية؛ وعينيّته؛ وبؤرتها الأولى. ((أ)) ؛ (ب) ؛ (ج)

الجواب: (أ) العينية؛ (ب) البؤرة الأولى؛ (ج) المرأة الرئيسية.

2.16 المقاريب العاكسة مقابل المقاريب الكاسرة

ما الفرق الأساسي بين المقراب العاكس والمقراب الكاسر؟ فصل إجابتك

الجواب: الجزء البصري الرئيسي (الجسمية). ففي حين يستعمل المقراب العاكس مرآة، يستعمل المقراب الكاسر عدسةً لتجميع ضوء النجوم وتركيزه في بؤرة.

17. العدد البؤري (عدد f)

تُعرف المقاريب غالباً بقياس فتحتها وعدها البؤري كليهما. والعدد البؤري f (أو عدد f) هو نسبة الطول البؤري للعدسة أو المرأة الرئيسية إلى قياس الفتحة. وتتجلى أهمية هذه الموصفات في أن درجة نصوع الصورة التي يولّدتها المقرب، وقياسها وجلاءها تتوقف كلّها على قياس الفتحة والطول البؤري للعدسة أو المرأة.

فإذا كان لدينا على سبيل المثال «مقرب عاكس ذو 150 مم (6 بوصات)، $f/8$ »، فَصَدِّنا بذلك أن قطر مرآته الرئيسية هو 150 مم (6 بوصات) وبطولي بؤري قدره 1200 مم (150×8) أو 48 بوصة (8×6).

ما الطول البؤري لمرأة مقرب ماركت بالومار Mount Palomar بولاية كاليفورنيا الأمريكية إذا كانت موصفاته: 5 م (200 بوصة)، $f/3.3$؟

الجواب: 16,5 م (660 بوصة، أو 55 قدمًا).

18. الأخيلة

تَظَهُرُ النجوم كُلُّها، ما عدا الشمس، في المقرب نقاطاً من الضوء، وذلك بسبب بُعدها الشاسع. ويبدو القمر والكواكب فيه أقراضاً صغيرة. ويكون قياس الخيال image size متناسقاً مع الطول البؤري لعدسة المقرب أو مرآته الرئيسية.

على سبيل المثال، تولّد مرأة طولها البؤري 2,5 مترين (100 بوصة) خيالاً للقمر بقطر يقارب 2,5 سم (بوصة واحدة). وقد تقدّم لك أن للمرأة ذات 5 م (200 بوصة)، $f/3.3$ طولاً بؤرياً هو 16,5 م (660 بوصة)، أي أكثر من ستة أضعاف الطول البؤري الأول، ومن ثم فهي تعطي خيالاً للقمر أكبر

قطراً بنحو ست مرات، أي 15 سم (6 بوصات).

تؤلف العدسات والمرآيا أختيلة حقيقة real images مقلوبة. (ينشأ الخيال الحقيقي من التقارب الفعلي لأشعة الضوء). ولما كانت الأختيلة المقلوبة أمراً غير مهم في العمل الفلكي، ولا سيما إذا علمنا أن تقويمها يتطلب مزيداً من عمليات ضوئية ماضة للضوء، لم يكن ثمة أي محاولة لتقويم وضع الأختيلة في المقاريب.

.....
بم يتحدد قياس الصورة التي يكونها المقرب؟

الجواب: بالطول البؤري للعدسة الرئيسية أو المرأة.

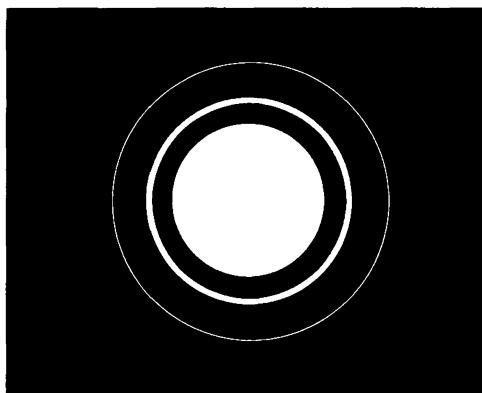
2. 19. مقدرة الفصل (الميّز)

يتعدّد على أي مقرب توليد صورٍ مثالية التركيز البؤري مهما بلغت جودته من الناحية البصرية، وذلك لأسباب تتعلق بطبيعة الضوء نفسه. ومقدرة الفصل أو الميّز resolving power تعبير عن مدى قدرة المقرب على توليد صورٍ واضحةً ومتقدّلة بشروط رصيدين مثاليتين.

تناسب مقدرة الميّز طرداً مع قياس الفتحة وعكساً مع الطول الموجي للضوء الوارد. فإذا كان الضوء واحداً، كان لمقرب بفتحة 150 مم (6 بوصات) مقدرة ميّز تعادل ضعف مقدرة آخر بفتحة 75 مم (3 بوصات).

يتقلّل ضوء النجوم بخطوط مستقيمة عبر الخواص. ولكن عندما تمر موجات ضوء النجوم قريباً من حافة عدسة أو مرآة فإنها تنتشر في ظاهرة تسمى الانتعاج diffraction، وتتركز في بؤرة عند نقاط مختلفة. وبسبب من هذا الانتعاج يظهر خيال النجم الذي أفلته العدسة أو المرأة تحت التكبير قرصاً صغيراً ضبابياً تحيط به حلقات باهتة، لا نقطة ضوئية وحيدة. يسمى

هذا القرص نموذج الانعراج diffraction pattern (الشكل 10.2). ومن الحقائق أن انعراج الضوء يحدّ من مقدرة الميّز.



الشكل 10.2 نموذج انعراج (صورة نجم)

فإذا تجاوَرَ نجمان، فقد يتداخل نموذجاً انعراجهما فيبدوان نجماً واحداً. تنطمس كذلك المظاهر التضاريسية كفوّهات القمر ومعالم الكواكب بفعل الانعراج.

تحدد مقدرة الميّز الزاوية الصغرى بين نجميّن، التي يمكن عنها توليد أخيلةٍ منفصلة مميّزة. وتبلغ هذه الزاوية بالنسبة إلى العين البشرية نحوً من دقة قوسية (1)، أي بقياس قرصٍ من الأسبرين يُرى من بعد 35 متراً (أقدام).

بيّن السبب في أن ما قد يبدو للعين نجماً وحيداً ربما يتكشف عن نجميّن متداشّين في المقرب.....

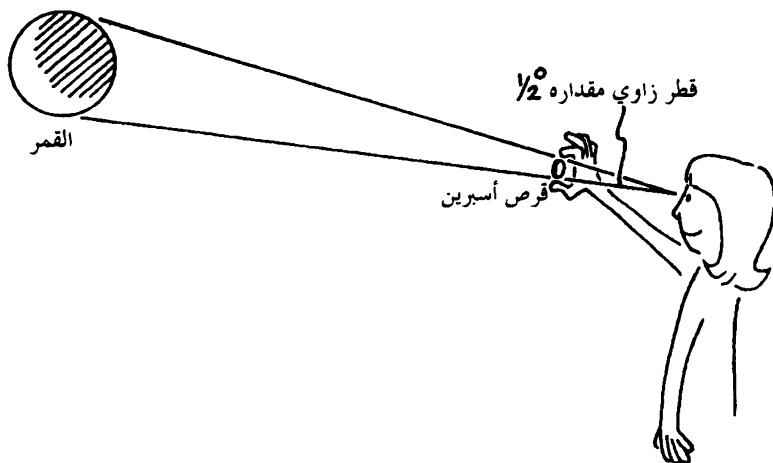
الجواب: تتناسب مقدرة الميّز مع قياس الفتحة. وواضح أن فتحة المقرب أكبرُ بكثيرٍ من عين الإنسان.

2. 20 قوة التكبير

إن قوة التكبير magnifying power لمقراب هي نسبة الحجم الظاهري لجِرم يُرى بوساطة مقراب، إلى حجمه عند رؤيته بالعين وحدها. والمقاريب تكبر قطرَ الزاوي للأجرام، ومن هنا يظهر الخيال أقرب من الجِرم.

خذ مثلاً قطرَ الزاوي للقمر البدر. يبلغ هذا القطر في عينك $\frac{1}{2}^{\circ}$ ، أي بقطر قرص من الأسبرين تحمله وذراعك مبسوطةً إلى مداها (الشكل 11.2). فلو ازداد الحجم الظاهري للقمر 20 ضعفاً بحيث بدا قطرُه الزاوي 10° بالنظر إليه باستعمال مقراب، كانت قوة التكبير 20، وتُكتب هكذا:

$$.20 \times$$



الشكل 11.2 قطرُ الزاوي.

إن قيمة قوة التكبير في مقراب منوطةً بالعدسة العينية المستعملة. وتحسب هكذا:

والمقراب مزود عادةً بعده عدسات عينية بأطوالٍ بؤرية مختلفة، تسمح لك بتغيير قوة تكبيره تبعاً لغير الأجرام المرصودة.

(أ) كم تبلغ قوة تكبير مقراب بقياس 150 مم (6 بوصات)، 8/4 باستعمال عينية طولها البؤري 12,5 مم ($\frac{1}{2}$ بوصة)؟

(ب) كيف يمكنك زيادة قوة تكبير هذا المقراب؟

الجواب: (أ) $\times 96$

طريقة الحل:

$$\text{قوة التكبير} = \frac{\text{الطول البؤري للمقراب}}{\text{الطول البؤري للعينية}} = \frac{48 \text{ مم}}{12,5 \text{ مم}} = \frac{48 \text{ بوصة}}{1/2 \text{ بوصة}}$$

(ب) باستعمال عدسة عينية أقصر طولاً بؤرياً.

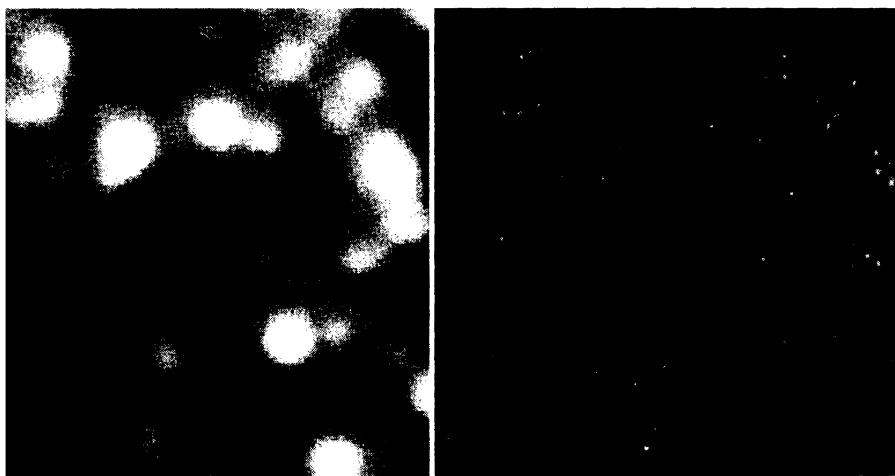
2.1 التكبير المجدى الأعظمى

من الخطأ - عند اقتناصك مقراباً - المبالغة في التأكيد على قوة التكبير؛ إذ لن تستطيع زيادة قوة تكبيره المجدية إلى ما لا نهاية عن طريق تغيير عدساته العينية.

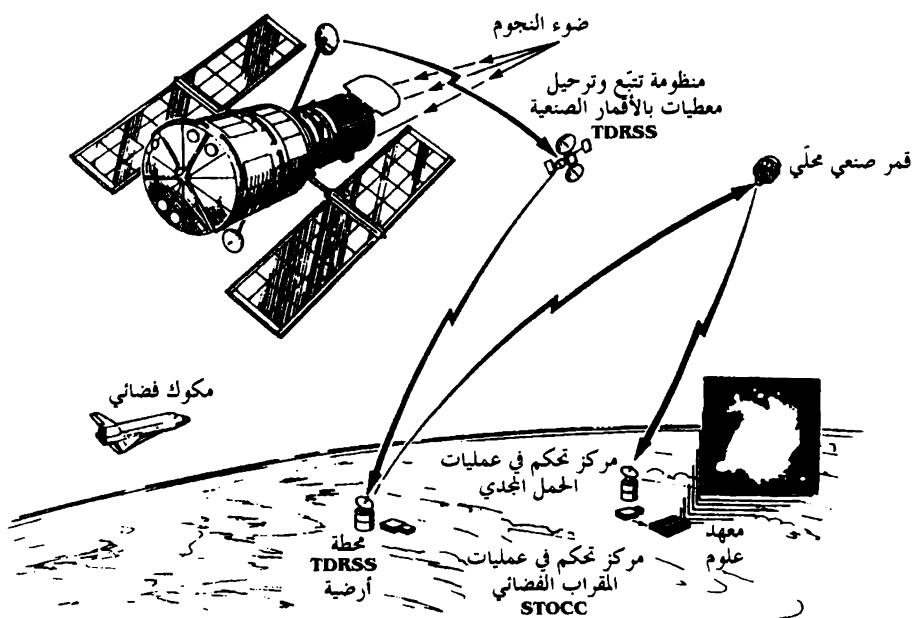
وبالنظر إلى أن ضوء النجوم يجب أن يمر عبر جو الأرض لكي يصل إلى المقاريب الأرضية، فإن الاضطرابات الجوية تتسبب في الحصول على صورٍ كليلٍ غير واضحة. وما نسميه جلاء الصورة (الرؤوية) seeing يقصد به مقدار استقرار الأحوال الجوية التي تؤثر في وضوح الصورة المقربية؛ فإذا كان الهواء ساكناً كان وضوح الصورة حسناً وضوء النجوم مستتراً، وإذا كان الهواء مضطرباً كانت الرؤية ردئه والنجم دائبة الوميض.

magnification في أي مقارب زهاء ضعفي فتحته بالمليimetres (أو 50 ضعف بالبوصات). وكل ما تقدمه القوة العالية إنما هو تكبير الصورة بما فيها مスピبابية ناشئة عن انعراج الضوء أو رداء الرؤية، لكنها لا تُظهر التفاصيل الدقيقة.

هذا التشويش أو التداخل الناجم عن الغلاف الجوي الأرضي ينأى ع المقارب الفضائي (المتمرکز في الفضاء)؛ فهو يرصد لمدى أبعد ويعط صوراً أوضح مما تفعله المقارب الراسدة من الأرض (الشكل 12.2) بجري تشغيل المراصد الفضائية من الأرض بالتحكم من بُعد، على حين يقوم رواد الفضاء بصيانة المقارب الفضائية وإصلاحها ورفع مستوى أدائهم في مداراتها، ويمكنهم إعادتها إلى الأرض عند اللزوم لأغراض الإصلاح الشامل.



الشكل 12.2 أثر الضبابية الجوية على المَيْز. الحشد النجمي الكُرْتِي 14 - M، الذي يبعد 1,000 سنة ضوئية، مرصوداً (أ) بمقارب أرضي بفتحة 4 أمتار من مرصد Cerro Tololo Inter-American Observatory في تشيلي؛ (ب) بمقارب هبل الفضائي. مَيْز الصورة في (أ) هو 1,5 ثانية قوسية، وفي (ب) هو 0,08 ثانية قوسية.



الشكل 2.13 مسار المعطيات التي يبثها مقراب هابل Hubble الفضائي.

وما برح أولُ مرصدِ عاملٍ وُضع في مداره حول الأرض سنة 1990 يرسل معطيات وصُوراً مذهلة. ذلك هو مقراب هَبْل الفضائي Hubble Space Telescope (HST) الأميركي/الأوروبي المشترك، الذي يبلغ قياس مرآته الرئيسية 2,4 مترين (94 بوصة)، وهو مجهَّز بخمسة أجهزة للرصد بالضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء (الشكل 2.13).

ما هو الحد العملي للتكتير المجدلي لمقراب بفتحة 150 مم (6 بوصات)؟.....

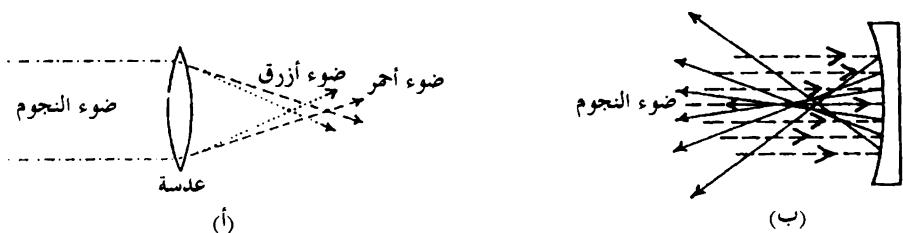
الجواب: × 300

2.22 الزيغ المقارب

الزيغ aberration عموماً خلل في الصورة التي تولّدها منظومة بصيرية. والزيغ اللوني chromatic aberration عيب في بنية العدسة. يتألف ضوء النجوم من كل ألوان الطيف؛ فإذا مرّ هذا الضوء من خلال عدسة، ركّزت العدسة ألواناً مختلفة (أطوالاً موجية) على أبعاد متباعدة قليلاً. ويؤدي هذا التفاوت البسيط إلى تشويه وضوح صورة النجم بألوان زائفة (الشكل 10.2). يُبطل هذا العيب بالعدسة الاللونية achromatic lens، وهي مجموعة عدستين أو أكثر، مصنوعة من ضروبٍ شتى من الزجاج.

تعكس مرآة دقيقة الانحناء كل ألوان ضوء النجوم إلى بؤرة عند النقطة ذاتها. ولا تعاني الصورة التي يؤلّفها مقاربٌ عاكس من ألوان زائفة.

أما الزيغ الكروي spherical aberration فهو خلل في المرأة من شأنه أن يشوّه وضوح الصورة النجمية، وناشئ عن عيوب في السطوح الكروية (ومن هنا اسمه). هنا ينعكس الضوء النجمي عن أجزاءٍ من المرأة على أبعاد متفاوتة من المحور البصري إلى نقاطٍ بؤرية متباعدة شيئاً ما (الشكل 14.2).



الشكل 14.2 (أ) الزيغ اللوني. تحني العدسة الأسواج الضوئية الزرقاء (التي هي الأقصر) إلى أقصى درجة، وتركّزها في بؤرة أقرب إلى العدسة من الأسواج الضوئية الحمراء (التي هي الأطول). (ب) الزيغ الكروي. المرأة غير المنتظمة التقوس لا تعكس الأسواج الضوئية إلى بؤرة واحدة.

والمرآة المكافئية القطع parabolic mirror متحرّرة من هذا العيب؛ فشكلُها أقلُّ تقوساً عند الأطراف منه عند المركز، ومن ثم فهي تعكس الضوء النجميّ جيداً إلى نقطةٍ بؤريّةٍ وحيدة. وثمة المقراب العاكس - الكاسر المزود بعدهاً أو صفيحةً مصحّحةً عند النهاية العلوية catadioptric telescope من الأنوب، لتصحيح الزيغ في مرآةٍ رئيسيةٍ كرويةٍ الشكل.

لِمَ يتعيّن عليك دوماً توخيّ أفضل الأجزاء البصرية نوعيّةً لمقرابك؟

الجواب: تجنبًا للزيغ في الصورة.

2. 23 تصميم المخاريب والاختيار منها

قد تتساءل أي المخاريب هو الأفضل: الكاسرة أم العاكس؟ ذلك منوطٌ بطبيعة التطبيق المقصود، إذ إن لكل نوع من المخاريب مزاياه ومثالبه قياساً إلى غيره.

فالمخاريب الصغيرة الخاصة بالهواة يمكن أن تكون إما كاسرةً وإما عاكسةً. فالأولى (الكاسرة) متينة الصنع قليلةً مطلب الصيانة بالنظر إلى أنبوبها المحكم الإغلاق؛ في حين توفر الأخرى (العاكسة) فتحةً أكبر مقابل ثمنها، ومن الممكن صنعها في البيت. ومن أنواعها مقراب دوبسون Dobsonian telescope، وهو مقرابٌ نيوتنٌ عاكسٌ مركبٌ على حاضنٍ بسيطٍ، تعود سعة انتشاره إلى سهولة استعماله ورخص ثمن قياساته معيّنةً منه. ومع أن المخاريب العاكسة - الكاسرة أغلى ثمناً تبعاً لكل واحدةٍ قياسيةٍ من فتحتها، فإنها (ولا سيما منها مخاريب شميدت - كاسيغرين Cassegrain و مكستوف - كاسيغرين Maksutov - Cassegrain) أكثر أنواع المخاريب تراصداً وقابليةً للنقل.

وأيّاً كان اختيارك، فإن ثبات الحاضن mount الحامل لمقرابك الصغير أمرٌ أساسٌ جداً، إذ لا شيء يُفسد عليك اندفاعك ورغبتك في الرصد أكثر

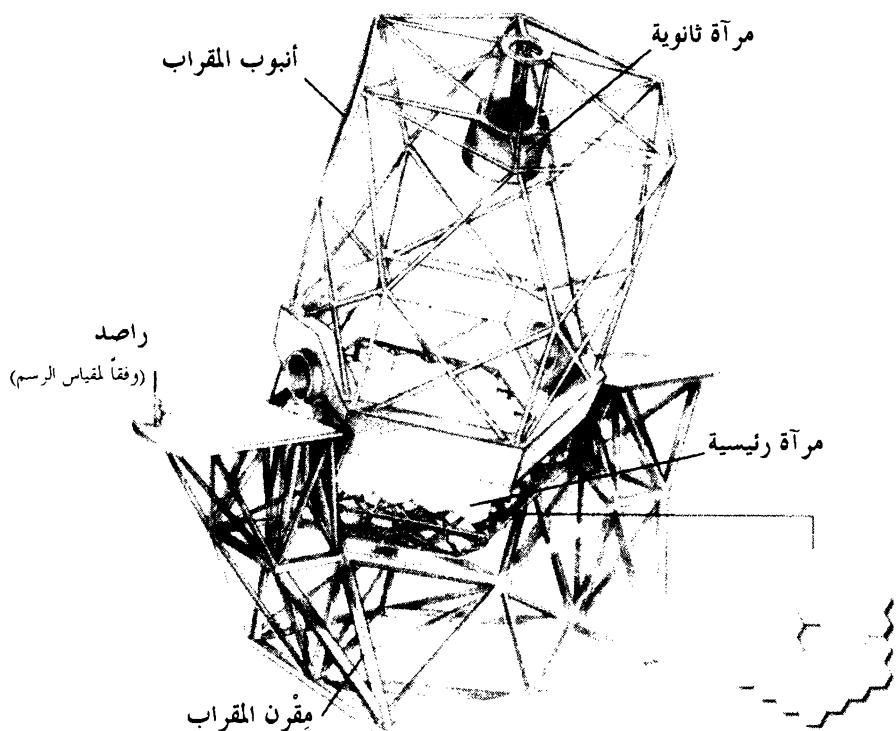
من مقاربِ رديء النوعية، مهترئ الحاضن يعطي صوراً غائمةً مضطربة.

تُستعمل المقاريب الكاسرة الكبيرة عندما يكون القصد الأول هو الجودة والميز العالي في الصورة. مثال ذلك رصد تفاصيل سطح القمر والكواكب، أو رصد المنظومات النجمية المزدوجة.

بالمقابل، تستعمل المقاريب العاكسة حيثما تكون الأهمية الأولى معلقة على الفتحة، كما هو الحال عند سبر أخافت الأجرام وأقصاها. هذا إضافةً إلى أنها أسهل صنعاً وأكثر جدوى اقتصادية من المقاريب الكواسر. وتنبع البصريات «المسطوية» folded optics إمكان اختزال الطول الفيزيائي للمقاريب العاكسة الكبيرة، بحيث يصبح بالإمكان إيداعها داخل قبابٍ أصغر مما يلزم المقاريب الكاسرة. تُدعم المرأة الرئيسية برادفةٍ خلفية تحول دون تراخيها وانهدالها بفعل الثقالة، كما يحصل في العدسات الضخمة من تراخي مع الزمن. وعلماء الفلك جادون في اصطناع مقاريب أكبر من كل ما سبق، تتصف بتقنياتِ رصدٍ جديدة من شأنها زيادة تجميع الضوء ورفع مقدرة الميز (الشكل 15.2).

تتميز أحدُّ المقاريب اليوم بمراياً أحادية monolithic mirrors أخف وزناً، مسبوكةً كقطعةٍ واحدة، أو بمراياً مجزأة segmented mirrors هي توليفة من مراياً منفصلة (انظر الشكل 15.2) يمكن استعمالها منفردةً أو مجتمعةً بفضل منظومة تحكم بالكمبيوتر. أما المقاريب المركبة multiple telescopes، التي تحوي أكثر من مرآة رئيسية واحدة، فتنقل الضوء الذي تجمعه كلُّ المرايا الرئيسية إلى نقطةٍ بؤريةٍ مركزية تؤلّف الصورة كما لو أنها مرآة واحدة ضخمة.

تجدر الإشارة إلى أن أكبر مقاربٍ جرى تمويله حتى الآن هو المقارب العملاق (VLT) Very Large Telescope بفتحة 16 متراً، الذي ينتمي إلى المرصد الأوروبي الجنوبي European Southern Observatory، والذي يشتمل



الشكل 15.2 رسم تخطيطي لمقراب كيك Keck في هاواي بالولايات المتحدة، الذي يستعمل تصميماً لمرآة مجرأة لأغراض البحث البصري تحت الأحمر. تراصفي - بفضل تحكمات بالكومبيوتر - سُّتُّ وثلاثون مرآة مسدسة الأضلاع تراصفيًا دقيقاً، يبلغ قطر كل منها قرابة مترين (6 أقدام) بسمك 7,5 سنتيمترات (ثلاث بوصات)، لتؤلف سطحاً واحداً متناغماً يؤدي دور مرآة ضخمة بقطر 10 م (33 قدماً). يمكن أن يعمل مقراب كيك I وصنيوه كيك II معاً أو كلّاً منها على حدة.

على تصميم لمرآة مرگبة باستعمال أربعة مقاريب منفصلة بفتحة 8,2 م. ومن الطريق أن أكبر مقاريب العالم معظمها يضم مراكز استقبال ممتعة للزائرين، وينظم برامج سياحة ذاتية شائقة للعلوم (الجدول 15.2).

الجدول 2.2 أكبر المقاريب البصرية في العالم

الوصف	اسم المرصد ومكانه	قطر الفتحة (بالأمتار)	اسم المقارب
أربعة مقاريب منفصلة بفتحة 8,2 م. يعمل منها آنتو وكوبين وميلبيال.	المرصد الأوروبي الجنوبي، سيرو پارانال، تشيلي	16,4	المقارب العملاق 1
مرآتان بقياس 8,4 م، بميّز مرآة واحدة بقياس 23 م.	قمة جبل غراهام، أريزونا	11,8	المقارب المنظاري الكبير
مرايا مجرأة، بقياس 85 م لكل منها؛ تستعمل كقياس تداخل بصري.	W.W.Keck ماونا كيا، هواي	10,0	كيك 1 وكيك 2
مرأة كروية مجرأة، بمسقط رأس ثابت؛ للأغراض الطيفية فقط.	مكدونالد، قمة جبل فوكير، تكساس	9,2	هوبى - إيرلي
مرأة رئيسية هلالية خفيفة (22,8 طن) بسمك 20 سم؛ إسناد الفاعل.	مرصد اليابان الفلكي الوطني، ماونا كيا، هواي	8,2	مقارب سوبارو ⁽¹⁾
صنوان متعددة الجنسيات؛ استغرق مفتوح للسماء الشمالية والسماء الجنوبية.	جييميني ⁽²⁾ (ماونا كيا، هواي وسيرو باشون، تشيلي	8,0	جييميني نورث وجيميني ساوث ⁽¹⁾
مرأة رئيسية خفيفة؛ بصفحة أمامية مقعرة، وصفحة خلفية مستوية، ونموذج نخروبي من عروق زجاجية بينهما.	مرصد سميسون للفيزياء الفلكية، جبل هوبيكينز، أريزونا.	6,5	المقارب المتعدد المرايا ⁽³⁾ (MMT)
	لاس كامپاناس، تشيلي	6,5	ماجلان 1 وماجلان 2

(1) قيد الصنع.

(2) منشآت المرصد الفلكية البصرية الوطنية (NOAO)، التي تتحذ إدارتها من تكسو (أريزونا) مقراً لها.

(3) نموذج محور.

الوصف	اسم المرصد ومكانه	قطر الفتحة (بالأمتار)	اسم المقارب
مرأة زئبقيّة تشير إلى سمت الرأس، لأعمال المسح؛ غير مرن للتوجيه.	Malcolm Knapp Research Forest، كولومبيا البريطانية	6,1	مقارب السمت الكبير
يرُكَب على حاضن سمتِ ارتفاعي (يعين السمت والارتفاع).	المرصد الفيزيائي الفلكي الخاص، جبل باستاخوف، زيلينشوكسكيايا، روسيا	6,0	مقارب بولشوي السمتِ - الارتفاع
جولات سياحية سيراً على الأقدام؛ صالة عرض للزوار حيث يمكن رؤية مقارب هيل.	پالومار جبل پالومار، كاليفورنيا	5,0	مقارب جورج إيليري هيل
(مرصد للهواة)	مرصد غريتشن الملكي لا بالما، جزر الكناري، إسبانيا	4,2	مقارب ويليام هيرشل
مركز استقبال ويرامج رصد ليلي؛ جولات سياحية ذاتية حرّة.	مركز كييث پيك الوطني ^(١) كياث پيك، أريزونا	4	مقارب نيكولاس ميوول
صنو مقارب ميوول	سيرو تولولو إنتر أمريكان ^(١) سيرو تولولو، تشيلي	4	فيكتور بلانكو
مرأة Cer-Vit؛ يركب على حاضن استوائي.	مرصد كونابران الأنجلو - أسترالي، نيوساوث ولز، أستراليا	3,9	المقارب الأنجلو - أسترالي

(١) منشآت المراسد الفلكية البصرية الوطنية (NOAO)، التي تتخذ إدارتها من تكسون (أريزونا) مقراً لها.

ولا غرو، فقد شهد أداء المقاريب الكبيرة تطوراً مثيراً بإدخال تقنيات adaptive optics الحديثة ومتكررات جديدة، منها ما يسمى بالبصريات المعدلة التي تضبط المرايا بحيث تصحح التشوّهات السريعة الخاطفة (أجزاء المئة من الثانية) الناشئة عن اضطرابات في الغلاف الجوي الأرضي؛ ومنها ما يسمى بالبصريات الفاعلة أو النشطة active optics التي تصحح أطول التشوّهات المرآوية زمناً (دقائق أو ساعات) الناشئة عن قوة الثقالة والتغيرات الحرارية والرياح.

بِمَ يُمْتَازُ الْمَقْرَابُ الْبَصْرِيُّ عَلَى الْعَيْنِ الْمَجَرَّدَةِ؟

الجواب: بـمقدارـة تجمـيع ضـوء وـمـيـز أـعـلـىـ. ويـمـكـن تـجهـيزـ الـمـقـرـابـ بـحيـثـ يـسـجـلـ الضـوءـ لـمـدـةـ طـوـيـلـةـ.

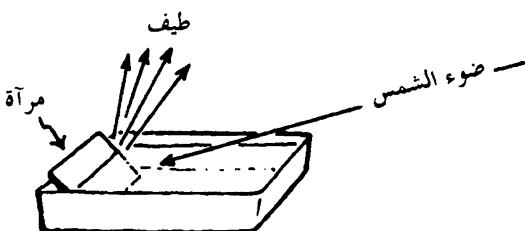
2.4 وسائل معززة للمقارب

لما كان زمان البحث الفلكي عالي المطلب، فإن الفلكيين لا يقتصرُون على مجرد الجلوس إلى المقاريب العملاقة والرصد ليس غير، بل إنهم في العادة يتبعون أعمال رصدهم على شاشة إظهار كومبيوترية! إذ يجري تسجيل ضوء النجوم، إما بصورة مباشرة وإما بعد مروره بمنظومات تصوير إلكترونية، لدراسته فيما بعد دراسة مستفيضة، وكذلك للحصول على صور. وقد بات استعمال الكمبيوتر الفعال اليوم أمراً أساسياً بغية جمع معطيات فلكية، تمهدأ لمعالجتها وتحليلها والاستفادة منها.

ويعدّ عنصر القرن الشّخّبني Charge Coupled Device (CCD) أداة كشف إلكترونية شائعة، وهي جذادة سيليكونية مؤلفة من عناصر دقيقة حساسة

للضوء، ولها خاصية تحويل الضوء النجمي إلى نبضات كهربائية تلائم الكمبيوتر وغيره من التجهيزات المتطرفة لمعالجة الصور وإظهارها. ويلاحظ أن عناصر القرن الشّحني أكثر حساسية للضوء من أفلام التصوير الفوتوغرافي، وذات قدرة على تسجيل الأجرام الساطعة والخافتة في آن معاً.

وكثيراً ما يُرْفَق المقارب بأداة تسمى راسم الطيف spectrograph، إذ إن ضوء النجوم ليس لوناً واحداً بل مزيجاً من الألوان، أو الأطوال الموجية (الشكل 16.2). ويستنبط علماء الفلك جُلَّ معلوماتهم عن النجوم من هذه الأطوال الموجية المنفصلة، كما سنرى في الفصل الثالث إن شاء الله.



الشكل 16.2 يمكن توليد طيف من ضوء الشمس (ضوء نجم). ضع مرآة في حوض من الماء بحيث تكون تحت الماء ومستندة إلى جدار الحوض. اضبط وضع الحوض في ضوء الشمس الساطعة بحيث تقع أشعة الشمس على المرأة. حرك المرأة رويداً إلى أن ترى طيفاً على السقف أو على الجدار.

يقوم كاشف الطيف spectroscope بتفكيك ضوء النجوم إلى مكوناته من الأطوال الموجية للمعاينة. يدخل الضوء كاشف الطيف من خلال شق ضيق نحو عدسة تسديد collimating lens تولّد حزمة من أشعة ضوء متوازية. يتبدّد هذا الضوء بفعل موشور prism أو شبكة (محزوّز) grating إلى ألوانه (أطوال الموجية)، وهذا هو الطيف الذي يسجّله راسم الطيف.

ما الغرض من راسم الطيف؟

الجواب: فَصُلْ كُلًّ طول موجيٌ في حزمة ضوء وتسجيله.

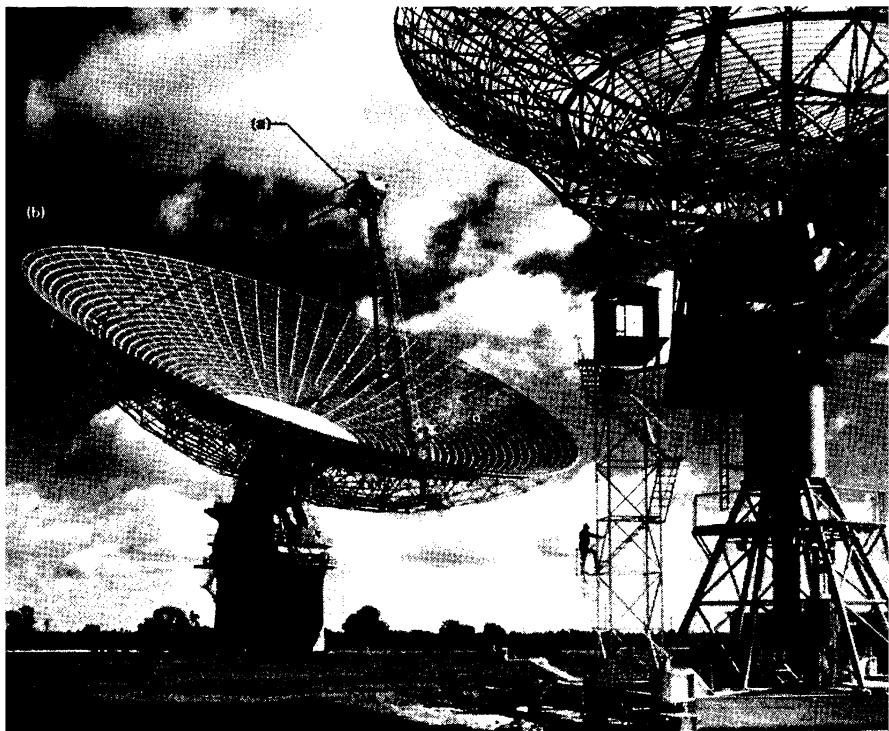
2.5 علم الفلك الراديوى

تتيح أنواع المقاريب الحديثة للفلكيين اليوم «النظر» لمسافاتٍ أبعد في أعماق الفضاء و«رؤيه» مشاهد كونيةٍ أخذته أكثر من أي وقت مضى.

تَسْتَعْمِلُ مُعَظَّمُ الْمَقَارِيبِ الرَّادِيوِيَّةِ *radio telescopes* هوائيًا *antenna* مقعرًا على شكل طبق، هو بمنزلة المرأة الرئيسية في مقرابٍ بصري عاكس، وظيفته تجميع الأمواج الراديوية من الفضاء وتركيزها في بؤرة. ويجب أن يكون الهوائي كبيراً جداً ليتسنى له تجميع الأمواج الراديوية الطويلة، وتوليد صورٍ واضحة (الشكل 17.2).

وليس بمقدورك رؤية هذه الأمواج الراديوية أو سماعها أو تصويرها مباشرةً، بل يعاد توجيهها إلى مستقبلٍ راديوى *radio receiver* مؤلفٍ يقوم بتضخيم صورتها الإلكترونية، وكشفها وتسجيلها. وقد يتمكن الكمبيوتر من إظهار صورٍ راديوية رقمية على شكل خريطةٍ كفافية *contour map* تبيّن شدة المنبع الراديوى (الشكل 19.6 بـ)، أو على شكل صورةٍشعاعية *radiograph* (الشكلان 18.6 و 19.6 أـ)، وهي صورةٌ بالألوان الزائفة تُظَهِرُ كيف يمكن أن «يبدو» المنبع الراديوى في الفضاء لمراقبٍ ذي «رؤية راديوية».

استُهِلَ علم الفلك الراديوى سنة 1931 عندما اكتشف المهندس الأمريكي كارل جانسكي (1905 - 1950) الأمواج الراديوية الآتية من مجرأة درب التبانة. ومنذئذٍ تستقبل هذه الأمواج من منابعٍ شتى تضمُّ شمسنا، والكواكب، والغاز البينجمي البارد، والنجوم النباضة *pulsar*، وال مجرّات النائية، والكوازرات *quasars* (أشباء النجوم).



شكل 17.2 مقراب راديوسي.

نذكر أن أكبر الهوائيات الراديوية في العالم طبق ثابت بقطر 300 متر (أي 1000 قدم) أُنشئ بوادي بين تلال منطقة آريسيبيو Arecibo (بورتوريكو)، في حين أن أكبر مقراب راديوسي قابل للتوجيه الكامل هو الهوائي الذي يبلغ قطره 101 متر (أي 330 قدمًا) ويقع في منطقة إفيلزبيرغ Effelsberg بألمانيا.

هذا وينتظر أن يكون مقراب غرين بانك (GBT) Green Bank Telescope هو قيد الإنشاء في المرصد الوطني للفلك الراديوسي NRAO بولاية فرجينيا الغربية، أعظم المقاريب الراديوية قدرةً وفاعليةً ودقةً وحساسيةً على الإطلاق. ومن سماته الفريدة أن طبقه - الذي يبلغ قطره 100 متر (أي 330 قدمًا) - له طوع خصيص لتوجيه الأمواج الراديوية جانبًا، إلى حيث يلتقط جهاز استقبال الإشارات دون أن يحجب الطبق.

حدِّد الهوائي والبؤرة الأولى للمقراب الراديوى المبَين في الشكل
17.2: (أ) ؛ (ب)

الجواب: (أ) البؤرة الأولى ؛ (ب) الهوائي .

2. 26 المقاريب الراديوية

تتمتع المقاريب الراديوية بمزایا عديدة؛ فهي تتيح لنا «رؤیة» أجرام سماوية كثيرة تُطلق أمواجاً راديوية قوية ولا تطلق إلا القليل من الضوء المرئي، وكذلك «رؤیة» منابع راديوية تقع خلف سُحبٍ غبارية بينجمية في مجرتنا درب التبانة، من شأنها أن تطمس النجوم المرئية (بسبب نفاد الأمواج الراديوية في هذه السُّحب). ولما كان غالباً الجو لا يعرض الأمواج الراديوية ولا يبعثرها، فيمكن استعمال المقاريب الراديوية في الأحوال الجوية الغائمة وفي أثناء ساعات النهار .

وكما هو الحال في المقاريب البصرية، يمكن تحصيل معطيات راديوية أوسع وأدق بوساطة مجَمِعات collectors أكبر من كل ما سبق. وعن طريق ما يسمى بعملية توحيد الفتحة aperture synthesis تُدمج أرصاد مقرابين راديوبيَّن، أو مقاييسِ تداخل interferometers (أو أكثر)، يجري ربطها إلكترونياً بأجهزة كمبيوتر بغية الحصول على مقدرة مُنْيَّ طَبَقِ مُجَمِعٍ واحدٍ عملاق .

والصفيحة الضخمة جداً Very Large Array (VLA) هي المنشأة الأساسية في المرصد الوطني للفلك الراديوى لإجراء عملية توحيد الفتحة (الشكل 18.2)، وهي تقع في مكان يرتفع 2100 متر (7000 قدم) في مدينة نيومكسيكو الأمريكية. تتكون صفيحة VLA هذه من 27 طبقاً راديوياً متراكماً قطر كل منها 25 متراً (82 قدمًا)، يمكن استعمالها بأشكال مختلفة لتحاكي أداء طَبَقِ راديوى كامل التوجيه بقطر 34 كيلومتراً (21 ميلاً). تحكم أجهزة



الشكل 2.18 الصفيحة الضخمة جداً (VLA).
مختلفة في 72 محطة للرصد
ذراع من 7 زهاء 21 كم (13 م).

الكمبيوتر بالهوازيات، وتقوم بمعا
بإخراج صور شعاعية ذات ميّز ما
يمقراب بصريّ عاكسٍ عملاق.

يوفّر قياسُ التداخل بخطّ
أعلى درجات Interferometry (VLBI)
مغنتيسي من أرصادِ محكمة الـ
استعمال هوازيين أو أكثر متباعدان
ترّبط المعطيات بالكمبيوتر لمحاكاة

وتمتّلّك شبكةً أعمق الفضاء
وكالة أبحاث الفضاء الأمريكية
نارات؛ فتستعمل محطّاتها في

وأستراليا لأغراض الرصد بطريقة VLBI، إضافةً إلى استعمالها في الرحلات الفضائية. وغنيٌ عن القول إن هذه المحطات مزودة بمعدات استقبال وإرسال ومعالجة معطيات واتصال في ما بينها، علماً بأن مركز التحكم يقع في مختبر ناسا للدفع النفاث NASA Jet Propulsion Laboratory في باسادينا بكاليفورنيا.

تقوم صفيحة الخط القاعدي الطويل جداً Very Long Baseline Array (VLBA) برسم خرائط لأبعد المنابع الراديوية وأدق تفاصيلها. وتتألف هذه الصفيحة من عشرة مقاريب راديوية مؤتممة بقطر 25 متراً (82 قدمًا)، موزعة في أنحاء الولايات المتحدة من هواي إلى سانت كروا St. Croix من جزر فيرجين آيلاندز. تعمل الهوائيات آلية بتحكم من مركز العمليات في نيومكسيكو. وبمعالجة الكمبيوتر للمعطيات التي سجلتها الهوائيات العشرة جميعاً يمكن اصطناع مقارب راديوية وحيد بقطر 8000 كيلومتر (5000 ميل).

ترتفع مقدرة الميز إلى حدّها الأعظمي باستعمال صفيحة VLBA مع مقاريب راديوية تدور حول الأرض.

ادْكُر ثلاث مزايا على الأقل لمقارب راديوي (1) ؛ (2) ؛ (3) ؛ (4)

الجواب:

- (1) يُظهر المنابع الراديوية - وهي أجرام تضيء في حزمة الأطوال الموجية الراديوية .
- (2) يعرض المنابع الراديوية الواقعة خلف سحب الغبار البينجمي في الأجزاء الخفية على الرصد البصري من مجرة درب التبانة .
- (3) يعمل في الجوّ الغائم ، وكذلك في النهار .
- (4) يُظهر المنابع الراديوية الواقعة وراء قدرة مشاهدتنا البصرية .

27. علم الفلك تحت الأحمر

المقاريب تحت الحمراء infrared telescopes هي في المقام الأول عاكسات بصيرية مزودة بكافشِ حراريٍ خاص عند البؤرة الأولى. تُستَر الكافشات وتُبَرَّد إلى نحو 2 كلفن للثبت من أنها تسجّل - أولاً وبالذات - الأشعة تحت الحمراء الواردة من الفضاء، وليس الحرارة التائهة الصادرة عن الإنسان والمعدات وجدران المراصد.

ولبخار الماء وثنائي أكسيد الكربون في الهواء خاصية امتصاص قوية للأشعة تحت الحمراء الواردة. وكان عالم الفلك الأمريكي فرانك لو Frank Low أول من أنشأ كافشاً تحت أحمر حساساً للاستعمالات الفلكية عام 1963. واليوم تُتَّخَذ قمم الجبال العالية أمكنةً لتمرير المقاريب تحت الحمراء الكبيرة، حيث الهواء متخلخل وجاف. وتعد قمة ماونا كيا Mauna Kea في هاواي، وارتفاعها 4200 متر (13,800 قدم) أفضل المواقع على الإطلاق. أما المقاريب التي هي أصغر حجماً فيتحقق ارتفاعها بحملها بالطائرات والمناطيد والصواريخ ومركبات الفضاء.

ومن المنتظر اليوم أن تحمل الطائرة النفاثة المسماة بالمرصد الجوي Stratospheric Observatory for Infrared (SOFIA) مقراباً عاكساً بفتحة 2,5 م على ارتفاع 12 كم (40,000 قدم)، وكذلك أن يُطلق مقراباً بفتحة 85 سم في مدار بوساطة منظومة المقاريب تحت الحمراء الفضائية Space Infrared Telescope Facility (SIRTF).

تصوّر المقاريب تحت الحمراء المنابع الضوئية الباردة نسبياً، التي يغلب إلا تكون مرئية: من قبيل النجوم الباردة، والغبار الذي يخالط الغاز البارد ومناطق التكوين النجمي، والأقراص حول - النجمية circumstellar disks (الشكل 2.12) التي يحمل فيها وجود كواكب خارج نطاق المجموعة الشمسية extrasolar planets، والمذنبات comets. تخترق الأشعة تحت

الحرماء الغبار البينجمي بسرعة أكبر مما تفعل الأشعة المرئية التي هي أقصر، فتكتشف عن طبيعة أجزاء مختلفة من مجرتنا. هذه الأشعة لا يطمسها ضوء الشمس، ومن هنا إمكانية عمل المقاريب تحت الحمراء ليلاً ونهاراً.

ما الميزة الرئيسية للمقاريب تحت الحمراء؟

الجواب: إظهارها للأجرام الباردة نسبياً التي قد لا تكون مرئية.

2. 28 علم الفلك فوق البنفسجية والسيني والغامي

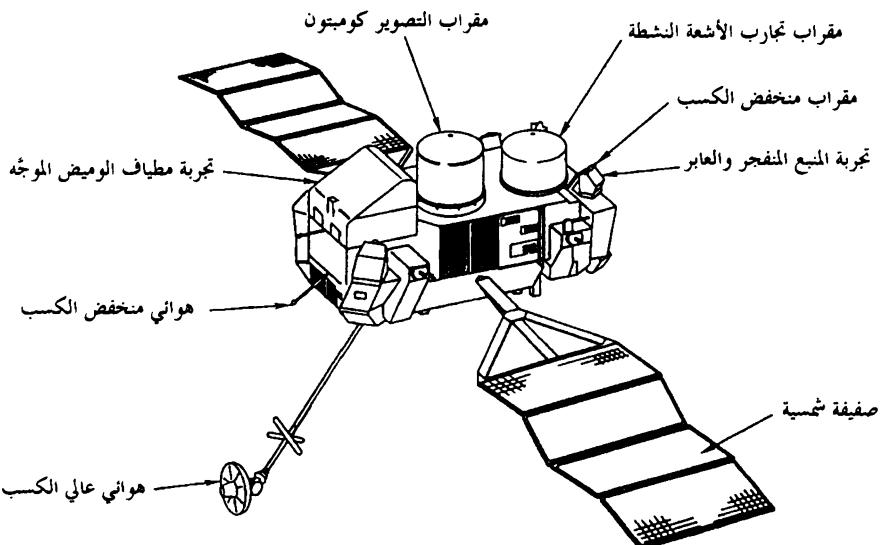
الفيزياء الفلكية العالية الطاقة high-energy astrophysics ميدان اختصاص ديناميّ ناشئ، جُلُ اكتشافاته حديث لا يرقى إلى أبعد من ستينيات القرن العشرين. تُطلق مقاريب الأشعة فوق البنفسجية ultraviolet والسينية X-ray ومقاريب أشعة غاما gamma-ray، مع كاشفات ملائمة، إلى ما فوق طبقة الهواء الحاجب للأرض، ضمن مركبات طوافة في مدارات.

توفر الصنائف الشمسية الكهربائية لتغذية الأجهزة وأدوات التحكم بالتوجيه. وتعمل المواد العازلة على حماية الأجهزة من الحرارة والبرودة المفرطةين، ومن انخفاض الضغط، والجسيمات النشطة والإشعاع الفاعل في الفضاء. كذلك تعمل المقتفيات الفلكية⁽¹⁾ star tracker والجيروسكوبات على توجيه المراصد الفضائية وتحدد مواقعها بقرينة أجرام سماوية معروفة.

تجمع المقاريب العالية الطاقة الإشعاع القادر وتركيزه في بؤرة، في حين تسجل الكاشفات شدته وطاقته وأمده واتجاه مئشه. وتستقبل الهوائيات

(1) المقتفي الفلكي: جهاز يستعمل مع خمسة أجهزة أخرى لرصد نجوم معينة واقتفاء حركتها ليلاً ونهاراً، وبذلك تعطي بياناً مستمراً عن الاتجاه الزاوي الأفقي وعن الموقع. يسمى أيضاً: astrotracker. (المغرب)

الراديوية الأوامر من المراقبة الأرضية وتبث المعطيات إلى الأرض.



الشكل 19.2 لمرصد كومبيتون العامل بأشعة غاما أربعة أجهزة لقياس الأشعة بأعلى درجات الميزان الزاوي والحساسية.

تعالج المعطيات وتسجل بواسطة الكمبيوتر بغية تحليلها، ثم تُعرض رقمياً أو برسوم بيانية للشدة بالنسبة إلى الزمن، أو كمجال طاقي يبيّن آلية توليد المنبع للأشعة السينية، ودرجة سطوعه، والزمن الذي يحافظ فيه على سطوعه، ونوعه من بين الأجرام. وبالإمكان معالجة المعطيات بحيث تولد أخيلةً بألوانٍ زائفة *false color images*، تُستعمل فيها الألوان لإظهار معالم أجرام غير مرئية.

وَمَا أَكْثَرَ الْمُشَاهِدُ فِي السَّمَاءِ الْمُفَتوحِيَّةِ الَّتِي تُرْصَدُ عَلَى الشَّمْسِ وَالنَّجْوَمِ
الْحَارِّةِ وَالْعُلُفِ الْجَوَيِّةِ النَّجْمِيَّةِ وَالسُّحُبِ الْبَيْنِجَمِيَّةِ، وَكَذَلِكَ عَلَى هَالَةِ مَجْرِيَّةِ

غازية حازة، وמנابع تقع خارج المجرة. من هذه الأرصاد ما تقوم به الربوت robot الأمريكي المسمى بالكساف الطيفي فوق البنفسجي البعيد Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (FUSE) منذ سنة 1999 حتى اليوم، من سير لأخفت المنابع الضوئية وأقصاها.

كذلك قام مرصد كومبتون العامل بأشعة غاما Compton Gamma Ray Observatory ما بين سنتي 1991 و 2000، ويقوم مرصد تشاندرا السيني Chandra X-ray Observatory منذ سنة 1999، بتصوير الأجرام النشطة والحوادث الكونية العنيفة (الشكل 19.2).

وتحمة من المنابع السينية والغامية أعدادٌ كبيرةً جداً تُظهر كدفقات متفجرة من الإشعاع، ونجمٌ نباضة، وثقبٌ سوداء، و مجراتٌ نشطة، وكوازراتٌ نائية. ما اللافت بنوع خاص في الأرصاد الحديثة باستعمال المقاريب فوق البنفسجية والسينية والغامية؟

الجواب: أن الأشعة فوق البنفسجية والسينية والغامية الواردة تحمل طاقةً أكبر بكثير من الضوء المرئي. ولا بد أنها تتولد بفعل عملياتٍ غايةً في الفاعلية لم يدركها العلماء بعد إدراكاً كاملاً.

اختبار ذاتی

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل الثاني وتمثّلها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهداً استطاعتك، ثم انظر في الأجبوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

- 1. لماذا كان النظر إلى النجوم طريقةً لتصوّر مظهر الكون قبل سنواتٍ كثيرة؟

..... 2. (أ) اذكر أهم مناطق الطيف الإلكتروني ، من أقصر طولٍ موجي (الطاقة العليا) إلى أطول طولٍ موجي (الطاقة الدنيا)

..... 3. (ب) ما الصفة التي تشتّرك بها كل الأمواج الكهرومغناطيسية؟

..... 3. اكتب الصيغة العامة التي تربط بين الطول الموجي وتردد الموجة

..... 4. بافتراض أنك ترصد نجماً لونه مائل إلى الزرقة ، وآخر مائل إلى الحمراء . أيهما أشد حرارة؟ وكيف تعرف ذلك؟

5. عدد النوافذ الثلاث (المجالات الطيفية) في الغلاف الجوي للأرض،
الخاصة بالفلك الرصدي
6. ما الجزءان الرئيسيان من مقارب يُستعمل لأغراض الرصد، وما وظيفة
كلٌّ منهما؟
7. ما المزيّنان الرئيسيتان للمقاريب العملاقة المستعملة لأغراض البحث؟

لدينا مقاربان بالمواصفات التالية:

نوع المقارب		
كاسر (2)	عاكس (1)	
1 م	2 م	قطر العدسة الرئيسية أو المراة الرئيسية
14,6 م	7,6 م	الطول البؤري للجسمية
1 سم	5 سم	الطول البؤري للعينية

8. أي المقاربين (أم 2) المذكورين في هذا الجدول
 (أ) أكبر مقدرة على تجميع الضوء؟
 (ب) أجدى من حيث مقدرة الفصل (الميّز)؟
 (ج) أعلى من حيث درجة التكبير؟
9. اذكر أهم عاملَيْن لِحسن الأداء المقاربي
10. ما الغرض من راسم الطيف؟

- 11. اذكر ثلاثةً من مزايا المقرب الراديوسي
- 12. ما الفائدة من إطلاق مقاريب في مركبات الفضاء؟
- 13. انسب كل أداة مما يأتي إلى ما يناسبها من الأرصاد.
- (أ) أخفت المنابع الراديوية (1) مرصد تشارلز السيني .
وأقصاها .
- (ب) النجوم والغازات الحارة (2) الكشاف الطيفي فوق
البنفسجي البعيد .
- (ج) المنابع المرئية الباردة (3) مقرب كيك .
نسبة .
- (د) المنابع السينية . (4) صفيحة بخط قاعدي طويل
 جداً .

الأجوبة

قارن أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة الآتية، فإن وجدتها صحيحةً كلّها، انتقل إلى الفصل التالي ، وإن أخطأت في بعضها فعد إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكماله بدقة أكبر إذا تعددت أخطاؤك.

. 1. ينتشر ضوء النجوم بفعل شحنات كهربائية موجودة في النجوم ذاتها. تنتقل أمواج الضوء الطاقة من النجوم إلى الشحنات الكهربائية الموجودة في عيوننا. ومن المعلوم أن الأمواج تنتقل بسرعة فائقة . زهاء 300,000 كم (186,000 ميل) في الثانية. ومع ذلك فإن تريليونات الأميال التي تفصل النجوم عن الأرض من شأنها أن تجعل رحلة الضوء تستغرق سنوات كثيرة. وهكذا فإننا نرى النجوم على هيئتها التي كانت عليها قبل سنين كثيرة خلت، أي عندما بدأ ضوء النجوم رحلته إلى الأرض. (الفقرتان 1.2 و 5.2).

. 2. (أ) أشعة غاما، والأشعة السينية، والإشعاع فوق البنفسجي ، والضوء المرئي ، والإشعاع تحت الأحمر ، والأمواج الراديوية.

(ب) هي أن كل الأمواج الكهرومغناطيسية تنتقل عبر الخواص بسرعة واحدة هي سرعة الضوء . نحو 300,000 كم / ثا (186,000 ميل / ثا).

(الفقرات : 3.2 و 5.2 و 8.2)

$$. 3 \quad c = F\lambda \quad \text{أو} \quad \text{الطول الموجي} = \frac{\text{سرعة الموجة}}{\text{التردد}}$$

(الفقرات : 2.2 و 5.2 و 6.2 و 8.2 و 9.2)

. 4. النجم ذو اللون المائل إلى الزرقةأشد حرارة. نعلم من قانون فين في الإشعاع أنه كلما قصرَ الطولُ الموجيُ الذي يطلق النجمُ عنده أعلى درجات ضوئه، كان النجمُ أشدَّ حرارة. إن الطول الموجي للضوء

- الأزرق أقصر من الطول الموجي للضوء الأحمر.
- (الفقرتان: 10.2 و 2.2)
5. البصرية (الضوء المرئي)، والراديوية، وتحت الحمراء.
- (الفقرة: 11.2)
6. (1) المرأة أو العدسة الرئيسية (الجسمية): لتجمیع الضوء وتألیف الصورة.
- (2) العدسة العینیة: لتكبیر الصورة التي أَفْتَهَا المرأة أو العدسة الرئيسية.
- (الفقرات: 15.2 و 14.2 و 2.2)
7. مقدرة أعلى لتجمیع الضوء، ومقدرة مِنْ أكبر.
- (الفقرات: 23.2 و 19.2 و 2.2)
8. (أ) 1؛ (ب) 1؛ (ج) 2.
- (الفقرات: 20.2 و 19.2 و 2.2)
9. قیاس المرأة أو العدسة الرئيسية ونوعيتها. (علمًا بأن الحاضن الثابت عامل مهمٌ كذلك).
- (الفقرة: 12.2 والفقرات: 23.2 إلى 17.2 ضمناً)
10. فصل وتسجيل الأطوال الموجية في حزمة ضوئية، كلاً على حدة.
- (الفقرة: 24.2)
11. يكشف المنابع الراديوية؛ ويُظهر المنابع الراديوية المتوازية عن النظر خلف سُحب الغبار البنجمي في مجرة درب التبانة؛ ويمكن أن يعمل نهاراً وفي الأحوال الجوية الغائمة؛ وكذلك يُظهر المنابع الراديوية الواقعية وراء قدرة إبصارنا.

(الفقرتان: 25.2 و 26.2)

12. المركبات الفضائية تنقل المقاريب إلى ما وراء الغلاف الجوي للأرض (الذي هو عامل حجب)، فيغدو ممكناً رصد أشعة غاما والأشعة السينية والمنابع فوق البنفسجية التي يتعدّر رصدها من الأرض. وبسببِ من غياب هذه الضبابية الجوية أو التداخل الراديوي، يعمل المقارب الفضائي عند الحدود العملية لمقدرة الميّز فيه.

(الفقرات: 11.2 و 21.2 و 26.2 و 27.2 و 28.2)

. 13. (أ) 4 ؛ (ب) 2 ؛ (ج) 3 ؛ (د) 1.

(الفقرات: 23.2 و 26.2 و 28.2)

3

النجموم



انظر إلى النجوم! ارجع البصر في السماء! وتأمل كل تلك الكائنات النارية المنتشرة فيها!

جييرارد مانلي هوبكتر (1844 - 1899)
«The Starlight Night»

الأهداف:

- وصف طريقة اختلاف المنظر و مجالها ، بوصفها تقنيةً لتحديد المسافات إلى النجوم .
- وصف الأنواع الثلاثة الأساسية من الأطيف وهي : طيف الإصدار ، وطيف الامتصاص ، والطيف المستمر .
- تفسير كون طيفي الإصدار والامتصاص متفرّدين لكل عنصر .
- وصف الأطيف النجمية وصفاً عاماً ، وتفسير كيفية تقسيمها إلى أصناف طيفية .
- تفسير طريقة تحديد التركيب الكيميائي لنجم ، ودرجة حرارته السطحية ، وسرعته الشعاعية عن طريق طيفه .

- استنباط معلومات أخرى من الأطیاف النجمية.
- بيان طريقة تحديد الحركة الحقيقية لنجم وسرعته في الفضاء.
- بيان الفرق بين السطوع الظاهري والضيائية.
- إبراز العلاقة بين القدر الظاهري، والقدر المطلق، والمسافة.
- وصف مخطط H-R وتفسير علاقة كتلة نجم ما بضيائّته ودرجة حرارته.
- مقارنة النجوم العمالقة الْحُمْرُ والأقزام الْبَيْضُ بالشمس من حيث الكتلة والقطر والكثافة.
- التعريف بأربعة أنماطٍ من المنظومات النجمية الثانية.

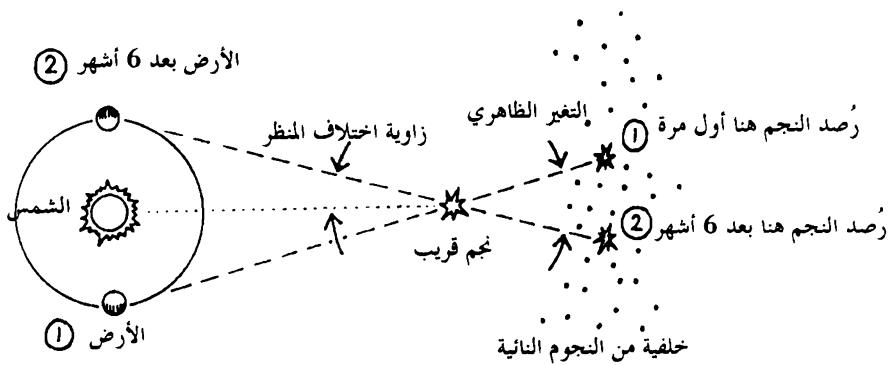
1.3 المسافات إلى النجوم القريبة

تقع النجوم، تلك الأجرام النارية الهائلة، على بعد تريليونات الكيلومترات خارج نطاق غلافنا الجوي. إلا أن الجزم بالمسافات الحقيقية إلى النجوم كانت - ولقرون حلت - مثار حيرة علماء الفلك وتردد़هم.

تُستعمل طريقة اختلاف المنظر parallax لقياس المسافات إلى النجوم القريبة، وذلك بتحديد موقع نجم بدقة بالنسبة إلى نجوم أخرى، ثم تحديد موقعه مرة أخرى بعد انقضاء ستة أشهر، عندما يكون دوران الأرض قد تسبّب في نقل موقع المقارب نصف المسافة حول الشمس.

تبعد النجوم القريبة مُنْزاًحةً قريباً وبعداً بالنسبة إلى نجوم أكثر بُعداً، في الوقت الذي تطوف فيه الأرض حول الشمس. يُسمى التغيير الظاهري الذي يلاحظ في موقع نجم عند رصده من الأطراف المقابلة لمدار الأرض اختلاف المنظر النجمي stellar parallax. ويُحسب بعد النجم من زاوية اختلاف منظره parallax angle، وهي تساوي نصف التغيير الظاهري في الموقع الزاوي للنجم (الشكل 1.3).

وتحسن الإشارة إلى أن اختلاف المنظر النجمي صغير جداً، ويُقاس



الشكل 1.3 اختلاف المنظر النجمي. إن نجماً قريباً من الأرض يرى من الأطراف المقابلة لمدارها يبدو وقد ازاح موقعه من 1 إلى 2 على خلفية النجوم النائية. (زاوية اختلاف المنظر الحقيقة **غاية في الصغر**).

بالثواني القوسية (") second of arc، حيث $1'' = 1/3600^\circ$. ولتمثيل ذلك تصور أن قرصاً من الأسبرين قد يبدو قطره مساوياً $1''$ بالنظر إليه من مسافة نحو 2 كم (ميل واحد)! علماً بأن اختلاف المنظر لأقرب النجوم هو أقل من $1''$ (الملحق 5).

نسمى فرسخاً فلكياً (parsec⁽¹⁾) المسافة إلى نجم افتراضي يبلغ اختلاف منظره ثانية قوسية واحدة ("1). وقد وُجد أن فرسخاً فلكياً واحداً يعادل قرابة 31 تريليون كيلومتر (19 تريليون ميل)، أو 3,26 سنة ضوئية.

ولحساب بعد أي نجم عُلمَ اختلاف منظره تُستعمل الصيغة التالية:

$$\frac{1}{\text{اختلاف المنظر (بالثواني القوسية)}} = \frac{\text{بعد النجم (بالفرسخ الفلكي)}}{}$$

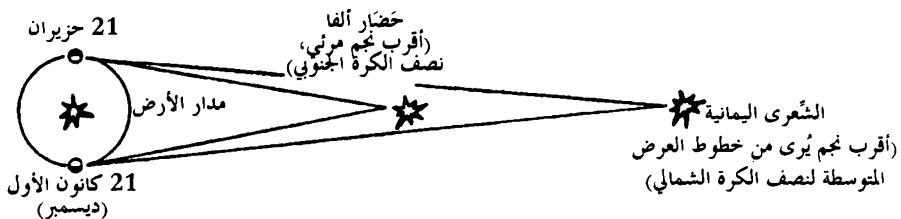
(1) كلمة parsec منحوتة من $\text{second of arc} = \text{par}$ (اختلاف المنظر) و sec (ثانية قوسية). (المعرب)

ومن المهم أن تعلم أن اختلاف المنظر النجمي يتناقض مع بُعد النجم، وأنه قابلٌ للقياس حتى نحو $01,00''$ أي ما يقابل مسافة 100 فرسخ فلكي. على أن اختلاف المنظر الذي أمكن قياسه بدقة حتى الآن لا يستغرق سوى جزءٍ صغيرٍ من النجوم التي تقع ضمن هذا البُعد (وعددتها 500,000 نجم).

والنموذج الأوروبي من سائل حساب اختلاف المنظر العالي الدقة High Precision Parallax Collecting Satellite (أو Hipparcos اختصاراً)، هو مركبة فضائية تبحث في علم القياسات الفلكية astrometry، استعملت بين سنتي 1989 و 1993 لدراسة 100,000 نجم من حيث قياس مواقعها وحركاتها واختلافات مناظرها بدقة تامة، ولدراسة 400,000 نجم آخر بدقة أقل. وجاءت تسمية هذا السائل تخليداً لذكرى [الفلكي الإغريقي] هيپارخوس Hipparchus (الفقرة 7.1)، الذي تمكّن - منذ زمنٍ يرقى إلى سنة 120 قبل الميلاد - من حساب بُعد القمر عن الأرض عن طريق قياس اختلاف منظر القمر. وثمة دليلٌ يصنف اليوم يسمى دليل هيباركوس النجمي Hipparcos Star Catalog، يضم معطيات نجميةٍ وافرةٍ تضاف إليه وتغيّب حال معالجتها.

ولا بد من توظيف طائق آخر غير مباشرة لتحديد المسافات إلى جُل النجوم التي تبعد أكثر من 100 فرسخ فلكي.

هل تحب أن تعرف ما يقصد من أن نجماً ما هو نجم «قريب»؟ استعن بالشكل 2.3 . إذا كان اختلاف المنظر المعروف لنجم α حَضَار (Alpha Centauri) هو $0,75''$ ، فإن بُعده عن الأرض يقارب $1,3$ فرسخ فلكي أو $4,3$ سنة ضوئية، أي ما يعادل نحوـاً من 40 تريليون كيلومتر (25 تريليون ميل). (نجم α حَضَار في واقع الأمر نجم ثنائي ، وهو فردٌ من منظومة نجمية ثلاثة إذا ألحقنا به نجم قنطورس القريب Proxima Centauri أقرب نجمٍ ليليٍ خافت إلينا).



الشكل 2.3 استعمال طريقة اختلاف المنظر لتحديد المسافات إلى أقرب النجوم السواطع إلينا.

إذا كان اختلاف المنظر المعلوم لنجم الشّعرى اليمانية هو $38,0''$ ، فكم يكون بُعده عن الأرض (أ) بالفراخ الفلكية؟ ؛ (ب) بالسینين الضوئية؟ ؛ (ج) بالكيلومترات أو الأميال (على وجه التقريب)؟

الجواب: (أ) $2,6 \text{ pc}$ ؛ (ب) $5,8 \text{ ly}$ ؛ (ج) $81 \text{ تريليون كيلومتر أو } 50 \text{ تريليون ميل}$.

طريقة الحل :

$$(أ) 1/0'', 38$$

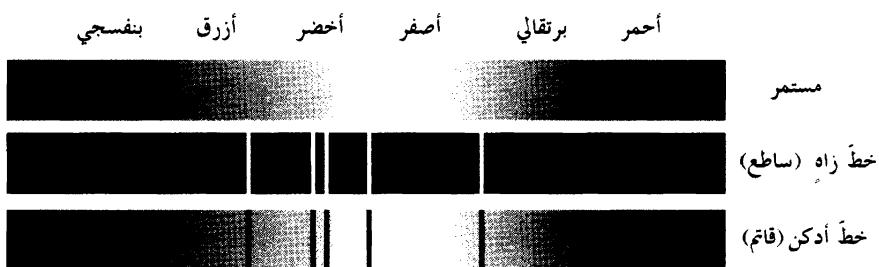
$$(2.6\text{pc}) \times 3.26 \frac{\text{ly}}{\text{pc}}$$

$$(2.6\text{pc}) \times 31\text{trillion} \frac{\text{km}}{\text{pc}}$$

$$(2.6\text{pc}) \times 19 \text{ trillion} \frac{\text{mile}}{\text{pc}}$$

2.3 أنواع الأطیاف

إننا نعرف الكثير عن النجوم، برغم المسافات الشاسعة التي تفصلنا عنها؛ فمن ضوئها يتمكن علماء الفلك من استنباط قدرٍ مذهلٍ من المعلومات.



الشكل 3.3 أنواع الطيف الثلاثة الأساسية كما تُرى باستعمال كاشف الطيف.

ولعلك تذكر أن ضوء النجوم يتتألف من أطوالٍ موجية كثيرة ومختلفة. ولدى تفكيك ضوء النجوم إلى أطواله الموجية، فإنَّ الطيف الناجم يحمل دلالاتٍ ومفاهيم ذات قيمةٍ عن النجوم نفسها. وعلم الأطيف spectroscopy هو مبحث تحليل الأطيف spectra (جمع طيف spectrum)، وهي على ثلاثة أنواع أساسية يتولد كلُّ منها في ظروفٍ فيزيائية مختلفة.

صفٌّ مظهرٌ كلُّ نوعٍ من الأطيف التي يمثلها الشكل 3.3.

(أ)

(ب)

(ج)

الجواب:

(أ) **الطيف المستمر continuous spectrum:** صفيحة مستمرة مؤلبة من جميع ألوان قوس قزح.

(ب) **طيف الإصدار emission spectrum**، أو **طيف الخطوط الساطعة bright-line spectrum**: نموذج من خطوطٍ زاهية الألوان مختلفة الأطوال الموجية.

(ج) طيف الامتصاص absorption spectrum، أو طيف الخطوط القاتمة dark-line spectrum: نموذج من خطوط دكناه على طيف مستمر.

ملاحظة: يتعامل علماء الفلك اليوم مع الأطیاف کرسوم بیانیة تمثل الشدة مقابل طول الموجة (الشكل 22.6 ب).

3.3 الخطوط الطيفية

تُعدّ الذرات مسؤولة عن أنواع الطيف كافة. والذرة atom هي أصغر جسيمات العنصر الكيميائي.

ويُعرف اليوم أكثر من 100 عنصر كيميائي (الملحق 4)، لكل عنصر منها نوع الذرة الخاص به. وكان أولَ من وَصَفَ هذا النموذج الفيزيائي الدنماركي نيلس بور Niels Bohr (1885 - 1962).

وبحسب نموذج بور الذري Bohr atom model، تحتوي ذراث كل عنصر على نواة nucleus ذات عددٍ فريدٍ من البروتونات protons الموجبة الشحنة، يدور حولها عددٌ مساوٍ من الإلكترونات electrons السالبة الشحنة. وتكون الذرات في العادة متعادلةً كهربائياً.

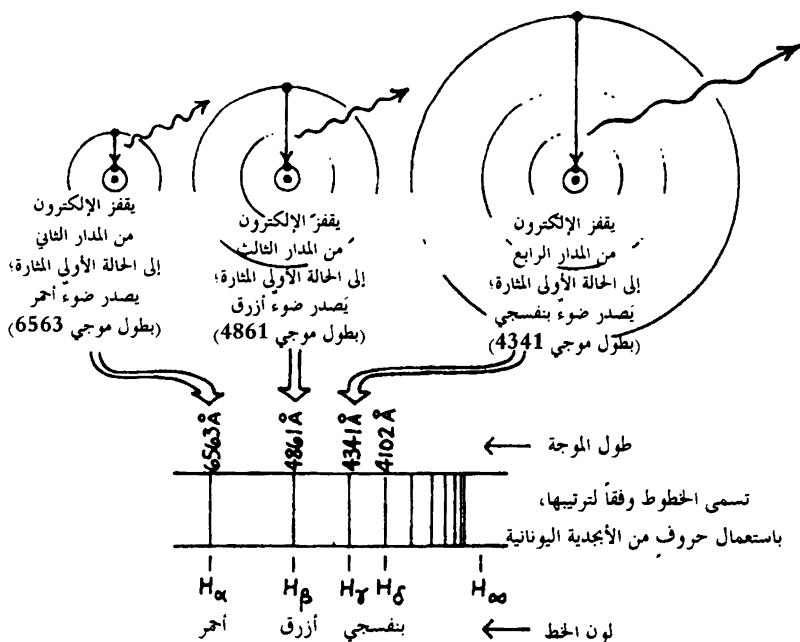
يقتصر وجود الإلكترونات في مجموعةٍ من المدارات المحددة نصف القطر لا تتجاوزها الإلكترونات. ويحمل أيٌ إلكترون في مدارٍ معين طاقةً بطي binding energy، وهي الطاقة اللازمة لتنزعه من الذرة. ولكلّ عنصرٍ مجموعته الفريدة الخاصة من المدارات الإلكترونية أو مستويات الطاقة energy levels.

تحمل الذرة غير المُشاركة، في حالتها المستقرة (الحضيضية) ground state، أقلَّ كمية ممكنة من الطاقة. فإذا تزوّدت بالطاقة الملائمة يقفز أحد الإلكترونات إلى مستوى طاقة أعلى، وتغدو الذرة في حالة مُشاركة excited.

غير مستقرة. وعندما يسقط الإلكترون عائداً إلى مداره تطلق الذرة تلك الطاقة على صورة كرية من الضوء تسمى الفوتون photon.

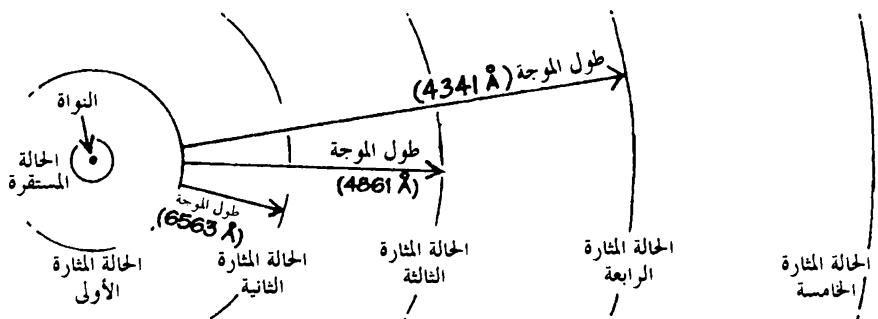
وإذا امتصَّت الذرة طاقةً كافية، أمكن انتزاعُ واحد أو أكثر من إلكتروناتها انتزاعاً كاملاً، فتسمى الذرة - التي بقيت الآن بشحنة كهربائية (موجبة) - عندئذ أيوناً ion.

تولد خطوط إصدار emission lines زاهية الألوان عندما تقفز الإلكترونات من مستويات طاقة عالية، عائدة إلى مستويات طاقةً أدنى منها. ويتناسب الطول الموجي للضوء الصادر عكساً مع فرق الطاقة بين مستويات الطاقة. ولما كان لكل نوع من الذرات المتعادلة أو المتأينة مجموعته الخاصة الفريدة من مستويات الطاقة، اقتضى ذلك أن يكون لكل عنصر كيميائيٍ مجموعته الخاصة الفريدة أيضاً من خطوط الإصدار الزاهية الألوان (الشكل 4.3).



الشكل 4.3 منشأ المجموعة الفريدة من خطوط الإصدار الحمراء الزاهية والزرقاء والبنفسجية لعنصر الهيدروجين.

وتتولد بالمقابل خطوط امتصاص قاتمة dark absorption lines فريدة عندما تمتضي ذرة من عنصر كيميائي ضوءاً، وتقفز الإلكترونات إلى مستويات طاقة أعلى (الشكل 5,3).



الشكل 5.3 منشأ خطوط الامتصاص القاتمة المقابلة لخطوط الإصدار الحمراء الزاهية والزرقاء والبنفسجية لعنصر الهيدروجين.

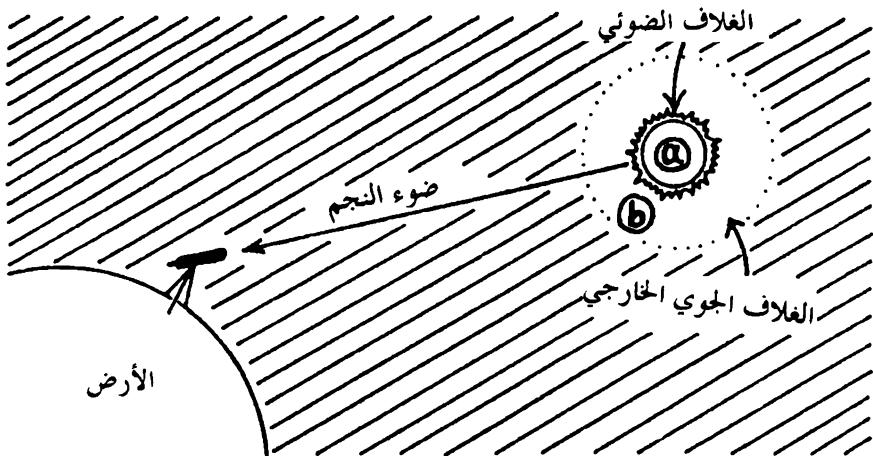
وهكذا، فإن من شأن طيف الإصدار أو طيف الامتصاص المقابل، أن يحدد عملياً العنصر الكيميائي الذي يولده.

لماذا تُطلق الذرات ضوءاً مختلف الألوان (بأطوال موجية معينة)؟

الجواب: لأن كل لون (طول موجي) يقابل إلكتروناً يقفز من مستوى طاقة معين إلى مستوى طاقة آخر أدنى منه.

4.3 أطياف النجوم

الأطياف الجمية stellar spectra بلا استثناء نماذج من خطوط قاتمة



الشكل 6.3 ينطلق ضوء النجم الذي نرصده من الغلاف الضوئي للنجم، عابراً غلافه الجوي الخارجي قبل انصبابه في الفضاء.

تقاطع مع شريط مستمر من الألوان (الشكل 6.3). وقد كان هنري درير Henry Draper (1837 - 1882) - وهو فلكي أمريكي هاول - أول من تمكّن من تصوير طيف نجم تصويراً فوتографياً سنة 1872.

والنجوم كراتٌ غازية عظيمة مضطربة، من ذراتها أنواعٌ كثيرة تُطلق ضوءاً من كلِّ الألوان. هذا الضوء المنطلق من السطح المرئي الساطع للنجم، الذي يُسمى الغلاف الضوئي أو الكرة الضوئية photosphere، ينطمس آليلاً إلى طيفٍ مستمر من الألوان. وفي أثناء انتقال الضوء عبر الغلاف الجوي الخارجي للنجم، يحصل امتصاصٌ لبعض الألوان (فوتونات ذات أطوالٍ موجية معينة)، فتتولد عن ذلك خطوطٌ امتصاص قاتمة، يستفاد منها في تحديد ماهية العناصر الكيميائية التي تؤلف الغلاف الجوي للنجم.

بالاستعانة بالشكل 6.3 حدد على النجم المنطقه التي يمكن أن ينشأ فيها (أ) طيف مستمر و(ب) طيف امتصاص.

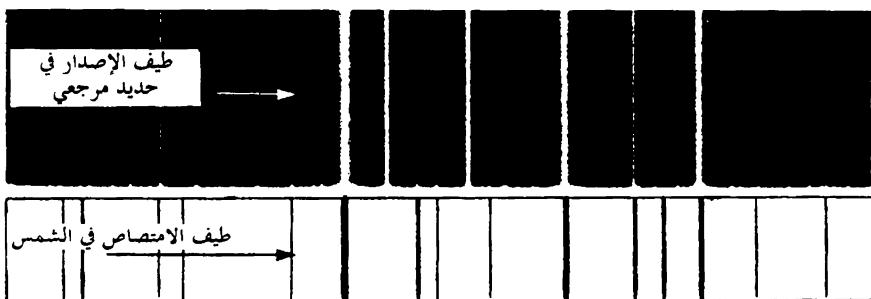
(أ) ; (ب)

الجواب : (أ) مستمر ؛ (ب) امتصاص .

5.3 التركيب الكيميائي

كانت الشمس أول النجوم التي جرى تحليل طيف امتصاصها، إذ تمكّن الفيزيائي البافاري جوزيف فون فراونهوفر Joseph von Fraunhofer (1787 - 1826) في سنة 1814 من تسجيل أقوى الخطوط القاتمة، التي تسمى اليوم خطوط فراونهوفر Fraunhofer lines .

ومنذئذ وعلماء الفلك ماضون في تسجيل وتصنيف آلاف الخطوط القاتمة في طيف الشمس . وبمقارنة هذه الخطوط بالخطوط الطيفية التي تولّدها عناصر كيميائية مختلفة على الأرض ، اكتشفوا أكثر من 70 عنصراً كيميائياً في الشمس (الشكل 7.3) .



الشكل 7.3 يمكن علماء الفلك من تعريف عنصر الحديد في الشمس عن طريق مقابلة الخطوط القاتمة في طيف امتصاص الشمس بطيف الإصدار في حديد مرجعي .

كيف يمكن تحديد التركيب الكيميائي للنجوم؟ افترض أن النجم وُلِّفَها الجوية مؤلَّفةٌ من مكوٌّناتٍ واحدة .

الجواب: بتحليل الخطوط القاتمة في طيف النجم، ومقارنتها بالخطوط التي يديها كل عنصر كيميائي على الأرض.

6.3 الأصناف الطيفية

عندما تقارن أطياf نجوم من قبيل نجم القطب Polaris أو النسر الواقع Vega بطيف الشمس (الشكل 8.3)، ترى أن بعضها يبدو غير متغير، في حين تظهر أطياf أخرى وقد طرأ عليها تغيير بين. يستعان بأطياf الامتصاص في تصنيف النجوم إلى سبعة أنواع رئيسية تسمى الأصناف الطيفية

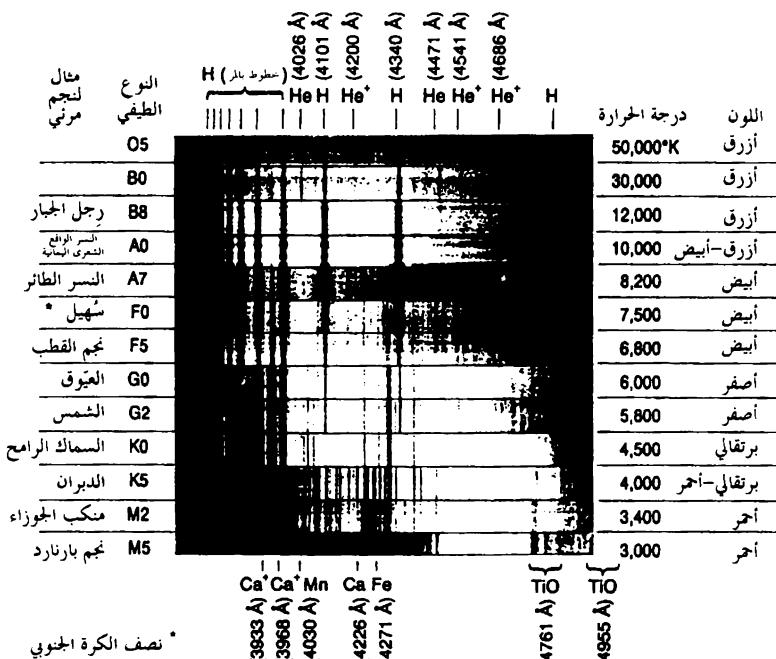
spectral classes

وقد وُجد أن خطوط الهيدروجين تكون أشدّ بكثير في أطياf بعض النجوم منها في طيف الشمس. وساد اعتقاد خاطئ في الماضي لدى علماء الفلك أن هذه النجوم تحتوي على نسبة هيدروجين أكبر مما تحويه النجوم الأخرى، فصنفوا النجوم تبعاً لشدة خطوط الهيدروجين في أطياfها، وبترتيب أبجديٍ بدءاً من أشدّها (الصنف A) وانتهاءً بأضعفها (الصنف Q).

أجرت الفلكية الأمريكية آني كانون Annie J. Cannon (1853 - 1941) دراسات مستفيضة على الأطياf، وصنفت أطياf 225,300 نجم، وقامت بتعديل نظام التصنيف هذا إلى شكله الحالي، وهو [من الحار إلى البارد]: O B A F G K M. (ولمساعدة طلاب علم الفلك على تذكر ذلك الترتيب الغريب، استنبط الفلكيون عبارات طريفة ثُعين أوائل كلماتها على استحضاره؛ منها قولهم: «Oh Be A Fine Guy Kiss Me»⁽¹⁾).

(1) أي كوني رقيقة يا فتاتي وقلبي/ كن ريقاً يا فتاي وقلبي.. . ومنها «Oh, Big And Furry Gorilla, Kill My Roommate». (أيها الغوريلا الضخم الذي يكسو الفرو؛ تعال فاقتلي من يساكني الغرفة).

ومنها أيضاً: «Only Brilliant, Artistic Females Generate Killer Mnemonics»، «لا يصوغ عبارات الاستذكار سوى الإناث المتألقات ممن يقدّرن الفن وأهله». (المغرب)



الشكل 8.3 الأصناف السبعة الرئيسية للأطیاف النجمية، مرتبة تنازلياً وفقاً لدرجة حرارتها. الأطوال الموجية للخطوط الطيفية مقبسة بواحدات الأنفستروم (\AA). (He: هليوم؛ H: هيدروجين؛ Ca: كالسيوم؛ Fe: حديد؛ TiO: أكسيد التيتانيوم؛ Ca⁺: شاردة هليوم؛ He⁺: شاردة كالسيوم).

ونحن نعلم اليوم أن كل النجوم المرئية هي ذات تركيب واحد تقريباً، فهي مؤلفة في المقام الأول من الهيدروجين والهليوم. وقد دللت عالمة الفلك الأمريكية سيسيليا بین غاپوشکین Cecilia Payne Gaposchkin (1900 - 1979) على أن الفروق في نماذج الخطوط القاتمة للنجوم مردها أساساً التباين الكبير في درجات حرارتها السطحية .surface temperatures

إن تسلسل الأصناف الطيفية، الذي يعبر عنه بالحروف التقليدية كما أسلفنا، أفسى أيضاً تسلسلاً دالاً على درجة الحرارة. فنجوم O هي أشد النجوم حرارة، ثم تتناقص درجة الحرارة باستمرار إلى أن تصل إلى نجوم M وهي أبودها. ثم إن كل صنف طيفي ينتمي عشرة صفوف فرعية subclasses

مرقمة من 0 إلى 9 بترتيب تنازلي تبعاً لدرجات الحرارة أيضاً.

ما الخصيصة التي تحدد الصنف الطيفي لنجم؟

الجواب: درجة حرارته السطحية.

7.3 درجة الحرارة

يبدو أن هناك تبايناً كبيراً بين طيف نجم حارٌ وطيف نجم بارد. ادرس الشكل 8.3 تجد أن الصور الفوتوغرافية تمثل الأصناف السبعة الرئيسية للأطياف النجمية. ويتميز كل صنف طيفي (شأن الأرقام على ميزان الحرارة) بصفات تدلّ على درجة حرارة النجم.

والجدول 1.3 يحمل الأصناف الطيفية للنجوم على الترتيب بدءاً من أعلىها حرارة إلى أخفضها حرارة، ويشير كذلك إلى درجات الحرارة السطحية التقريبية لهذه الأصناف ، والسمات المميزة لكل صنف .

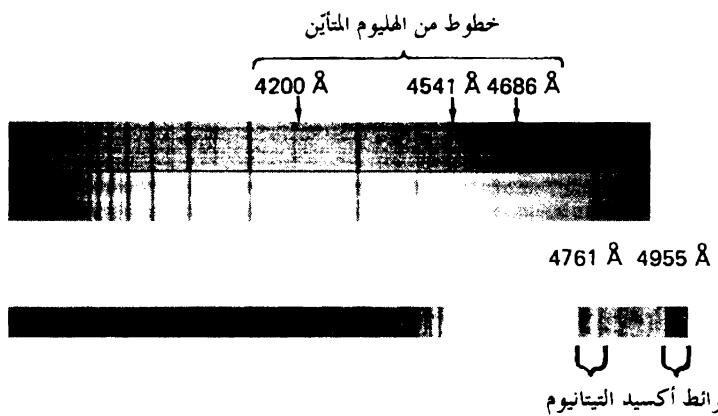
الجدول 1.3 الصفات المميزة للأصناف الطيفية

أبرز مميزات الصنف	درجة الحرارة التقريبية (بالكيلون)	الصنف الطيفي
خطوط قليلة نسبياً؛ خطوط من الهليوم المتأين.	أعلى من 30,000	O
خطوط من الهليوم المحايد.	30,000 - 10,000	B
خطوط هيdroجين قوية جداً.	10,000 - 7,500	A
خطوط هيdroجين قوية؛ خطوط كالسيوم متأين؛ خطوط معدنية عديدة.	7,500 - 6,000	F
خطوط قوية من الكالسيوم المتأين؛ خطوط قوية وكثيرة من الحديد المتأين والمحايد، ومعادن أخرى.	6,000 - 5,000	G
خطوط قوية من المعادن المحايدة.	5,000 - 3,500	K
شرائط من جزيئات أكسيد الـتitanium.	أدنى من 3,500	M

وبإمكانك تحديد الصنف الطيفي لنجم جديد، ودرجة حرارته المحتملة، عن طريق مقارنة طيفه بالصور الفوتografية الواردة في الشكل 8.3، وبالسمات المميزة للصنف الواردة في الجدول 1.3.

سَمَّ الصنف الطيفي ودرجة الحرارة المحتملة لكلٍ من النجَمَيْن (الشكل 3.9) استناداً إلى طيفيهما (أ) ؛ (ب)

الجواب: (أ) من النوع O (أعلى من 30,000 كلفن)؛ (ب) من النوع M (أدنى من 3,500 كلفن).



الشكل 9.3 أطیاف النجوم.

3.8 منشأ السمات المميزة للأصناف الطيفية

تفسِّر النظريَّة الذريَّة السبب في الاختلاف الكبير في الأطیاف التي تولَّدها النجوم الزرقاء الحارَّة (من الصنف O) والنجوم الحمراء الباردة (من الصنف M)، مع أنها مُؤلَّفة من مكوِّنات واحدة تقريباً.

إن لـكل عنصر كيميائي درجة حرارة وكثافة تميزانه، يكون عندهما في أقصى فاعليته من حيث توليد خطوط الامتصاص المرئية.

فعند درجات الحرارة العالية جداً، كما في النجوم O، تتأين ionize ذرات الغاز، أي تحطم، ولا يسلم من التأين إلا الذرات المُمحَكَمةُ التماسك من قبيل الهليوم المتأين إفرادياً، وبذلك تُسود خطوطُ الذرات المتأينة الطيف. فإذا كانت درجة الحرارة قريبةً من 5800 كلفن، كما في النجوم G كالشمس، بقيت ذرات المعادن كالحديد والنحاس متعادلةً وغير منصدعة. وعند درجات حرارة أدنى من 3500 كلفن، كما في النجوم M، قد توجد حتى جزيئات من مثل أكسيد النيتروجين.

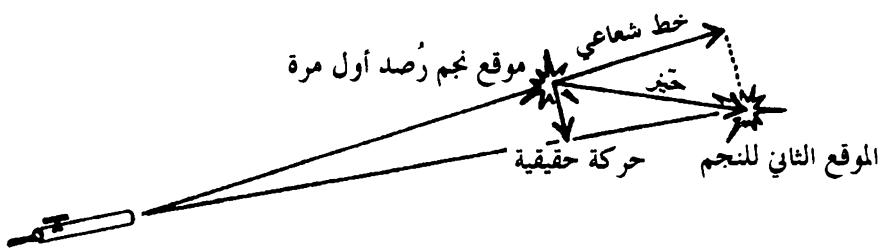
ماذا يعني غياب خطوط الامتصاص المميزة لعنصر معين كالهيدروجين في طيف نجم ما؟ هل هذا يعني بالضرورة أن النجم لا يحتوي على ذلك العنصر؟ فسر ذلك.....

الجواب: لا. إن درجة حرارة النجم هي التي تحدد أيّ أنواع الذرات يمكن أن يولّد خطوط امتصاص مرئية.

9.3 الحركات

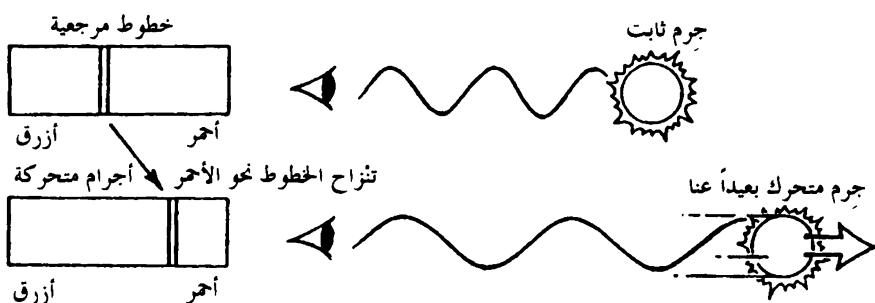
تحرك النجوم بسرعة فضائية space velocity، أي بحركة في الفضاء بالنسبة إلى الشمس، تبلغ الكيلومترات في الثانية.

وللسريعة الفضائية مركبتان، تقاسان كلاً على حدة، هما: السرعة الشعاعية radial velocity، وهي سرعة الحركة على طول خط النظر، نحونا أو بعيداً عنا؛ والحركة الحقيقية proper motion، وهي مقدار التغيير الزاوي لموقع النجم كلّ سنة (الشكل 10.3).



الشكل 10.3 مركبنا السرعة الفضائية: السرعة الشعاعية والحركة الحقيقية.

دوبلر shift، وهي ظاهرة تطبق على كل ضروب الحركة الموجية. فإذا تقارب منبع للأمواج وراصده أو تباعد، تغيرت الأطوال الموجية المرصودة. تقارن الخطوط الطيفية لنجم (أطوال الموجة) - فيما يخص أي عنصر فيه كالحديد مثلاً - بطيئ مرعي. وتوصف الأطوال الموجية لنجم بأنها قصيرة (انزياح أزرق blueshift) أو طويلة (انزياح أحمر redshift) بحسب كون النجم متراجعاً نحونا أو بعيداً عنا (الشكل 11.3).

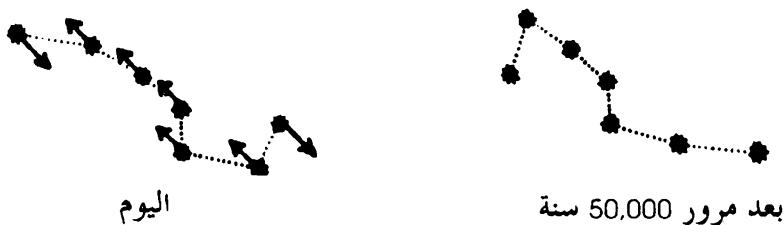


الشكل 11.3 انزياح دوبلر. تقارن خطوط طيف جرم سماوي، فيما يخص عنصراً معيناً فيه، بخطوط مرعجية. تدل الخطوط الطيفية المترادفة نحو الأحمر على أن الجرم يتحرك بعيداً عنا.

إن التغيير في الطول الموجي ($\Delta\lambda$) مقسوماً على الطول الموجي لمنبع ثابت (λ) يتناسب مع السرعة النسبية (٧) (ما لم تكن معادلة لسرعة الضوء c). ونكتب:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V}{C}$$

تقاس الحركة الحقيقية كل نحو 20 - 30 سنة. وقد وُجد أن معدل هذه الحركة للنجوم المرئية كافية لا يتجاوز 0,1 ثانية قوسية ($0.^{\circ}01$) سنوياً، وهو معدل طفيف لا يمكنك معه ملاحظة أي تغير في مظهر كوكبك النجمية المفضلة مهما طال عمرك. لو أنك بُعثت لترصد السماء بعد 50,000 سنة من الآن لرأيتها وقد اختلف مظهرها اختلافاً كبيراً (الشكل 12.3).



الشكل 12.3 تدل الحركة الحقيقية لمجموعة الدب الأكبر النجمية اليوم على أن المجموعة ستتخذ مظهراً جديداً مختلفاً بالكلية في المستقبل البعيد.

ما مقدار التغيير الزاوي المتوقع لموقع نجم مرئي عادي بعد 50,000 سنة؟

الجواب: 5000 ثانية قوسية، أو $1,39^{\circ}$ (أي ما يزيد على القطر الزاوي للقمر، وهو $\frac{1}{2}^{\circ}$ ، ثلاث مرات تقريباً).

طريقة الحل: $0.^{\circ}01 \text{ سنوياً} \times 50,000 \text{ سنة} = 5000.^{\circ}$

3. خصائص أخرى

يمكن استنباط معلماتٍ أخرى تتعلق بالنجوم عن طريق إجراء قياساتٍ دقيقة لـ **شكل الخطوط الطيفية spectral line shape**.

فيَعْبُر عن كثافة الغاز density، وهي الكتلة في وحدة حجم، بوساطة ما يسمى اتساع الخطوط التصادمي collisional broadening؛ إذ يتولّد خطٌ طيفيٌّ متسع عندما يزداد معدل تصادم الذرات في النجوم ذات الكثافة العالية.

ويَعْبُر أيضًا عن الدوران المحوري axial rotation، وهو دوران النجم حول محوره، بوساطة ما يسمى اتساع الخطوط الدوراني rotational broadening؛ فالخطط الطيفي المتسع - إن أمكن رصده - قد يُحدث انخفاضاً في حدود معدل دوران النجم حول محوره.

يُحدث انشطار أو اتساع في الخطوط الطيفية بوجود حقلٍ مغناطيسي magnetic field، وهو مجالٌ أو موضع يتكتَّشَف عن قوى مغناطيسية، ويُطلق على هذه الظاهرة اسم مفعول زيمان Zeeman effect، بحيث يكون مقدار الانشطار منوطاً بشدة الحقل المغناطيسي.

تجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الأنواع المختلفة من الاتساع غير ملحوظة للعين المجردة، بل يمكن تعبيتها بالتحليل الدقيق لشكل الخطط الطيفي باستعمال مقياس طيف حساس.

ادْكُر ثلاَث خصائص نجم تتصل بشكل خطوطه الطيفية

(1) ؟ (2) ؟ (3) ؟

(3)

الجواب: (1) الكثافة؛ (2) الدوران المحوري؛ (3) شدة الحقل المغناطيسي.

11.3 تفكيك طيف نجم

اكتب فقرة موجزة تُجمل فيها أسلوب الفلكيين في استنباط الخصائص المختلفة لنجم من طيفه

الجواب: يجب أن تتضمن نبذتك الأفكار الآتية:

- (1) التركيب الكيميائي، يُستنبط من وجود الخطوط المميّزة لعناصر معينة؛
- (2) درجة الحرارة، تستنبط من الصنف الطيفي؛
- (3) سرعة حركة النجم باتجاهنا أو بعيداً عنا، تُستنبط من انزياح دوبلر في خطوط الطيف؛
- (4) الكثافة، والدوران المحوري، والحقول المغناطيسية السطحية، تُستنبط من شكل الخطوط.

12.3 الضيائية

يفرق الفلكيون بين السطوع الظاهري apparent brightness وهو مظهر النجم في السماء، وضيائته luminosity، وهي كمية الضوء الفعالية التي يرسلها النجم في الفضاء كل ثانية.

ولما كانت الشمس مألوفة لنا أكثر من سائر النجوم، فإن ضيائية النجوم الأخرى تفاص غالباً بدلالة ضيائية الشمس $(L\odot)$ ⁽¹⁾ ، وهي تساوي 3.85×10^{26} واط. وعلى سبيل التبسيط نقول إن ضيائية الشمس تعادل ضيائية 3850 مليار تريليون مصباح كهربائي استطاعة كل منها 100 واط تعمل كلها معاً.

وأعلى النجوم ضيائية يفوق ضيائية الشمس مليون مرة أو أكثر، في حين لا تتجاوز أخفنجوم 0,0001 ضيائية الشمس.

فنجم رجل الجبار Rigel في كوكبة الجبار Orion مثلاً هو أعلى ضيائية من الشمس بنحو 60,000 مرة.

اشرح لماذا تبدو الشمس لنا أسطع بكثير من نجم رجل الجبار

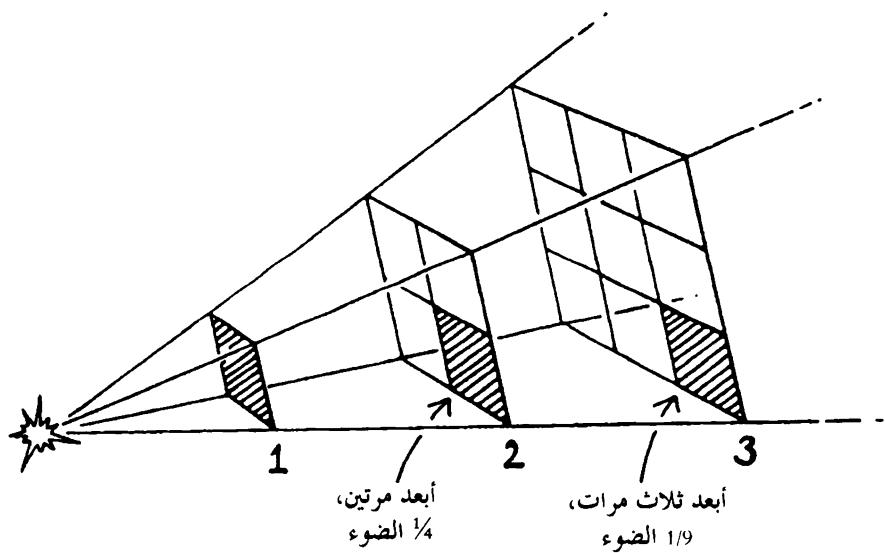
الجواب: إن بعد رجل الجبار عن الأرض أكبر 50 مليون مرة (1400 سنة ضوئية) أو يزيد من بعد الشمس عنها (وهو زهاء 150 مليون كيلومتر، أو 93 مليون ميل). ويتوقف السطوع الظاهري لنجم على درجة ضيائته وبعده معاً.

13.3 انتشار الضوء

من غير الممكن الجزم أي نجوم السماء أعلى ضيائية بمجرد النظر إليها؛ فكلما بُعد النجم انخفضت درجة سطوعه الظاهري.

(1) كثيراً ما يستعمل الفلكيون الرمز \odot (وهو رمز هيروغليفي مصرى قديم) للتعبير عن الشمس. وعليه فإن $(R\odot)$ ترمز إلى نصف قطر الشمس، و $(M\odot)$ إلى كتلتها، و $(L\odot)$ إلى ضيائتها، وهكذا... (المغرب)

ينتشر الضوء الصادر من منبع باترداد في جميع الاتجاهات، بحيث تتناقص كمية ضوء النجم الساطعة على وحدة المساحة بنسبة مربع المسافة الفاصلة عن النجم. تسمى هذه العلاقة قانون التربع العكسي inverse square law (الشكل 13.3). إذن فلو تساوت ضيائية نجمين، وكان بعد أحدهما عنك ضعفَيْ بُعد الآخر، بدا النجم البعيد بدرجة سطوع تساوي $\frac{1}{4} = \frac{1}{2^2}$ سطوع النجم الذي هو أقرب، لأنك تتلقى رُبع الضوء في عينيك⁽¹⁾.



الشكل 13.3 قانون التربع العكسي. إن كمية ضوء النجم نفسها التي تستطع على مربع واحد عند 1 تنتشار لتضيء أربعة مربعات تساويه عند 2، و تسعة مربعات تساويه عند 3. تتناقص إذن درجة السطوع الظاهري لنجم بتزايد مربع بعده.

(1) يمكن تعليم قانون التربع العكسي ليشمل أي قانون تغير فيه كمية فيزيائية بتغيير المسافة الفاصلة عن المنبع بنسبة مقلوب مربع تلك المسافة. (المغرب)

إن السطوع الاستثنائي لشمسنا يعزى إلى قربها منا. فلو تصورنا أن موقعها أعمق 100,000 مرة في فضاء الكون، فبكم مرة ستبدو أضعف سطوعاً؟

الجواب: ستبدو أضعف 10 مليارات مرة، أو بدرجة سطوع نجم الشّعري اليمانية.

طريقة الحل :

$$\frac{1}{(100,000)^2} = \frac{1}{10,000,000,000}$$
 (أي أضعف سطوعاً 10 مليارات مرة)

14. القدر الظاهري

القدر الظاهري apparent magnitude هو درجة سطوع نجم كما يبدو لنا (انظر الفقرة 7.1). ويقضي سلسلة الأقدار magnitude scale الحديث بأن نجماً من القدر الأول أسطع 100 مرة بال تماماً من نجم من القدر السادس.

تتفق هذه النسبة مع آلية استجابة أعيننا لزيادات سطوع النجوم. فما تراه أعيننا على أنه زيادة خطية في السطوع (فارق قدر واحد) يقاس بالضبط على أنه ازدياد هندسي في السطوع (أي بزيادة سطوع تعادل الجذر الخامس للعدد 100 أو 2,512 مرة).

إن فروق الأقدار بين النجوم تعبر عن السطوع النسبي للنجوم. والجدول 2.3 يدرج نسب السطوع التقريبية المقابلة لنماذج فروق أقدار منتخبة.

تذكّر أن الأرقام السالبة للأقدار تدلّ على أسطع الأجرام، في حين تشير أكبر الأرقام الموجبة للأقدار إلى أخفتها.

استعن بالجدولين 2.3 و 3.3 لمعرفة كم يزيد السطوع الظاهري للشمس على سطوع نجم الشعري اليمانية. فسر ذلك.

الجواب: هي أسطع 10 ميلارات مرة.

طريقة الحل:

فرق القدر هو $25,5 - (-1,5) \cong 26,7$ ، وهذا يقابل نسبة السطوع $10,000,000 : 1$.

الجدول 2.3 فروق القدر ونسب السطوع

نسبة السطوع	فرق القدر
0,0	1 : 1
1,0	2,5 : 1
2,0	6,3 : 1
3,0	16 : 1
4,0	40 : 1
5,0	100 : 1
6,0	251 : 1
10,0	10,000 : 1
15,0	1,000,000 : 1
20,0	100,000,000 : 1
25,0	10,000,000,000 : 1

الجدول 3.3 معطيات لنماذج أقدار متحبة

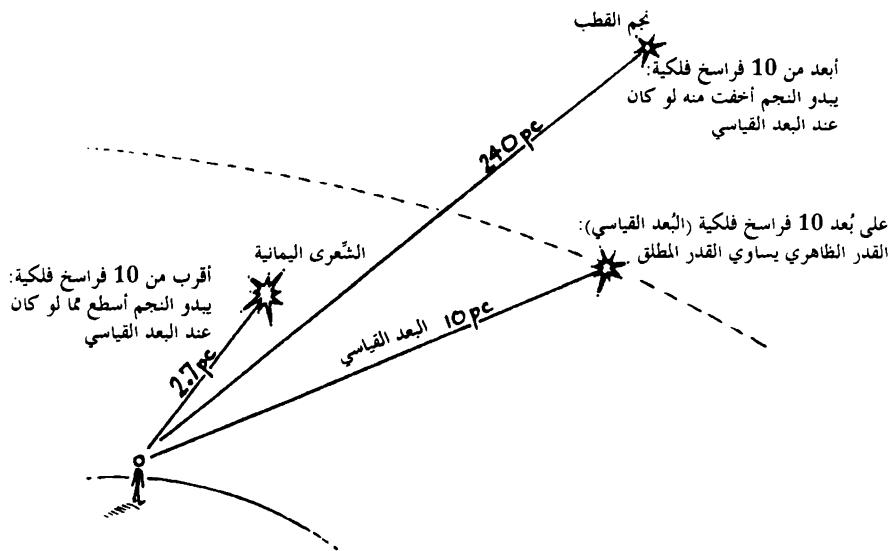
القدر المطلق	القدر الظاهري	الوصف	موضوع الدراسة
4,8	- 26,7		الشمس
66,3	- 18,7	عند 3 م (10 أقدام)	مصباح كهربائي باستطاعة 100 واط
32	- 12,5	بدرًا	القمر
28	- 4,7	عند سطوعه الأعظمي	كوكب الزهرة
1,4	- 1,5	أسطع النجوم	نجم الشعري اليمانية
4,4	0	أقرب نجم منظور	نجم α حضار
- 21	3,5	أبعد جرم منظور	مجرة المرأة المسلسلة (أندروميدا)

15.3 القدر المطلق

القدر المطلق absolute magnitude هو درجة الضيائية، أي كمية الضوء الفعلية التي يطلقبها نجم في الفضاء. ولو كان في وسعك أن ترى كل النجوم مصطفةً على مسافة واحدة من الأرض لامكناك أن تعانين الفروق في درجة سطوعها الحقيقية.

يعَرِّف علماء الفلك القدر المطلق لنجم على أنه قدره الظاهري بافتراض وقوعه على بُعد قياسي عَنَا هو 10 فراسخ فلكية. وبالإلغاء الآثار المترتبة على البُعد، يمكنهم استعمال مقاييس القدر المطلق لتحديد الفروق في الخرج الصوئي الفعلي للنجوم (الشكل 14.3).

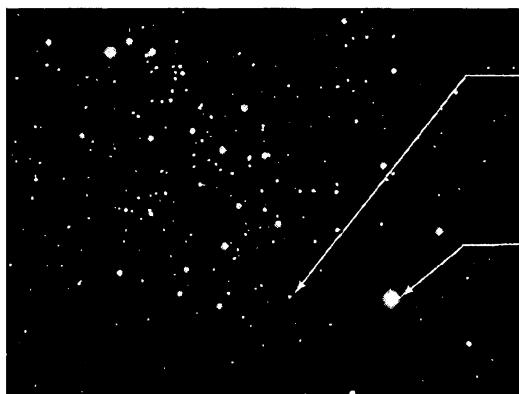
إذا وُجد نجم على بُعد يزيد على 10 فراسخ فلكية عَنَا، كان قدره الظاهري أكبر - عددياً - من قدره المطلق. (الأرقام الكبيرة الموجبة للأقدار تدل على أجرام خافتة). على سبيل المثال، يبعد نجم القطب 240 فرسخاً فلكياً، وقدره الظاهري $+2,3$ ، وقدره المطلق $-4,6$.



الشكل 14.3 القدر المطلق والقدر الظاهري .

بالمقابل، فإن نجماً يقل بُعده عن 10 فراسخ فلكية، يكون قدره الظاهري أصغر - عددياً - من قدره المطلق. واستناداً إلى ذلك فإن الشّعري اليمانية Sirius يبعد عنا 2,76 فرسخين فلكيين، وقدره الظاهري 1,5 - ، لكن قدره المطلق 1,4+ فقط.

ادرس النجميْن الساطعيْن ذَئب الدجاجة Deneb والنسر الواقع Vega، واستئنِ بالجدول 1,1 لماء المخطط التالي. ثم اذكر (أ) أيهما يبدو أشد سطوعاً؟ ؛ (ب) أيهما أعلى ضيائةً فعلاً؟ ؛ (ج) ما العامل الذي جعل جوابيك عن (أ) و (ب) مختلفَيْن؟



الفرق بين القدر الظاهري والقدر المطلق، النجم البعي
ر أخفت من الآخر) : $M = 2.6$ ؛ $m = 12.3$
بـ : $M = 5.8$ ؛ $m = 28$ فرسخاً فلكياً.

قدره المطلق	قدره الظاهري	
(ب)	(أ) Cyg
.....	(ج)

. . 1,2؛ (ب) 7,5-؛ (ج) 0,03؛ (د) 0,6

لاهري أصغر عددياً.

لمطلق أكثر سلبية - عددياً -) .

أقدار

lahri (m) والقدر المطلق (M) معاير (معامل
.) و تكتب الصيغة كما يأتي :

$$m - M = 5 \log \left(\frac{\text{المسافة مقدرة بالفراخخ}}{10} \right)$$

ومن الممكن قياس القدر الظاهري لنجم مباشرة. وفي حالة نجم ناءٌ تعذر قياس خطأ منظره ولكن عُرفَ قدره المطلق (من دراسة طيفه مثلاً)، يمكن الاستعانة بمعايير المسافة لحساب بعده.

من الشكل 15.3 أُعطيت معايير المسافة للنجوم

(أ) القريب

(ب) البعيد

الجواب: (أ) 2,2؛ (ب) 9,7.

17.3 مقاييس

أكِّذْ استيعابك لما عُرض حتى الآن، بالإجابة عن الأسئلة التالية المتعلقة بأربعة من النجوم المجاورة للشمس، الواردة مواصفاتها في الجدول التالي: أربعة نجوم قريبة

اسم النجم	قدر الظاهري	قدر المطلق	صنفه الطيفي	اختلاف منظره (")
α حضار	0,0	4,3	G	0,742
الشعبان	4,7	5,9	K	0,176
نجم بارنارد	9,5	13,2	M	0,549
النسر الطائر	0,8	2,1	A	0,194

أيُّ هذه النجوم هو :

(أ) أشدُّها حرارة؟

أسطعها مظهراً؟

ضيائية فعلية؟

(ز) أقربها؟

اشرح إجابتك.

(ج) (ب) أكثرها برودة؟

(هـ) أعلىها (د) أخفتها مظهراً؟

(و) أخفضها ضيائية فعلية؟

(ح) أقصاها؟

الجواب :

- (أ) النسر الطائر، صنفه الطيفي A؛ (ب) نجم بارنارد، صنفه الطيفي M؛
 (ج) حضار، قدره الظاهري 0.0؛ (د) نجم بارنارد، قدره الظاهري 9.5؛
 (ه) النسر الطائر، قدره المطلق 2.2؛ (و) نجم بارنارد، قدره المطلق 13.2؛
 (ز) حضار، اختلاف منظره = $0^{\circ} .742 - 0^{\circ} .742 = 0^{\circ}$

$$\text{أو بُعد} = \frac{1}{0^{\circ} .742} = \frac{1}{\text{اختلاف منظره}} \text{ فرسخ فلكي} ;$$

$$(ح) الثعبان، اختلاف منظره = 0^{\circ} .176$$

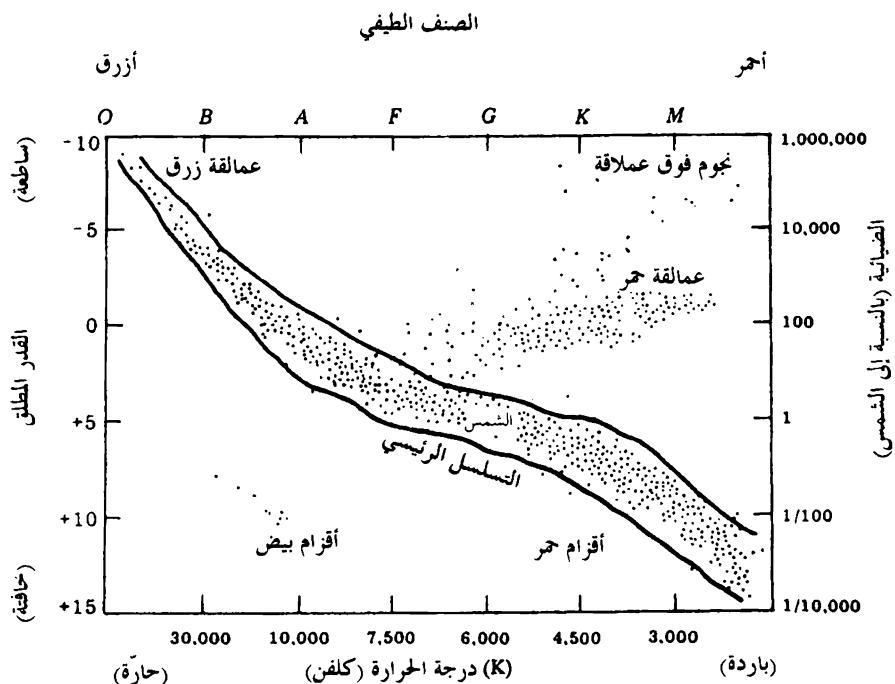
$$\text{أو بُعد} = \frac{1}{0^{\circ} .176} = \frac{1}{5.7} \text{ فرسخ فلكي} .$$

18.3 مخطط هرتزسبرونغ - راسل

عُرِفت الصلة بين ضيائية النجوم ودرجة حرارتها في مطلع القرن العشرين، عندما اكتشفها اثنان من علماء الفلك كُلُّ على حدته: الأمريكي هنري راسل Henry N. Russell (1877 - 1957) والدنمركي إجنار هرتزسبرونغ Ejnar Hertzsprung (1893 - 1967). ومخطط هرتزسبرونغ - راسل Hertzsprung Russell (H-R) diagram أو «مخطط H-R اختصاراً» رسم بياني للضيائية مقابل درجة الحرارة، وهو بمثابة إمام للفلكيين يعودون إليه على نطاق واسع للتَّوْقُّف من صحة نظرياتهم (الشكل 16.3).

تمثِّل كُلُّ نقطة على مخطط H-R نجماً تُقرأ درجة حرارته (صنفه الطيفي) على المحور الأفقي، ودرجة ضيائته (قدر المطلق) على المحور الشاقولي.

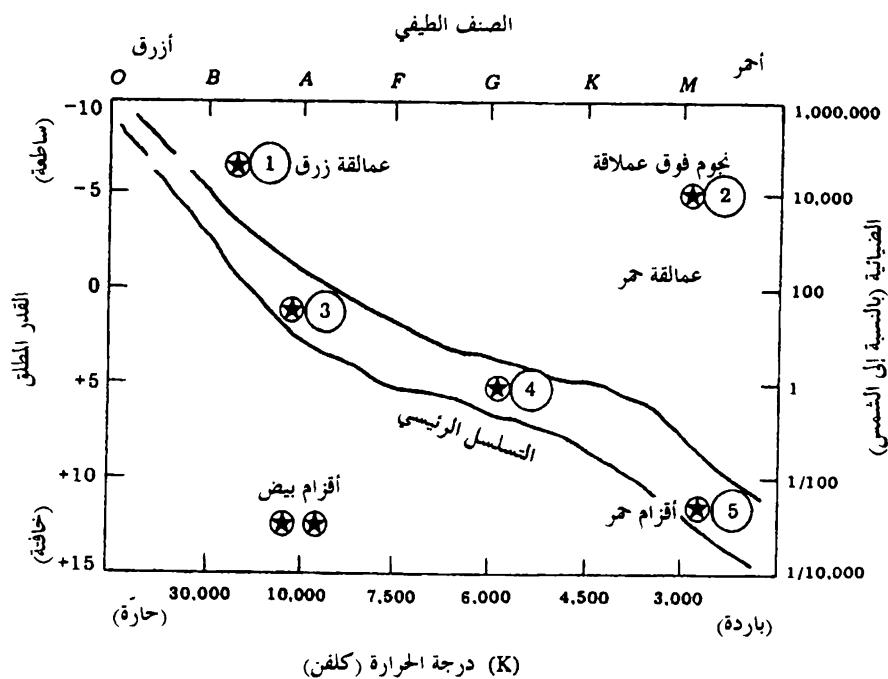
(1) إن هذا الجهد العلمي المترافق من عالمين يعمل كُلُّ منهما مستقلاً عن الآخر، وعلى طرفيَّن متقابلين من المحيط الأطلسي، لهو مثالٌ صارخٌ على أن التَّطَوُّر العلمي في كل زمان وحدةٌ متكاملةٌ لا يجزئها البُعد المكاني. (المغرب)



الشكل 16.3 مخطط H-R يمثل عدداً كبيراً من النجوم. لاحظ تزايد درجة الحرارة من اليمين إلى اليسار، وتزايد درجة الضيائية من الأسفل إلى الأعلى.

ومن المهم ملاحظة أنه عند اختيار عدة آلاف من النجوم اختياراً عشوائياً، وتمثيلها بيانياً على مخطط H-R، أنها تقع ضمن مناطق محددة. وهذا النموذج يوحي بوجود علاقة ذات معنى تربط بين ضيائية نجم ودرجة حرارته، وإلا ل كانت النقاط متباشرة كيما اتفق في جميع أنحاء المخطط.

يلاحظ أن نحو 90 بالمئة من النجوم تنتشر على شريط يسمى التسلسل الرئيسي main sequence يمتد [قطرياً] من الزاوية العليا اليسرى (نجوم عملاقة زرقاء حارة وساطعة) للمخطط، إلى الزاوية السفلية اليمنى (نجوم قزمة حمراء red dwarfs باردة وخافتة). هذا مع العلم بأن الأقزام الحمراء هي أكثر أنواع النجوم القريبة شيوعاً.



الشكل 17.3 مخطط H-R غير تام لنجوم مختارة.

أما نسبة الـ 10 بالمائة الباقية من النجوم فتقع إما ضمن المنطقة اليمنى العليا (نجوم عملاقة giants وفوق عملاقة supergiants باردة وواسطة)، وإما في الزاوية اليسرى السفلى (أقزام بيضاء dwarfs حارة وخافتة).

حدّد موقع النجوم التالية المبيّنة على مخطط H-R في الشكل 17.3. تجد القدر المطلق لكل نجم بين قوسين. استعن بالشكل 8.3 لمعرفة درجة الحرارة والصنف الطيفي.

(أ) رجل الجبار (6,6 -)

(ج) الشمس (4,8)

(د) منكب الجوزاء (5,0 -)

(ه) نجم بارنارد (13,2)

الجواب: (أ) 1 ؛ (ب) 3 ؛ (ج) 4 ؛ (د) 2 ؛ (ه) 5.

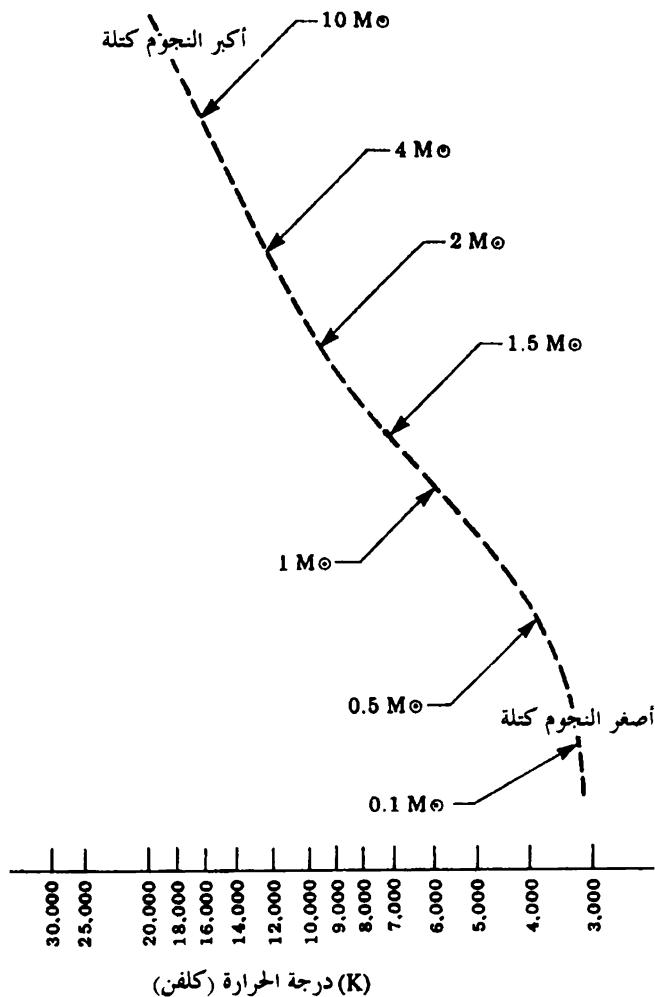
19.3 علاقة الكتلة بالضيائية

إن كتلة mass نجم ما (أي مقدار ما يحويه من مادة) هي التي تحدد موقعه على التسلسل الرئيسي.

والتسلسل الرئيسي يَسْقُّ متابعاً من النجوم بترتيب متناقص الكتلة، يبدأ بأكبرها كتلة وأعلاها ضيائية في الطرف العلوي، وينتهي بأصغرها كتلة وأدنها ضيائية في الطرف السفلي (الشكل 18.3).

بيت التجربة أن علاقة الكتلة بالضيائية $\text{mass-luminosity relation}$ لنجوم من التسلسل الرئيسي متتممة إلى منظومات ثنائية تقضي بأن ضيائية نجم تزداد بازدياد كتلته، أي أن هذه الضيائية متناسبة تقربياً مع كتلته مرفوعة إلى الأسّ $3,5$.

إن كتلة الشمس mass of the Sun (أو M_{\odot} اختصاراً) تساوي 2×10^{30} كغ، أي ما يقارب 333,000 مرة كتلة الأرض. وقدُ وجد أن الكتل النجمية لا تتفاوت كثيراً على امتداد التسلسل الرئيسي كتفاوت درجات الضيائية النجمية. فكتلة أعمى الأقزام الحمراء يناهز عشر كتلة الشمس. (وقد يضيء جرم شبيه بنجم، تقع كتلته بين $1/100$ و $1/10$ كتلة الشمس يسمى القرمز البني brown dwarf، لمدة وجيزة، إلا أن صغره لا ينهض به لأن يسخن بدرجة تكفي لكي يصبح نجماً). كذلك فإن أكبر كتلة نجم مستقر يزيد على كتلة الشمس نحواً من 60 إلى 75 مرة.



18.3 كُل بعض نجوم التسلسل الرئيسي النموذجية. (M_{\odot}) = كتلة

ما الخاصية الأساسية التي تحدّد موقع نجم على التسلسل الرئيسي لمخطط H-R ؟ بتعبير آخر : ما الذي يحدّد درجة ضيائته ودرجة حرارته ؟

الجواب : كتلته .

20.3 قياسات النجوم وكثافاتها

إن شمسنا هي النجم الوحيد الذي يقع على مقربة كافية تتيح لعلماء الفلك إجراء قياسات مباشرة عليه .

يبلغ قطر الشمس 1,39 مليون كيلومتر (قراة 864,000 ميل) ، وذلك يساوي مجموع أقطار 109 أرضين لو تراصفت إحداها إلى جانب الأخرى .

وإذا عرِفتُ ضيائة نجم ودرجة حرارته المطلقة ، أمكِن من ثم حساب نصف قطره بتطبيق قانون ستيفان - بولتزمان في الإشعاع Stefan-Boltzmann law الذي ينص على أن ضيائة نجم (L) تتناسب مع مربع نصف قطره (R) مضروباً في القوة الرابعة لدرجة حرارة سطحه (T) . فتُكتب المعادلة :

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

حيث σ هي ثابت ستيفان - بولتزمان (الملحق 2) .

وتتفاوت قياسات النجوم على التسلسل الرئيسي ، من ضخمة جداً هي العملاقة الزرق - البيض التي يناهز نصف قطرها 25 مرة نصف قطر الشمس (R_{\odot}) إلى النجوم الأقزام الحمر الباردة المعروفة لدى الفلكيين ، التي لا يتجاوز نصف قطرها $1/10$ نصف قطر الشمس لا أكثر .

أظهرت الدراسات أن أضخم النجوم هي النجوم فوق العملاقة supergiants من قبيل منكب الجوزاء Betelgeuse في كوكبة الجبار Orion ، إذ يزيد نصف قطر هذا النجم على نصف قطر الشمس زهاء 400 مرة . تصوَّر

إمكانية اتساع منكب الجوزاء لأكثر من مليون نجم كشمسنا بداخله! ويذكر أن أصغر النجوم الشائعة هي الأقزام البيض التي يقارب حجمها حجم الأرض.

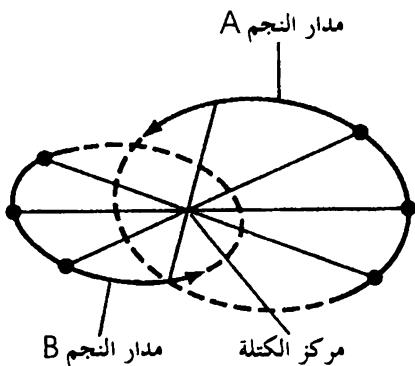
تبلغ كثافة density الشمس الوسطية، أي الكتلة في وحدة الحجم، $1,4 \text{ غ}/\text{سم}^3$ ، وهي أعلى بقليل من كثافة الماء. فالنجم العملاقة الحمر وكذلك النجوم الأقزام البيض تقارب في كتلتها كتلة الشمس، غير أنها تتفاوت كثيراً في أحجامها.

ماذا تقول في كثافات العملاقة الحمر والأقزام البيض قياساً إلى الشمس؟

الجواب: كثافة العملاقة الحمر منخفضة جداً قياساً إلى الشمس، فهي تحتوي على مقدار الكتلة نفسه ضمن حجم أكبر بكثير. (كثافتها الوسطية تقارب كثافة الخواء هنا على الأرض). أما الأقزام البيض فكثيفه جداً، فهي تحتوي على مقدار الكتلة نفسه متراصاً داخل حجم أصغر بكثير. (ملء ملعقة صغيرة من مادة قزم أبيض قد تزن عدة أطنان على الأرض).

3.21 منظومات نجمية مزدوجة

قد يبدو الكثير من النجوم للعين المجردة نجوماً منفردةً وهي في الواقع ليست كذلك. يتكون النجم الثنائي (الثنائية النجمية) binary star من نجمين يدوران حول مركز ثقالي مشترك في أثناء انتقالهما عبر الفضاء معاً (الشكل 19). ويمكن حساب كتل هذه النجوم من القياس الزاوي ودور مداراتها.



الشكل 3.19 تتألف الثنائيّة النجميّة من نجوميّن A و B يدوران حول مركز كتلة مشتركة، ويتماسكان بفعل قوة الجذب التناولي المتبادل.

تصنّف الثنائيّات النجميّة بحسب الطريقة التي تُرصَد فيها.

ويمكن - باستعمال مقراب - «فك» ثنائيّة نجميّة مرئيّة visual binary بحيث تُرى كنجميّن منفصليّن. ويُعرَف حتّى اليوم أكثرُ من 70,000 ثنائيّة مرئيّة، اكتُشِفَ أولاً لها، وهو نجم الإزار Mizar من كوكبة الدب الأكبر، سنة 1650. وهناك نجم ألبيريو Albireo البديع من كوكبة الدجاجة Cygnus، بلونيَّ الأصفر والأزرق، ومثل ذلك كثيرٌ مما يمكن رؤيّته حتّى باستعمال مقراب صغير. (انظر: «مصادِر مفيدة»، ولاسيما ما كان منها دليلاً للراصدِين، في نهاية الكتاب).

ثم إن كثيراً من النجوم المرئيّة قد تقترب من نجوم رفيقة companions لا تُرى لخفوتها الشديد. يسمى هذا النوع من النجوم بالثنائيّة النجميّة القياسيّة astrometric binary، وهي نجمٌ مرئيٌ يلازم نجمٍ رفيقٍ غير مرئيٍ، يُسْتَدلُّ على وجوده من الحركة الحقيقية المتغيّرة للنجم المرئي. ونجم الشّعري اليمانيّ الساطع (Sirius A) من كوكبة الكلب الأكبر Canis Major، كان ثنائيّة قياسيّة منذ سنة 1844، عندما تراءت طبيعته للعلماء، وحتى سنة 1862 عندما رُصِدَ رفيقه الكابي (Sirius B).

أما الثنائيّة الطيفيّة spectroscopic binary فلا يمكن رؤية عنصرَيْها منفصلَيْن بوساطة المقراب، بل تستبين طبيعتُها الثنائيّة من طيفها، إذ يظهر انزياح دوبلر متغيّر في الخطوط الطيفيّة للنجم كلما اقترب من الأرض وابتعد عنها. وقد جرى تحليل ما يقرب من ألفٍ من الثنائيّات الطيفيّة حتى اليوم. ومن الأمثلة عليها العنصرُ الساطع من نجم الإزار A (Mizar A).

وتتوسّع الثنائيّة الكسوفة eclipsing binary بحيث يمرّ أحد النجميّن من أمام رفيقه، فيحجب الضوء عن رؤيتنا عند مسافات زمنيّة منتظمّة. فيلاحظ تغييرٌ منتظمٌ في درجة سطوع هذا النوع من الثنائيّات النجميّة. وتستطيع رؤيّة الثنائيّة الكسوفة المعروفة في الأوساط الفلكيّة، والمسماة رأس الغول Algol من كوكبة فرساوس Perseus، التي تنتقل من أسطع قدرٍ لها 2,2 إلى أدنى قدر 3,5 في نحو يومين و 21 ساعة.

والنجم المزدوج البصري optical double زوجٌ من النجوم يبدو أحد عنصريه قريباً من الآخر في السماء عند رصده من الأرض، إلا أنه في الواقع أكثر بُعداً بكثير مما قد يظهر. ولا تربط أحدهما أي علاقة فعلية بالآخر.

اختر حدة إبصارك بالبحث عن نجمي الإزار Mizar والستّها Alcor المكثيّان بالمخباريّن the testers اللذين يؤلفان مزدوجاً بصريّاً يقع في قبضة الدب الأكبر.

ما وجه اختلاف نجم مزدوج بصريٍ عن ثنائيّة نجميّة مرئيّة؟

الجواب: إن نجمي المزدوج البصري متبعادان، وليس ثمة علاقة حقيقية تربط بينهما، على حين يتّمسك نجماً ثنائياً مرئيّة في جوّ الفضاء بفعل تجاذبهما التّناولي.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل الثالث وتمثّلها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهدًا استطاعتك، ثم انظر في الأجبوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. عُدْ إلى الجدول الوارد في الفقرة 17.3. من اختلاف المنظر أوجد المسافة إلى نجم بارنارد
 - (أ) بالفراشخ الفلكية ؟
 - (ب) بالسنوات الضوئية
2. عُلّ كون الخطوط الطيفية الساطعة (القائمة) للضوء الصادر عن (الممتصّ بفعل) ذرات عنصر هي خطوط متفرّدة لذلك العنصر
3. اشرح آلية تكوّن الطّيف
4. صنّف أنواع الخطوط الطيفية التالية وفقاً لترتيب ظهورها في النجوم،

تنازلياً حسب درجة الحرارة.

(1) خطوط هيدروجين قوية جداً.

(2) هليوم متآين.

(3) شرائط من جزيئات أكسيد التيتانيوم.

(4) هليوم محайд.

(5) معادن محايدة.

(6) معادن متآينة.....

5. قابل الخصائص التالية المستنبطة من طيف نجمي بالطريقة التي تناسبها إلى اليسار.

(أ) التركيب الكيميائي. (1) انزياح دوبлер.

(ب) درجة الحرارة. (2) الصنف الطيفي.

(ج) السرعة الشعاعية. (3) شكل الخط.

(د) كثافة الغاز، (4) الخطوط المميزة.

والدوران المحوري،

والحقل المغنتيسي.

6. تبلغ الحركة الحقيقة لنجم الشّعرى اليمانية "1,34" سنوياً. احسب كم سيتغير موقع هذا النجم على الكرة السماوية في غضون السنوات الألف المقبلة.....

7. عُرِّف السرعة الفضائية.....

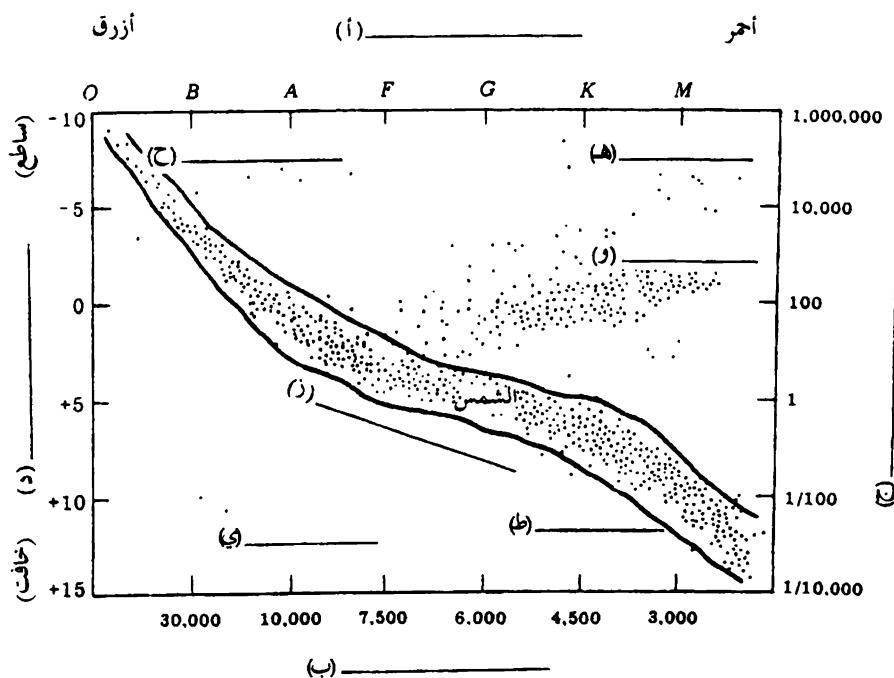
8. عُد إلى الجدول 1.1، وقابل كل صفة من العمود الأيمن بواحد من النجوم الأربع في العمود الأيسر، وذلك بالاستفادة من أقدارها الظاهرة، وأقدارها المطلقة، وأصنافها الطيفية.

- | | |
|---------------------------------|--------------------|
| (1) منكب الجوزاء. | (أ) أشدّها حرارة. |
| (2) الشّعرى الشامية (الغميساء). | (ب) أبردها. |
| (3) السنبلة. | (ج) أعلىها ضيائية. |
| (4) الشّعرى اليمانية. | (د) أدناها ضيائية. |
| | (ه) أسطعها. |
| | (و) أخفتها. |
| | (ز) أقربها. |
| | (ح) أبعدها. |

9. أثبتت المسمايات التالية على مخطط R-H في الشكل 20.3:

- (1) حرارة النجم السطحية (كثفن).
- (2) الضيائية المطلقة (الشمس = 1).
- (3) الصنف الطيفي.
- (4) القدر المطلق.
- (5) التسلسل الرئيسي.
- (6) عمالقة حمر.
- (7) أقزام بيض.
- (8) نجوم فوق عمالقة.
- (9) عمالقة زرقاء.
- (10) أقزام حمر.

10. ما هي الخاصية الأساسية التي تحدّد موقع نجم على التسلسل الرئيسي
(أي درجة حرارته وضيائتها)؟
11. استعن بمخطط H-R لتفسير وجوب كون النجوم العمالقة الحمر كبيرة جداً، والنجوم الأقزام البيض صغيرة جداً مقارنة بالشمس



الشكل 20.3 مخطط H-R غير تام

12 . وائم :

- (أ) يمكن استبانة عنصرٍ به باستعمال مقارب .
- (1) النجم الثنائي القياسي .
- (ب) يُستدلّ على رفيقه غير المرئي من الحركة الحقيقية المتغيرة للرفيق المرئي .
- (2) النجم الثنائي الكسوف .
- (ج) تكتشف طبيعته الثنائية من طيفه .
- (3) النجم المزدوج البصري .
- (د) تتغير درجة سطوعه بانتظام عندما يحجب أحد النجمين رفيقه عن رؤيتنا .
- (4) الثنائي الطيفي .
- (هـ) ليس ثمة علاقة فعلية تربط بين عنصريه .
- (5) الثنائي المرئي .

الأجوبة

قارن أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدها صحيحة كلها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأت في بعضها فعد إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقة أكبر إذا تعددت أخطاؤك.

. 1. (أ) 1,8 فرسخ فلكي؛ (ب) 6,0 سنوات ضوئية.

(الفقرة 1.3)

طريقة الحل: اختلاف المنظر المعلوم هو $549'' - 0'' = 549''$

ومن ثم: $1 \div 0,549 = 1,8$ فرسخ فلكي.

. 2. إن كل خط طيفي هو ضوء ذو طولٍ موجيٍّ معينٍ تصدره (أو تمتضمه) الذرة عندما يقفز أحد إلكتروناتها بين مستوى طاقة (مدار) عاليٍ وأخر أخفض منه. ولما كان لكل عنصرٍ مجموعته الفريدة الخاصة به من المدارات المتاحة، استتبع ذلك أن يكون له مجموعته المميزة من الخطوط الطيفية كذلك.

(الفقرتان 2.3 و 3.3)

. 3. النجوم كراتٌ غازيةٌ عظيمةٌ متقدمة، من ذراتها أنواعٌ كثيرةٌ تُطلق ضوءاً من كل الألوان. يعبر هذا الضوء - الصادر عن سطح النجم - الغلاف الجويّ الخارجيّ للنجم، وهناك تمتّصُ ذراتُ كلِّ عنصرٍ أطوالها الموجيّة المميزة، وهكذا يتقطّع نموذجٌ من خطوطٍ قائمةٍ مع شريط الألوان المستمر، ذلك هو طيف النجم.

(الفقرتان 3.3 و 4.3)

(الفقرة 7.3)

. 5 . (أ) 4؛ (ب) 2؛ (ج) 1؛ (د) 3

(الفقرة 3.3 والفقرات 5.3 إلى 10.3)

. 6 . " 1340، أو ثلث درجة تقريباً.

طريقة الحل: الحركة الحقيقية = $1,34^{\circ}$ سنوياً. 1 درجة = $3600''$

$$(1,34^{\circ} \text{ سنوياً}) \times 1000 \text{ سنة}$$

(الفقرة 9.3)

. 7 . هي سرعة نجم بالنسبة إلى الشمس.

(الفقرة 9.3)

. 8 . (أ) 3؛ (ب) 1؛ (ج) 1؛ (د) 2؛ (هـ) 4؛ (وـ) 3؛ (زـ) 4؛ (حـ) 1

(الفقرات 6.3 و 7.3 و 12.3 إلى 16.3)

طريقة الحل:

النجم	الصنف الطيفي	المسافة (القدر المطلقة)	القدر الظاهري	القدر المطلقة
منكب الجوزاء	M	522	0,45	- 5,0
الشعرى الشامية (الغميساء)	F	11,4	0,41	2,8
السنبلة	B	262	0,98	- 3,6
الشعرى اليمانية	A	9	- 1,44	1,5

. 9 . (أ) 3؛ (ب) 1؛ (جـ) 2؛ (دـ) 4؛ (هـ) 8؛ (وـ) 6؛ (زـ) 5؛ (حـ) 9؛
(طـ) 10؛ (يـ) 7

(الفقرة 18.3)

. 10 . كتلته.

(الفقرة 19.3)

11. النجوم العمالقة الحمر باردةً نسبياً لكنها مضيئة؛ ومن ثم فلا بد أن يكون لها طاقة إشعاع سطحية كبيرة. أما النجوم الأقزام البيض فهي حارةً نسبياً لكنها خافتة؛ ومن ثم فلا بد أن يكون لها طاقة إشعاع سطحية محدودة في الفضاء.

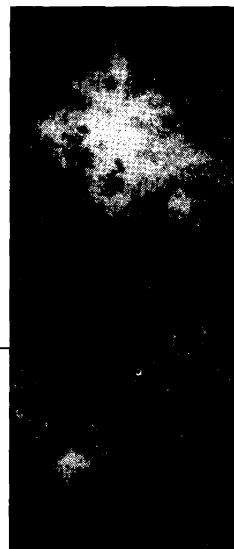
(الفقرات 18.3 إلى 20.3)

12. (أ) 5؛ (ب) 1؛ (ج) 4؛ (د) 2؛ (ه) 3

(الفقرة 21.3)

4

الشمس



ها إنك تبرغين بدبيعة وضاءة في أفق السماء أيتها الشمس
المضطربة التي بدأت بك الحياة!

أختانون (نحو 1386 - 1358ق.م)

«Hymn to the Sun»

الأهداف:

- إيراد بعض الأسباب التي حملت علماء الفلك المحدثين على دراسة الشمس .
- تعريف الثابت الشمسي ، وبيان أهمية معرفة كونه ثابتًا بالفعل مع الزمن .
- تعريف الواحدة الفلكية .
- وصف عملية تكون الشمس ، وبيان خصائصها وحركاتها ، باعتبارها نجمًا .
- الإشارة إلى بنية الشمس ، وتعريف الإكليل الشمسي ، والكرة الكونية ، والكرة الضوئية ، ومنطقة الحمل ، ومنطقة الإشعاع ، ولب الشمس .
- وصف دوران الشمس وحقلها المغنتيسي .
- إيراد الأبعاد المادية الأساسية للشمس .

- ذكر بعض الوسائل والتكنولوجيات الحديثة المتبعة في دراسة الشمس.
- تعرُّف منشأ البقع الشمسية (الكَلْف الشمسي) وخصائصها وطبيعتها الدورية، وبيان علاقة التغييرات التي تطرأ على الكَلْف الشمسي بالفعالية الشمسية.
- مقارنة منشأ وطبيعة الحُبَيَّبات الشمسية والصَّيَاخِد واللَّطْخ وألسنة اللَّهَب والشُّواطِ.
- بيان منشأ الريح الشمسية وطبيعتها.
- إيضاح لغز النيوتروينوات الشمسية المفقودة.

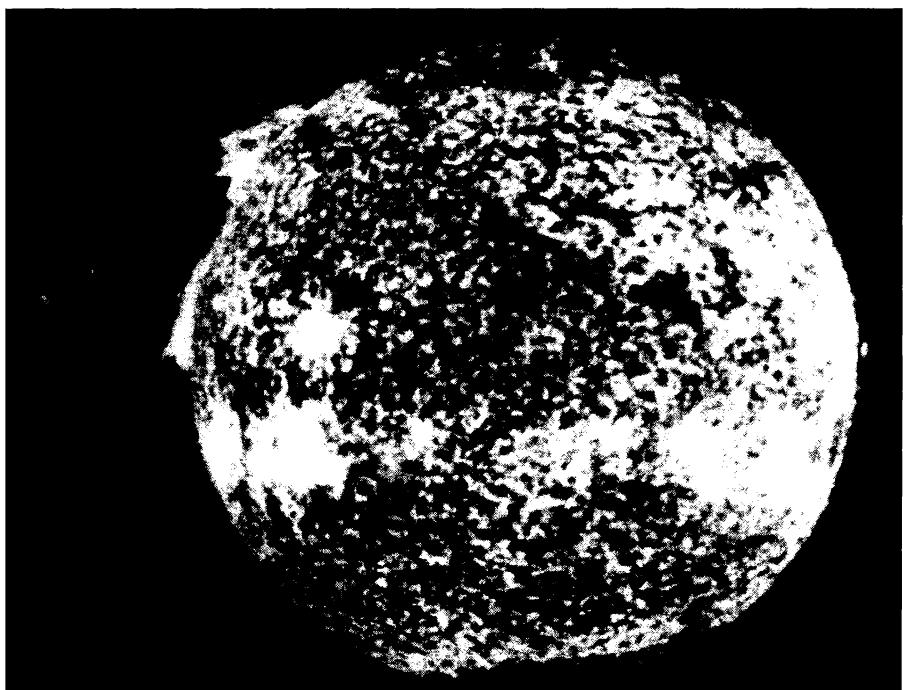
1.4 الشمس والأرض

الشمس أقرب النجوم إلى الأرض؛ فهي تمدنا بالضوء والحرارة والطاقة اللازمة للحياة.

وقد ذهبت الشعوب القديمة إلى أن تَتَّخذ من الشمس معبوداً لها باعتبارها آلهة تَهَبُ الحياة، فأطلقوا على الشمس الآلهة أسماء منها آتون Aton وأبولو Apollo وهليوس Helios وسول Sol. أما اليوم فيدرس العلماء الشمس كنجم ذي أهمية كبرى للأرض، وكما يفتح لإدراك كُنهِ النجوم النائية التي يتعدّر رصدها عن كثب.

إن الخَرْج الإجمالي لطاقة الشمس هائلٌ حقاً؛ فضيائة الشمس (Sun's luminosity L_{\odot}) تبلغ $10^{26} \times 3,85$ واط، وهي طاقة لا تقاد تنضب على الزمان. حسْبُك أن تعلم أن كمية الطاقة الشمسية التي تنسكب على الغلاف الجوي الخارجي للأرض كل ثانية تناهز 1400 واط/ m^2 (أي 126 واط/قدم²)، وتسمى الثابت الشمسي solar constant، وأن هذه الكمية من الطاقة تتيح من الحرارة والضوء في غضون أسبوع واحد ما قد يتتيحه كاملُ ذخْرِنا الاحتياطي المعلوم مجتمعاً من النفط والفحم والغاز الطبيعي.

وسمسنا ديناميةً ومتاججة (الشكل 1.4)، وهي ذات نشاط استثنائي مفرط حيناً وهادئ نسبياً حيناً آخر. ومن شأن هذه التغيرات في خرج الطاقة الشمسية أن تؤثر في مناخ الأرض وجوهاً وأحوال الطقس فيها، فضلاً على تأثيرها في منظومات نقل الطاقة ونظم الاتصالات الحديثة. ويرصد العلماً هذه التغيرات ليتبينوا - على وجه الدقة - كيف تؤثر الشمس في الأرض.



الشكل 1.4 الفعالية الشمسية. ألسنة لهب وشواظ عظيم قوسى الشكل، صُورت براسم الطيبة الشمسي فوق البنفسجي المرتبط بمختبر الفضاء الأمريكي *Skylab* في ضوء مهليوم المتأين. لسان اللهب الهائل الذي يظهر في الجزء العلوي الأيسر من الصورة يمتد مسافة تزيد على 588،000 كم على سطح الشمس.

اذكر ثلاثةً من الأسباب التي تدعو العلماء اليوم، فلكيين وفيزيائيين ومهندسين، إلى استعمال أكثر التقنيات تطوراً في تحديد الطبيعة الحقيقة للشمس.

(1)

(2)

(3)

الجواب:

- (1) الشمس مصدر لا يكاد ينضب للطاقة الحالية والمستقبلية الكامنة، وهي إلى جانب ذلك مصدر مجاني مرسّل وخلص من التلوث!
- (2) الشمس هو النجم الوحيد القريب منا نسبياً بما يكفي لرصد他的 دراسته بيسهاب، ولذلك يتّخذه علماء الفلك إماماً لتعريف ماهية نجوم أخرى.
- (3) تؤثّر التغييرات التي تطرأ على خرج الطاقة الشمسيّة في مناخ الأرض وجوهاً وطقسها، وكذلك في منظومات نقل الطاقة والاتصالات.

2.4 بعد الشمس وحجمها

يسمى متوسط البُعد بين الأرض والشمس في المصطلح العلمي الواحدة الفلكية (AU) astronomical unit، وهو يناهز 150 مليون كيلومتر (93 مليون ميل).

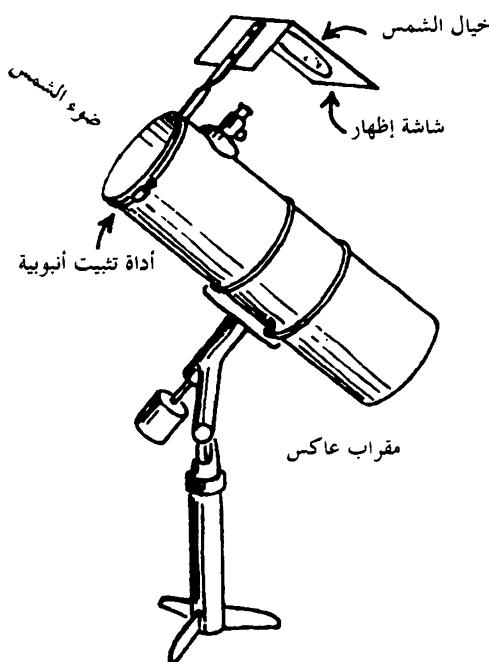
ويحسب الفلكيون هذا البُعد من معطيات كوكبية توفرها لهم تقنيات المدى الراداري. وهو يستعملون الواحدة الفلكية مقاييساً للمسافات في المجموعة الشمسيّة (الجدول 1.8).

والشمس كرة غازية هائلة، نرى طبقتها السطحية في السماء. ويبلغ

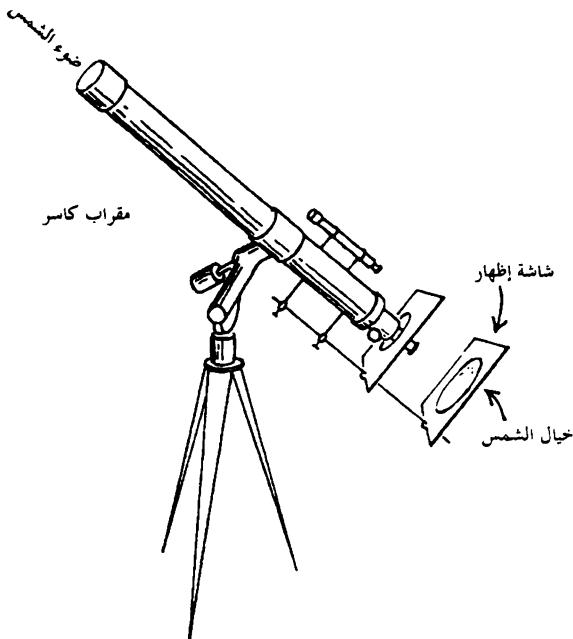
نصف قطرها (R_{\odot}) radius نحو 696,000 كم (432,000 ميل). ومن الأرض يتوهم الناظر أن قطر الزاوي للشمس Sun's angular diameter وهو (32 أو قرابة $\frac{1}{2}^{\circ}$) يساوي قطر القمر بدراً. ويحدث هذا الانخداع البصري بسبب كون الشمس أبعد عن الأرض من القمر 400 مرة.

تبنيه: إن رصدك للشمس مباشرةً من غير اتخاذ الاحتياطات اللازمة قد يتسبب في فقدانك لبصرك طوال حياتك! فخذار أن تنظر إلى الشمس بصورة مباشرة، أو من خلال جهاز بصريٍّ ما لم يكن مزوًداً بمرشحات شمسية خاصة تغطي كامل الفتحة حسب الأصول.

ومن الأساليب السليمة في رصد الشمس إسقاط خيالها على شاشة، والنظر إلى خيال الشمس فقط من على الشاشة (الشكلان 2.4 و 3.4).



الشكل 2.4 خيال الشمس بإسقاطه على شاشة إظهار تقع خلف عينية مقراب عاكس صغير. لتجنب النظر إلى الشمس في أثناء توجيه المقراب يستعان بظل المقراب على الشاشة كدليل.



الشكل 3.4 خيال الشمس بإسقاطه على شاشة إظهار تقع خلف عينية مقراب كاسر صغير. لتجثب النظر إلى الشمس في أثناء توجيه المقراب يستعان بظل المقراب على الشاشة كدليل.

كم دقةً تقريباً يستغرق ضوء الشمس لكي يقطع واحدةً فلكيةً واحدة؟
(استند من أن المسافة = السرعة × الزمن)، ومن ثم الزمن = المسافة / السرعة).

الجواب: 8,3 دقائق تقريباً. (وهذا يعني أنه لو توقفت الشمس عن السطوع، لما علمت بذلك إلا بعد مرور 8,3 دقيقة).

طريقة الحل: سرعة الضوء $\approx 300,000 \text{ كم} / \text{ثا}$ ($186,000 \text{ ميل} / \text{ثا}$)

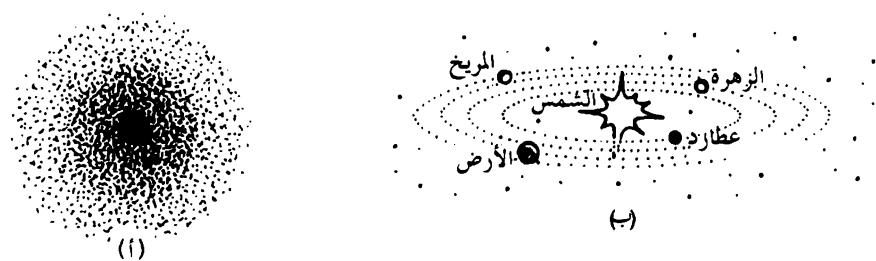
$$\frac{150,000,000 \text{ كم}}{300,000 \text{ كم} / \text{ثا}} = \frac{93,000,000}{186,000 \text{ ميل} / \text{ثا}}$$

$$= 500 \text{ ثانية أو } 8,3 \text{ دقائق}$$

3.4 تركيب الشمس

تقول النظرية السَّديمية nebular theory، التي عَرَضَها أولاً الفيلسوف الألماني عمانويل كاين Immanuel Kant (1724 - 1804)، إنّ الشّمس وكواكبها قد تكونت معاً من سحابة غازية وغبارية يَنْجِمُّ دوارة تسمى السَّديم الشّمسي solar nebula منذ نحو خمسة مليارات سنة خلت.

تكثُّف السَّديم الشّمسي متحوّلاً إلى الشّمس الفتية التي يكتنفها قرص دوّار من الغاز والغبار، تولَّد عنده الكواكب والأقمار وسائر أجرام المجموعة الشّمسيّة (الشكل 4.4). وتستأثر الشّمس بأكثر من 99 في المئة من كتلة المجموعة الشّمسيّة، وتتوفر القوة التّشاكليّة التي تبقي على الكواكب طوافةً من حولها، إذ تزيد ثقالتها السطحيّة على ثقالة الأرض نحو 28 ضعفاً.



الشكل 4.4 نظرية السديم الشمسي. (أ) سديم دوار تكثُّف فتحوّل إلى الشّمس يحيط بها قرص متقلص. (ب) ولادة المجموعة الكوكبية.

يُعرَف اليوم أكثر من 70 عنصرًا كيميائياً chemical elements في طيف الشّمس. ويرجع أن لطبقات الشّمس الخارجية التركيب الكيميائي نفسه الذي كان لها عند ولادتها، وهو: 73 في المئة هيدروجين، و25 في المئة هليوم، و2 في المئة عناصر أخرى (وزناً). وأغلب الظن أن محتوى لب الشّمس من الهليوم قد تغيَّر فيما بعد ليصبح 38 في المئة، وذلك بفعل تفاعلات اندماج نوويٍّ.

مالذي يدعو علماء الفلك إلى الاعتقاد بوجود نجومٍ أخرى تدور حولها كواكب؟

الجواب: وفقاً للنظرية السديمية، ولدت الكواكبُ الطوافَةُ حول الشمس مع نجمها في وقت واحد. ولما كانت الشمسُ نجماً نموذجياً، فمن المحتمل أن نجوماً أخرى مشابهة قد ولدت أيضاً في وقت واحد مع مجموعة من الكواكب.

4.4 بنية الشمس

إن تصوّرنا لبنيّة الشمس ناشئٌ عن أرصاد مباشرة لطبقاتها الخارجية، إضافةً إلى حساباتِ نظرية غير مباشرة لسلوك الغازات في أعماقها، ذلك الذي لا نستطيع أن نراه.

تؤلّف الطبقاتُ الخارجيةُ الثلاثُ الغلافُ الجويُّ atmosphere للشمس.

فالغلاف الضوئي photosphere (من تعابير يوناني معناه «كرة الضوء») هو السطح المرئي للشمس: طبقةٌ رقيقةٌ كامدةٌ من غازٍ حارٍ تبلغ درجة حرارته 5800 كلفن ($10,000^{\circ}$ فارنهایتية) تنطلق الطاقة منها في الفضاء. أما الحافة limb فهي الطرفُ المرئي من قرص الشمس، وتبدو أكثر دكناً من المركز، وهي ظاهرة تسمى مفعول الحافة القاتمة limb darkening، لأن الضوء الآتي من الحافة ينشأ عن مناطق عالية وباردة من الغلاف الضوئي.

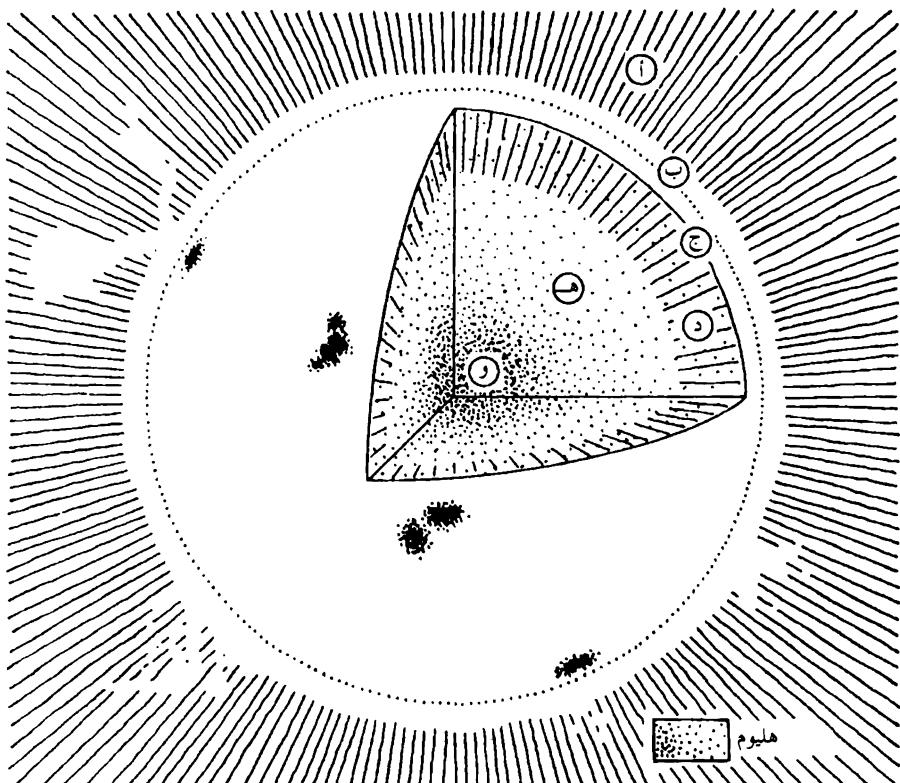
أما الغلاف اللوني chromosphere (يونانية تعني «كرة اللون») فهو طبقةٌ شفافةٌ رقيقةٌ تمتد زهاء 10,000 كيلومتر (6000 ميل) فوق الغلاف الضوئي، ولا تكون مرئية في العادة من الأرض إلا في أثناء كسوف كليٍّ للشمس،

عندما تتوهج بلون أحمر بسبب غاز الهيدروجين فيها. يجدر الحرارة ترتفع ارتفاعاً غير متوقع نحو الخارج عبر الغلاف وسطي درجة حرارة المادة فيه قرابة 15,000 كلفن.

وأما الإكليل corona (كلمة لاتينية بهذا المعنى) فهو من الغلاف الجوي الشمسي، فوق الغلاف اللوني مباشرة، حارٌ ومتخلخل يمتد في الفضاء ملايين الكيلومترات. وبحرارتها العالية - التي تصل إلى مليوني كلفن عند الحافة الإكليل ساطعاً عند الأطوال الموجية السينية. ويرى بجلال حوادث الكسوف الكلي، على شكل هالة بيضاء مثلّمة الضوئي المستتر مدة وجيبة (الشكل 5.4).



الشكل 5.4 يمتد الإكليل الشمسي نحو الخارج ملايين الكيلومترات في هذه راسم الإكليل الشمسي الملحق بمختبر الفضاء الأمريكي (سأ) حادثة كسوف كلي. (طُوّعت الصور لإظهار مستويات السطوع).



الشكل 4.4 مناطق الشمس.

وفي ما تحت الغلاف الضوئي يقع باطن الشمس interior. ويقدّر العلماء النظريون أن درجة الحرارة ترتفع والكتافة تزداد من السطح باتجاه الداخل، فليس من العناصر المعروفة ما يمكنه البقاء صلباً أو سائلاً في درجات الحرارة الشمسية المفرطة. من هنا فلا بدّ من أن تكون الشمس برمّتها مؤلّفة من غازات حارّة جداً.

ترتفع درجة الحرارة في أعماق جوف الشمس إلى 15 مليون كلفن، ويرتفع الضغط هناك إلى 200 مليار وحدة ضغط جوي، والكثافة إلى ما

يتجاوز كثافة الماء مئة مرة أو يزيد. ويُعَدُ اللب core بمثابة «محطة» لتوليد الطاقة، حيث تتوَّلد الطاقة الشمسيَّة نتْيَجَةً لِتَفَاعُلَاتِ الاندماج النووي (الفقرة 5.5). وهناك يتحوَّل الهيدروجين إلى هليوم.

هذه الطاقة الشديدة المتحرّرة في لبِّ الشمس توفّر الحرارة في باطنها، والضغط الكافي لموازنة قوة الجذب الثقالي الداخلية، وهي تنتقل ببطء نحو الخارج. ويجري امتصاص الفوتونات وإصدارها من جديد مرهَّةً بعد مرَّة عند مستويات طاقة منخفضة داخل ما يسمى بمنطقة الإشعاع radiation zone المترافقَة.

ومن هناك، تقوم تيارات غازية دوارةً في منطقة الحمل convection zone بنقل معظم الطاقة على شكل حرارة إلى الطبقات الخارجية. ينقضي نحو 20 مليون عام قبل أن يتمَّ انتقالُ الطاقة المتولدة في اللب إلى السطح، لتحول إلى أشعة شمسيَّة.

سَمَّ مناطقِ الشمْسِ الموسومة بـ حروف على الشكل 6.4.

- (أ) ؛ (ب) ؛ (ج) ؛ (د)
- ؛ (ه) ؛ (و)

الجواب: (أ) الإكليل؛ (ب) الغلاف اللوني؛ (ج) الغلاف الضوئي؛
 (د) منطقة الحمل؛ (ه) منطقة الإشعاع؛ (و) اللب.

5.4 دوران الشمس

الشمس دائبةُ الدوران حول محورها في الفضاء، من الغرب إلى الشرق، تماماً كما الأرض. إلا أن ثمة فرقاً: فالأرض كُلُّها - وحدة متكاملة - تُتَّمِّم دورةً كاملةً في مدة يوم، على حين لا تدور الشمس كُلُّها كوحدة متكاملة بمعدَّل سرعة واحد.

فالدور المحوري period of rotation، أو المدة الالزامية لأداء دورة

كاملة، هو أسرع ما يكون عند خط استواء الشمس (يستغرق نحو 25 يوماً)، ويتطابأ عند خطوط العرض المتوسطة، وهو أبطأ ما يكون عند القطبين (زهاء 35 يوماً). إن نموذج الدوران الغريب هذا يؤثر - على الأغلب - في الفعالية العنيفة التي تحدث في الشمس، والتي ستناولها بالدرس في سياق الفجرات التالية.

كيف يمكن لأجزاء مختلفة من الشمس أن تدور ب معدلات سرعة مختلفة، مقابل الأرض التي تنجذب - بكمالها - دوراً تاماً في يوم واحد؟

الجواب: الشمس كرّة غازية لا كتلة صلبة مصممة كالارض.

6.4 معطيات

لَخص ما اجتمع لديك من معطيات تتصل بخصائص الشمس، عن طريق ملء الجدول المرجعي 1.4.

الجواب:

- (أ) 150 مليون كم (93 مليون ميل) تقريرياً؛ (ب) 32° ؛
- (ج) 1,390,000 كم (864,000 ميل)؛ (د) $10^{30} \times 2$ كغ؛
- (ه) 1,4 غ/سم³؛ (و) 1400 واط/م² (126 واط/قدم²)؛
- (ز) 3.85×10^{26} واط؛ (ح) زهاء 5800 كلفن؛ (ط) G2؛ (ي) 26,72 -؛
- (ك) 4,8؛ (ل) خط الاستواء: 25 يوماً تقريرياً، القطبان: 35 يوماً تقريرياً؛ (م) الطبقات الخارجية: نحو 73 في المئة هيdroجين، 25 في المئة هليوم و 2 في المئة أكثر من 70 عنصراً آخر وزناً؛
- (ن) 28 مرة ثقافة الأرض السطحية أو $294 \text{ m} / \text{s}^2$

الجدول ١.٤ خصائص الشمس

المقدار	طريقة القياس	القيمة
(أ) متوسط بُعدها عن الأرض	المدى الراداري للكواكب	
(ب) قطرها الزاوي في السماء	مقراب شمسي	
(ج) قطرها	القطر الزاوي والبعد
(د) كتلتها	الحركات المدارية للكواكب	
(ه) معدل كثافتها	الكتلة والحجم
(و) الثابت الشمسي (الطاقة الشمسية الواردة إلى الأرض)	طائرة على ارتفاع شاهق	
(ز) ضيائتها	الثابت الشمسي والبعد عن الأرض	
(ح) درجة حرارتها السطحية	الضيائية ونصف القطر	
(ط) صافتها الطيفية	راسم الطيف
(ي) قدرها الظاهري	مقاييس الضوء
(ك) قدرها المطلق	القدر الظاهري والبعد عن الأرض	
(ل) دور دورانها	حركات البقع الشمسية؛ انتياخ دبلر	
(م) التركيب الكيميائي لطبقاتها الخارجية	طيف الامتصاص الشمسي	
(ن) ثقلاتها السطحية	الكتلة ونصف القطر	

7.4 رصد الشمس

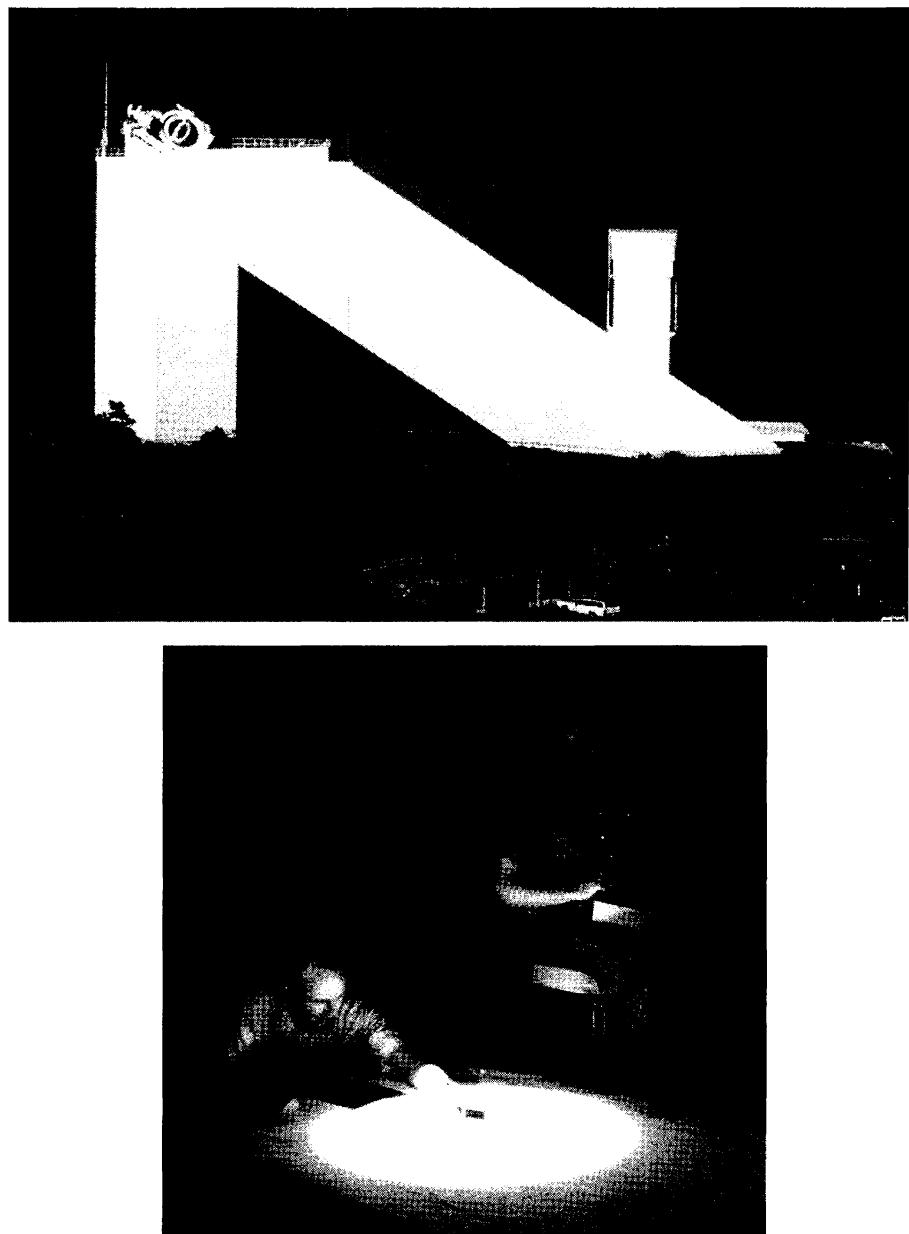
يستعين الفلكيون اليوم بأجهزة وتقنيات متطورة لرصد الشمس عن كثب وبصورة أكثر تفصيلاً من أي وقت مضى.

على الأرض، تقوم مقاريب شمسية بصرية optical solar telescopes بتصوير السطح المرئي للشمس، بكل معالمه المتغيرة، فوتografياً (الشكل 7.4). وهناك مجموعات (صفيفات) من المقاريب الراديوية radio telescopes العملاقة تستقبل وتسجل الأمواج الراديوية من مختلف أجزاء الشمس. كذلك ترصد المقاريب تحت الحمراء infrared telescopes الحافة الشمسية وتمثل البقع الشمسية.

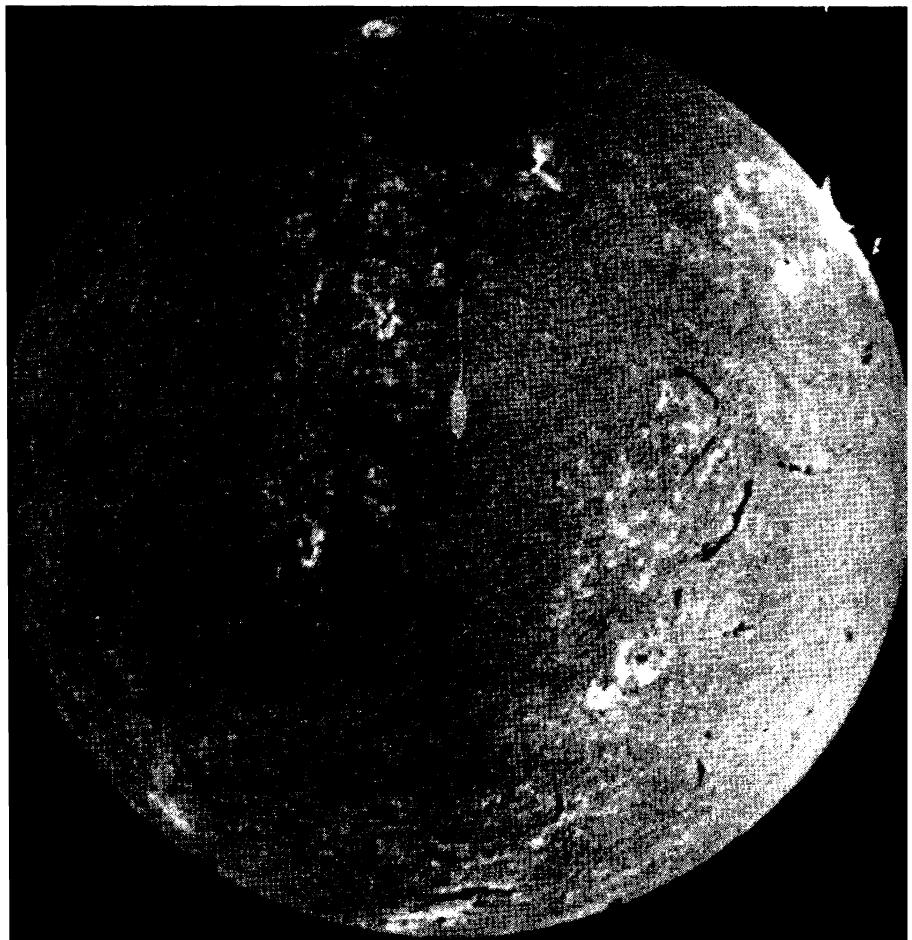
وتُصور الشمس بالمرشحات اللونية وراسمات الطيف الشمسي spectropheliographs في ضوء مؤلف أساساً من طول موجيّ واحد. والصُور الطيفية الشمسية spectroheliograms هي صُور تلتقط للشمس في ضوء واحد اللون ينتمي إلى غازٍ واحد كالهيدروجين أو الكالسيوم، وهي تُظهر توزُّع الغازات المختلفة والظواهر الموضعية (الشكل 8.4).

وفي الفضاء، تقوم الأجهزة الرصدية بمراقبة الشمس في أقسام الطيف الكهرومطيسي كافة، بغية الكشف عن سمات شمسية، ومظاهير إشعاع، وجسيمات، وحقول يحجبها الغلاف الجوي الأرضي في العادة. هذا على حين تلتقط المقاريب فوق البنفسجية ultraviolet telescopes ، والمقاريب السينية gamma ray telescopes ، ومقاريب أشعة غاما - X-ray telescopes ، وعمليات طبيعية تجري في أشد مناطق الشمس حرارة ونشاطاً.

لم يكن بالمستطاع فيما مضى رصد إكليل الشمس وغلافها اللوني رصداً مباشراً إلا في غضون بعض دقائق هي مدة حادثة كسوف كلي، عندما



لشكل 7.4 (أ) مقراب R. R. McMath-Pierce الشمسي البصري بقطر 1,5 متر في كث بيك تعكس مرآة في الأعلى ضياء الشمس خلال أنبوب طوبل منحدر وصولاً إلى (ب) غرفة أنشئت في الجبل حيث يجري علماء الفلك دراساتهم على صورة الشمس المنعكسة.



الشكل 4.8 صورة للشمس يبدو فيها لسان لهب كبير على الحافة الشرقية، التقطت في ضوء طيفي للهيدروجين عند الطول الموجي 6563 أنغستروم.

يكون الغلاف الضوئي، الذي هو أكثر سطوعاً، محظوظاً. لكن علماء الفلك اليوم غير مضطرين أبداً للانتظار حتى حدوث واحدة من تلك الظواهر الطبيعية النادرة كيما يتمكنا من إجراء رصد من هذا النوع؛ فهم يستعملون تصوير إكليل الشمس فوتوغرافياً ما يسمى راسم الإكليل الشمسي cronograph، وهو مقراب مصمم لابداع كسوف زائف، يستعمل على الأرض وفي الفضاء على حد سواء.

ما بين سنتي 1973 و 1974 تزوجَ روادُ الفضاء بمجموعة مؤلفة من ثمانية مقارب شمسية على متن محطة الفضاء الأمريكية سكاي لاب الطوافَة على ارتفاع 430 كم (270 ميلاً) فوق الأرض، فرصدوا الشمس رصداً شاملَاً في أطوالٍ موجيَّة مرئيَّة وسينيَّة. وقد أتَاح المقارب راسمُ الإكليل الشمسي المرتبط بالمحطة رصدَ الإكليل مدةً ثمانية أشهرٍ ونصف الشهر، مقارنةً بما لا يزيد على ثمانين ساعةً إجماليَّة هي حصيلةُ مُدِّ الرصد من مجموع حوادث الكسوف الطبيعية كلُّها منذ بدء استعمال التصوير الفوتografي سنة 1839.

و درَست الاندفاعات الشمسيَّة العنيفة في إطار المشروع الدولي حول السطوع الشمسي الأعظمي (International Solar Maximum 1980-1981). وفي سنة 1985 استَكمَلَ الساتلُ الربُوطي الأمريكي المسمَى Solar Maximum Mission (SMM) أرصاداً بصريةً وفوق بنفسجية وسينيَّة وغاميَّة غايةً في الأهمية تتعلق بآلية الهب الشمسي. وكان ذلك أول ساتل يقوم روادُ الفضاء بإصلاحه في الفضاء. ولا جَرم أن يحتاج الخبراء إلى سنوات لتحليل فيض معطيات الأرصاد الشمسيَّة التي أجرتها منظومات متمركزةٌ في الفضاء.

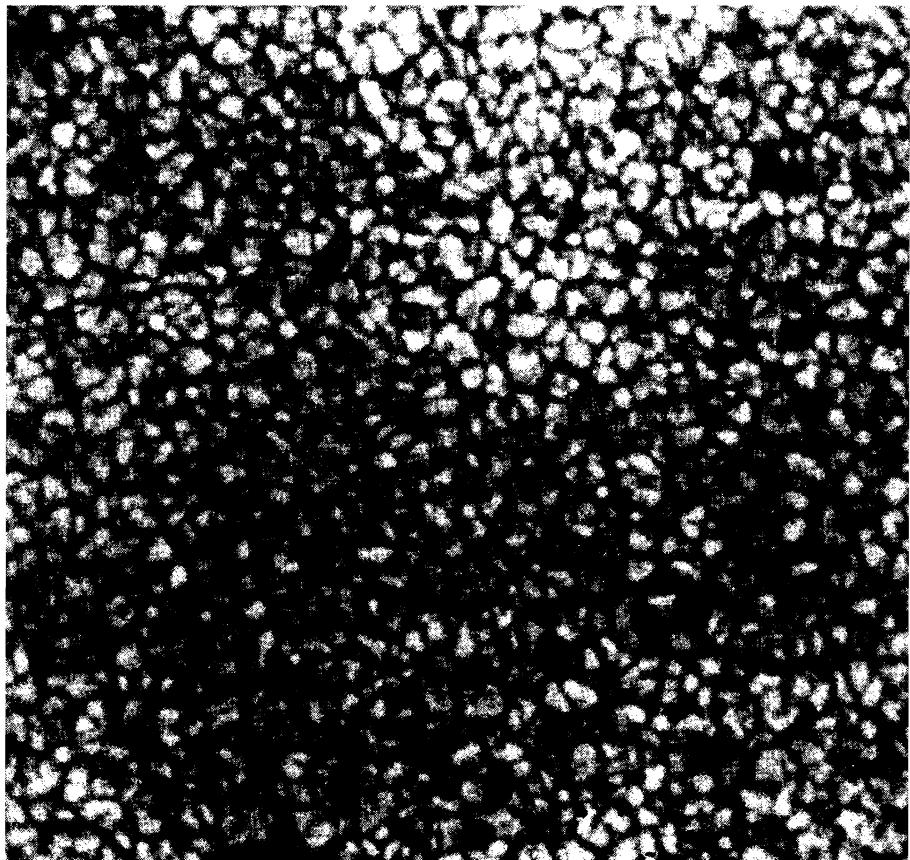
ثم قامت مركبةُ الفضاء الربُوطي الأوروبية - الأمريكية المشتركة يوليسيز Ulysses برصد المناطق القطبية من الشمس، وحقولها المغناطيسية، ودفقات الإشعاع والجسيمات فيها، والبيئة في كل خطوط العرض الممكنة فيها. وكان ذلك بين سنتي 1994 و 1998. ويُنْتَظر أن تحلق يوليسيز - في رحلتها الثانية التي ستستغرق سَنَّةً سنتَيْن - فوق قطبِيِّ الشمس في أوقات تكون فيها الفاعليَّة الشمسيَّة أعظميَّة.

لماذا تظهر عالمٌ مختلفٌ للشمس في صُورٍ ملتقطة في ضوء أطوالٍ موجيَّة مختلفة كالضوء المرئي أو الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينيَّة؟ (راجع الفقرة 10.2 عند الحاجة)

الجواب: تتفاوت الأطوال الموجية المتولدة باختلاف درجات حرارة المناطق الشمسية، حيث تسود أحوالٌ وفعالياتٌ مختلفة.

8.4 سطح متأجج

تبدي المقاريب البصرية مظهراً حبيبياً للغلاف الضوئي من الشمس يسمى التحبيب granulation، إذ توشي قرص الشمس بقع ساطعة، تسمى الحبيبات granules، شبيهة بحبات الأرز، ولا سيما في الصور العالية المُنْعَزَّة (الشكل 9.4). high-resolution images



الشكل 9.4 الحبيبات الشمسية.

والحبّيات - التي هي خلايا قد يصل قطرها إلى 1000 كيلومتر (625 ميل) - هي في الواقع ذرّى تيارات متقدّمة من غازات حارّة ناشئة عن منطقة الحمل. تدوم الحبيبات كلّ منها خمس دقائق في المتوسط، وتبدو أكثر سطوعاً من المساحات المعتمة المجاورة لها لأنّها أشدّ حرارة بنحو 300 مرة. هذه المساحات المعتمة هي تيارات هابطة من غازات أقلّ سخونة.

تنتمي الحبيبات إلى ما يسمى الحبيبات الفائقة supergranules، وهي خلايا حمل convection cells قد يبلغ قطرها 300,000 كيلومتر (19,000 ميل) على قرص الشمس. تدوم الحبيبات الفائقة عدة ساعات، وتتميز بتدفق الغازات من مراكزها إلى أطرافها، إضافة إلى التيارات الغازية الشاقولية في الحبيبات.

وهناك ما يسمى اللسّينات الشمسيّة spicules، وهي نفاثات من الغاز ربما يصل ارتفاعها إلى 10,000 كيلومتر (6000 ميل)، وقطرها إلى 1000 كيلومتر (600 ميل) تصاعد كألسنة نارية داخل الغلاف اللوني حول أطراف الحبيبات الفائقة، على أنها سريعة التغيير، وتدوم من 5 إلى 15 دقيقة.

وقد تُرصد قرب حافة الشمس رُقعَ سطحية بيضاء ساطعة تسمى الصيَّادِيد faculae [واحدها: الصَّيَّادِيد]، والكلمة اللاتينية تعني: «المشارع الصغيرة». وظهورها يؤذن باقتراب حدوث فعالية شمسية.

ما الذي يسبّب التنجّب؟

الجواب: الغازات المتتصاعدة من باطن الشمس الحارّ.

٩.٤ الْبَقْعُ الشَّمْسِيَّةُ (الْكَلَفُ)

البقع الشمسيّة sunspots لطخ قاتمة غير دائمة، باردة نسبياً على الغلاف الضوئي الساطع للشمس. وهي تَظْهُر عادةً في مجموعات مؤلفة من بقعتين

أو أكثر. وتدوم من بضع ساعات إلى بضعة أشهر قبل أن تزول. يُرى أكبر البقع الشمسية عند بزوغ الشمس أو عند أفالها أو من خلال جوّ سديمي. وقد سُجِّلت أول أرصاد لالبُقُع في الصين قبل سنة 800 قبل الميلاد.

يبلغ حجم البقعة الشمسية الاعتيادية حجم الأرض، وقد يفوق حجم أكبرها حجم الأرض عشر مرات.

وتضيء البقع الشمسية بدرجة سطوع تفوق سطوع كثيرون من النجوم الباردة نسبياً، مع أنها تبدو قاتمةً قياساً إلى الغلاف الضوئي المحيط الباهر والحار. تبلغ درجة الحرارة فيما يسمى الظل umbra (أو اللُّب) قرابة 4200 كلفن. أما في الظلّين penumbra (أو الجزء الخارجي الرمادي اللون من بقعة كبيرة) فهي أدنى من حرارة الغلاف الجوي ببعض مئات الدرجات.

وكثيراً ما تظهر البقع الشمسية في مجموعات، أو مناطق شمسية تُشَطَّة تحدث فيها أعنف الفعاليات الشمسية. وقد كانت للأرصاد المقرابية الأولى، التي أجرتها غاليليو سنة 1610 للبُقُع وحركاتها، أثرٌ مهمٌ من الناحية العلمية (الفقرة 7.8)؛ فقد تبيّن أن غاليليو قد أصاب في ما خلص إليه من أن دوران الشمس ينقل مكان البُقُع الشمسية.

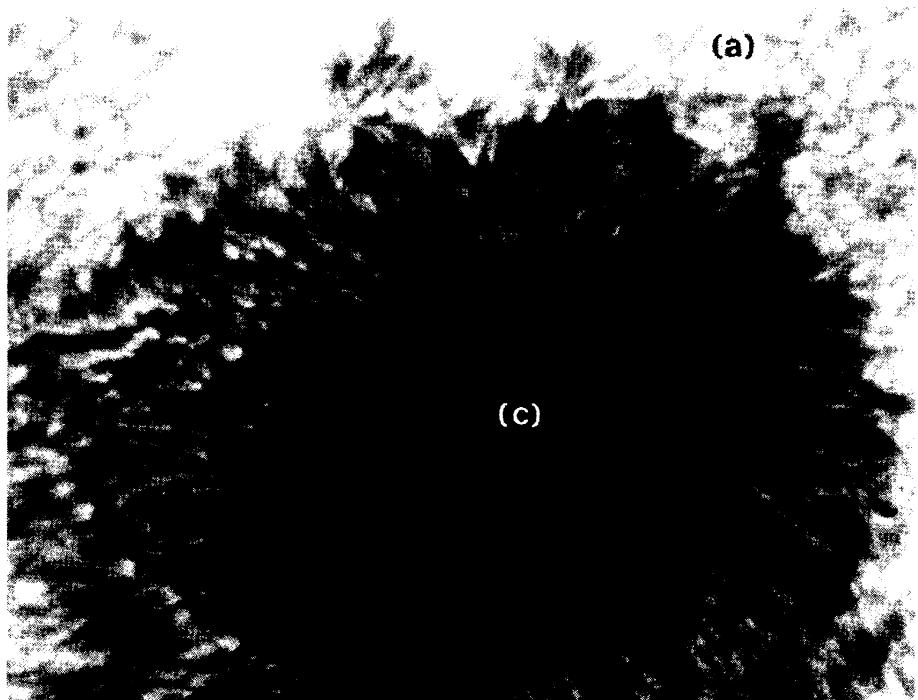
عِين موقع الظل، والظلّين، والغلاف الضوئي، الموسومة بأحرف على الشكل 10.4. كم تبلغ درجة الحرارة التقريبية للظل؟

(أ) ؟

(ب) ؟

(ج) ؟

الجواب: (أ) الغلاف الضوئي؛ (ب) الظلّين؛ (ج) الظل، 4200 كلفن.



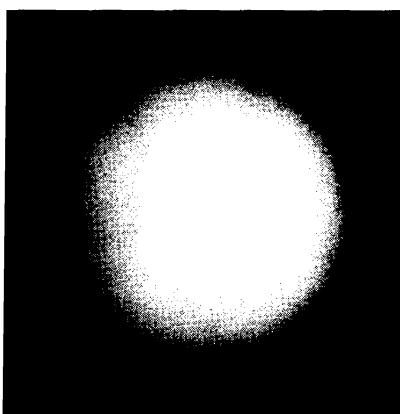
الشكل 4.10.4 الظلُّ والظليلُ في بقعة شمسية. لاحظ التحبيب في الغلاف الضوئي المحيط.

4.10 دورات الفعالية الشمسية

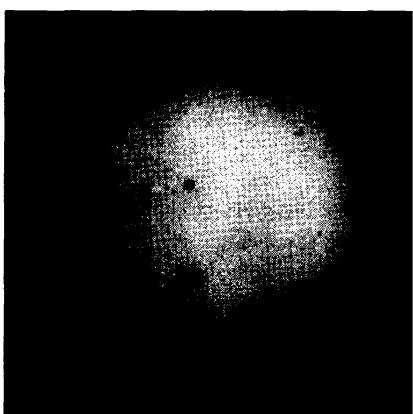
قد يظهر في وقت ما أكثر من 300 بقعة على قرص الشمس دفعَةً واحدة، وقد لا يظهر منها شيءٌ على الإطلاق. يرتفع عدد البقع بانتظام إلى حدٍ أعظمي وينخفض إلى حدٍ أدنى في دورةٍ أمدها نحو 11 سنة، تسمى دورة الكلف الشمسي sunspot cycle.

ودورة الكلف هذه في حد ذاتها من مظاهر دورة الفعالية الشمسية solar activity cycle، وتحظى بمراقبة دقيقة من الأرض (الشكل 11.4). تبقى الشمس في أعلى درجات فعاليتها على مدى قرابة أربع سنوات تكون فيها أعظم اندفاعات الطاقة والإشعاع على أشدّها. وفي غضون هذه المدة يبلغ

حضيض الكلف



ذروة الكلف



شكل 11.4 صورة فوتوغرافية بالضوء الأبيض للشمس في مراحلتين مختلفتين من دورة فعاليتها

بدد الكلف قيمة عظمى، وهو ما يسمى ذروة الكلف sunspot maximum ويشار هنا إلى أن أقرب الفعاليات القياسية عهداً حدثت سنة 200
عندما ارتفع عدد الكلف الشمسية ارتفاعاً كبيراً. وتكون الشمس أدنى ،
ممكن فاعلية على مدى السنوات التي يكون فيها الكلف عند حدّه الأدنى
هو ما يسمى حضيض الكلف sunspot minimum .

هذا ولا يستطيع علماء الفلك التنبؤ بقرب حدوث فعالية شمسية ، غرب
هم يسعون إلى فهم دورة الفعالية الشمسية فهماً عميقاً يمكنهم من إطلا
بُّؤيات سديدة .

لماذا كان من المهم متابعة تطور دورة الكلف الشمسي؟

أجواب : تكون الشمس في فاعلية عظمى في غضون سنوات ذروة الكلف
نسكب أعظم كمية من الطاقة والإشعاع في محيط الأرض .

تشبه البقع الشمسية بمعانٍ هائلة. وهي مناطق من الحقول المغناطيسية القوية التي تفوق في قوتها الحقل المغناطيسي للأرض آلاف المرات.

ويتمكن كشف الحقل المغناطيسي لبقعة شمسية قبل رؤية البقعة نفسها وبعد زوالها. من هنا فإن من المحتمل أنَّ الحقول المغناطيسية تحدد الأحوال الموضعية على الشمس وتحكم فيها. يحلل علماء الفلك الحقول المغناطيسية عن طريق قياس انتشار خط زيمان الطيفي (الفقرة 10.3).

ثمة حقلٌ مغناطيسيٌ آخر أضعف ينتشر فوق الشمس بкамلاً، وهو ذو قطبَين مغناطيسيَّين: شماليٌ وجنوبيٌ، يميل المحور المغناطيسي فيه بمقدار 15° بالنسبة إلى محور الدوران. وهذا الحقلُ منسَطِرٌ إلى نصفِي كره. يسمى مظهارُ display قوة الحقل المغناطيسي راسِمَ المغناطيسية magnetograph.

يتشرَّدُ الحقلُ المغناطيسي للشمس على الأرجح من نصف كرتها الشمالي ممتداً عبر المنظومة الشمسية، وصولاً إلى كوكب بلوتو، نحوَ من 6 مليارات كيلومتر (4 مليارات ميل). وما إن يقترب من حافة المنظومة الشمسية حتى ينبعُ عائدًا إلى نصف الكره الجنوبي للشمس.

إلا أنَّ الحقلَ المغناطيسيَّ الشمسيَّ المعقد يتولَّ بفعل الحركات الدورانية rotational والحملية convective للجسيمات المشحونة كهربائيًا، التي تؤلُّفُ غازاتِ الشمسِ الحارَّة. ومن شأنه فيما يلي تنشيط الاندفاعات الدقيقية العنيفة للمادة والإشعاع على الشمس، وتفعيُّلها والتحكم فيها.

تنعكس قطبيةُ polarity الحقل المغناطيسي للشمس كلَّ 11 سنة تقريباً، بعْدَ أوان ذروة الكلف. ويطلب الأمرُ دورَتَيَّ كلَف متتابعتين مدةً كلَّ منها زهاء 11 سنة ليتمكن قطباً الشمس المغناطيسيَّان، وكذلك القطبية المغناطيسية للكلف، من تكرار سيرتهما. واستناداً إلى ذلك فإنَّ دورة الفعالية الشمسية

تستغرق 22 سنة عند احتساب طول المدة اللازمة للشمس كي تعود إلى وضعها الأصلي.

ما الذي يرجح أنه يذكي الاندفاعات الدقيقية العنيفة للمادة، التي تحدث على الشمس؟

الجواب: حقول مغناطيسية قوية جداً في موقع البقع الشمسية.

لمعاينة الحقل المغناطيسي بنفسك ضع مغناطيساً تحت قطعة من الورق، وانثر شيئاً من برادة الحديد برفق على سطحها العلوي ترَ أن البرادة قد انتظمت وفقاً لقوية الحقل المغناطيسي. وبإظهارها المناطق التي تمثل القوة المغناطيسية فهي تجعل الحقل مرئياً لك.

ما الذي يرجح أنه يحيي مسار العاز الملفوظ في السنة اللهب الشمسية ويتحكم فيه؟

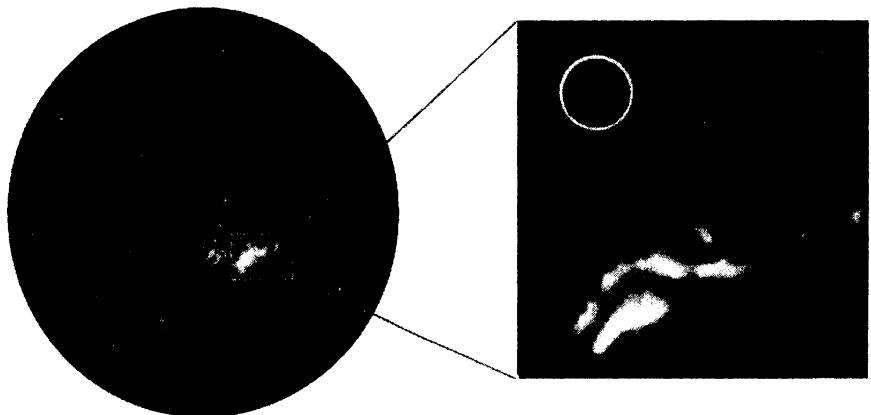
الجواب: حقول مغناطيسية قوية على مقربة من البقع الشمسية.

12.4 السنة اللهب والشواظ

لسان اللهب الشمسي solar flare دفق انفجاري هائلٌ ومفاجئ من الضوء، والإشعاع غير المرئي، والمادة، ينبعث من الشمس. ولتمثيل عظمه نقول إن لسان لهب كبيراً واحداً قد يحرّر من الطاقة كميةً تعادل ما يستهلكه العالم بأسره في مدة 100,000 سنة (الشكل 12.4).

لكن السنة اللهب قصيرة الأجل، فهي تدوم عادةً بضع دقائق، مع أن أكبرها قد يدوم بضع ساعات. وهي تحدث بالقرب من البقع الشمسية، ولا سيما في أوقات ذروة الكلف. ويبدو أن السنة اللهب تذكيرها الحقول المغناطيسية الموضعية القوية (الشكل 13.4).

يحدث لسان اللهب عادةً عقب أكثر الاندفاعات الشمسية نشاطاً وفاعليّةً



الشكل 12.4 صورة للسان لهب شمسي بقطر 300,000 كيلومتر (180,000 ميل) يغطي أكثر من 5,2 مليارات كيلومتر مربع (2 ملياراً ميل مربع) من سطح الشمس، التقطت بالساتل الرئيسي الأمريكي SMM. الصورة الداخلية الصغيرة - المكثرة 20 مرة إلى اليمين - تُظهر إصداراً فوق بنفسجي من اللسان. النقطة السوداء تمثل حجم الأرض للمقارنة.

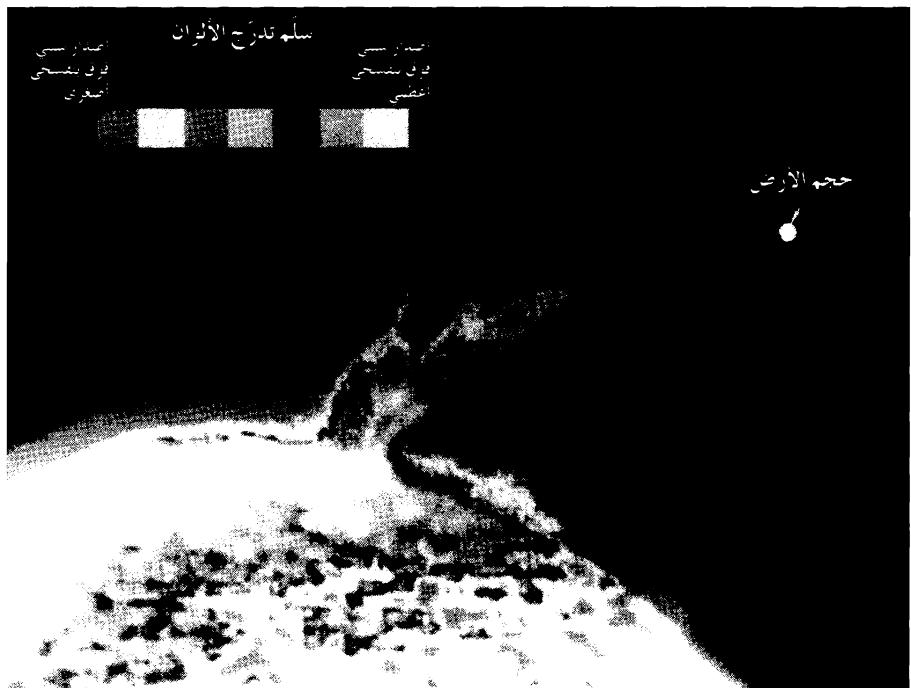
على الإطلاق، وهو اللفظ الإكليلي الشامل coronal mass ejection، الذي يقذف بالبلازما من الإكليل نحو الخارج. وقد يكون اللفظ الإكليلي مصحوباً بما يُعرف بالشواظ الشمسي prominence، وهو قوسٌ ناريَّةٌ من الغازات المتأينة على حافة الشمس، ترتفع عشراتآلاف الكيلومترات في جو السماء (الشكل 1.4).

ما الذي يترجح أنه يحني مسار الغازات الملفوظة في ألسنة اللهب والشواظ الشمسي؟

الجواب: حقوق مغناطيسية قوية على مقربة من البقع الشمسية.

13.4 كيف تؤثر ألسنة اللهب الشمسية في الأرض

يمكن أن يقذف لسان لهب ضخم كميات لا تكاد تصدق من الإشعاع



الشكل 4.13 صورة بالأشعة السينية وفوق البنفسجية للسان لهب شمسي، طُوّعت لتلحظ مستويات السطوع. النقطة البيضاء تمثل الأرض للمقارنة الحجمية.

العالي الطاقة والجسيمات المشحونة كهربائياً في المنظومة الشمسيّة - كميات من الطاقة تعادل طاقة مiliar قبالة هيدروجينية منفجرة.

تصل أشعة غاما والأشعة السينية وفوق البنفسجية الصادرة عن ألسنا اللهب إلى الأرض في غضون ثمانين ثانية دقائق لا أكثر، على حين تصل جسيمات السنة للهب بعد ذلك بساعات بل أيام. ومن شأن هذه الجسيمات أن تقضي على الحياة على الأرض لو لا أن كوكبنا مصنوع بحقله المغنتيسي وغلافه الجوي. من هنا تبرز ضرورة تزويد المسافرين على متان طائرات أو مركبات فضائية تفوق الصوت سرعةً بوسائل حماية مناسبة أيضاً.

وعند ارتطام الجسيمات العالية الطاقة، الصادرة عن الشمس، بجو

الأرض، قد يتسبب ذلك في استشارة الذرات والأيونات الجوية، فتصدر ضوءاً تولّد منه ظواهر السُّقُق القطبي . auroras

فالشقق القطبي الشمالي aurora borealis (أو northern lights) والشقق القطبي الجنوبي aurora australis (أو southern lights) شرائطٌ مثيرةٌ من الضوء تسطع في سماء الليل أحياناً، في المناطق القطبية: الشمالية والجنوبية من الأرض في المقام الأول، مع إمكان حدوثها أيضاً عند خطوط العرض المتوسطة لِماماً. لكن الفعالية الشفقية القصوى تحدث حول قطبي الأرض المغناطيسيين. يُذَكَّر أن الظواهر الشفقية تُرى بعد نحو يومين من ظهور لسان لهب شمسي، وتبلغ ذروتها بعد نحو عامين من ذروة كَلْف شمسي.

من جهة أخرى، فإن الاندفاعات الانفجارية القوية لجسيمات السنة اللَّهَب التي تتأثر interact مع الحقل المغناطيسي الأرضي، قد تتسبب في حدوث عواصف مغناطيسية magnetic storms لا تعمل معها البوصلة بصورة طبيعية. بل قد تتسبب السنة اللَّهَب بحدوث عواصف جوية، وتمُّورات⁽¹⁾ surges في التيار الكهربائي والخطوط الهافافية، وأوقات تعتم كاملاً.

يُسخن الإشعاع العالي الطاقة لألسنة اللَّهَب الغلاف الجوي الخارجي، فيتمدد. ثم تزداد قوة الاحتكاك friction والسحب drag على السواتل الطوافية في مدارات منخفضة. وتكون قوة السحب أعظمية في أوقات الفعالية الشمسية القصوى، عندما يصبح من المحتمل أن تهبط السواتل خارجةً عن مداراتها، وتتحطم لدى دخولها جوًّا الأرض من جديد. ونشير هنا إلى أن محطة سكاي لاب الأمريكية (سنة 1979) و SMM (سنة 1989) كانتا من «ضحايا» الذُّرَى الشمسية. ومع ازدياد التأين، يمكن أن تعطل السنة اللَّهَب الإرسال الراديوي .

ولئن كان للأمسنة الشمسية مثل هذا التأثير المباشر في الحياة الحديثة، فلا غرور في أن يجتهد علماء الفلك في مراقبة الحقل المغناطيسي للشمس وفاعليتها مراقبة دقيقةً و يوميةً. لكنَّ أحداً لا يستطيع حتى اليوم أن يتنبأ بموعد حدوث لسان لهب (الشكل 14.4). ويبقى الاعتماد الرئيسي في ذلك منصبًا على التحذيرات التي تأتي في الوقت المناسب، عن ألسنة لهب قد تؤثر في الأرض.



الشكل 14.4 آثار ألسنة اللهب الشمسية في بيئة الأرض.

اذكر اثنين من آثار ألسنة اللهب الشمسية الكبيرة في التكنولوجيا الحديثة على الأرض.

(1) ; (2)

الجواب: (1) تعطيل منظومات الطاقة الكهربائية؛ (2) تعطيل منظومات الاتصال الراديوي.

14.4 الريح الشمسية

الريح الشمسية solar wind هي بلازما، أو فيوضٌ من جسيمات نشطة مشحونة كهربائياً تتدفق من الشمس في كل الأوقات. وهي أكثر سرعةً وضيقاً وحرارةً بكثير من أي ريح على الأرض.

تُرصد الريح الشمسية بأجهزة تحملها مركبات الفضاء فوق الغلاف الجوي للأرض. ويبلغ معدلُ سرعتها قرب الأرض نحوَ من 450 كيلومتراً في الثانية (1 مليون ميل في الساعة). ويقارب زمان انتقالها من الشمس إلى الأرض أربعةَ أيام، لو لا أن الغلاف الجوي للأرض وحقولها المغناطيسية تحمينا عادةً من الآثار المؤذية للريح الشمسية.

تحدث «هبات» عنيفة من الريح الشمسية في أوقات ظهور ألسنة اللهب الشمسية، وتكون الريح على أشدّها في الأوقات التي يكون فيها كثيرٌ من البقع الشمسية مرئياً، والنشاط الشمسي كبيراً، علمًا بأن الريح الشمسية القوية قد تولد مظاهر شفق قطبيّ ساطع جداً.

تنشأ الريح الشمسية بالدرجة الأولى من الثقوب الإكليلية coronal holes، وهي مناطق في إكليل الشمس تكون الغازات فيها أقلَّ كثافةً بكثير من سائر المناطق. ويلاحظ أن الحقول المغناطيسية ضعيفةً نسبياً هناك، وهذا ما يسمح بانفلات دفقات من الريح الشمسية العالية السرعة.

في هذا الإطار تستمر الأجهزة العلمية على متن سفينة الفضاء فوياجر Voyager (الفقرة 12.8) بقياس الريح الشمسية في ما وراء مدار كوكب نبتون Neptune، وتمكنَت من كشف ما يسمى الانقطاع الشمسي heliopause، وهو الحدُّ الذي توقف عنده فاعلية الريح الشمسية.

..... ما هي الريح الشمسية؟

15.4 سبب باطن الشمس

كان العلماء - حتى عهد قريب - على يقين من صحة إدراكمهم للسبب الكامن وراء سطوع الشمس. إلا أن تجارب النيوتروينات الشمسية solar neutrino experiments أثارت بعض الشكوك.

فالطاقة الشمسية تتولد نظرياً عن طريق تحول الهيدروجين إلى هليوم بتفاعلات اندماج نووي. وبهذه التفاعلات نفسها تتولد أيضاً النيوتروينات الشمسية solar neutrino⁽¹⁾، وهي جسيمات أولية elementary particles interact الواهي مع المادة ونفاذها الحرّ خاللها⁽²⁾.

وإذ يتعدّر على العلماء بالطبع النظر مباشرةً في أعماق لبّ الشمس لاختبار صحة نظرياتهم، فإنّهم يتبنّون بأن النيوتروينات المتولدة في اللب لا بدّ من أن تنفلت، لذلك فهم يبحثون عن النيوتروينات الشمسية بدلاً من ذلك ويدرسونها.

فإذا كُشف عن وجود نيوتروينات في المقدار المتكتَّن به نظرياً، كان ذلك دليلاً على صحة النظرية.

هذا وقد نَصَبَ العلماء مصائد نيوتروينات في أعماق الأرض، فكان عدُّ ما كُشفَ منها، على مدى السنوات العشرين الفائتة في مختبرات تحت أرضية في الولايات المتحدة وأوروبا واليابان وروسيا، أقلَّ من العدد الذي توقعوه نظرياً. ولربما ساعفت تحاليل وتجارب علمية إضافية أكثر دقةً واستقلالاً بتفسير مسألة النيوتروينات الشمسية solar neutrino problem هذه.

(1) الجسيم الأولي: جسيم لا يمكن وصفه - بمعايير المعرفة الحالية - بأنه مركب، وهو من ثم واحدٌ من المكونات الأساسية لكلِّ أشكال المادة والطاقة التي هي أصغر وأقلَّ تعقيداً من الذرات. (المعَرب)

(2) تصور أن جسمك يخترقه في كل لحظة نحو تريليون نيوتروين قادم من الشمس دون أن يمسّك سوءاً! (المعَرب)

وعلم الزلازل الشمسية helioseismology مبحث جديد يدرس البنية الداخلية للشمس وأحوالها، عن طريق قياس الذبذبات العامة على سطحها؛ فتشير أمواج الضغط هناك إلى الكثافة ودرجة الحرارة ومعدل الدوران في جوف الشمس، تماماً كما تكشف أمواج الزلزالية الأرضية عن باطن الأرض. تُرصد الذبذبات الشمسية طيفياً بمشاهدة ازيادات دوبلر في خطوط طيفية معينة (الفقرة 9.3). أما علم الزلازل الفلكية astroseismology فيوسّع هذه الدراسة لتشمل نجوماً أخرى.

أعطِ تفسيرَيْن محتملَيْن للقلة غير المتوقعة لعدد النيوترينيوات الشمسية التي كشفتها التجارب حتى اليوم.

(1)

(2)

الجواب: (1) إدراكنا للعمليات الجارية في باطن الشمس؛ أو (2) خطأ إدراكنا لطبيعة النيوترينيوات أو نقصه. (يعتمد الفلكيون على نتائج التجارب).

16.4 صفات مشتركة

يبدو أن في النجوم الأخرى مناطق تتّصف بنشاط عنيف، كتلك التي في الشمس، ويشمل ذلك البقع النجمية starspots ودورات البقع النجمية starspot cycles، مع الأخذ في الحسبان البُعد الشاسع للنجوم بحيث يتغيّن هنا استنباط هذه الصفات بطريقة غير مباشرة. وتدل أحدث الأرصاد السينية درجة سطوعها، لا عن طريق رصدها مباشرة. وتبلغ درجة حرارتها مليون على أن جلّ أنواع النجوم لها أكاليل متشابهة، وتبلغ درجة حرارتها مليون درجة على الأقل.

(وسع النبأ لتشمل النجوم الأخرى)، واذكر سببها المحتمل

الجواب: يجب أن تتضمن إجابتك نبأً عن:

- (1) الكلف الشمسي، أو البقع المؤقتة القاتمة اللون والباردة نسبياً على الغلاف الضوئي للشمس؛
- (2) ألسنة اللهب، أو الدفقات الانفجارية المفاجئة والقصيرة الأجل من الضوء والمادة قرب بقعة شمسية؛
- (3) ظواهر الشواط، أو الأقواس النارية من الغازات المتآينة على حافة الشمس.

ويبدو أن النشاط العنيف للشمس ينشأ في معظمها عن حقول مغناطيسية موضعية قوية جداً، وينضبط وفقاً لها.

17.4 الحركات في الفضاء

تجري الشمس عبر فضاء الكون بسرعة كبيرة، شأن سائر النجوم الأخرى. وتتجه - بالنسبة إلى النجوم القريبة منها - نحو كوكبة هرقل (الجاثي) Hercules بسرعة 20 كيلومتراً في الثانية (45,000 ميل في الساعة)، مصطفحةً كواكبها التسعة من المنظومة الشمسية⁽¹⁾.

تقع الشمس وكواكبها داخل مجرة درب التبانة Galaxy Milky Way،

(1) قال الله تعالى: ﴿وَالشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقْرٍ لَهَا ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ﴾. [يس 38] (المعرب)

وهي تدور حول مركز المجرة في الوقت الذي تدور فيه المجرة كلها سابحةً في الفضاء الكوني الفسيح. وتبعد سرعة الشمس قرابة 250 كيلومتراً في الثانية (563,000 ميل في الساعة) (الفقرة 2.6).

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل الرابع وتمثّلها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهدًا استطاعتك، ثم انظر في الأوجبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. اذكر ثلاثة أسباب تحمل علماء الفلك اليوم على دراسة الشمس.

(1)

(2)

(3)

2. قابل كلاً من الأعمال التالية بحسب أداؤه تؤديه :

(أ) يصور العمليات الجارية في أشد مناطق الشمس نشاطاً وحرارة.

(ب) يصور الإكليل فوتografياً خارج الكسوف الشمسي.

(ج) يصور السطح المرئي للشمس.

(د) يصور الشمس فوتografياً في ضوء عنصر معين.

(هـ) يستقبل أمواجاً راديوية شمسية ويسجلها.

(1) راسم الإكليل الشمسي.

- (2) المقرب الشمسي البصري .
(3) المقرب الراديوي .
(4) راسم الطيف الشمسي .
(5) مقاريب الأشعة فوق البنفسجية والسينية وأشعة غاما .
- 3. عَرْفُ الْوَاحِدَةِ الْفَلَكِيَّةِ
4. ارسم رسمًا تخطيطيًّا للشمس، وعيّن عليه الإكليل، وغلاف اللون، وغلاف الضوء، ومنطقة الحمل، ومنطقة الإشعاع، واللب .
5. قدر : (أ) قطر الشمس ؛ (ب) كتلتها ؛ (ج) درجة حرارتها السطحية .
..... ؛ (ب) ؛ (ج)
6. لماذا ترافق دورة البقع الشميسية بدقة من الأرض ؟
7. فيما يلي تعريفات لظواهر شمسيّة ؛ طابق بين كلّ تعريف واسمه :
..... (أ) منطقة منخفضة الكثافة في الإكليل ، حيث تنشأ الريح الشمسيّة .
..... (ب) خلية ساطعة تشبه حبة من الأرز في الغلاف الضوئي .
..... (ج) لطخ قاتم وبارد نسبيًا في الغلاف الضوئي الساطع .

- (د) جسيمات أولية يتكون العلماء أنها تولد من تفاعلات نووية في اللب.
- (ه) دفق انفجاري عظيم وقصير الأجل من الضوء والمادة.
8. ما هي الريح الشمسية؟
9. اذكر أربع وسائل يستطيع بها لسان اللهب ودفقات الريح الشمسية الكبيرة جداً التأثير في بيئه الأرض.
- (1)
- (2)
- (3)
- (4)
10. (أ) ما هو الثابت الشمسي؟. (ب) ولماذا كان من المهم معرفة: هل هو ثابت حقاً أم أنه يتغير مع الزمن؟

الأجوبة

قارن أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتها صحيحة كلّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأت في بعضها فعد إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقة أكبر إذا تعددت أخطاؤك.

1. (1) الشمس مصدر مجاني مرسّل وحالص من التلوث لا يكاد ينضب للطاقة الحالية والمستقبلية الكامنة.

(2) وهي النجم الوحيد القريب متناسبياً بدرجة تكفي لرصده ودراسته بإسهاب، ولذلك يتّخذه الفلكيون إماماً لتعريف ماهية نجوم أخرى.

(3) تؤثر تغييرات خرج الطاقة الشمسية في مناخ الأرض وجوهاً، وكذلك في منظومات نقل الطاقة والاتصالات.

(الفقرتان 1.4 و 4.13)

2. (أ) 5؛ (ب) 1؛ (ج) 2؛ (د) 4؛ (ه) 3.

(الفقرة 7.4)

3. الواحدة الفلكية (AU) هو متوسط البُعد بين الأرض والشمس، وهو يناهز 150 مليون كيلومتر (93 مليون ميل) (أو 149،597 كم بالتحديد).

(الفقرة 2.4)

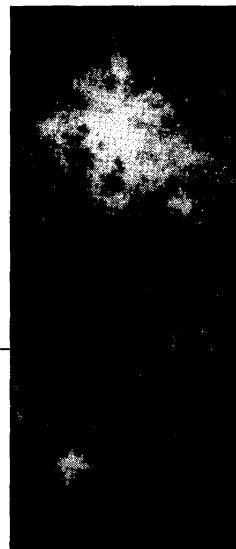
4. انظر الشكل 6.4 (مناطق الشمس).

(أ) الإكليل؛ (ب) الغلاف اللوني؛ (ج) الغلاف الضوئي؛
 (د) منطقة الحمل؛ (ه) منطقة الإشعاع؛ (و) اللب

- (الفقرة 4.4)
- . 5. (أ) 390,000، 1 كيلومتر ($864,000$ ميل)؛ (ب) $10^{30} \times 2$ كغ؛
 (ج) 5800 كلفن ($10,000$ ° فارنهایتیه).
- (الفرقات 4.4 و 4.6)
- . 6. ترافق دورة البقع الشمسيّة بدقة من الأرض بوصفها مؤشراً إلى نشاط شمسي. وتكون الشمس في أوج نشاطها (ومن ثم في أوج دفعها للطاقة والإشعاع) في السنوات التي يكون فيها عدد البقع الشمسيّة أعظمياً (ذروة الكلف)؛ ويكون نشاطها عند حدّه الأدنى في سنوات ضيّض الكلف.
- (الفرقات 10.4 و 13.4 و 14.4)
- . 7. (أ) 3؛ (ب) 2؛ (ج) 5؛ (د) 4؛ (ه) 1
 (الفرقات 8.4 و 9.4 و 12.4 و 14.4 و 15.4)
- . 8. دفق من الجسيمات النشطة المشحونة كهربائياً، ينساب من الشمس.
- (الفقرة 14.4)
- . 9. (1) تزايد الإشعاع الخطير؛
 (2) ظواهر الشفق القطبي؛
 (3) العواصف المغناطيسية؛
 (4) العواصف الجوية.
- (الفرقتان 13.4 و 14.4)
- . 10. (أ) الثابت الشمسي هو كمية الطاقة الشمسيّة التي تنسكب على الغلاف الجوي الخارجي للأرض كل ثانية، وهي تناهز 1400 واط/ م^2 (126 واط/ قدم^2).

5

التطور النجمي



إن لكل شيء أواناً، ولكل مرأة تحت السماء وقتاً مقدراً. ثمة
ساعة للولادة وساعة لحلول الأجل .

(سفر الجامعة) 3:1-2

الأهداف:

- تعريف التطور النجمي .
- ذكر مراحل دورة حياة نجم كالشمس وفقاً للنظرية الحديثة للتطور النجمي .
- بيان أهمية مخطط H-R في نظريات التطور النجمي .
- بيان العلاقة بين عمر نجم وموقعه على مخطط H-R .
- ذكر المراحل الثلاث الرئيسية لولادة نجم .
- وصف ميزان الطاقة وميزان الضغط في نجوم من التسلسل الرئيسي .
- مقاييس ما يحدث في المراحل المتقدمة لتطور النجوم الكبيرة الكتلة والصغيرة الكتلة: السُّدُم الكوكبية ، والأقزام الٍبيض ، والمستعرات

- الفائقة، والنجوم النباضة/النtronية، والثقوب السوداء.
- تَعْرُفُ السُّدُمُ، والتسلسل الرئيسي، والعملاق الأزرق، والعملاق الأحمر، والنجوم المتغيرة النباضة التي يمكن رصدها في السماء.
 - بيان طريقة رصد المستعرات الفائقة والنجوم النباضة.
 - تحرّي منشأ العناصر الكيميائية المختلفة، وأهمية المستعرات الفائقة للأجيال الجديدة من النجوم.
 - إبراد دليل رصدي عن الثقوب السوداء.

1.5 دورة حياة النجوم

ليس ثمة نجم يبقى ماضياً إلى الأبد. والتطور النجمي stellar evolution هو ما يطرأ على النجوم من تغيرات مع الزمن، وهذا ما يسمى دورة حياة النجوم life cycle of stars. ويتعذر بالطبع رصد هذه التغيرات رصداً مباشراً لأنها لا تحدث بين عشية وضحاها، وإنما على مدى ملايين، بل مليارات السنين. ويعتمد علماء الفلك مبادئ نظرية في التطور النجمي تتفق وقوانين الفيزياء، ثم يتحققون صحة هذه المبادئ عن طريق رصد نجوم حقيقية ساطعة في السماء.

لإجراء عملية التحقق هذه يستعين العلماء بمخططات H-R، فيقدّمون توقعات نظرية تتعلق بسلسلة تغيرات في ضيائية النجوم ودرجة حرارتها منذ ولادتها وحتى انشارها. تُثبت هذه التغيرات على مخطط H-R، فتؤلف ما يسمى مسارات التطور tracks of evolution النظرية. تقارن مخططات H-R النظرية بعد ذلك بمخططات H-R موضوعة استناداً إلى أرصاد مجموعات نجوم حقيقية (الفقرة 4.6).

إن التوقعات التي تقدّمها نظرية التطور النجمي الحديثة modern theory of stellar evolution، الواردة في هذا الفصل، تنسجم تماماً والمعطيات المتحصلة من أرصاد نجوم حقيقة.

ي النجوم بمرور الزمان عليها، أي دور

د في الفضاء. ويرى العلماء أن السُّخْرَةَ من الغاز والغبار لا بدَّ من أن تكون هي

حابة في الفضاء حيث تتكون الآن نجوم 500 المعروف، الواقع على بعد نحو طقة تكوين نجمي كثيف (الشكل ١.٥).



ابحث عن سديم الجبار في فصل الشتاء؛ إنه يقع في سيف الجبار على خريطة السماء في الشتاء، ويبعد عينك رقعةً ضبابية. فإذا نظرت إليه من خلال مقراب تراه متوجهاً بلون يميل إلى الخضراء، ذلك لأن الغازات تتوجه بفعل النجوم الحارة الحديثة التكوّن في المنطقة. وهذا السديم مرتبط بسحابة أكبر بكثير لكنها غير مرئية.

..... هل هناك نجوم جديدةً مازالت تولد اليوم؟ أين؟

الجواب: نعم، في سحب عملاقة من الغاز والغبار، من قبيل سديم الجبار.

3.5 ولادة نجم

نسمى النجم في أولى مراحل تطوره نجماً أولياً وليداً protostar. ويمكنك القول إنه نجم يولد الآن.

تتكوّن النجوم الوليدة اتفاقاً على شكل كتلٍ عالية الكثافة داخل سحب غازية (معظم تركيبها من الهيدروجين) وغبارية توجد في فضاء الكون. ويرجح أن هذه العملية تنطلق بفعل موجة صدم shock wave صادرة عن نجم منفجر (مستعر فائق).

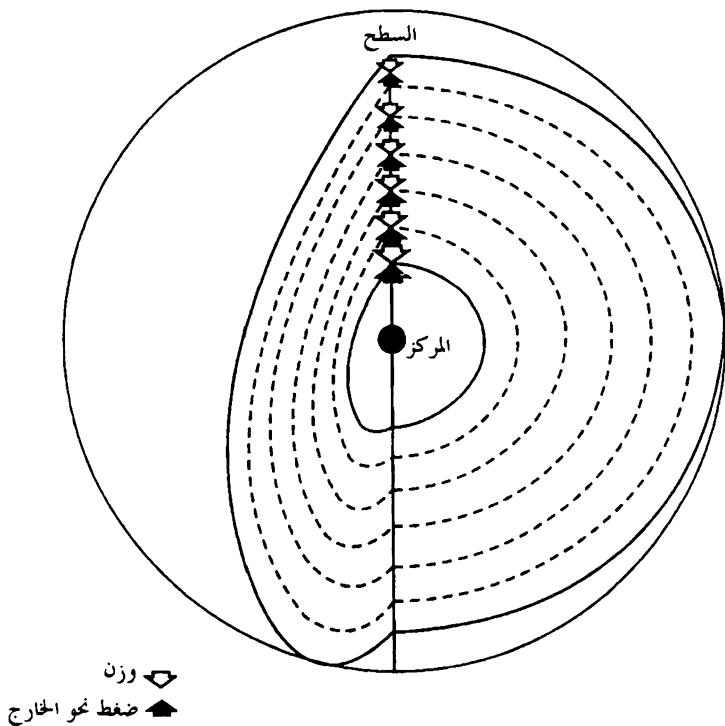
يتماضك النجم الوليد بتأثير قوة الثقالة، التي تجذب المادة بادئ الأمر إلى الداخل باتجاه مركز كتلة كثيفة، فتسبب تقلصها وتزايد كثافتها أكثر فأكثر. تستمر المادة بالتنامي على النجم الوليد في أثناء تقلصه. ويُفضي التقلص التناقيلي للسحابة والنجم إلى ارتفاع كبير في درجة الحرارة والضغط داخلهما.

تدفق الحرارة من المركز الحار للنجم الوليد إلى سطحه الذي هو أقل حرارة، فيطلقها النجم في الفضاء طاقةً تشعُّ عند الأطوال الموجية تحت الحمراء.

وفي سحابة دوارة، قد يحيط بالنجم الوليد قرص من الغبار والغاز يُطلق هو بدوره الطاقة تحت الحمراء من جديد. ومن المحتمل أن جسيمات في القرص تتنامى لتكون الكواكب (الشكل 2.12).

وعندما تبلغ درجة الحرارة في مركز النجم الوليد 10 ملايين كلفن تبدأ تفاعلات اندماج نوويٍّ تحرر منها كميات ضخمةٌ من الطاقة، التي تتولد في المركز بالسرعة نفسها التي تتحرر بها إلى الفضاء، وهكذا تبقى درجة الحرارة الداخلية العالية جداً، وكذلك درجة الضغط الداخلي العالي مصوتيين.

يتوازن ضغط الغازات الحارّة جداً نحو الخارج مع قوة الجذب الثقالي نحو الداخل (الشكل 2.5)، ويسمى هذا بالتوازن الهيدروستاتي (السكوني -



الشكل 2.5 ضغط الغاز نحو الخارج يوازن الثقالة عند كل مستوى في النجم.

السائلي) hydrostatic equilibrium. يتوقف هذا التجمُّع الأوَّلي عن التقلُّص، ويُرسِّل ضوءَ الذاتي في الفضاء باطِّرَاد ليصبح نجماً ولِيداً. وأغلب الظن أنَّ شمسنا قد ولدت بهذه الطريقة منذ نحو 5 مليارات سنة خلت.

هذا وتوَّيَّد الأرصاد الحديثة نظرية ولادة النجوم هذه وتعضدها؛ فقد أمكن تصوِّر نجوم أوَّلية في اللُّبوب الكثيفة dense cores لسُحبٍ غازية عند الأطوال الموجية تحت الحمراء. وكذلك رُصدت نفاثاتٌ من الغاز تتدفق من نجومٍ فتَّى. ولعلها تنتظم بفعل قرصٍ حول - نجميٍّ تنشأ عنه كواكب فيما بعد.

اذكر المراحل الثلاث الرئيسية لولادة نجم :

(1)

..... (2)

..... (3)

الجواب :

(1) التقلُّص التثالي ضمن سحابة غازٍ وغبارٍ؛

(2) ارتفاع في درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي؛

(3) الاندماج النووي .

4.5 أعمار النجوم

إن السُّحبَ التي تتكون فيها النجوم الوليدة لا تمثل في كُتلها أو توزُّع العناصر الكيميائية فيها. وتعتمد دورُّ حياة نجم - أي الزمن الذي يستغرقه النجم ليتطور - على كتلته mass الأوَّلية وتركيبه الكيميائي chemical composition .

فالنجوم التي تبدأ حياتها بكتل متقاربة وتركيب كيميائي متشابه تمر بمراحل تطور واحدة في زمن متقارب.

ويلاحظ أن النجوم المتماثلة التركيب الكيميائي ذات الكتلة الكبيرة جداً هي أسرع النجوم تطوراً، في حين تستغرق نجوم الكتلة المنخفضة جداً أطول زمنٍ كي تتطور.

والشكل 3.5 يمثل مسارات التطور النظرية على مخطط H-R. لاحظ تغير ضيائية النجم الأولي ودرجة حرارته وهو يتقلص ليصبح نجماً.

كم من الزمن على وجه التقرير يستغرق كلُّ من النجوم الوليدة التالية ليبلغ عمره صفرأً على التسلسل الرئيسي (أي ليولد)؟

(أ) نجوم كشمسنا ؟

(ب) نجوم أكبر كتلة من الشمس بكثير ؟

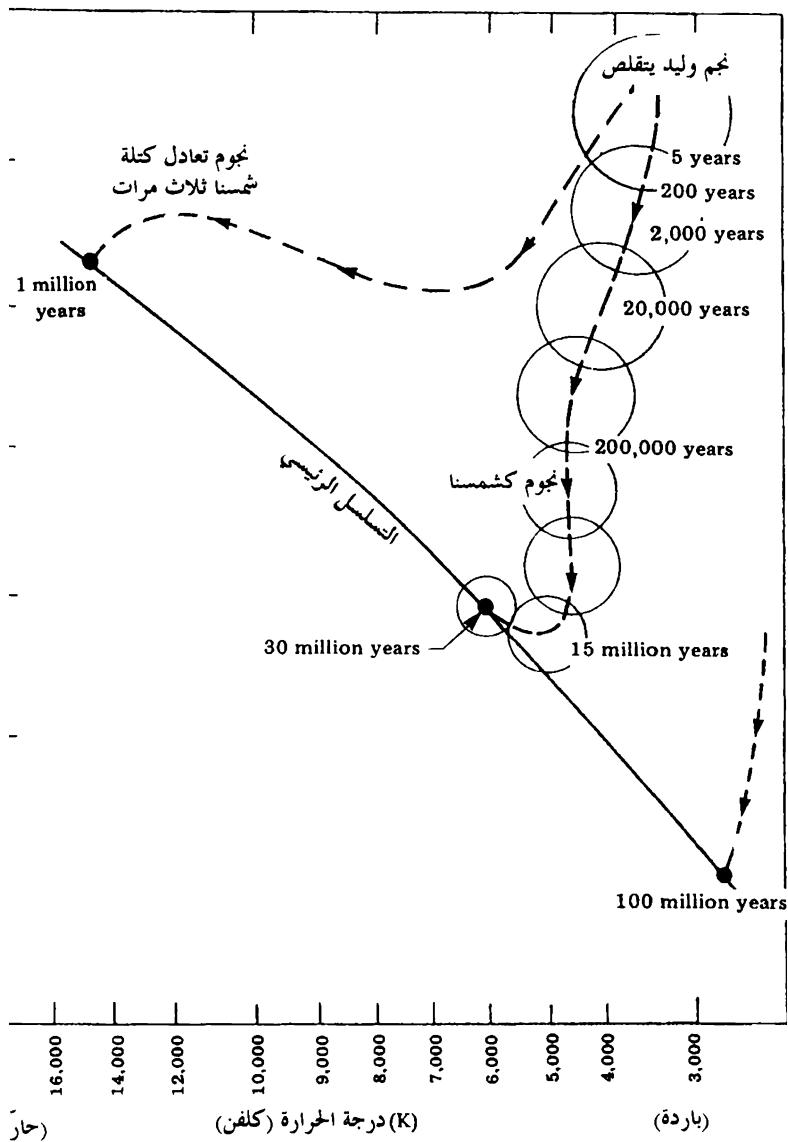
(ج) نجوم أصغر كتلة من الشمس بكثير

الجواب: (أ) نحو 30 مليون سنة؛ (ب) نحو مليون سنة؛ (ج) نحو 100 مليون سنة.

5.5 لماذا تضيء النجوم

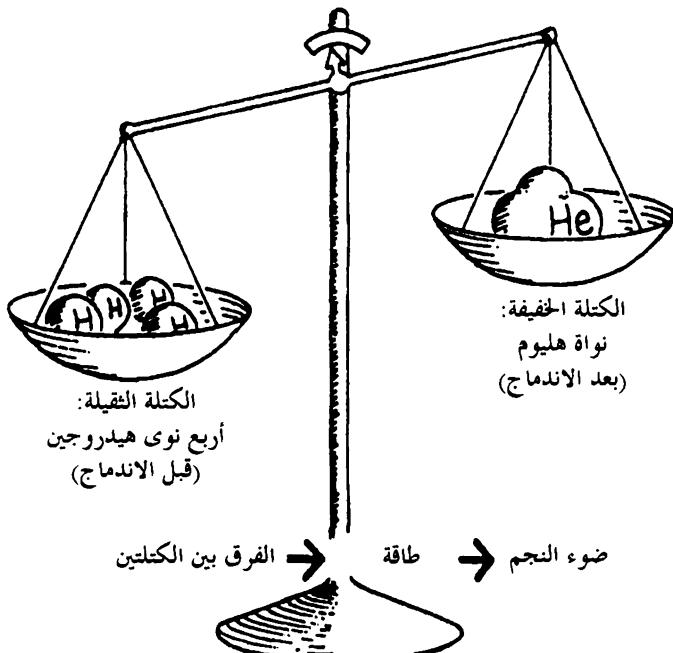
يمكنك عدُّ نجوم التسلسل الرئيسي main sequence نجوماً تامةً للتطور. وقد وجد أن تطور نجوم التسلسل الرئيسي بطىء جداً مقارنة بالتغييرات التي تطرأ على النجوم الوليدة. يقضى النجم معظم دورة حياته وهو يضيء باطراد، وتذوَّن قيم الضيائية ودرجات الحرارة على امتداد التسلسل الرئيسي لمخططات H-R.

يستمد نجم التسلسل الرئيسي طاقته من تفاعلات الاندماج النووي nuclear fusion reactions التي يتحول فيها الهيدروجين في مركز النجم إلى



لشكل 3.5 المسارات النظرية للتطور تُظهر التغيرات الضبابية والحرارية في نجوم متفاوتة الكتلة. (زمن التقلص مدون عند نقطة نهاية كل مسار).

هليوم (الشكل 4.5)؛ إذ تندمج أربع نوى هيدروجين متحولة إلى نواة هليوم واحدة أخف وزناً، وتستحيل الكتلة المفقودة إلى طاقة تتحرّر. (هذه العملية نفسها تحرّر طاقة في القنابل الهيدروجينية).



الشكل 4.5 تجربة تخيلية تُظهر لماذا تضيء النجوم. فلو كنتَ تستطيع وزن نوى الهيدروجين قبل الاندماج، ونواة الهليوم بعده، لتبينت أن نواة الهليوم أخف وزناً.

تصل الطاقة الناجمة عن تفاعلات الاندماج النووي في نهاية الأمر إلى سطح النجم، فيضيء النجم طاقة في الفضاء.

ومن الممكن حساب كمية الطاقة المتحرّرة من تفاعل اندماج نووي، من العلاقة التالية المعروفة التي وضعها عالم الفيزياء الأمريكي (الألماني المولد) ألبرت أينشتاين Albert Einstein 1879 - 1955 :

$$E = mc^2$$

حيث $E = \text{الطاقة}$ ، $m = \text{فرق الكتلة}$ ، $c = \text{سرعة الضوء}$

تفرض هذه المعادلة بأنه عند حدوث عدة تفاعلات اندماج نووي في وقت واحد، تتحرر كميات هائلة من الطاقة. فالشمس كروة عظيمة من غازات بالغة الحرارة، تضيء إضاءة ثابتة مطردة، من غير أن يطرأ عليها تغير محسوس في حجمها أو في درجة حرارتها. وملحوظ أن ما يقدر بخمسة ملايين طن من الهيدروجين لا بد من أن تتحول فيها إلى هليوم كل ثانية لتوليد ضيائهما، ومع ذلك فإن أقل من 0,01 في المئة فقط من كتلة الشمس الإجمالية يتحول إلى أشعة شمسية في غضون مليار سنة.

ما هو مصدر الطاقة الذي يحمل نجوم التسلسل الرئيسي على الإضاءة؟

الجواب: تفاعلات الاندماج النووي التي يتحول فيها الهيدروجين إلى هليوم.

5.6 شيخوخة النجوم

يستمر النجم بالإضاءة باطراد وثبات، بصفته نجم تسلسل رئيسي، إلى أن يتتحول كامل الهيدروجين المتاح في لبّه إلى هليوم. عندها يبدأ النجم بالاندثار.

والشمس نجم متوسط الحجم، مضى عليه حتى اليوم مضيئاً مستقراً من نجوم التسلسل الرئيسي نحو من 5 مليارات سنة، ويُنتظر أن يستمر في إضاءته المطردة لخمسة مليارات سنة أخرى.

وأقصر النجوم عمراً وأسرعها اندثاراً النجوم الساطعة الحارة ذات الكتلة الكبيرة جداً، ذلك لأنها أسرع في استنفاد هيدروجينها؛ فالنجم العملاق الزُّرق الكبيرة الكتلة (من مثل رجل الجبار Rigel في كوكبة الجبار Orion) لا

تقضي أكثر من بضعة ملايين السنين مضيئَة في التسلسل الرئيسي.

أما أطول النجوم عمرًا فهي النجوم المعتممة الباردة ذات الكتلة الصغيرة جداً، لأنها أبطأ في استنفاد هيدروجينها؛ فالأقزام الحُمر الصغيرة الكتلة هي أقدم النجوم عمرًا وأكثرها عدداً من بين نجوم التسلسل الرئيسي، إذ قد تصل أعمارها مليارات السنين.

ما أنواع النجوم التي يُتوقع لها أن تكون

(أ) أطول عمرًا من غيرها؟

(ب) أقصر عمرًا من غيرها؟

(ج) كم من الزمن على وجه التقرير يُتوقع للشمس أن تستمر في سطوعها الحالي؟

الجواب: (أ) نجوم الكتلة الصغيرة، كالأقزام الحُمر؛ (ب) نجوم الكتلة الكبيرة جداً، كالعمالقة الزُرقاء؛ (ج) زهاء 5 مليارات سنة.

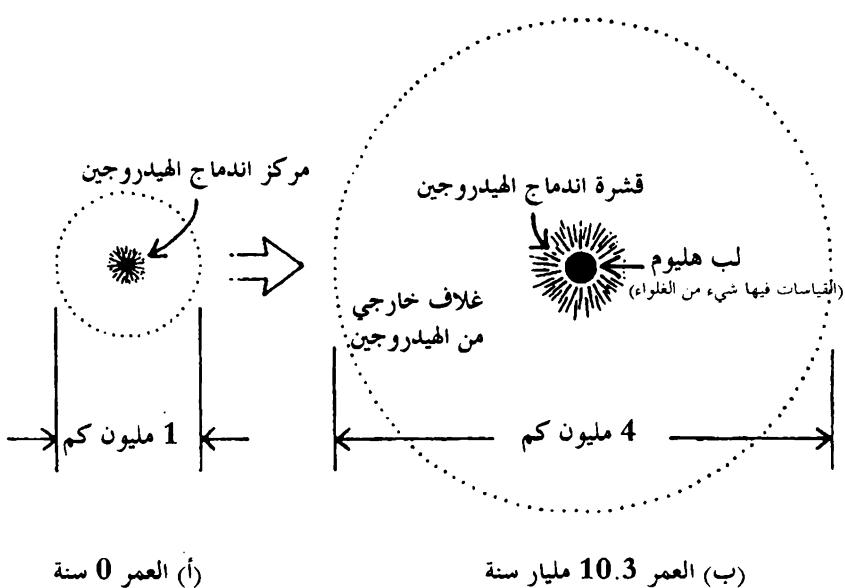
7.5 العمالقة الحُمر

بعد استنفاد وقود الهيدروجين في لب النجم، عاد النجم الآن بدون مصدر للطاقة يغذيه، فيبدأ لبُه - الذي غدا مؤلِّفاً من الهليوم في المقام الأول - بالتكلُّص ثقاليًّا. ويستمر اندماج الهيدروجين عند الحد الفاصل بين اللب والغلاف الهيدروجيني الخارجي.

يؤدي التخلُّص الثقالي إلى ارتفاع درجة حرارة اللب الهليومي للنجم، ومن شأن الحرارة العالية أن تسرع عملية اندماج الهيدروجين، فتزداد ضيائة النجم تبعاً لذلك.

وبفعل الطاقة الهائلة المتحرّرة نتيجة للاندماج الهيدروجيني والتخلُّص الثقالي، تسخّن الطبقات المحيطة، ويزدادي هذا التسخين إلى تمدد النجم

تمددًا عملاقياً. وتكون الكثافة عندئذ منخفضة جداً في كل مكان من النجم إلا في لبّه (الشكل 5.5).



الشكل 5.5 رسم تمثيلي لنجم شبيه بالشمس (أ) في بداية حياته على التسلسل الرئيسي، و(ب) عندما يشيخ متحولاً إلى عملاق أحمر.

وإذ يتمدّد النجم، تهبط درجة حرارته السطحية، ويتغيّر لون سطحه إلى الأحمر. وبذلك يكون قد تحول إلى نجمٍ أحمرٍ أحمر اللون هائل الجرم وساطع الضوء نسبيّة عملاقاً أحمر red giant. صحيح أنه بارد، إلا أنه ساطع بسبب مساحة سطحه الرحبة، وصارت له قيم الضيائية ودرجة الحرارة لمنطقة العملاقة الحمر على مخطط H-R.

يمكنك رؤية بعض النجوم فوق العملاقة تسطع في السماء، ومن الأمثلة الصالحة عليها منكبُ الجوزاء Betelgeuse من كوكبة الجبار Orion.

وقلب العقرب Antares من كوكبة العقرب Scorpius، اللذان يبلغ قطرُ كُلّ منها قطرَ الشمس 400 مرة أو يزيد (انظر الجدولين 1.1 و 1.2).

ويُتوقع لشمسنا - شأنَ سائر النجوم - أن تتحوّل إلى عملاقٍ أحمرٍ هائلٍ عندما يحين وقت اندثارها، وعندئذ ستضيء الشمس العملاقةُ الحمراء بسطوعٍ شديدٍ تنصهر معه صخورُ الأرض وتتبخر محيطاتها وتتحقق الحياةُ على سطحها.

متى يبدأ نجم بالتحوّل من نجمٍ تسلسليٍ رئيسيٍ إلى عملاقٍ أحمر؟

الجواب: عندما يتحوّل كُلُّ وقود الهيدروجين الموجود في لبها إلى هليوم.

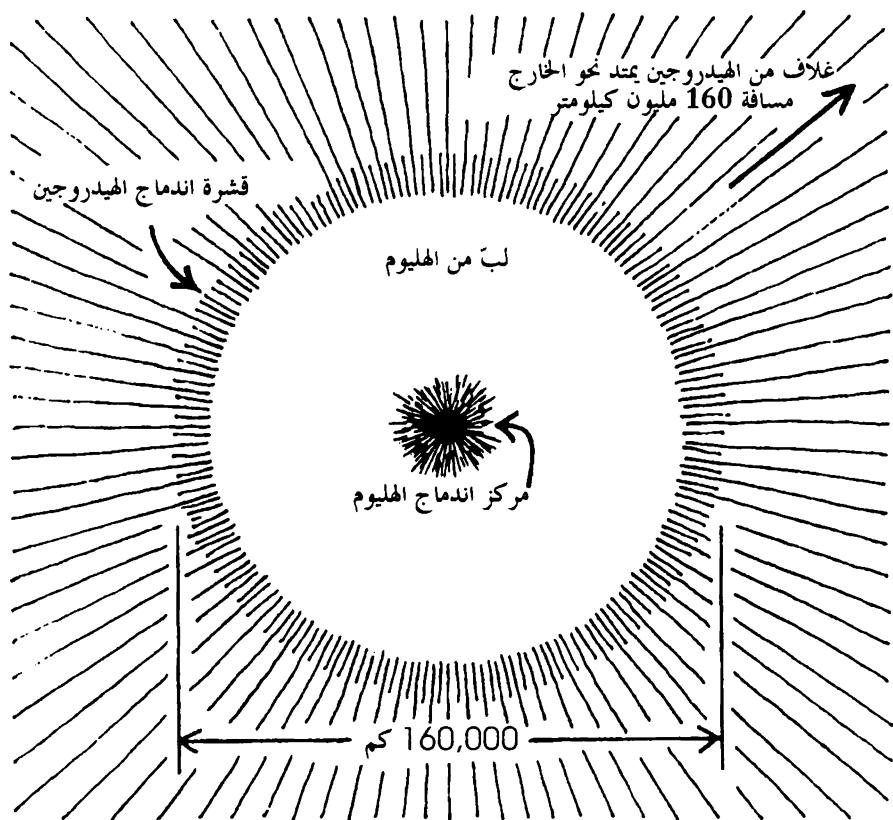
5.8 تخلق العناصر الثقيلة

يسبّب التقلص التناهلي في ارتفاع درجة الحرارة داخل اللب الهليومي للعملاق الأحمر ارتفاعاً كبيراً يصل إلى 100 مليون كلفن. عند هذه الحرارة يتحوّل الهليوم إلى كربون بحدوث تفاعلات اندماج نووي (الشكل 6.5).

وحالما تبدأ عملية اندماج الهليوم يتوقف اللب عن التمدد تمدداً كبيراً. تتنامي درجة الحرارة بسرعة دون حصول تمدد يساعد في التبريد وحفظ التوازن، فتندمج نوى الهليوم بصورة أسرع فأسرع، ويصبح اللب أشدّ حرارة. يسمى هذا الاشتغال الانفجاري لاندماج الهليوم ومضة الهليوم . helium flash

بمرور بعض الوقت، ترتفع درجة الحرارة ارتفاعاً يكفي لتمديد اللب. وفي حين يحدث التبريد في الداخل، يستمر اندماج الهليوم بمعدل سرعة ثابت، محاطاً بقشرة اندماج الهيدروجين shell hydrogen-fusing .

وفي باطن أكبر العملاقة الحمراء كتلةً، قد يؤدي حدوث مزيدٍ من



الشكل 5.5 بنية نجم عملاق أحمر.

تفاعلات الاندماج إلى توليد عناصر مألفة أتقل من الكربون، مثل الأكسجين والألمانيوم والكلاسيوم (الملحق 4).

يعتقد علماء الفلك أن عناصر كالكربون والأكسجين، التي تحتاج إليها لحياتها، تتكون (أين)؟

الجواب: في باطن النجوم العملاقة الحمر.

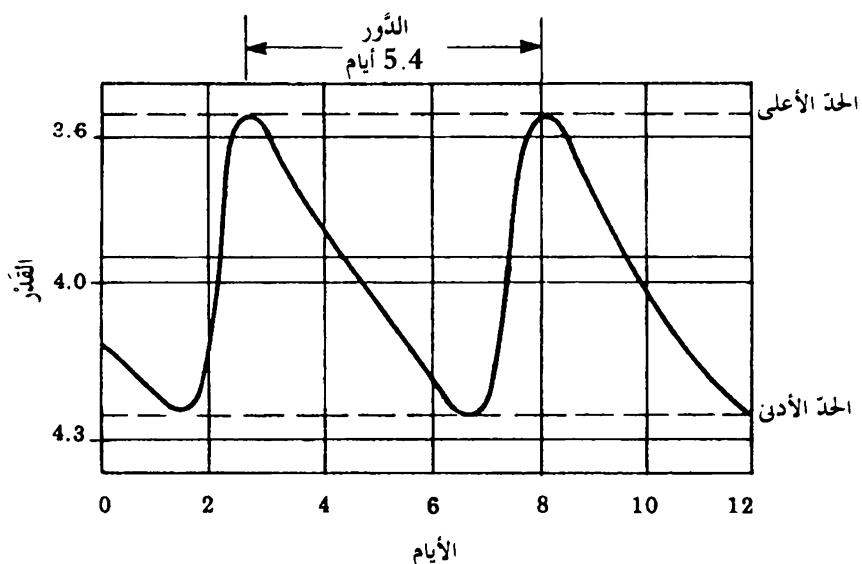
5.5 النجوم المتغيرة

يترجّح للفلكيين أن النجوم - قبل أن تدخل المراحل الأخيرة من دورة

حياتها - تحرك إقبالاً وإدباراً بين منطقة العمالقة الحمر والتسلسل الرئيسي عدة مرات، حركة لم يدركوا كنهها حتى اليوم إدراكاً تاماً.

وأغلب الظن أن معظم النجوم تحول من عمالقة حمر إلى نجوم متغيرة Nebulae pulsating variable stars قبل أن تبيد؛ بمعنى أنها تتمدد وتتقلص وتسقط وتختبئ دوريًا.

وهناك المتغيرات القيفاوية Cepheid variables، وهي نجوم صفراء كبيرة جداً ومضيئة يتضاعف خرج ضوئها في الأدوار الواقعه بين يوم واحد و 70 يوماً. بإمكانك رصد المتغير القيفاوي دلتا قيفاوس Delta Cephei، وهو أول ما اكتشف من هذه المتغيرات، اشتُقَّ منه اسمُ هذا الصنف منها (الشكل 7.5). وتبرز أهمية القيفاويات في أنها توفر طريقة لقياس المسافات البعيدة التي يتعدّر قياسها بطريقة اختلاف المنظر المثلثي trigonometric parallax .



الشكل 7.5 منحنى الضوء، يُظهر تغير خرج الضوء للمتغير القيفاوي الأولي دلتا قيفاوس.

تجدر الإشارة إلى أنه قد عُرف أكثر من 700 متغير قيفاوي في مجرتنا درب التبانة، وأن نجم القطب Polaris هو أقربها إلينا، وتتغير درجة سطوعه بين القدرَين 2.5 و 2.6 كلًّا نحو أربعة أيام.

- اكتسحت عالمَةُ الفلك الأمريكية هنرييتا ليفيت Henrietta Leavitt (1868 - 1921) علاقةً تقضي بارتفاع ضيائية القيفائيات مع تزايد طول دور التغير في ضوئها؛ أي أن لأكثر النجوم ضيائيةً أدواراً نبضيةً أطول. تسمى هذه العلاقة علاقَةُ الدور بالضيائية period-luminosity relation، يرجع إليها الفلكيون في تحديد القدر المطلق للقيفائيات بعد قياس أدوارها.

إن مقارنة القدر المطلق المحسوب بالقدر الظاهري المرصود يعطي بعده القيفائيات، إضافةً إلى المجموعات النجمية التي تنتمي إليها (الفقرة 16.3). كذلك تعدُّ القيفائيات ذات فائدة باعتبارها معالم مسافات distance markers حتى مسافة 3 ميغا فرسخ فلكي تقريباً (10 ملايين سنة ضوئية).

وهناك أيضاً متغيرات الشلياق RR Lyrae variables، المسماة نسبةً إلى النجم المتغير RR في كوكبة الشلياق Lyra، وهي عمالقةٌ نباضة بيضاء مزرقة يتغير خرج ضوئها من أعلى درجات السطوع إلى أدنى درجات العتمامة في أدوار لا تتجاوز يوماً واحداً. وقد عُرف من متغيرات الشلياق هذه في مجرة درب التبانة نحو 4500 نجم، ويستعان بها في قياس المسافات إلى الحشود النجمية التي تنتمي إليها، حتى مسافة 200،000 فرسخ فلكي (600،000 سنة ضوئية) تقريباً.

أما متغيرات أujeوبة قيطس الطويلة الدور long-period Mira variables، المسماة نسبةً إلى النجم مايرا (أي الأujeوبة) المعروف في كوكبة قيطس، فهي عمالقةٌ حمر تستغرق بين 80 و 1000 يوم لتتغير بين سطوع أعظمي وخفوتِ أدنى. والنجم مايرا نفسه - الذي يبعد قرابة 40 فرسخاً فلكياً (130 سنة ضوئية) - يتغير من أعلى درجات سطوعه الأحمر إلى خُزجه الأدنى في

غضون 332 يوماً، فيصبح عندئذ غير مرئي. ولعلَّ من الطريف أن التسمية اللاتينية «مايرَا» Mira بمعنى «الأعجوبة» قد أطلقها عليه الراصدون الفلكيون في القرن السابع عشر، تعبراً عن عجبهم وإعجابهم به، وكانوا هم أولَ مَنْ دوَّن تراوحت سطوعه.

ما الصفتان اللتان تتغيران دورياً في نجمٍ متغيرٍ يتلاطم؟

(1) الحجم؛ (2) الضيائية.

الجواب: (1) الحجم؛ (2) الضيائية.

5.10 اندثار النجوم

تتطوَّر النجوم كُلُّها على منوالٍ واحدٍ تقريباً، إلى أن تغدو لبوبُها ركاماً من الكربون أو تكاد، على أن ذلك يحدث على آمادٍ زمنية مختلفة (الشكل 8.5). وتتوقف المرحلة الأخيرة من تطوير نجمٍ - أو الطريقة التي تنتهي بها حياته - على كتلته إلى حدٍ بعيد.

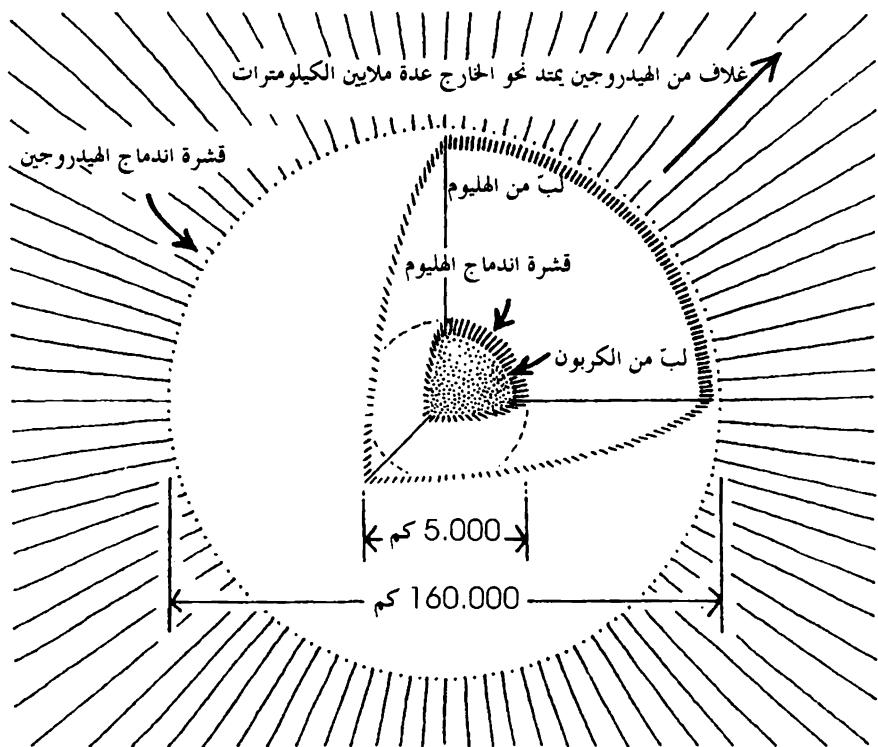
فالنجوم الصغيرة، التي قد تصل كتلتها 1,4 مرة كتلة الشمس، تندثر في نهاية الأمر بهدوء، فلا أكثر من أن تذوي وتضمحل في لُح ظلمة الفضاء الكوني. أما النجوم الكبيرة الكتلة فتندثر بانفجارٍ عنيف يطلق ضوءاً باهراً يذهب بالأبصار قبل أن تلفظ أنفاسها.

ما الصفة التي تحدد طريقة اندثار نجمٍ عند انتهاء دورة حياته؟

الجواب: كتلته.

5.11 فقدان الكتلة

ما إن يستنزف نجمٌ ذو كتلة - كالشمس - كلَّ وقود الهليوم المتاح له، حتى يمسي نجماً عملاقاً أحمر منتفخاً للمرة الأخيرة. (تنضخم الشمسُ في



الشكل 8.5 بنية نجم ذي لب داخلي يتزايد فيه الكربون بطراد.

هذه المرحلة من حياتها تضخّماً مفرطاً، فتبتلع كواكب: عطارد والزهرة والأرض والمريخ).

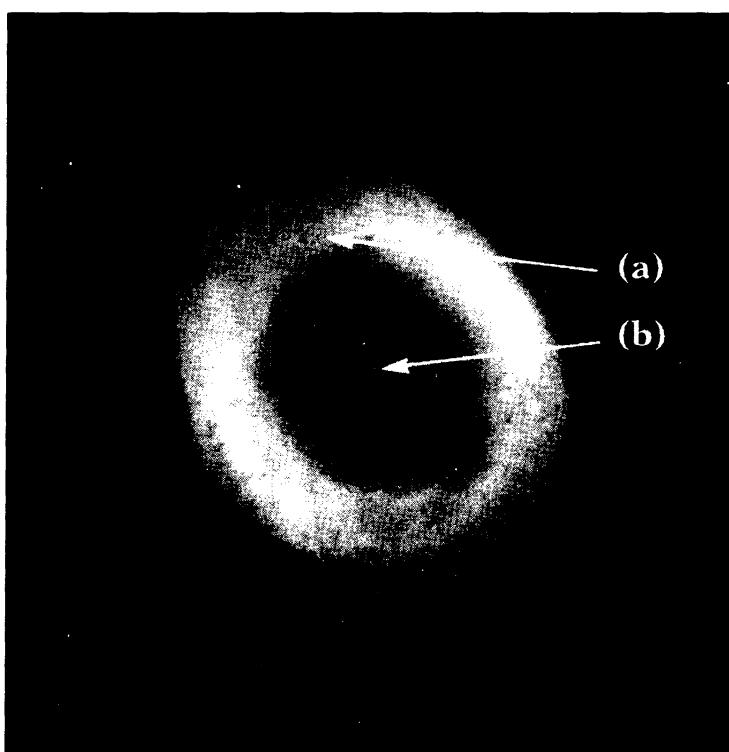
يطرح النجم بعد ذلك شيئاً من كتلته، فينفلت غلافه الهيدروجيني الخارجي في فضاء الكون وقد أغنّته العناصر الثقيلة. تناسب الجسيمات المشحونة كهربائياً على صورة دفق يسمى الريح النجمية stellar wind. (تقدّمت لك دراسة الريح الشمسية في الفقرة 14.4). ثم تنطّر الطبقات التي هي أعمق ضمن قشرة غازية هشّة ومتمددة يبلغ قطرها عادةً زهاء 0,5 - 1 سنة ضوئية، تسمى سديماً كوكبياً planetary nebula يستمر في الاتساع بسرعة تقارب 20 - 30 كيلومتر/ثانية (45,000 - 67,000 ميل/ساعة). حتى إذا تم ذلك، لم يبق من النجم إلا لبّه.

وقد رُصد بالفعل قرابة 1600 سديم كوكبي يعتقد على الأرجح أن أعمارها أقل من 50,000 سنة؛ آية ذلك سرعة انفصال ذرات الغاز في السديم. وبعد مرور نحو 100,000 سنة تكون القشرة قد أمعنت في الاتساع إلى حد بعيد جداً تختفي معه عن النظر.

انظر في الشكل 9.5، وحدد لب النجم والسديم الكوكبي على الصورة.

(أ) ؛ (ب)

الجواب: (أ) السديم الكوكبي؛ (ب) لب النجم.



الشكل 9.5 السديم الحلقي المعروف في كوكبة الشلياق: سديم كوكبي ولب نجمي.

12.5 الأقزام البيض

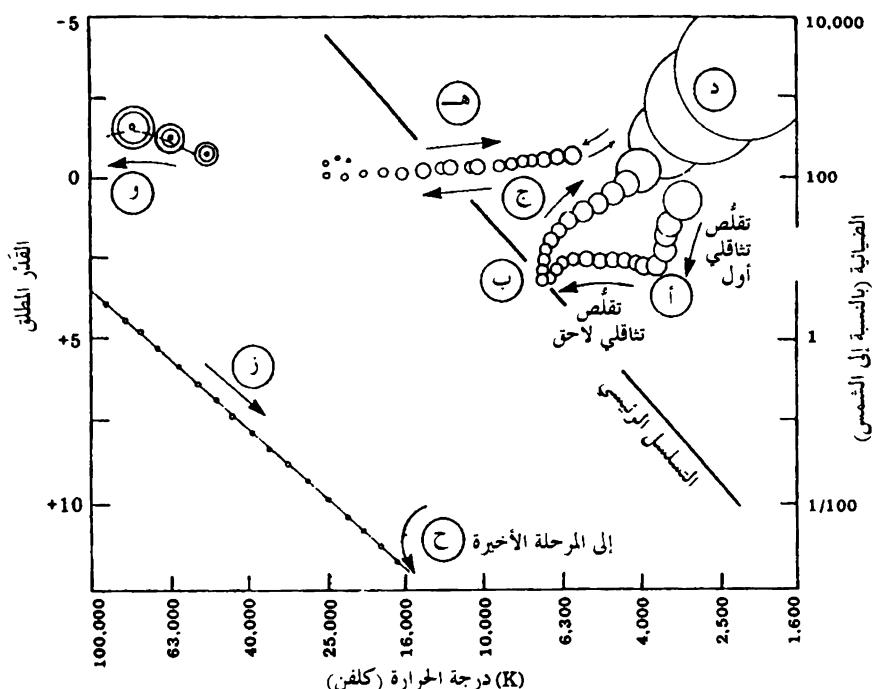
أما وقد نَزَعَ النجمُ عنه غلافه الغازيّ، فإنه يبقى لبًّا من الكربون تكتنفه قشرةً من الهليوم الملتهب.

إن النجم الذي استهلك كاملاً وقوده النووي عاد الآن غير قادر على الصمود أمام قوة جذب الثقالة، فينكمش من جديد في الوقت الذي تجذب الثقالة المادة باتجاه المركز. هذا التقلص التناهيلي يحدث ارتفاعاً كبيراً في درجة الحرارة والضغط، وتتشتّع الإلكترونات من الذرات، فيؤول النجم إلى قزم أبيض white dwarf صغيرٌ وحارٌ يتالف في معظمها من إلكترونات ونوبي. يمكن ضغط هذه الجسيمات دون الذرية بعضها إلى بعض على نحو أكثر إحكاماً مما هو ممكن في حالة ذرات كاملة.

أخيراً، وعندما يصير النجم القزمُ الأبيضُ مقارباً لحجم الأرض، يتعدّر تقلصه أكثر من ذلك. وتميّز الأقزامُ البيضُ المقاربة للشمس كتلةً بارتفاع كثافتها، لأنَّ كامل تلك الكتلة يحتشد - بفعل قوة الثقالة - مرتفعاً ضمن حيّز نجم بحجم الأرض. وقد وُجد أنَّ قوة الثقالة على نجم قزم أبيض كهذا قد تكون أكبر 350,000 مرة منها على الأرض، فلو تسلّى لك - على سبيل الافتراض - الوقوفُ عليه لكان وزنك هناك أكبر 350,000 مرة من وزنك على الأرض.

وقد يتولّد في هذه المرحلة أحياناً ما يسمى بالمستعر nova، وهو نجم ساطعٌ ملتهب. فإذا كان القزمُ الأبيضُ منتمياً إلى منظومةٍ ثنائية، فلربما سقطت المادة من نجمه الرفيق عليه، فأدكَت ذلك اللهب الساطع القصير الأمد.

يتبرّد النجمُ القزمُ الأبيضُ تدريجياً، ويتغيّر لونه إلى الأحمر الكامد، مطلقاً آخر زفات طاقته في الفضاء، ليتحول من ثم إلى قزمٍ أسود black dwarf يائداً في مقبرة الفضاء.



الشكل 5.10 مراحل حياة نجم كالشمس.

ما هو القزم الأبيض؟

الجواب: نجمٌ صغيرٌ كثيفٌ (محْتَضَرٌ) ذو ضيائيةٍ منخفضةٍ ودرجةٍ حرارةٍ سطحيةٍ عاليةٍ، حجمه يقارب في العادة حجم الأرض، إلا أن كتلته تعادل كتلة الشمس.

13.5 دورة حياة نجوم كالشمس

حدد مراحل حياة نجم شبيه بشمسمنا، وفقاً للتابع الموسوم بحروفِ

في الشكل 10.5.

- (أ)
- (ب)
- (ج)
- (د)
- (ه)
- (و)
- (ز)
- (ح)

اشرح إجابتك.

الجواب:

- (أ) نجم أولي وليد، تقلص ثقالي لسحابة من الغاز الغبار؛
- (ب) نجم مستقر في التسلسل الرئيسي، يضيء بفعل الاندماج النووي (محولاً الهيدروجين إلى هليوم)؛
- (ج) تطور إلى عملاق أحمر عند تكون لبّ الهليوم؛
- (د) عملاق أحمر، يضيء بفعل اندماج الهليوم؛
- (ه) نجم متغير، تكون اللب الكربوني؛
- (و) سديم كوكبي، غلاف هيدروجيني غني يُقذف في الفضاء؛
- (ز) قزم أبيض، تُحسَد كامل الكتلة في نجم بحجم الأرض تقريباً؛
- (ح) قزم أسود يائِد في الفضاء الكوني.

تنذر النجوم الكبيرة الكتلة، التي تتجاوز كتلتها كتلة الشمس ثمانية مرات على الأقل، اندثاراً مثيراً حقاً يفوق في روعته مشهد اندثار نجوم كالشمس. والمستعر الفائق supernova ما هو إلا انفجارٌ نجميٌّ ماحق [يؤذن ب نهاية تطور نجم].

يتقلص اللُّبُّ الكربوني لنجم كبير الكتلة بتأثير قوة الثقالة، بالطريقة نفسها التي يتقلص بها اللُّبُّ الكربوني لنجم أصغر كتلة، سوى أنَّ درجة حرارة اللُّبُّ في الحالة الأولى تواصل ارتفاعها باطرادٍ إلى أن تبلغ 600 مليون (1) كلفن، يبدأ اللُّبُّ الكربوني عندها بالانصهار. تتوقف عملية الارتصاص collapse بتحول الكربون إلى مغنتيزيوم في تفاعلات اندماج نووي.

وعند استنفاد الكربون تبدأ دورةً جديدة: تقلص تثاقلي، وارتفاع في درجة الحرارة، واستهلاك تفاعلات نووية جديدة، وإنتاج عناصر جديدة، ثم توقف في عملية الارتصاص. وتتوالد عناصر أثقل من الكربون مثل الأزوت والسلیكون داخل النجم إلى أن يصير اللُّبُّ في معظمِه حديداً.

يضع الحديدُ نهايةً لهذه الدورات من التفاعلات النووية والارتصاص، ذلك لأنَّه لا يطلق طاقةً في التفاعلات النووية، بل إنه يتطلبها. يرتفع النجم الآيل إلى الاندثار آخرَ مرَّة، إلى درجةٍ يصبح من المتعذر معها ضغطه أكثر من ذلك، فينفجر انفجاراً عنيفاً جداً، بحيث قد يتجاوز الضوء الصادرُ عن المستعر الفائق ضيائةَ الشمس 100 مليار مرَّة، بل ربما فاق سطوع المستعر الفائق سطوع مجرَّته كلُّها لبرهةٍ قصيرةً.

ويعتقدُ الفلكيون أنَّ معظم الطاقة المحرَّرة من الانفجار غير مرئية، فينتقل جزءٌ كبيرٌ منها بسرعة الضوء عن طريق الإشعاع العالي الطاقة

(1) ارتفت الأشياء: انضم بعضها إلى بعض [المعجم الوسيط] (المغرب)

والنيوترونات الناشئة عن اللُّب المتداعي. تحمل هذه الطاقة دلالات عن مسببات الانفجارات النجمية، وعن أنواع ومقادير العناصر الكيميائية التي تكونها المستعرات الفائقة وتبثُّها في الفضاء.

ظهر المستعر الفائق 1987A، وهو أول مستعر فائق ساطع يُرصد في السماء منذ اختراع المقراب، في سحابة ماجلان الكبرى Large Magellanic Cloud سنة 1987. وكان مرئياً من نصف الكرة الجنوبي لعدة شهور، وهو أفضل ما رُصد من مستعرات فائقة حتى اليوم (الشكل 11.5). وقد كُشفَ عن وجود نيوترونات، تماماً كما توقعَت الدراسات النظرية. ويرى العلماء أن درجة حرارة اللُّب عند الانفجار قد وصلت بالتأكيد إلى 200 مليار كلفن! وهم يستفيدون من المعطيات المتاحة عن المستعر الفائق 1987A في تطوير نظريات انبعاث النجوم، واختبار صحتها.

ما نوع النجوم التي تندثر مستعرات فائقة؟

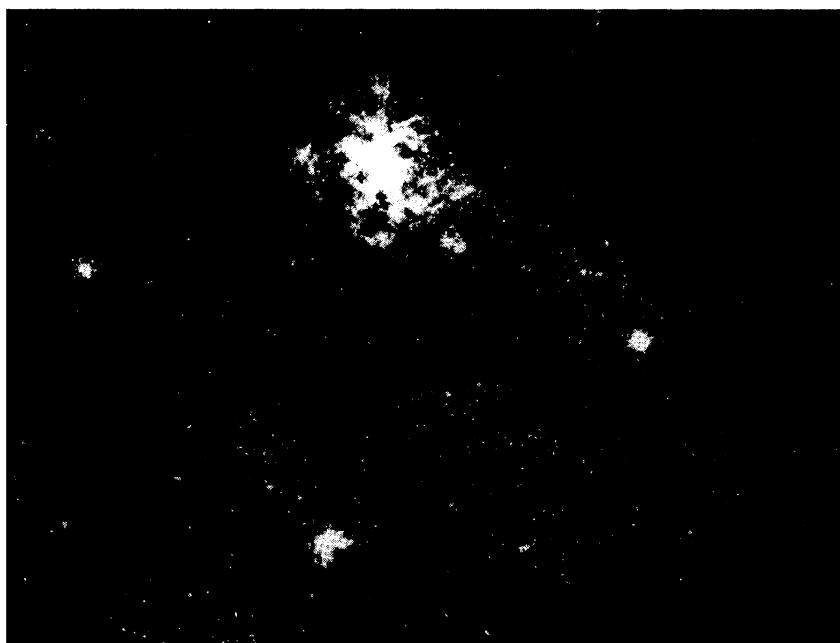
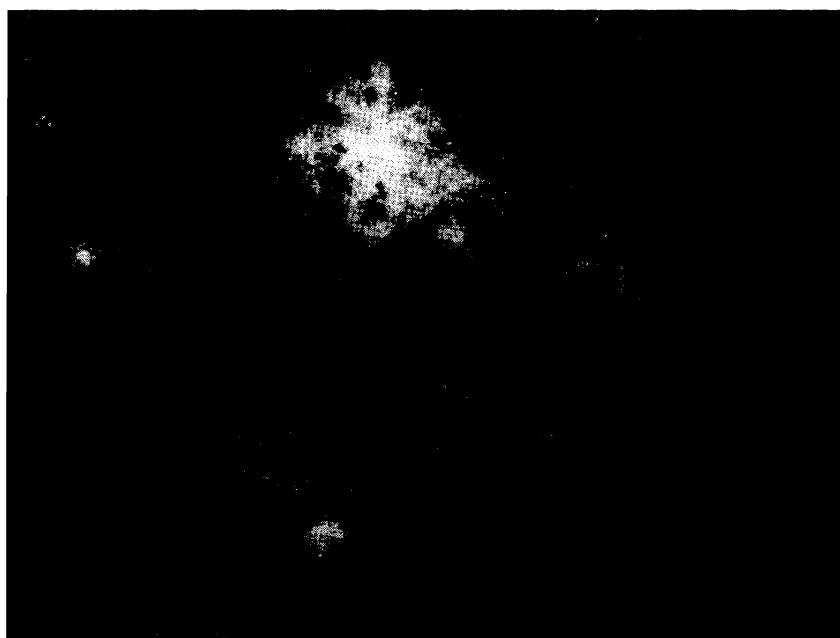
الجواب: النجوم المفرطة الكتلة (التي تفوق كتلتها كتلة الشمس ثمانين مرات أو أكثر).

15.5 مخلفات المستعرات الفائقة

يمكنا أن نزعم أننا - نحن البشر - قد جُلِّنا من غبار نجمي.

وربما كان الهيدروجين والهليوم هما العنصرين الوحدين في الكون لدى نشوئه، في حين تتكون العناصر الأخرى من مثل الكربون والأكسجين والأزوٰت (الضرورية للحياة) داخل اللُّبوب النارية الملتهبة للنجوم الهرمة. أما أثقل العناصر كلها، كالذهب والرصاص، فتتوَّلَّ في درجات الحرارة العالية جداً والدُّفق التتروني الكثيف لانفجار مستعر فائق.

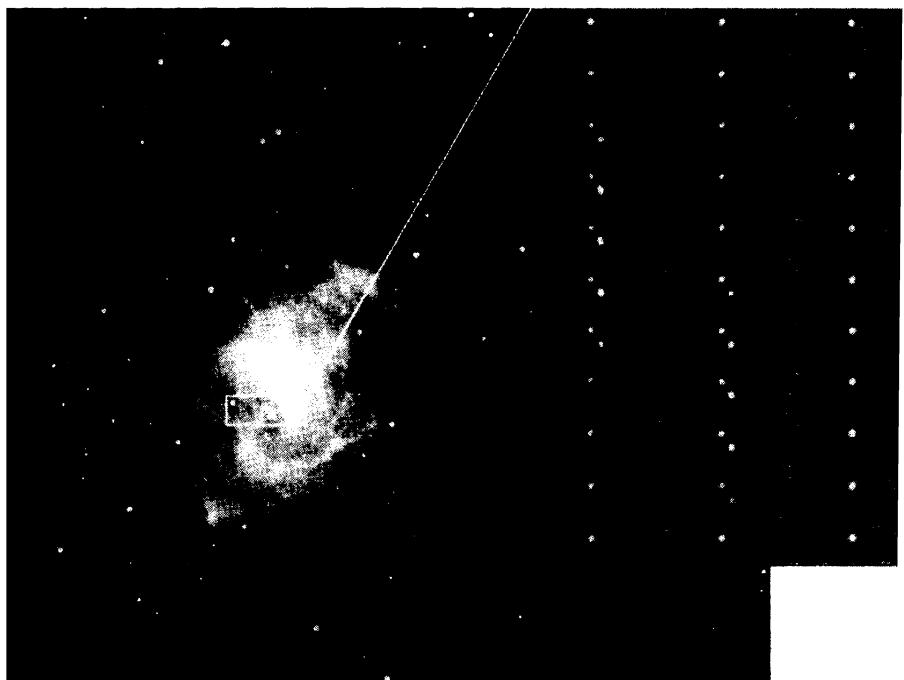
ينشر انفجار المستعر الفائق كلَّ هذه العناصر الجديدة في الفضاء



كل 11.5 المستعر الفائق 1987A (الصورة العليا) كما ظهر سنة 1969 قبل انفجاره (الصورة السفلية) بعد أسبوع من انفجاره في شهر شباط (فبراير) سنة 1987.

الخارجي، فتمتزج بالهيدروجين والهليوم والغبار هناك. وتغدو الماد المتبعثرة في الفضاء بفعل انفجار نجم كثيرة الكتلة مهيئةً من جديد للإسها في تكوين نجوم جديدة وكواكب جديدة. إن الشمس والأرض قد تكونتا منذ خمسة مليارات سنة من سحابة هيدروجين وهليوم تعزّزت بهذه الطريقة.

في سنة 1054 أعلن راصدون صينيون وأمريكيون أصليون أنهم رأوا نجم جديداً ساطعاً يتألق في السماء حتى في وضح النهار. إنها سديم السرطان nebula في كوكبة الثور Taurus، وهي سحابة غازية تمتد بمعدل 1600 كيلومتر (1000 ميل) في الثانية، وتشاهد اليوم في موقع ذلك المستعر الفائق، بقطر يبلغ نحوً من 3 فراسخ فلكية (10 سنوات ضوئية)، علمًا بأن اللب المتخلّف عن النجم المنفجر ما زال في المركز (الشكل 12.5).



شكل 12.5 سديم السرطان في كوكبة الثور، ويلاحظ أن لب سلفة النجم المنفجر ما زال يومض عند المركز. المنطقة المكبّرة هي مجموعة مؤلفة من 33 شريحة ملي ثانية في دوّن تباين السرطان.

أي العناصر تعتقد أنها أكثر توفرًا في الكون: أهي العناصر التي هي أخف من الحديد أم التي هي أثقل منه؟ ولماذا؟

الجواب: العناصر التي هي أخف. لأن هذه العناصر متاحة لها زمن أطول بكثير لكي تتكون؛ فهي تنشأ من هيدروجين بدائي على مدى زمن طويل داخل ثُبُوب نجوم كبيرة الكتلة، في حين تولد العناصر التي هي أثقل من الحديد خلال مدة وجيزة، حينما ينفجر النجم (مستعرًا فائقًا) في نهاية دورة حياته.

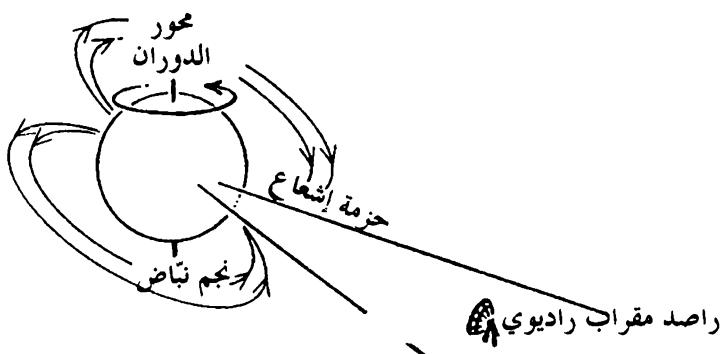
5.16 النجوم الفائقة الكثافة

عند انفجار نجم كبير الكتلة، قد يخلف نجمًا أكبر كتلةً من الشمس، منضغطاً ومرصوصاً على شكل كرة لا يتجاوز قطرها 16 كيلومتراً (10 أميال). يتتألف هذا النجم المفترط الكثافة بالدرجة الأولى من نترونات neutrons، أي من جسيمات ذرية غير مشحونة. لذلك سُمي نجماً نترونياً neutron star عندما افترض وجوده أول مرة.

وتمكنَت جوسلين بل Jocelyn Bell (وهي طالبة دراسات عليا في جامعة كامبريدج بإنجلترا) سنة 1967 من رصد نوع نابض من النجوم الراديوجية أطلق عليه اسم النجوم النباضة أو النباضات pulsars⁽¹⁾، تُطلق دقات نشطة من

(1) من الكلمتين pulsating = نباض) و (star = نجم). (المغرب)

الأمواج الراديوية إلى الأرض بإيقاع منتظم شبيه بإيقاع الساعة الميكانيكية، بفواصل زمنية تقع بين الميلي ثانية وأربع ثوانٍ. وقد رُصد مئات من هذه الأجرام الغريبة حتى الآن (الشكل 13.5).



الشكل 13.5 النجم النباض أو النجم التتروني أصغر حجماً من أن يرى. وما يرصده الفلكيون هو نبضات منتظمة من حزم إشعاع تنبثق من القطبين المغناطيسيين للنجم الدوار لدى اقترابهما من الأرض.

تنبّأت الدراسات النظرية بوجود نجم تتروني في مركز سديم السرطان، علماً بأن نجماً نباضاً عُثر عليه هناك سنة 1968 (الشكل 12.5). ومنذ ذلك ونباض السرطان Carb Pulsar يُرصد على أطوال الأمواج الكهرومغناطيسية كافية من الراديوية إلى الغامية.

ويبدو النجم النباض نجماً تترونياً سريعاً الدوران، عالي المغناطيسية. وتنشأ نبضاته القصيرة والمنتظمة المميزة من حزم إشعاع تصدر عن جسيمات مشحونة متتسارعة وعالية النشاط تمر قريباً من الأرض مع دوام النجم بصورة دورية. يُعطي الدوران ومعدلات النبض تدريجياً مع انطلاق الطاقة.

ومن المهم أن نعلم أن النجم النباض أو التتروني هو أكثر جرم سماوياً رُصد حتى اليوم.

ماذا تقول في قوة الثقالة على سطح نجم نباض، مقارنة بها على الأرض؟

الجواب: إنها أكبر بكثير على النجم النباض. تكون قوة الثقالة أقوى كلما كانت المادة مرتفعة، والنباض كثيفاً.

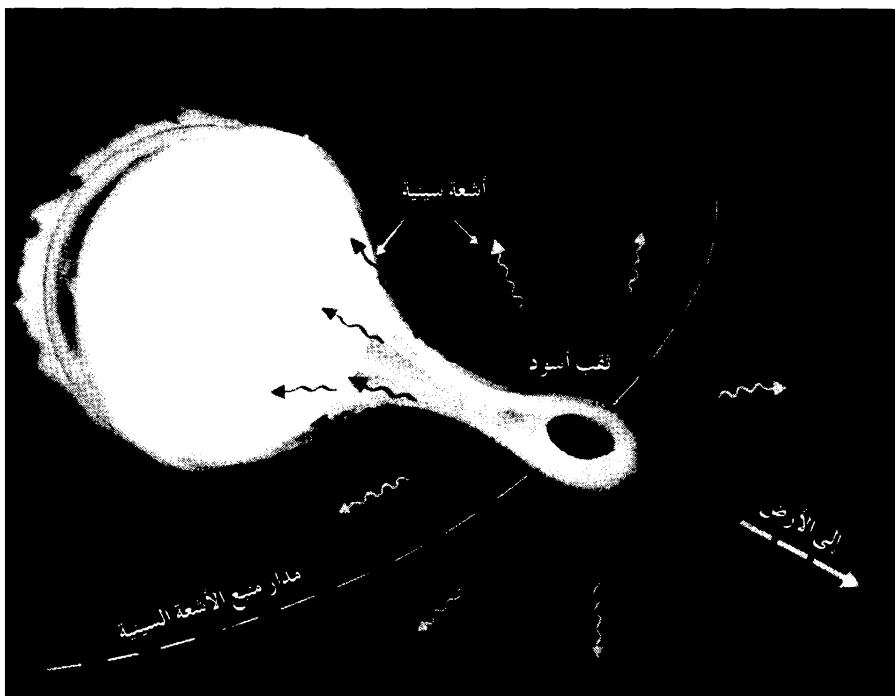
17.5 الثقوب السوداء

قد يستمر نجم كبير الكتلة بالارتصاص بعد بلوغه مرحلة النجم النباض، فيصبح آنئذ جرماً ناشزاً غريباً يسمى الثقب الأسود black hole (الشكل 14.5).

والثقوب السوداء - إن وُجدت فعلاً - ليست ثقوباً على الإطلاق، بل نقىض ذلك: إنها كتلة كبيرة انكمشت إلى حجم صغير جداً وكثافة عالية جداً. وطبقاً لنظرية أينشتاين النسبية، فإن قوة الثقالة في جرم كهذا كبيرة جداً بحيث إنه قد يجذب إليه كل ماجاوره من مادة وضوء.

على أن الثقب الأسود لا يمكن أن يُرى أبداً، لأن قوة جذبه التناقلية تجعل من المتعذر تماماً انفلات أي ضوء أو مادة أو إشارة مهما كان نوعها. ومن هنا اسمه. يُطلق على سطح الثقب الأسود، أو على الحد الذي لا يمكن لأي ضوء التسرب من خلاله، اسم أفق الحدث event horizon.

يُعرف نصف قطر الثقب الأسود اليوم بشعاع شفارتزشيلد⁽¹⁾ Schwarzschild radius (Rs)، وهو نصف القطر الخارج الذي يتحول عنده جرم



لشكل 14.5 ثقب أسود كما تصوره فنان.

كبير متناظر كروياً إلى ثقب أسود، وفقاً للمعادلة:

$$R_S = 2GM/c^2$$

حيث G هو ثابت التثاقف، M كتلة الجرم، c سرعة الضوء (الملحق 2).

ويذكر أن شعاع شفارتزشيلد للشمس يبلغ زهاء 3 كيلومترات (سيلان). وللأرض نحو 1 سنتيمتر (0,4 بوصة).

وتتبأ الدراسات النظرية أن أي نجم تزيد كتلته على ثلاثة كتل شمسية عند آخر ارتصاص له، لا بد من أن يعبر أفق حداه ويختفي تماماً عن النظر وليس ثمة أي قوة معروفة تستطيع إيقاف مزيد من الارتصاص، بحيث قد

يستمر النجم في التقلص إلى أن يستحيل نقطة في المركز تسمى المتردة . singularity

تجدر الإشارة إلى أن المنبع المسمى بالدجاجة 1-X (Cygnus X-1) هو منبع سيني شديد يبعد ما يزيد على 2500 فرسخ فلكي (8000 سنة ضوئية) في كوكبة الدجاجة . وقد اكتشف سنة 1966 ، وهو نجم ثنائي كسوف (دوره 5,6 أيام) يُعرف بأن جزءه غير المرئي كان أول ثقب أسود تحدث عنه علماء الفلك . أما الجزء الرئيسي المنظور فهو نجم فوق علائق أزرق يبدي تغيرات في سماته الطيفية من ليلة إلى ليلة . ويفترض أن الثقب الأسود عندما يجذب المادة تناهياً من رفيقه المرئي تتصدر عنه الأشعة السينية المرصودة .

ولا شك في أنك ستسمع المزيد عن هذه الثقوب السوداء المثيرة في المستقبل ، بعد أن يستزيد العلماء في دراستها أكثر فأكثر .

ماذا يمكن أن يحدث لو أن مركبة فضائية منكودة الطالع مررت على مقربة دانية من ثقب أسود في الفضاء؟ ..

الجواب : ستنجذب المركبة إلى الثقب الأسود بفعل قوة الجذب التناهلي العظيمة ، وينجم عن ذلك قوة مدمرة تتزايد بسقوط المركبة في الثقب ، وسيؤدي ذلك إلى تحطمها حتماً .

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل الخامس وتمثّلها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهداً استطاعتك، ثم انظر في الأجبوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

- 1. عَرَفْ التَّطْوُرُ النَّجْمِيَّ
..... 2. كَيْفَ يَتَحَقَّقُ عُلَمَاءُ الْفَلَكِ مِنْ صَحَّةِ نَظَرِيَّةٍ فِي التَّطْوُرِ النَّجْمِيِّ؟
..... 3. اذْكُرِ المَراحلُ الْثَّلَاثُ الرَّئِيسِيَّةُ لِوَلَادَةِ نَجْمٍ.
..... (1)
..... (2)
..... (3)
- 4. مَا هُوَ مَصْدِرُ الطَّاقَةِ الرَّئِيْسِيَّ الَّذِي يَجْعَلُ نَجْمًا مِنَ التَّسْلِسُلِ الرَّئِيْسِيِّ يَضِيءُ فِي الْفَضَاءِ؟
- 5. مَا الْخَاصِيَّةُ الَّتِي تَحدِّدُ طُولَ الْمَدَةِ الَّتِي تَسْتَغْرِقُهَا النَّجُومُ الْمُتَشَابِهُهُ
..... التَّرْكِيبُ الْكِيمِيَّيِّ لِكَيْ تَنْتَطُورَ؟
- 6. لِمَذَا سَتَتْوَقِفُ الشَّمْسُ عَنِ السَّطْوَعِ بِصَفَّتِهَا نَجْمٌ تَسْلِسُلٌ رَئِيْسِيٌّ، بَعْدَ

..... زهاء خمسة مليارات سنة من الآن؟

7. عدّ المراحل السبع الرئيسية لدوره حياة نجم كشماسنا، بحسب ترتيبها منذ نشوئه وحتى يبيد.
- (1) (2)
- (2) (3)
- (3) (4)
- (4) (5)
- (5) (6)
- (6) (7)
8. عدّ المراحل السبع الرئيسية لتطور النجوم الكبيرة الكتلة بحسب ترتيبها منذ النشأة وحتى الاندثار.
- (1) (2)
- (2) (3)
- (3) (4)
- (4) (5)
- (5) (6)
- (6) (7)
9. لماذا كانت العناصر الكيميائية (من قبيل الهيدروجين والهليوم والكربون والأكسجين) التي هي أخفٌ من الحديد أكثر توفّراً في الكون إلى حد بعيد من العناصر التي هي أثقل من الحديد؟

10. قابل كلاً من الحقول الثمانية التالية من نظرية التطور النجمي بالجرم السماوي الذي يناسبه.

- (1) منكب الجوزاء في كوكبة الجبار. (أ) موطن نشأة النجوم.
- (2) سديم السرطان في كوكبة الثور. (ب) ثقب أسود محتمل.
- (3) نباض السرطان في كوكبة الثور. (ج) عملاق أزرق.
- (4) منبع الدجاجة X - 1. (د) نجم تسلسلٌ رئيسي.
- (5) الأعجوبة مايرا في كوكبة قيطس. (ه) نجمٌ نتروني.
- (6) سديم الجبار. (و) نجمٌ متغيرٌ نباض.
- (7) الرجل في كوكبة الجبار. (ز) عملاق أحمر.
- (8) الشمس. (ح) مخلفات مستعر فائق.

11. ما هو الثقب الأسود؟

الأجوبة

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

1. التغييرات التي تطرأ على النجوم بمرور الزمان عليها. أي دورة حياة النجوم.

(الفقرة 1.5)

2. إنهم يضعون تصوُّراً لما قد يطرأ على النجوم من تغييرات في ضيائِتها ودرجة حرارتها بمرور الزمن، ثم يقارنون هذه المسارات النظرية للتطور على مخططات H-R بمخططات H-R تمثّل مجموعات نجمية حقيقة.

(الفقرة 1.5)

3. (1) التقلُّص التثاقلي لسحابة غازٍ وغبار؛
 (2) ارتفاع درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي؛
 (3) الاندماج النووي.

(الفقرة 3.5)

4. تفاعلات الاندماج النووي في اللُّب (يتحوّل الهيدروجين إلى هليوم).

(الفقرتان 3.5 و 5.5)

5. الكتلة. (الفقرة 4.5)

6. سوف تغادر الشمس التسلسل الرئيسي عند استنفاد وقود الهيدروجين

المتاح في لبّها عن آخره، فتصبح بدون مصدر طاقة داخلي.

(الفقرتان 6.5 و 7.5)

. 7. (1) نجمٌ أولٌ وليد؛ (2) نجمٌ تسلسليٌ رئيسيٌ؛

(3) عملاقٌ أحمر؛ (4) نجمٌ متغيرٌ؛

(5) لفظ السديم الكوكبي؛ (6) قزمٌ أبيضٌ؛

(7) قزمٌ أسودٌ منتشرٌ.

(الفقرات 3.5 و 5.5 إلى 13.5)

. 8. (1) نجمٌ أولٌ وليد؛ (2) التسلسل الرئيسي؛

(3) عملاقٌ أحمر؛ (4) نجمٌ متغيرٌ؛

(5) مستعرٌ فائق؛ (6) نجمٌ نباضٌ/نترونيٌ؛

(7) ثقبٌ أسودٌ محتملٌ.

(الفقرات 3.5 و 5.5 إلى 7.5 و 9.5 و 14.5 و 16.5 و 17.5)

. 9. ربما كان الهيدروجين وبعض الهيليوم هما العنصرين الأصليين في الكون. وتتكون العناصر الأخرى التي هي أخفٌ من الحديد في باطن النجوم الهرمة على امتداد حقيقة من الزمن. أما العناصر التي هي أثقل من الحديد فتتكون حصراً في أثناء المدة الوجيزة لمستعرٍ فائق.

(الفقرة 15,5)

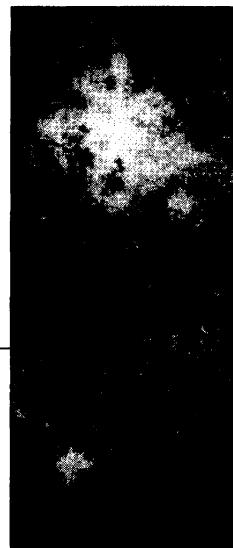
. 10. (أ) 6؛ (ب) 4؛ (ج) 7؛ (د) 8؛ (ه) 3؛ (و) 5؛ (ز) 1؛ (ح) 2.

(الفقرات 2.5 و 5.5 إلى 7.5 و 9.5 و 14.5 إلى 17.5)

. 11. كتلةٌ فائقة الكثافة، مرصوصةٌ ثقلياً، لا يمكن أن ينفلت منها أيُّ ضوءٍ أو مادةٍ أو إشارةٍ من أيِّ نوع. (الفقرة 17.5)

6

المجرّات



في كتاب الطبيعة اللاهياني العامض لا أستطيع أن أقرأ إلا
النزر البسيـر .

ولiam شـكـسـبـير (1564 - 1616)
Antony and Cleopatra, I, ii: 11

الأهداف:

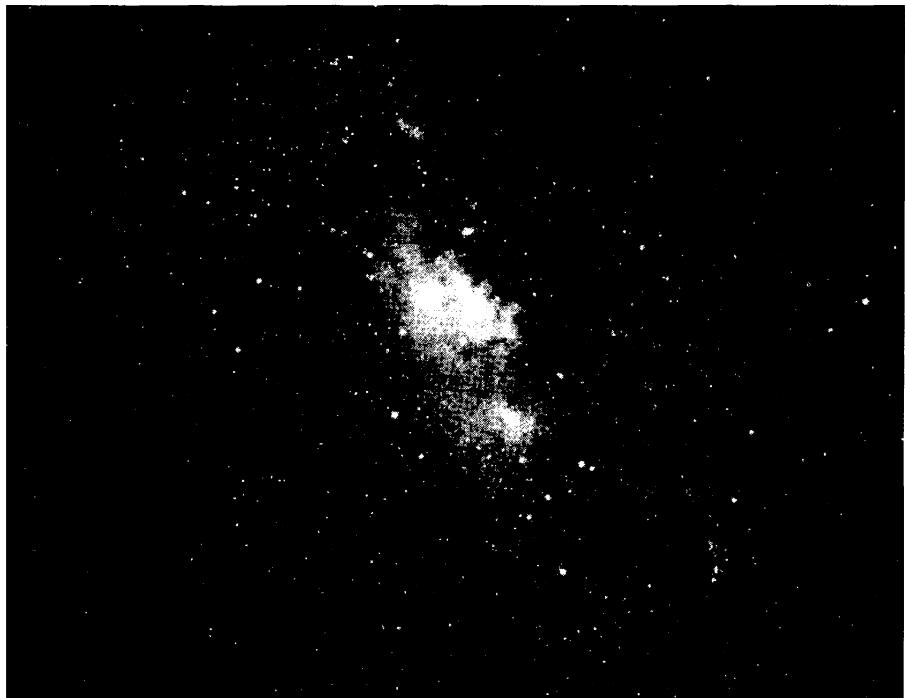
- تعريف المجرة . •
- تقديم الدليل الرصدي على شكل مجرة درب التبانة، وحجمها، وبنيتها، ومحتوها، وتكونها، ثم تمثيلها تخطيطياً لإبراز موقع الشمس منها . •
- مقاييس الحشود (المجرية) المفتوحة بالخشود الكريّة . •
- إجمال طريقة استعمال مخطوطات H-R لتحديد أعمار الحشود النجميّة . •

- بيان محتوى الوسط البينجمي.
- مقاييس سُدُم الإصدار بسُدُم الامتصاص.
- شرح طريقة رسم خرائط لمجرتنا في مناطق أطوالٍ موجيَّةٌ مختلفة.
- تعرُّفُ أبعد الأجرام السماوية المرئية بالعين المجرَّدة.
- إجراء مقارنة بين خصائص المجرات اللولبية والإهليجية وغير المنتظمة.
- تقويم الدليل على نموذجيَّن مختلفَيْن لتكون المجرات وتطورها.
- تعريف حشد المجرات والحشد الفائق.
- إقامة الدليل الرصدي على البنى الواسعة النطاق في الكون.
- مقارنة خصائص مجرَّة نظامية بخصائص مجرَّات نَيَّطة.
- إيراد المميَّزات المرصودة للكوازرات، وتقديم نموذج يوضحها.

6.1 المنظومات النجمية

المجرَّة galaxy تجمعُ عظيْمَ من ملايين، بل مليارات، النجوم، ومن الغاز والغبار، تتماسك جميِّعاً بفعل قوة الثقالة.

تنتمي شمسُنا وكلُّ النجوم المرئية في سمائنا إلى مجرَّة درب التبانة Milky Way Galaxy التي قد تراها شريطاً غائماً من الضوء عبر السماء في ليلة مظلمة صافية الأديم. أطلق عليها القدماء اسم الطريق اللبناني أو درب اللَّبانة لأنها تبدو للناظر كأثير من سحب لِلبن مسفوحة في السماء، زعموا أنَّ اللهة أراقتَه وهي تُرْضِع ولیدها. وواقع الأمر أنَّ ذاك الشريط اللبناني هو حصيلة وهج مليارات النجوم في هذه المجرَّة الهائلة (الشكل 1.6).



الشكل 1.6 مشهد لمجرتنا درب التبانة قرب مركزها في كوكبة القوس. سحب الغاز والغبار والأعداد الوافرة من النجوم، تحجب اللب المجري عن أنظارنا.

حاول بنفسك تحديد موقع المجرة في السماء صيفاً أو شتاءً. ويسهل ذلك - استعمال منظار أو مقراب، لترى أنها مؤلفة بالفعل من أعداد كبيرة من النجوم الساطعة.

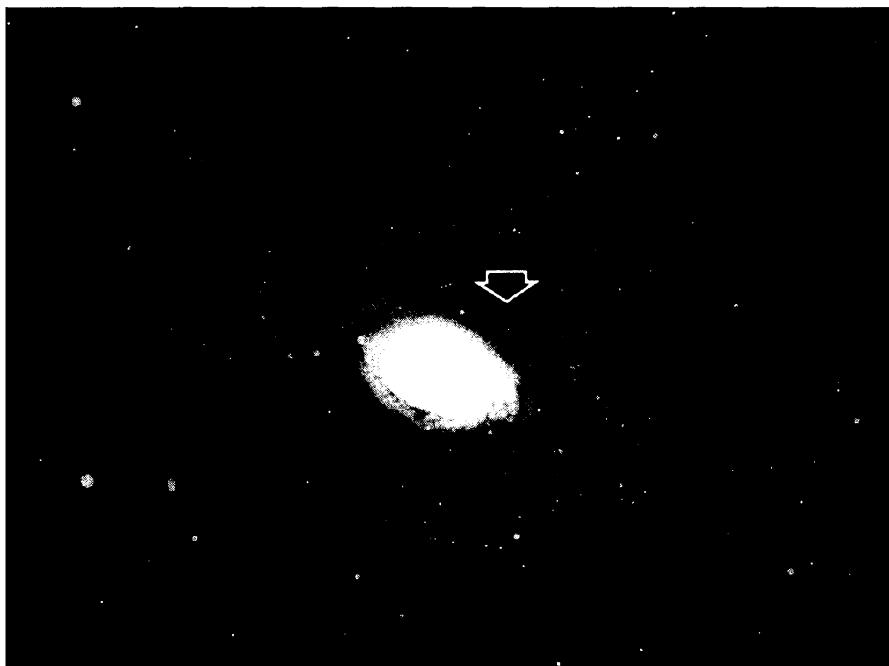
تضُم مجرة درب التبانة كلها ما يزيد على 200 مليار نجم، تفاصلاً أحدها عن الآخر مسافة شاسعة؛ فقد وُجد أن متوسط البُعد بين نجمين متباينين في المagnitude لا يقلُّ عن 5 سنوات ضوئية.

ما هي المجرة؟

الجواب: تجمُع هائلٌ من نجومٍ وغازٍ وغبارٍ، يتماسك في الفضاء بفعل قوة الثقالة

٤.٢ مجرّة درب التبانة

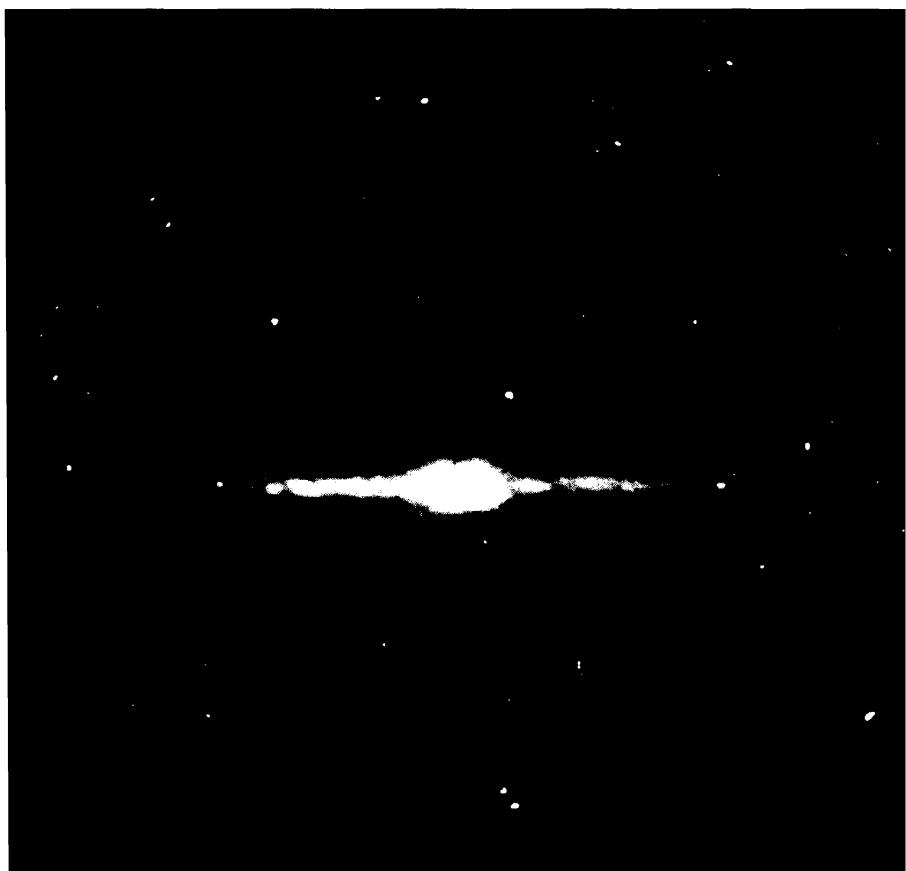
لما كان ارتباطنا وثيقاً بالشمس، التي تقع داخل مجرّة درب التبانة لهايئة، يتعدّر علينا التقاط صور فوتوغرافية لمجرّتنا من خارجها. فنحر ستعمل صوراً فوتوغرافية لمجرّات نائية لتعيننا على إدراك شكل مجرّتنا من لفضاء (الشكل 2.6).



شكل 2.6 المجرّة اللولبية M81 (NGC 3031) في كوكبة الدب الأكبر تشبه مجرّتنا درب التبانة يشير السهم إلى حيث يفترض أن يكون موقع الشمس والأرض لو كانت هذه مجرّتنا.

فلو كان بمقدورك أن تُبحِر بعيداً في أعماق الفضاء الفسيح، لرأينا مجرّتنا على شكل عَجلة هوائية pinwheel لولبية لامعة بقطر نحو ٥٠،٠٠٠ سنة ضوئية (٣٠،٠٠٠ فرسخ فلكي)، بحيث تقع الأرض - الطوافة - حواى الشمس - في واحدة من أذرعها اللولبية.

ولو استطعت النظر إلى المجرة من جانبها، لبدت لك قرصاً رقيقاً ينبع منتفخَ المركز. تبلغ ثخانةُ الانتفاخ النووي *nuclear bulge* هذا نحو من 10,000 سنة ضوئية (3000 فرسخ فلكي)، في حين تبلغ ثخانةُ القرص زهاء 3000 سنة ضوئية (1000 فرسخ فلكي). وتبعد الشمس عن مركز المجرة قرابة 30,000 سنة ضوئية (9000 فرسخ فلكي) (الشكل 3.6).



الشكل 3.6 صورة بالأشعة تحت الحمراء للنجوم والسحب الغازية التي تؤلف قرص مجرة درب التبانة، التقاطها السائل الربوطي الأمريكي المسمى مستكشف إشعاع الخلفية الكونية (COBE). تقع الأرض والشمس عند الحافة الخارجية للقرص، على بعد 30,000 سنة ضوئية من مركز المجرة. النقاط الساطعة خارج القرص هي نجوم قريبة من الشمس. (يمتد قرص المجرة بعيداً وراء موقعنا).

تدور المجرأة برمتها في الفضاء الكوني؛ يُستدَلُّ على ذلك من انتزاع دوبلر الإشعاعي في الأذرع اللولبية. وتجري الشمس - مع مجموعتها من الكواكب - حول مركز المجرأة بسرعة 250 كم/ثا (563،000 ميل/ساعة) تقريباً، وهي سرعةٌ فائقة لا تكاد تصدق كما ترى، ومع ذلك تحتاج المنظومة الشمسية إلى نحو 250 مليون سنة لإتمام دورة واحدة فقط!

وتبدو مجرتنا مندفعه عبر الفضاء باتجاه كوكبة السُّجَاج Hydra بسرعة تتجاوز 600 كم/ثا (600 مليون ميل/سا).

لو كان في قدرتك أن تَعْبُر المجرأة محلقاً من طَرْفِ إلى طرف بسرعة الضوء، فكم يمكن أن تستغرق رحلتك؟

الجواب: 100،000 سنة.

طريقة الحل: اقسم المسافة (قطر المجرأة = 100،000 سنة ضوئية) على السرعة (سنة ضوئية في السنة).

3.6 موقع النجوم

لما كانت مجرتنا من النوع اللولبي spiral، فإن معظم نجومها يتجمع في نواة nucleus مرئية وفي أذرع حلزونية تصدر عنها.

وفي حين تنتقل بعض النجوم عبر المجرأة فرادى، فإن أعداداً كبيرة منها تتحرّك في حشودٍ نجمية star clusters، وهي مجموعاتٍ من النجوم تبقى متكتلةً بسبب الجذب التناقلية المتبادل في ما بينها. تتكون هذه الحشود ظاهرياً عند تكافُف سحابة غازية علائقية متحوّلة إلى نجوم كثيرة. ولعل أهميتها الكبيرة للفلكيين تمثل في أن كلَّ النجوم المتباينة الكتلة في الحشد ذات عمر واحد تقريباً. وحسبنا دليلاً على المنشأ الحشدي للنجوم السُّحب الجزيئية المحتوية على مئات الآلاف من الكتل الشمسية.

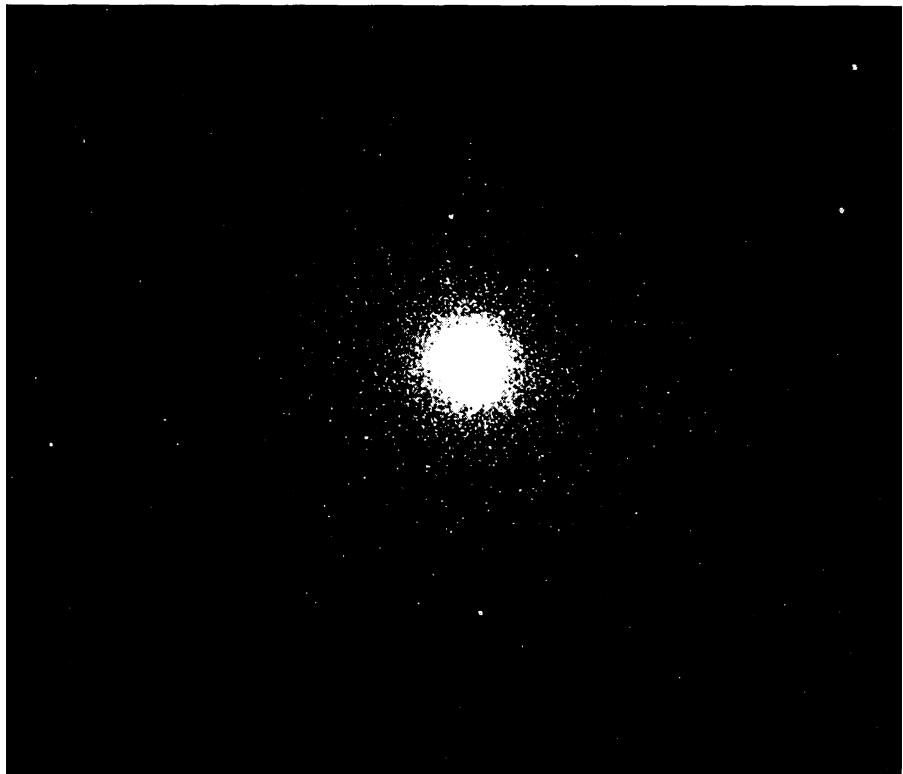
وقد رُصدَ فعلاً أكثر من ألف من الحشود (المجرية) المفتوحة open clusters ، التي يضم كل منها أعداداً من النجوم المتخلخلة تقع بين 10 نجوم و 10,000 نجم. تتحرك النجوم معاً ضمن قرص المجرة، وتتركز الحشود المفتوحة بكثافة في الأذرع اللولبية، وتكون نجومها فتية نسبياً، وحرارة عالية الضيائية في أغلب الأحيان (الشكل 4.6).



الشكل 4.6. الحشد النجمي المفتوح المسمى بالثريا (M45) في كوكبة الثور، يرى بالعين على شكل مجموعة من ستة نجوم خافتة، علماً بأنه يضم مئات النجوم. يبعد 00 سنة ضوئية. لاحظ الوهج الذي يكتنف النجوم: إنه غبار بينجمي يتلقى بانعكاس ضوء النجوم عليه.

ثمة جزء صغيرٌ من النجوم يكون على شكل حشود كُريّية globular clusters ضمن هالة halo، وهي منطقة كروية الشكل تحيط بالقرص. وقد رُصد نحو 150 حشداً كريّياً يضم كل منها أعداداً من النجوم المترابطة تقـ

بين 100,000 إلى مليون نجم. يجدر بالذكر أن هذا النوع من الحشود يحتوي على أقدم النجوم المعروفة (الشكل 5.6).



الشكل 5.6 الحشد النجمي المسمى 47 طوقان (NGC 104) في كوكبة الطوقان، هو ثاني أسطى حشدٍ كرببيٍّ، يقع على بعد 13,000 سنة ضوئية، ويضمُّ لبُّه عدداً من النجوم المتطوحة الزرقاء المُحيرة. يبدو للعين كنجم من القدر الخامس.

على أنَّ بعضَ الحشود الكرييَّة يضمُّ أيضاً عدداً صغيراً من نجوم مبهِّم تسمَّى المُتَطَوَّحاتُ الزرقاء blue stragglers، ذات لون أزرق لاقياسي، وضيائِ عالية. تبدو هذه النجوم أشدَّ حرارةً وأكثرَ فتوةً من سائر نجوم الحشد.

اذكر - بالاستعانة بالجدول 1.6 - ثلاثة فروق بين الحشود (المجزيَّة المفتوحة والخشود الكرييَّة الموجودة في مجرتنا).

(1)

(2)

(3)

الجواب: الحشود (المجرية) المفتوحة توجد في القرص المجري، وهي فتية نسبياً، وتضم عدداً صغيراً من النجوم. أما الحشود الكريية فتوجد في الهالة المجرية، وهي هرمة نسبياً، وتضم عدداً كبيراً من النجوم.

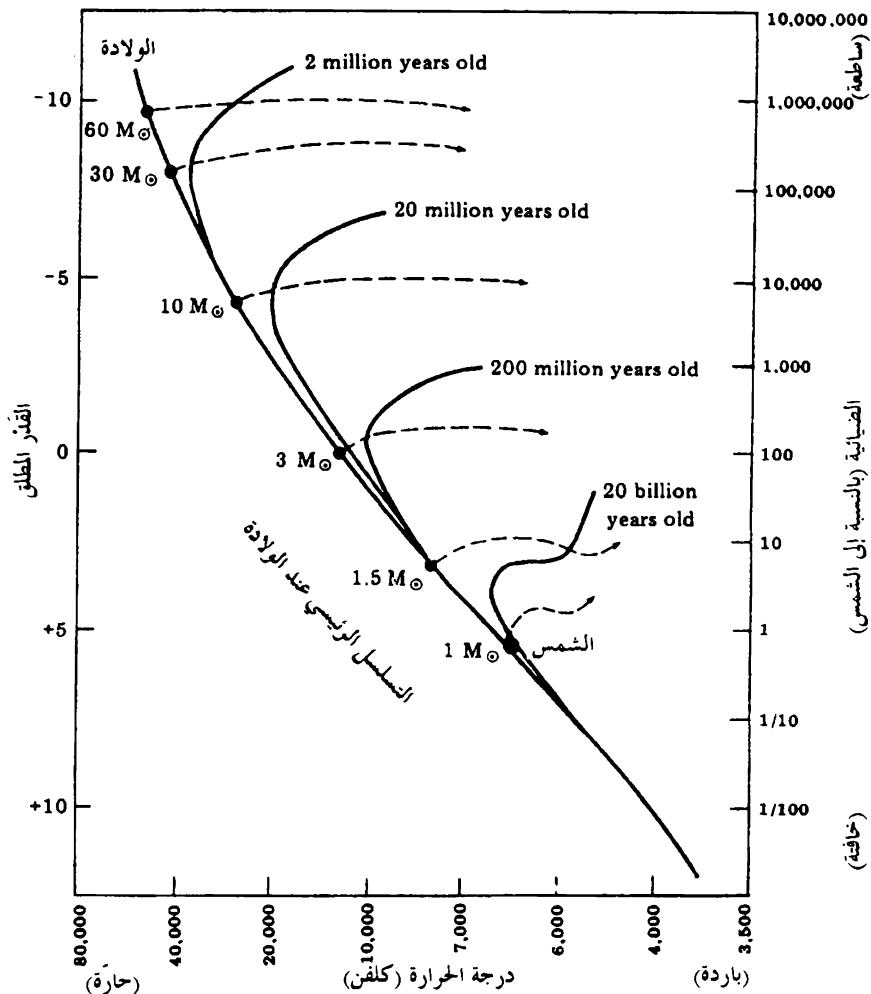
الجدول 1.6 بعض خصائص الحشود النجمية المفتوحة والكريية

الحشود الكريية	الحشود (المجرية) المفتوحة	الموقع
الهالة المجرية والانفاخ النووي	القرص المجري	القطر
أكثر من 100 سنة ضوئية	دون 100 سنة ضوئية	العمر
هرمة	فتية نسبياً	عدد النجوم
حتى 1 مليون	حتى 10,000	لون أسطع النجوم
أحمر	أزرق أو أحمر	

4. تحقق صحة النظريات

توفر الحشود النجمية أفضل المعطيات للاستيقان من صحة نظريات التطور النجمي. فترسم أولًا مخططات H-R استناداً إلى تصوّرات نظرية لنجوم متباعدة الأعمار، ثم تُرسم مخططات H-R لخشود نجمية مرصودة فعلاً. تقارن المخططات النظرية والعملية بغية إقرار النظرية أو دحضها.

والشكل 6 تمثيل لمسارات تطور متوقعة، مستمدّة من تصوّرات نظرية. فتبدأ النجوم كلّها على التسلسل الرئيسي عند ولادتها، بحيث تقع أكبر النجوم كتلةً في أعلى التسلسل الرئيسي، وأصغرها كتلةً في أسفله.



الشكل 6.6 الخطوط المتصلة تمثل موقع النجوم ضمن حشود مختلفة. تشير نقطة الانحراف بعيداً عن التسلسل الرئيسي إلى عمر الحشد. الخطوط المتقطعة تمثل مسارات نطور نجوم إفرادية مع ذكر كتلها. (M_{\odot} = كتلة الشمس).

وتتطور كل النجوم مبتعدةً عن التسلسل الرئيسي كلما طال عليها الأمد وأسئت. وإذا علمنا أن النجم الكبيرة هي أسرع النجوم تطوراً، أدركنا أنه كلما ارتفعت نقطة الانحراف كان الحشد النجمي أكثر فتوة.

قارن مخططي H-R لحشد الثريا المفتوح (الشكل 7.6) والحشد الكربوني M3 (الشكل 8.6) بمسارات التطور النظرية (الشكل 6.6). استنتج أي الحشدين (أ) فتى نسبياً ؛ (ب) هرم نسبياً علّ ما توصلت إليه

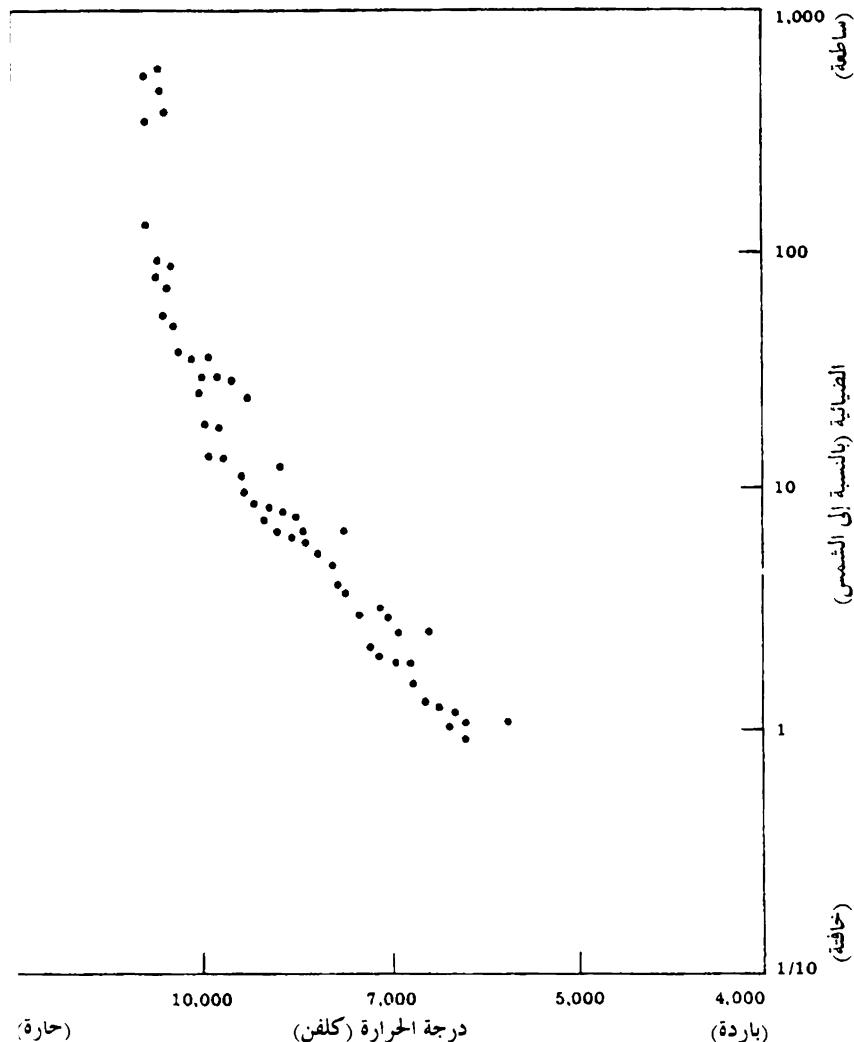
الجواب:

(أ) حشد الثريا فتى نسبياً؛ فمعظم نجومه، حتى الكبيرة الكتلة القصيرة العمر منها، مازالت على التسلسل الرئيسي. (وُلد حشد الثريا منذ نحو 70 مليون سنة خلت).

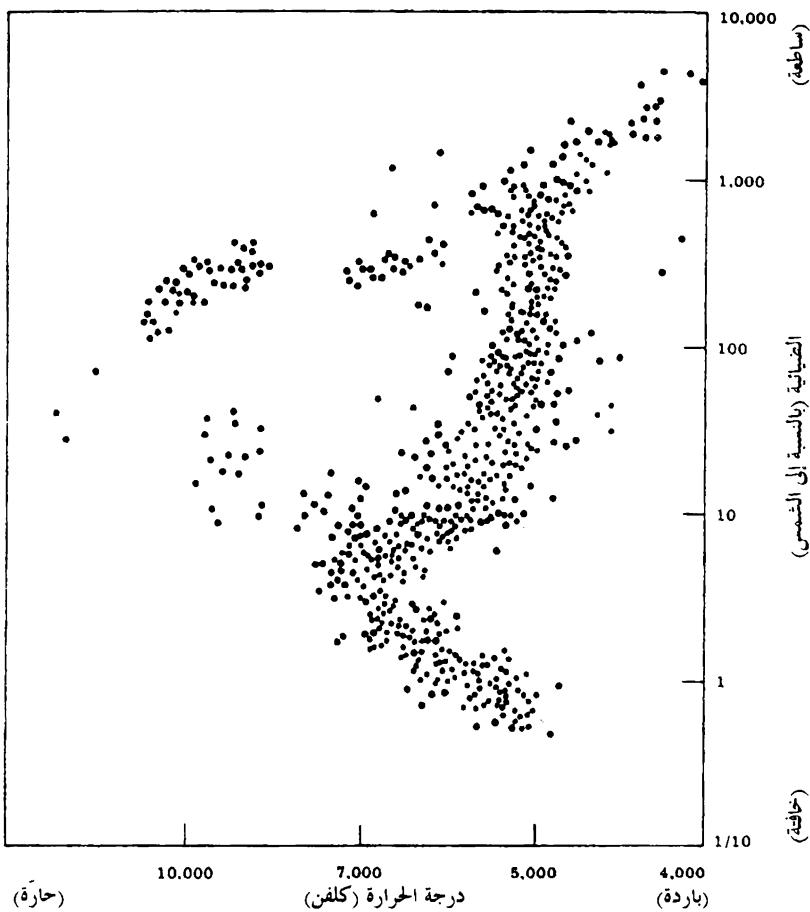
(ب) الحشد M3 هرم نسبياً؛ فلا يكاد نجمٌ من نجومه يظهر على النصف العلوي من التسلسل الرئيسي. بل إن كثيراً منها انتقل نحو اليمين إلى منطقة العملاقة الحمر. (يلغى عمر الحشد M3 زهاء 10 مليارات سنة).

5.6 الكتلة

ساد الاعتقاد - حتى عهد قريب - بأن معظم كتلة وضيائية أي مجرة نظامية normal galaxy كمجرتنا يتراكم في نجوم من قبيل تلك القريبة من الشمس، التي تبلغ كتلتها $10^{30} \times 2$ كغ. وتحوي الحركات التشاكلية المرصودة، للنجوم والغاز والمجرات ضمن الحشود اليوم، بأن معظم الكتلة في الكون هي على صورة ما، لم يُكشف النقاب عنها بعد، تسمى المادة القائمة (الخفية) dark matter. وعلى ذلك فإن المجرة المرئية قد تكون



الشكل 6.7 مخطط H-R لحشد الثريا (المجري) المفتوح.



الشكل 8.6 مخطط H-R للحشد الكُربي M3.

محاطة بـ هالة مجرية *halo* غير مضيئة هي أكبر حجماً وكتلةً. كم تتوقع أن تكون كتلة مجرة درب التبانة بكمالها لو كانت هذه الكتلة محشدة في نجوم كشمئنا؟ (استعن بالعدد التقريري لنجم مجرتنا من الفقرة 1.6)

الجواب: أكثر من 200 مليار ضعف كتلة الشمس، أو ما يزيد على 4×10^{41} كغ. (ملاحظة: تبلغ كتلة مجرة درب التبانة 400 مليار مرة كتلة الشمس على الأقل. وقد تكون أكثر من هذا بكثير في حال وجود المادة القاتمة).

6. ما بين النجوم

إن **الحيز الفضائي** بين النجوم هو فراغ على وجه العموم، إلا أن الأحوال الموضعية تتفاوت كثيراً. فهناك ما يسمى الوسط بينجمي interstellar medium، ويشمل المادة والإشعاع اللذين يتخللان النجوم، وهي في الأغلب أقل كثافة من الهواء في مناطق الفراغ المتولد على الأرض.

و**تُعد المادة بينجمية interstellar matter** ذات أهمية خاصة، لأنها تمثل المادة الأولية للنجوم والكواكب الوليدة. ويؤلف الغاز قرابة 99 في المئة من تركيبها (75 في المئة تقريباً من هذه الكتلة الغازية هو هيدروجين، و 23 في المئة منها هليوم)، والغبار بينجمي interstellar dust (جسيمات صلبة غاية في الدقة) نسبة 1 في المئة. ويذكر أن معظم الغاز والغبار بينجمي في مجرتنا متركز في أذرعها اللولبية، حيث تتوضع أحدث النجوم.

تُعزز السحب الغازية والغبارية باستمرار بالمادة التي تلفظها المستعرات الفائقة والرياح التجمية. فمنطقة H I region هي سحابة متوسطة الحرارة ذات هيدروجين ذري محايد، ومنطقة H II region هي سحابة متأينة الهيدروجين قرب نجوم حارة جداً.

وقد كُشفَ ما يزيد على 100 جزيء بينجمي interstellar molecules، إضافة إلى الهيدروجين، في سحب جزيئية molecular clouds عملاقة كثيفة وقاتمة وباردة. وإن تعجب فعجب وجود بخار الماء والجزيئات العضوية الشائعة التي تؤلف المركبات الأساسية لكل أنماط الحياة على الأرض؛ وقد أثار اكتشافها في الفضاء تساؤلات مثيرة حقاً عن منشأ الحياة في الكون.

لماذا كان من المهم - في نظرية التطور النجمي - معرفة تركيب المادة البينجمية في كل حقبة زمنية؟

الجواب: لأن المادة البينجمية هي المادة الأولية للنجوم والكواكب الوليدة.

7.6 سُحُبٌ عظيمة

استعملت كلمة nebula (لاتينية بمعنى «سحابة») تاريخياً للدلالة على مختلف أنواع الرفع الضبابية في السماء؛ ويشمل ذلك الكثير مما يُعرف اليوم بأنه حشود نجمية أو مجرات. وما زالت الكلمة مستعملة في بعض الأحيان للتعبير عن أي تَجْمُعٍ غازيٍ وغباريٍ⁽¹⁾.

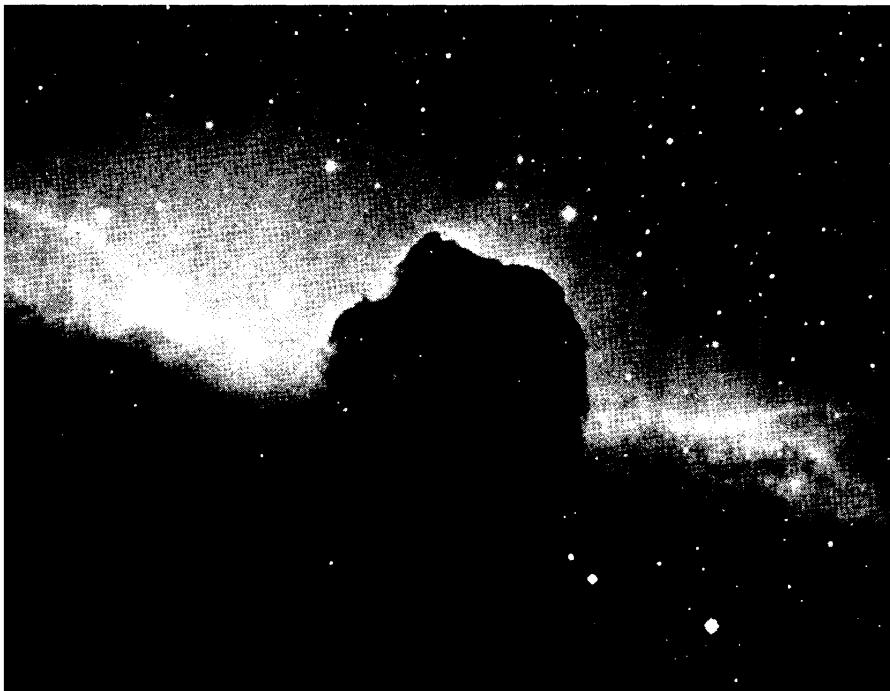
فسديم الإصدار emission nebula الساطع، أو منطقة H II، سحابة تتألق بامتصاص الضوء من النجوم الفتية المجاورة، ثم إصداره من جديد. وسديم الجبار Orion Nebula مثالٌ معروفٌ يمكنك رصده (الشكل 1.5).

وسديم الامتصاص absorption nebula القاتم، أو السحابة الجزيئية، تجمع كثيفاً من مادة بينجمية يمتص غبارها ضوء النجوم أو يبعثره، فيخفى بذلك النجوم التي خلفه فلا تكاد نراها.

يطلق على بعض الشدُّم أسماء خياليةٌ معبرةٌ عن مظاهرها. فِيمَ يتَأَلَّف سديم «رأس الحصان» في واقع حاله (الشكل 9.6)؟

الجواب: من كُتلٍ مرَكَزةٍ كثيفةٍ نسبياً من غبارٍ بينجميٍّ.

(1) لعل كلمة «سديم» هي الترجمة العربية الدقيقة لكلمة nebula. (المعرّب)



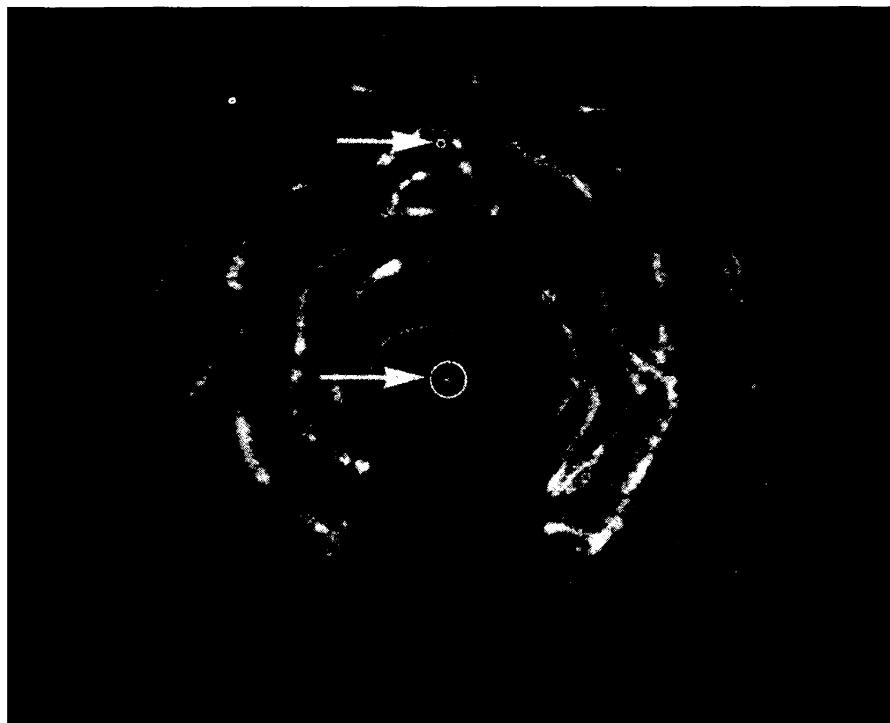
الشكل 9.6 سديم رأس الحصان (NGC 2024) في كوكبة الجبار سديم قاتم معروف، يقع على بعد أكثر من 1000 سنة ضوئية.

8.6 مسح مجرّتنا

يتعذر علينا النظر في أعماق مجرتنا درب التبانة لأكثر من نحو ألف سنة ضوئية من معظم الاتجاهات، حتى باستعمال أعظم المقاريب البصر وأحدثها، وذلك بسبب السحب الغبارية التي تحجب المشهد عنا.

ويستعين علماء الفلك بالأمواج الراديوية وتحت الحمراء والأمواج
العالية الطاقة، التي تستطيع النفاذ من هذه السُّحب، لتصوير ما يتجاوزها م
الفضاء.

تمسح البنية اللولبية لمجرتنا عن طريق كشف أمواج راديوية ذات طو
موجي يبلغ 21 سنتيمتراً. يصدر إشعاعاً ذو 21 سنتيمتراً centimeter - 1



شكل 6.10 خريطة راديوية تظهر البنية اللولبية لمجرتنا، وهي من إنتاج مرصد لايدن Leiden مأرصاد لخط الـ 21 سنتيمتراً. الدائرة الكبيرة تحدد موقع مركز المجرة، والدائم الصغيرة تحدد موقع منظومتنا الشمسية فيها.

وتمسح السحب الغازية الكبيرة الحارة بالكشف عن إصدار راديوه تواصل continuous radio emission بدلاً من طول موجي معين. وينشأ هذا لإصدار المتواصل عن كتل مركزة من الغاز المثار في مناطق H II الحارة.

ليس في إمكان المقاريب الراديوية إظهار تجمعات الهيدروجين البالغ لكثافة، في السُّحب الجزيئية القاتمة الباردة؛ ففي هذه المناطق تَحدُّد ذرَّاتِ الهيدروجين لتألُّف جزيئات هيدروجينية. لذلك يمْسح علماء الفلك الراديو;

أكثَر التجمُّعات الغازية بمعاينَة خط إصدار قويٌ لأول أكسيد الكربون. أما الهيدروجين الجُزئي - الذي لا يُصدر الإشعاع الراديوي ولا يمتُّصه - فيُصدَّ عند الأطوال الموجية تحت الحمراء وفوق البنفسجية.

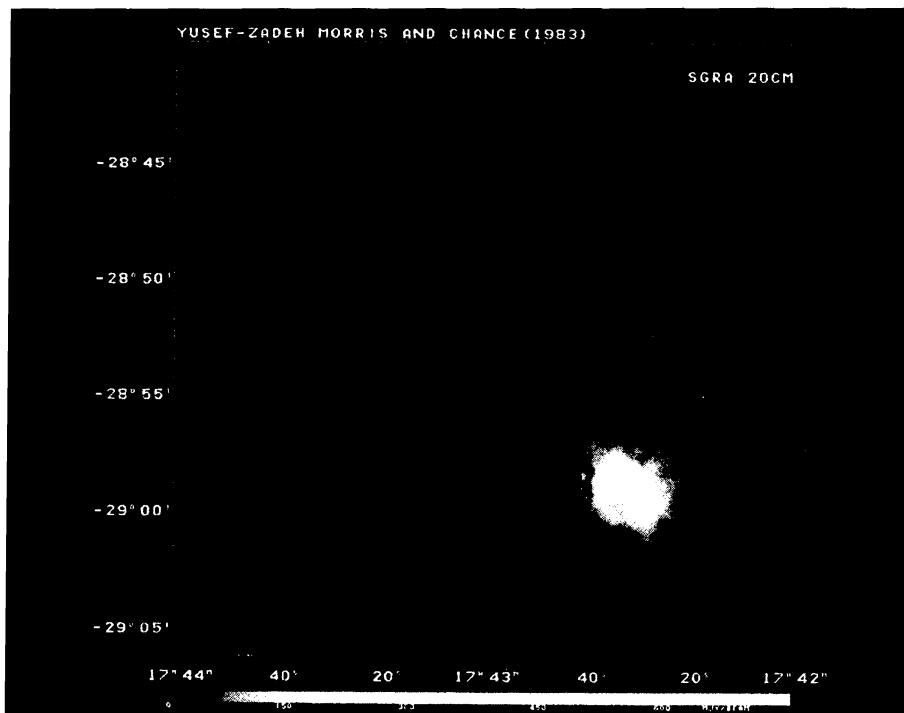
ومع ظهور معطياتٍ جديدة، تتعَدَّل تصوُّراتنا الفلكية باستمرار. فمن الأرصاد المثيرَة بنوع خاص ما يظهر عند الأطوال الموجية فوق البنفسجية من أكاليل نجمية وغازٍ بالغ الحرارة بين السُّحب، فضلاً على المنابع السينيَّة المتفجرة X-ray bursters، وهي نجوم سينيَّة تبدي تغييرات عشوائية عنيفة في إصداراتها، وكذلك ما يسمى منابع أشعة غاما gamma ray bursters، وهي منابع تُطلق دفقاتٍ عابرَة من الإشعاع الغامي الآتي من اتجاهات عشوائية في الفضاء.

تحتوي نواة مجرتنا في ما يبدو على جسم متراصٌ كبير الكتلة وغير اعتيادي، تحيط به سُحبٌ غازيةٌ وغباريةٌ حارَّةً جداً ومشوشة. ومن المحتمل أن يكون هناك ثقب أسود هائل، أو حشدٌ نجميٌّ كثيفٌ ومضيٌّ يغذي التدفق الغازي والضيائِيَّة المركزيَّتين. وبسقوط المادة نحو الداخل باتجاه المركز، تنضغط وتتسخن إلى ملايين الدرجات، مولدة الأشعة السينية المرصودة (الشكل 11.6).

وإذا صحَّ أنَّ لمجرتنا بنيةً لولبيةً عَصوَيةً barred spiral structure، كما تدلُّ بعض الأرصاد فعلاً، فإنَّ معدل السقوط قد يكون أسرع بكثير منه في البنية اللولبية النظامية؛ وفي هذه الحالة تحدث انفجاراتٍ نجميةٍ عنيفةٍ تنشأ عنها أعدادٌ كبيرةٌ من النجوم الشديدة السطوط والجسيمة الكتلة.

ما المثير بنوع خاص في مناطق التجمُّعات الغازية الكثيفة نسبياً في مجرتنا؟

الجواب: تكون النجوم في هذه المناطق.



الشكل 11.6 صورة راديوية في اتجاه مركز مجرة درب التبانة .

6. 9 جَمْهُرَاتِ النَّجُومِ

في سنة 1944 قسم عالم الفلك الأمريكي وولتر بايد Walter Baade (1893-1960) النجوم عموماً إلى صنفين (جمهرتين). وأثبتت تصنيفه ذاك - وإن كان مبسطاً إلى حد بعيد كما يقول العلماء اليوم - أنه ذوفائدة في تفسير آلية ارتباط النجوم وال مجرات بعضها البعض من حيث أعمارها وديناميّتها وتوليد العناصر فيها.

فنجوم الجمهرة (Population I) تضم أعلى النجوم حرارةً وضيائةً. وتقع هذه النجوم الفتية نسبياً في قرص المجرة، ولاسيما في الأذرع اللولية، مندسةً في الغبار والغازات التي تكونت منها. وتحميّز بعنانها النسبي بالعناصر

الثقيلة (كالشمس، زهاء ١ في المئة من الكتلة)، إضافة إلى عنصري الهيدروجين والهليوم.

أما نجوم الجمهرة (Population II)، كتلك الواقعة في الحشود الكريية، فتوجد بالقرب من التواه المجرية وفي الهالة. هذه النجوم أقدم عمراً، وتકاد تتألف بالكلية من الهيدروجين والهليوم.

كيف تفسّر نظرية التطوير النجمي الفارق بين نجوم الجمهرتين I و II؟

الجواب: نجوم الجمهرة II هي أقدم النجوم، تكوّنت من الهيدروجين الأصلي والهليوم، اللذين كانا متاحين عند ولادة مجرة درب التبانة. أما نجوم الجمهرة I ففتية، تكونت في زمنٍ متأخرٍ من الغبار والغاز، في الفضاء الغني بالعناصر التي تولدت في النجوم، ونشرتها المستعرات الفاقعية في فضاء الكون.

6. 10. نشأة مجرتنا

تكوّنت مجرتنا في ما يبدو منذ 10 - 20 مليار سنة خلت، ربما بعد بداية الكون ببعض مئات ملايين السنين، إذ يبلغ عمر أقدم النجوم نحو 13 - 18 مليار سنة.

من النماذج الرائجة حول نشأة مجرتنا ما يقال إنها نشأت في سحابة كونية دوّارة مضطربة تتألف من الهيدروجين والهليوم. ثم ارتفعت السحابة إلى بنية متلاحمة عندما تجاوزَ الجذبُ الداخليُّ للثقالة في نهاية الأمر الضغطُ الخارجيُّ. بعد ذلك عملت قوى ضغط الغاز والإشعاع والدوران والثقالة

جميعاً على تطويق مجرّتنا لتشهد شكلها الحالي .
 ممّ تتألّف (أ) أقدم النجوم و(ب) أحدث النجوم في مجرّتنا بمقتضى
 هذا النموذج لنشأة المجرّة؟ فضل إجابتك

الجواب: (أ) من الهيدروجين والهليوم، وهما العنصران اللذان توافرا كمواد أولية حين كانت المجرّة حديثة التكوّن. (ب) من الهيدروجين والهليوم، إضافة إلى 90 عنصراً آخر تولّد بحكم الطبيعة. إن الوسط البنجمي، الذي هو بمثابة المادة الأولى للنجوم الوليدة، تألف أساساً من الهيدروجين والهليوم، ثم تعزّز بعناصر أخرى قادتها المستعرات الفائقة والرياح النجمية.

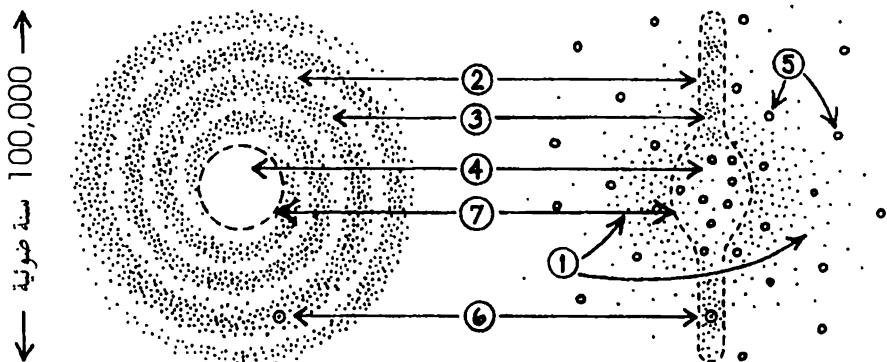
6. 11 بنية مجرّة درب التبانة

تلخيصاً لبعض ما عرفت عن مجرّة درب التبانة، استعين بالشكل 12.6 وحدّد عليه ما يأتي : (أ) قرص المجرّة ؛ (ب) هالتها ؛
 (ج) ذراعها اللولبية ؛ (د) نواتها ؛ (هـ) موقع الشمس والأرض منها ؛ (و) موقع الحشود الكريّة منها ؛ (ز) انتفاخها النوري

الجواب: (أ) 2؛ (ب) 1؛ (ج) 3؛ (د) 4؛ (هـ) 6؛ (و) 5؛ (ز) 7

6. 12 ما وراء مجرّة درب التبانة

حتى سنة 1924 لم تكن تُعرف من المجرّات غير مجرّتنا. ثم طَلَع



الشكل 12.6 تصوّران تمثيليان لمجراً درب التبانة.

العالِم الفلكيُّ الأمريكيُّ إدويين هَبْل Edwin Hubble (1889 - 1953) ليحلّل المتغيّرات القياومية، وليدلّ على أن بعض «السُّدُم» الضبابية التي كانت تُرصُد ما هي في الواقع إلّا مجرّاتٌ نائية.

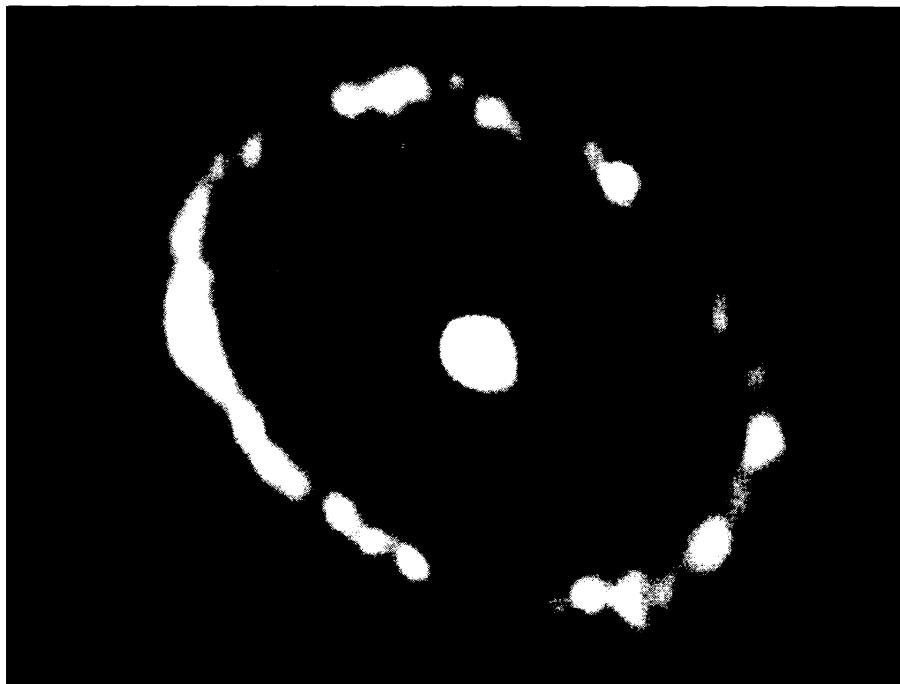
ولعل من المناسب في هذا السياق الإشارة إلى الدليل العام الجديد (NGC) للأجرام الفلكية اللازنجمية، الذي نُشرَّ أولاً مرة سنة 1888 على هيئة لائحة تضمُّ 7840 جرمًا سديميًّا، وضعها العالِم الفلكيُّ الدانمركيُّ يوهان دراير Johann Dreyer (1852 - 1926). وُسّع هذا الدليل سنة 1895 بنشر ملحق له يحمل عنوان «الدليل الفهرست» (IC)، ثم وُسّع ثانيةً سنة 1908 في ملحق آخر هو «الدليل الفهرست الثاني» (Second Index Catalog). وقبل ذلك نُشرَ «دليل مسييه» (Messier Catalog) الذي يشتمل على 110 من السُّدُم والحوشود النجمية والمجرّات (انظر الملحق 6 في نهاية الكتاب)، علماً بأنَّه نُشرَ أولاً هو الآخر على شكل لائحةٍ لـ 45 جرمًا سماوياً ضبابيًّا، وضعها سنة 1784 الفلكيُّ الفرنسيُّ شارل مسييه Charles Messier (1730-1817)، متوكِّلاً تجْبُّ الوقع في خطأ عدّها مذنبات جديدة.

ونحن نعتقد اليوم أن الكون مليء بال مجرات، إذ ربما وُجد منها فيه نحو 100 مليار مجرة، تضم كلّ منها عموماً أكثر من 100 مليار نجم. وتُعرَف معظم المجرات الساطعة برقم خاص بها في الدليل العام الجديد (NGC)، أو في الدليل الفهرست (IC)، أو في دليل مسييه (M).

من المجرات القريبة من مجرتنا سحابتنا ماجلان: مجرتان صغيرتان غير منتظمتي الشكل هما: سحابة ماجلان الكبرى (Large Magellanic Cloud LMC) في كوكبة الطوقان Tucana، وسحابة ماجلان الصغرى (Small Magellanic Cloud SMC) في كوكبة «أبو سيف» Dorado. تتماسك هاتان السhabitان بقوة الجاذبية، وتبعدان زهاء 169,000 سنة ضوئية (52,000 فرسخ فلكي) و210,000 سنة ضوئية (60,000 فرسخ فلكي) على الترتيب. وقد استُدلَّ على بعد السحابة الكبرى بنسبة 5 في المئة من أرصاد تتعلق بالحلقة الإهليجية المطيفة بالمستعر الفائق A 1987 (الشكل 13.6)، التي لفَظَها النجم السَّلْفُ حينما كان عدلاً فائقاً أحمر.

يمكن رؤية سحابتي ماجلان بالعين المجردة من نصف الكرة الجنوبي. وكان أول من رصدها المستكشف البرتغالي فرديناند ماجلان Ferdinand Magellan (نحو 1480 - 1521) في أثناء رحلته التاريخية حول العالم. تنتهي السhabitان كلتاهم إلى منظومة تقع داخل غلاف هيدروجيني هائل غير مرئي جرى كشفه عند الطول الموجي 21 ستيمتراً.

على أن أقرب المجرات الشبيهة بدرب التبانة هي مجرة المرأة المسلسلة Galaxy Andromeda، (NGC 224، M31)، غير أن كتلتها تبلغ ضعفي كتلة مجرتنا (الشكل 14.6). وهي - في حساب الفلكيين - أقصى جرم سماويٍ؛ إذ إنها تبعد نحو 2,5 مليوني سنة ضوئية (670,000 فرسخ فلكي)، وتستطيع رؤيتها بعينك المجردة، أو بمقراب صغير مزود بجهاز تسديد خاص. ما عليك إلا أن تبحث - في فصل الخريف - عن رقعة ضبابية من



الشكل 6.13 المستعر الفائق A 1987 (في المركز) وحلقته في سحابة ماجلان الكبري من كوكب الطوقان.

الضوء في كوكبة المرأة المسلسلة Andromeda constellation (وهي معلمٌ بـ GALAXY في خرائطك النجمية).

لكي ندرك معنى «القُرب» في قولنا « مجرات قريبة »، قدْر كم مجرة درب التبانة يفترض أن تترافق إحداها بجانب الأخرى بينما وبين أقرب جiranنا مجرة أندروميدا

الجواب : 25.

طريقة الحل :

$$25 = \frac{\text{المسافة إلى مجرة أندروميدا}}{\text{قطر مجرة درب التبانة}} = \frac{2,500,000}{100,000}$$

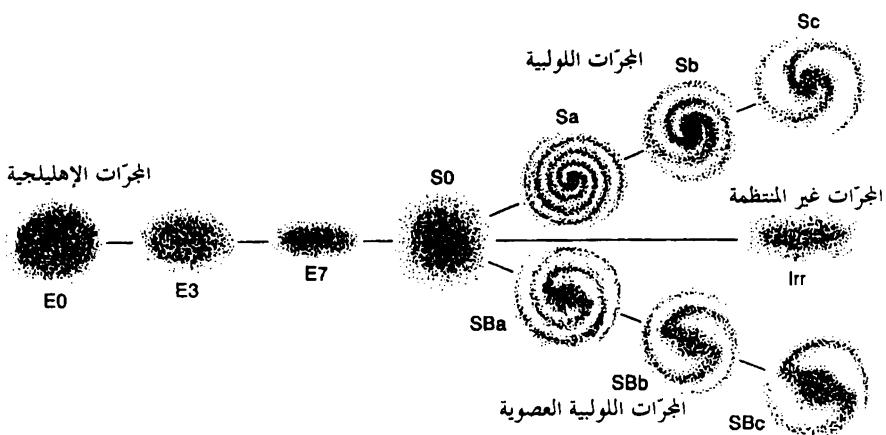


الشكل 14.6 صورة فتوغرافية لمجرة المرأة المسلسلة (أندروميدا)، مع رفيقها الساطعين NGC 205 (الأعلى) و M32 (الأسفل)، التقطت بمقارب قياس فتحته 1,2 م (48 بوصة). وهي مجرة لولبية أكبر من مجرتنا، وتحوي مليارات النجوم.

13.6 تصنیف المجرات

للمجرات أشكال وحجوم مختلفة، كان إدوين هبل أول من صنفها سنة 1926 في مجموعات تبعاً لبنها (الشكل 15.6).

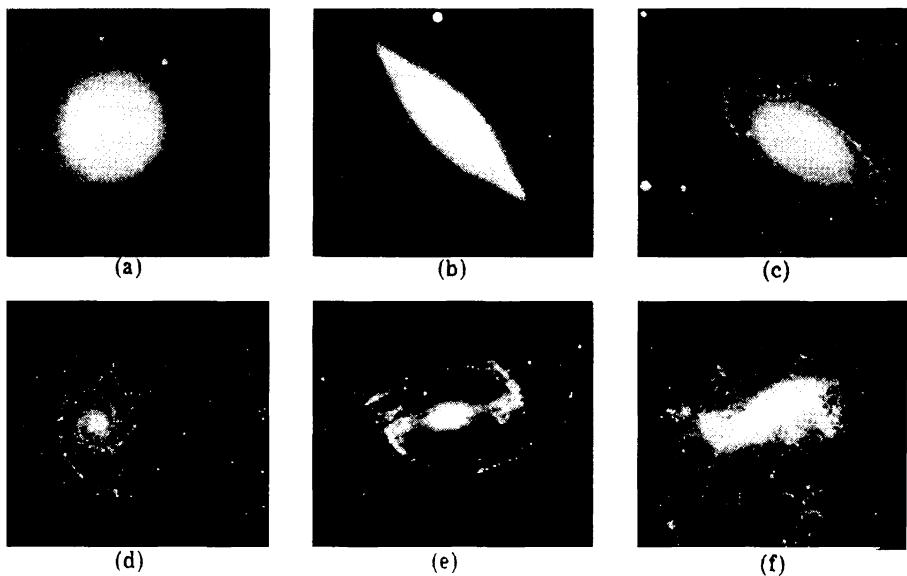
فال مجرات الإهليجية elliptical galaxies (ويرمز إليها بالحرف E) بخصوصها الشكل. وهي تتدرج في الشكل من كرات شبه تامة (E0) إلى كروانيات أكثر سطحاً (E7). تضم المجرات الإهليجية نجوماً هرمة في الغالب الأعم. وهي، وإن لم تُبدِ من الغاز والغبار المرئي إلا التَّزير اليسير، تُظهر في الواقع وجود قدر منها عند رصدها بالأأشعة السينية وتحت الحمراء.



الشكل 6.15.6 تصنیف هبل للمجرّات تبعاً لأشکالها، مرتبة في رسم تخطيطي له شكل الشوكة الثانية.

وال مجرّات اللولبية spiral galaxies تتفرّع إلى صنفين رئيسيين . فال مجرّات اللولبية النظمية (S) normal spiral galaxies لها قرص ساطع ، حيث تلتف الأذرع اللولبية بدءاً من نواة متنفسة . وهي بدورها تتفرّع إلى Sa و Sb و Sc و بحسب حجم الاتفاف المركزي ، ودرجة إحكام التفاف الأذرع اللولبية . يُرمز لتلك المجرّات ذات الأقراص المسطحة الساطعة والعديمة الأذرع بالحرفين SO . وال مجرّات اللولبية العصوية (SB) barred spiral galaxies مظهرها شبيه بال مجرّات اللولبية النظمية ، سوى أن أذرعها تسترخي اعتباراً من نهايات تجمع مركز من المادة ذي شكل عصوي . وتحتوي المجرّات اللولبية عموماً على كميات كبيرة من الغاز والغبار في أقراصها ، وعلى نجوم فتية وكهله وهرمة كذلك .

أما المجرّات غير المنتظمة (Irr) irregular galaxies فليست ذات شكل هندسي منتظم ، وتحتوي في العادة على غاز وغبار ، وعلى نجوم فتية ساطعة في معظمها ، وسُحب غاز متّاين ، وقليل من النجوم الهرمة .



الشكل 6.16 نماذج من مجرّات مختلفة الأصناف.

باشرَ هَبْل دراساتهِ المنهجيةَ على المجرات النائية، مستعملاً مقراباً ماوئنْ ويلسون Mount Wilson telescope الذي بلغ قياس فتحته 2,5 م (00 بوصة)، وكان أكبر مقاريب العالم ما بين سنتي 1918 و1938. واليوم يضيف علماءُ الفلك معطيات مدهشةً حقاً؛ فقد اكتشفوا المجرات العَدَسِيَّةٌ $\text{elliptical galaxies}$ (SO) التي تَتَّخِذُ شكل العدسة، والتي لها أقراص مجرية، ولكنها عديمةُ الأذرع اللولبية أو التكون النجمي الحديث العهد. واكتشفوا أيضًا المجرات القزمة dwarf galaxies، وهي مجرات صغيرة منخفضة الكتل والضيائية، وأكثر أنواع المجرات شيوعاً.

صنف كلاً من المجرات الواردة في الشكل 6.6 وفقاً لأشكالها ..

..... ؟ (ج) ؟ (ب) .. ؟ (أ)

(د)، (ہ)، (و)

الجواب: (أ) E0؛ (ب) E7؛ (ج) Sb؛ (د) Sc؛ (ه) SBb؛ (و) Ir.

14. الخصائص المجرية

إن بُعد أي مجرة هو مفتاح تحديد خصائصها الأساسية. لكن إجراء هذه القياسات فعلياً أمرٌ جدًّا عسير وما زال مشكوكاً في دقته الكاملة. وتنطبق هذه الشكوك أيضاً على تحديد المعطيات المجرية الأخرى.

ما السبيل إذن لقياس المسافات إلى المجرات؟ يمكن استعمال الشمعة العيارية standard candle، أي الجرم الفلكي الذي يُعرف قدره المطلق من صفاتيه المرصودة، لتحديد تلك المسافات إلى بُعد يقارب 10 ملايين سنة ضوئية. من الشعارات العيارية المفيدة ذكر المتغيرات القيفاوية، وأعلى النجوم ضيائية، والحسود الكريية، والمستعرات الفائقة، ونماذج المجرات القياسية.

على أن من غير السهل معايرة الشمعة العيارية؛ لذلك تقوم بعض التقنيات الحديثة على الربط بين عرض الخط الطيفي ودرجة ضيائية مجرة لولبية، بغية تعين القدر المطلق والبعد.

وبمعرفة بُعد المجرة، يمكن حساب قطرها ودرجة ضيائتها من قدرها الظاهري وقطرها الظاهري.

وتحسب كتلتها من الآثار التثاقلية المرصودة على النجوم والشحوب الغازية الموجودة بداخلها، أو على المجرات القريبة منها. وتدلل معطيات رصدية على أن معظم الكتلة المجرية مادة قائمة غير مرئية. وظاهر الأمر أن أي مجرة لولبية أو إهليجية كبيرة هي أكبر كتلة من الشمس بنحو تريليون مرة.

يُجمل الجدول 2.6 القيم التقريرية لمعطيات مجرية اجتمعت للعلماء

حتى الآن (علماً بأن هذه القيم قد تتفاوت كثيراً في حالة مجرّات إفرادية). استعن بهذا الجدول لاستنباط فارقين بين المجرّات اللولبية والإهليجية

الجواب: تحتوي اللولبيات على نجوم هرمة وأخرى فتية، وعلى غاز وغبار مرئيَّين بين النجوم لتوليد نجوم جديدة. في حين تضمُّ الإهليجيات نجوماً هرمةً فحسب، وقليلًا من الغاز والغبار البنجمي المركزي.

الجدول 2.6 قِيم تقريرية لمعطيات مجرّة

المجرّات غير المنتظمة	المجرّات الإهليجية	المجرّات اللولبية	القيمة
0.0005 - 0.15	0.000001 - 50	0.005 - 2	الكتلة (مجرة درب التبانة = 1)
0.05 - 0.25	0.01 - 5	0.2 - 1.5	القطر (مجرة درب التبانة = 1)
0.0005 - 0.1	0.00005 - 5	0.005 - 10	الضيائية (مجرة درب التبانة = 1)
نجوم هرمة وفتية	نجوم هرمة	نجوم هرمة وفتية	محتوى المجرة من النجوم
كميات وافرة من الغاز والغبار	كميات قليلة من الغاز والغبار	كميات معتدلة من الغاز والغبار	المادة البنجمية المضيئة

15.6 التطوّر المجري

ال مجرّات بطيءً جداً بحيث لا يتّسنى للإنسان رصده عياناً. ومع ذلك يستطيع علماء الفلك «رؤيه» المجرّات في مراحل مبكرة جداً من تطويرها عن طريق رصدها من مسافات بعيدة جداً عنا (إذ إن النظر بعيداً في أعمق الفضاء يعني النظر بعيداً في ماضي الزمان). فإذا كانت المجرّات قد تكونت من مادة بدائية في مراحل الكون الأولى، استتبع ذلك أن يكتشف الراصدون مجرّة أولية protogalaxy في طور التكوين.

ثم هل تتطوّر المجرّات بعد ولادتها تدريجياً بِرُكْم الغازات المجاورة، أم أنها تبلغ حجمها النهائي بسرعة؟ في داخل المجرّة تُولَد النجوم وتطوّر وتندثر، معيدة المادة الغنية بالعناصر الثقيلة إلى الفضاء لتكوين نجوم جديدة أخرى. كذلك يبدو أن المجرّات تتطوّر بفاعلية ونشاط بالتأثير في ما بينها؛ فقد تنشأ مجرّات إلهيليجية كبيرة عن حوادث تصادم بطيئة لمجرّات لولبية أصغر. وقد يفضي التصادم إلى إحداث منظومةٍ وحيدة ذات نوى مندمجة تحيط بها هالة من النجوم.

متى تَتَّخذ المجرّة شكلها؟ قد يتحدد شكل المجرّة بالدرجة الأولى من كتلتها الأولى وكثافتها واندفاعها الراوبي، وكذلك من وجود أجرام رفيبة قريبة منها، أو انتماها إلى حشد. وقد تكون المجرّات اللولبية أولاً، ثم تتكون المجرّات الإلهيليجية فيما بعد باندماج مجرّات لولبية.

كيف يتغيّر التركيب الكيميائي للمجرّة، ولوّنها، ودرجة ضيائتها على مدى مليارات السنين؟ تحقق العلماء حديثاً من حدوث تغييرات في اللون والضيائية، عن طريق مقارنة مجرّات تبعد عنا نحو 10 مليارات سنة ضوئية (أي أكثر فتوة) بمجرّات قريبة (أقدم عمرًا)، فوجدوا أنًّ بعد المجرّات موقعاً وأكثرها فتوةً كانت أسطع ضوءاً وأشدّ زرقة. ويبدو أن النجوم الزرقاء الحارة تتكون بمعدل أعلى في المجرّات الفتية منها في المجرّات الهرمة.

هل مِنَ الكثيْر من المجرّات بمرحلة مبكرة بالغة النشاط والفاعلية؟ لقد

وُجد أن كثيراً من المجرّات النّشطة تقع على مسافاتٍ نائية. ولعلَّ عدداً كبيراً من المجرّات قد مرَّ بمرحلة مبكرة عظيمة النّشاط، كانت فيها الكوازرات⁽¹⁾ (وهي أجرامٌ صغيرة استثنائية الضّيائة من خارج المجرّة، تتميز بازياح أحمر كبير) مراكزَ توليد طاقتها.

ما هي المعطيات المرصودة التي تدلُّ على أن اختلاف أشكال المجرّات لا يمثّل مراحلَ تطويرٍ في دورة حياتها؟ عُد إلى الشكل 15.6 والجدول 2.6

الجواب: إن الأنماط الثلاثة للمجرّات تحتوي كلُّها على نجوم هرمة. وتشير هذه الحقيقة إلى أن المجرّات اللوبيّة والمجرّات غير المنتظمة ذاتُ عمر واحد هي والمجرّات الإهلينجية، ولا يمكن أن تكون المرحلة النهائية لحياة مجرّة. كذلك لا يمكن أن تمثّل المجرّات الإهلينجية المرحلة الأولى من دورة الحياة - كما رأى هبل - لأنّها لا تحتوي على الغبار والغاز اللازمين لولادة نجومٍ جديدة توجد في المجرّات اللوبيّة والمجرّات غير المنتظمة.

6.16 المجموعات المجرّية

تشير عمليات المسح الفوتوغرافي للسماء إلى أن معظم المجرّات تتنمي

(1) كوازr quasar كلمة منحوتة من البداءة quasi (= شبه) وstellar (= نجمي)، ومعناها: [منبع راديوي] شبه نجمي. (المغرب)

إلى مجموعات يُطلق عليها اسم حشود المجرات clusters of galaxies. تضم هذه الحشودً أعداداً من المجرات تقلُّ فلا تكاد تتجاوز بضع مجرات، أو تكثر فتبليغ الآلاف. تتماسك المجرات بفعل قوة الثقالة وهي تطوف إحداث حول الأخرى بسرعات تقارب 1000 كيلومتر (600 ميل) في الثانية. ويُقصد بالغنى richness عدد المجرات التي تتجاوز في سطوعها مستوى سطوع مختارة ضمن حشدٍ مجرّيٍّ، على حين تشير البنية structure إلى مجموعة مجرات (الشكل 17.6).



الشكل 17.6 حشد العذراء الذي يضم آلاف المجرات، وتقع المجموعة الموضعية على محيطه وهو أقرب الحشود المجرية الغنية، إذ يبعد نحو 50 مليون سنة ضوئية.

تنتمي مجرتنا درب التبانة إلى حشد نموذجي صغير يسمى المجموعة الموضعية Local Group تضم زهاء 30 مجرة. وكلمة «موضعية» هنا تعني أن المجرات تقع ضمن منطقة قطرها 3 ملايين سنة ضوئية. ويجدر القول إن ثلاثة من هذه المجرات (مجرتنا درب التبانة، ومجرة أندروميدا M31، والمجرة M33 في كوكبة المثلث Triangulum) هي مجرات لولبية. أما المجرات الأخرى فهي إما إهليلجية (تضم رفيق المجرة M31 الساطعين: NGC 205 وM32)، وإما غير منتظمة (تشمل سحابتي ماجلان). وأغلبها مجرات قزمة، أي صغيرة لا تتجاوز قطرها بضعة آلاف السنين الضوئية.

تُقسم الحشود المجرية إلى صنفين اثنين تبعاً لأشكلها: فالخشود المنتظمة regular clusters خشود متراصة نسبياً، تبلغ أعلى كثافة لها قرب المركز، و مجراتها في الغالب إهليلجية أو لولبية من النوع S0. وكثير من الخشود المنتظمة يُصدر إشعاعاً راديوياً من المجرات الشسطة والغاز بين مجراتي (أي بين المجرات) intergalactic gas، في حين يُصدر ثلثها أشعة سينية عند درجة حرارة تناهز 100 مليون كلفن.

بالمقابل، تتميز الخشود غير المنتظمة irregular clusters ومنها مجموعة الموضعية - بنية أقل تراضاً، وبتركيز مركزي ضئيل وكميات أقل من الغاز الحار جداً. وهي تحتوي على الكثير من المجرات اللولبية وغير المنتظمة، قلة منها تُصدر أمواجاً راديوية أو أشعة سينية.

والحشد الفائق supercluster هو حشد لخشود من المجرات، وهو أكبر المنظومات المترابطة تناهلياً من بين الخشود المرصودة حتى اليوم. تقع قطراتها بين 100 مليون و مiliar سنة ضوئية. تنتمي المجموعة الموضعية مع مجرتنا درب التبانة إلى حشد العذراء Virgo Cluster، الذي هو جزء من الحشد الفائق الموضعي Local Supercluster.

تتوسع الخشود الفائقة في صفائح رقيقة تتاخم الخواطets voids، وهي

مناطق لا يُرصد فيها من المجرات إلا القليل، وهي أشبه بفظائع عملاقة تقع حشود المجرات على امتداد سطوحها. ويتألف الكون المنظور في معظمها من خواص هائلة بين الحشود الفائقة.

ما هي أكبر منظومة بنوية في الكون؟

الجواب: حشد فائق من المجرات.

6.17. نشاط غير اعتيادي في المجرات

إن بعض المجرات أشكالاً شاذةً وصفات غير مألوفة.

فال مجرة النشطة active galaxy مجرة تصدر عن مركزها، أو نواتها المجرية النشطة (AGN)، كميات ضخمة جداً من الطاقة تفوق كثيراً إجمالي خرج مفاعلات الاندماج النووي في نجوم المجرات النظامية. وكثيراً ما تُطلق النوى المجرية النشطة نفاثات عظيمة من غاز الهيدروجين نحو الخارج بسرعات عالية جداً (الشكل 18.6).

والظاهر أن مصدر الطاقة الهائلة منبع مركزي شديد يجذب إليه المادة القريبة. وقد تكون هذه القوة الجاذبة جرماً ضخماً جداً من قبيل ثقب أسود كتلته تفوق كتلة الشمس ملايين المرات. فإذا كان الأمر كذلك، فإن الغبار والغاز، بل وحتى النجوم، تتسارع وتتسخن وهي تتجه لولبياً نحو الثقب الأسود. وتُطلق المادة النارية الكثيفة الساقطة الإشعاع. ويمكن الاستدلال على كتلة المادة الجاذبة من سرعة السقوط.

أعطي تفسيراً محتملاً للفعلية العنيفة في المجرة المبينة في الشكل

؟18.6

الجواب: وجود ثقب أسود في مركز المجرة.



الشكل 6.18 صورة شعاعية لمجرة قنطورس A (NGC 5128) ، أقرب مجرة نشطة ، تبعد عن الأرض 11 مليون سنة ضوئية .

6.18 المجرات الراديوية

تُؤلِّف المجرات الراديوية radio galaxies أكبر صنف من المجرات النشطة (الشكل 6.19).

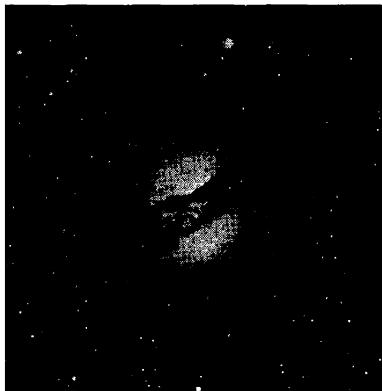
تُظهر الصورة الشعاعية لمجرة راديوية نموذجية رقعتين كبيرتين من الطاقة عند الأطوال الموجية الراديوية على طرقين متقابلين من مجرة مرئية . وتتراءى الطاقة الراديوية في العادة شبيهةً بما يسمى الإشعاع السنكروتروني synchrotron radiation ، وهو إشعاع تولده إلكترونات تحرّك لولبياً بسرعة ندانى سرعة الضوء ضمن حقل مغناطيسي قوي .

فإذا كان الثقب الأسود المركزي الافتراضي موجوداً فعلاً ، فإن نفاثة إلكترونات العالية الطاقة تُقذف بواسطة المادة وهي تختفي داخل الثقب



(a)

(c)



ل 6. 19. المجرة الإهليلجية التبسطة قنطرة
في مركبها. (أ) صورة سينية.
بالضوء المرئي.

سود. تطلق الإلكترونات الطاقة ا
لميسى قوي.

وقد توفر المواجهات المجرية
سود المفترض.

وعندما تتصادم مجرتان، فإن
ياد حديثة مجرة القوس gittarius
نة، وقد غاصلت داخل المناطق

تُصنف سُحبُ الغاز والغبار في المجرات المتصادمة colliding galaxies بالكثافة الشديدة، وقد تُحدث انفجاراً يؤذن بتكوين نجمي، أو تغذي الثقب الأسود الافتراضي بالوقود (الشكل 20.6).



الشكل 20.6 المجرتان المتصادمتان NGC 4676A/NGC 4676B «الفأرutan». ينشأ عن هذا التأثير ذيواً نجميّة طويلة تنسحب من المناطق المركزية للمجرتين.

وأغلب الظن أن ما يسمى الأَسْر المجريّ Galactic cannibalism يحدث عند مرور مجرة كبيرة جداً على مقربة دانية من مجرة أصغر منها بكثير، فـ«تلتهمها». وبفعل قوى المد تستطيع مجرة ضخمة نزع أو ضم الغاز والغبار والنجوم من قرص أصغر. إن سقوط النواة الصغيرة على مركز المجرة الكبيرة من شأنه أن يغذي خَرْج طاقتها لملايين السنين.

ماذا تعتقد أن يعترى الحياة على الأرض لو اصطدمت مجرتنا بمجرة أخرى؟ وسُعْ إجابتك.....

الجواب: لا شيء على الأغلب؛ فالنجوم وكواكبها المحتملة منفصلة بمسافات شاسعة ضمن مجرياتها، بحيث قد تُعبر مجرتان إحداهما الأخرى من غير أن تتماس نجومهما أبداً. (علمًا بأنه لم تُرصد حوادث تصادم نجميّة). .

19.6 مجرّات سايفرت

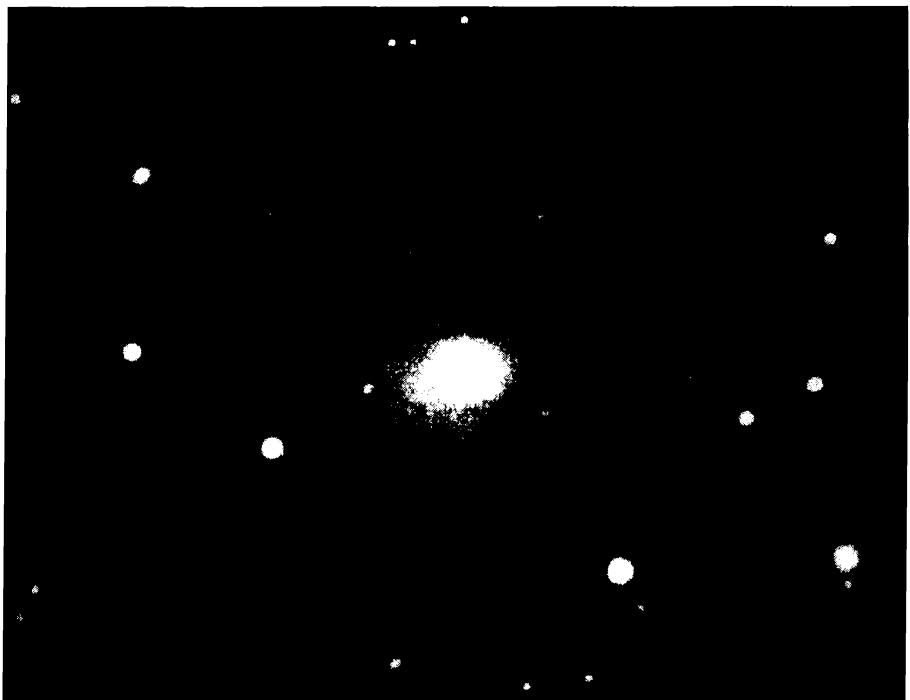
مجرّة سايفرت Seyfert galaxy، المسمّاة نسبةً إلى عالم الفلك الأمريكي كارل سايفرت Carl K. Seyfert (1911 - 1960) الذي وصفَ نموذجها الأولى، هي مجرّة لولبية ذات نواة مجرية نشطة (الشكل 6.21).

تضيء نواة سايفرت Seyfert nucleus - التي لا يتجاوز قطرها 10 سنوات ضوئية - بسطوع أكبر عدّة مرات من مجرّة نظامية بحجم مجرّة درب التبانة. ويتميّز طيفها بخطوط إصدار عريضة تدلّ على حركات مضطربة لغاز حارّ جداً، وبسرعات تصل إلى آلاف الكيلومترات في الثانية.

وأغلب مجرّات سايفرت مصدرات قوية للإشعاع تحت الأحمر. ويرجح أنّ الغبار المسخن الذي يغلف النواة يمتّص إشعاعاً عالي الطاقة يصدر عن اللب المستحث، ثم يُصدره من جديد عند أمواج تحت حمراء طويلة.

يُذكر أن أقل من 2% في المئة من إجمالي عدد المجرّات اللولبية هو من نوع سايفرت. فإذاً أن تحتوي جميع المجرّات اللولبية على نوى نشطة في وقت ما، وإنما أن يعمل جزء صغير من المجرّات اللولبية على هذا المنوال.

..... ما وجوه اختلاف مجرّة سايفرت عن مجرّة لولبية نظامية؟

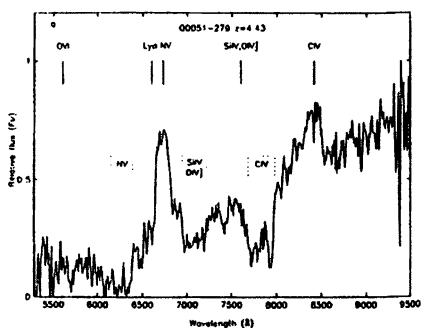


الشكل 21.6 إحدى مجرّات سايفرت، المسمّاة برساوس A (NGC 1275)، هي منبع راديويٌّ وسينيٌّ. تؤلّف المادّة المتنفّجرةُ خارجاً في الفضاء بسرعة 2500 كم/ثا (1500 ميل/ثا) منظومةً شاملةً من خيوط طويلةٍ.

الجواب: تتميّز مجرّة سايفرت بنوّاء صغيرٍ استثنائيٍّ السطوع، مع خطوط اصدار عريضة (ليس مصدرها النجوم) في طيفها.

6.20 كوازّرات غامضة

بدأت أوائل الكوازّرات المرصودة كنجوم خافتة في الصور الفوتوغرافية لملقطة لها، إلا أنها منابع راديويّة ذات أطياف لأنجميّة. ومن هنا تسميتها بالمنابع الراديويّة شبيه النجميّة (الشكل 22.6).



الشكل 6.22 الكوازير Q0051-279 البعيد جداً (أ) يتعذر تمييزه عملياً عن النجوم في الصور الفوتوغرافية المألوفة. (ب) لطيفه ضوء متراخ إلى الأحمر بدرجة كبيرة جداً تضيع هذا الكوازير مجاوراً للبداية المفترضة للكون.

ثمة آلاف من الكوازرات يُصدر معظمها طاقةً استثنائيةً على نطاق عريض من الأطوال الموجية، من الراديوية إلى الغامية. ومع ذلك فهي محافظةً على اسمها الأصلي. وربما كان الإصدار الراديوي مرحلةً مؤقتةً من دورة تطورها.

والكوازرات صغيرة قياساً إلى الأجرام السماوية الأخرى، إذ يبلغ نصف قطرها زهاء يوم ضوئي واحد (لا يزيد كثيراً على منظومتنا الشمسية)، لكنها تضيء بدرجة سطوع قد تفوق سطوع ألف مجرة نظامية، مع ملاحظة أن جل الكوازرات تتفاوت في خرُج ضوئها تفاوتاً غير منتظم.

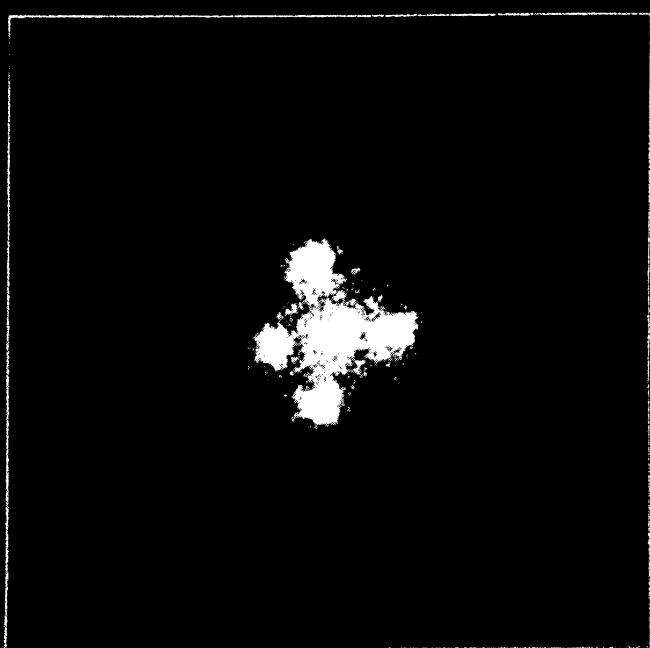
يُنْزَاح ضوء الكوازرات بدرجة كبيرة نحو النهاية الحمراء للطيف . وقد وُجد أن الكوازرات تستأثر بأعلى انتزاعات حمراء رُصدت حتى الآن . ويفسرُ أغلبُ الفلكيين هذه الخاصية على أنها مثال لانتزاع دوبلر ، وهذا يعني أن الكوازرات تنطلق بعيداً عنا بسرعة تتجاوز 90 في المئة سرعة الضوء . وإذا صحَّ هذا التفسير جاز القول إن الكوازرات هي أبعد ما اكتُشِف من أحراضاً سماوية ، وأعلاها ضيائية على الإطلاق .

ويلاحظ أن الضوء فوق البنفسجي الذي يصدره كوازير بأكبر انزياح أحمر يستقبل على الأرض ضوءاً أحمر. فإذا كانت هذه الظاهرة انزياحاً أحمر دوبلرياً حقاً، دل ذلك على أن حافة الكون المعروف متميزة بوجود كوازرات تنطلق بعيداً في الفضاء الكوني بسرعات مذهلة تتجاوز المليار كيلومتر (600 مليون ميل) في الساعة، وأن هذه الكوازرات كانت مضيئة حينما كان الكون فتياً.

وإن في الصور المزدوجة والمركبة للكوازير الظاهريّ نفسِه ما يعوض الرأي القائل بأن الكوازرات تقع على مسافات كونية شاسعة البُعد. وتقتضي نظرية أينشتاين في النسبية العامة بانحراف الضوء النجمي المار بالقرب من جرم كبير. فال مجرة التي هي أقرب إلينا من كوازير معين قد تكون عدسة ثاقلية gravitational lens تولد صوراً مركبة للكوازير (الشكل 23.6).

هذا وقد اقترحت فرضيات مختلفة كثيرة ثم نُبذلت، في محاولة لتفسير حجم الخرُج الهائل لطاقة تلك المحطات الكونية، فاستعان العلماء بنظرية أينشتاين النسبية لعزو الانزياح الأحمر غير الاعتيادي في الكوازرات إلى قوة ثاقلية عظيمة (انزياح أحمر ثاقي) gravitational redshift)، وقد يُفهم من ذلك أن الكوازرات كانت فيما مضى أقرب موقعاً وأقلَّ شدة ضيائية. وفي هذا الإطار درست حوادث تصادم جسيمات مادية والمادة المضادة antimatter لها، وهي النقيض الغريب للمادة المألوفة على الأرض. واقتُرح مصدر للطاقة جديد لم تدرك ماهيتها بعد.

(1) المادة المضادة هي ضربٌ من المادة إذا تمَّت والمادة العاديَّة أُفْتَت إحداهما الأخرى ولم يتخلَّف غير الطاقة؛ فالبوزيترون هو المادة المضادة للإلكترون، والبروتون المضاد هو المادة المضادة للبروتون. وهي تُرصد في الأشعة الكونية، ويمكن توليدها من الطاقة معملياً، إذ يرصد العلماء إشعاعاً عالياً الطاقة (أشعة غاما) يتحول إلى جسيمات. إلا أن أمثل هذه التحوُّلات تفضي دوماً إلى توليد زوج من الجسيمات لا بد من أن يكونا متعاكسي (أو منعدمي) الشحنة، وأن يكونا أحدَهما من مادة مألوفة والآخر من المادة المضادة. (المغرب)



Gravitational Lens G2237+0305

شكل 23.6 صورة للعدسة التناقلية $0305 + G2237$ التي يُطلق عليها اسم «تقاطع أينشتاين Einstein Cross»، التقاطها مقراب هيل الفضائي الأمريكي. ينحني مسار الضوء الوارد من كوازر يبعد زهاء 8 مليارات سنة ضوئية، بفعل الحقل التناقلاني لمجرة (البَرْجَةُ المركزية المنتشر) تقع على بعد 400 مليون سنة ضوئية، فتتكون الصور الخارجية الأربع الساطعة.

تُظهر أجهزة الكشف المزودة بعناصر قرنِ شحنٍ وجود كوازرات متراصّة ساطعة في مراكز المجرات، وقد يكون الكوازر أكثر أنواع النوى المجرية النشطة ضيائية. ولما كان نشاط الكوازر أكثر شيوعاً بكثير في المراحل الأولى لبدء الكون، مما هو عليه اليوم، فمن المحتمل أن الكواز هو مرحلة من مراحل تطور المجرات الفتية.

ولا ينفي علماء الفلك في تصنيف وتحليل مختلف المجرات والكوازرات من حيث حجمها وأشكالها ودرجات سطوعها وألوانها

وانزياحاتها الحمراء وتوزُّعها، بغية الوصول إلى إدراكٍ أعمق لبعض أسرار الكون.

..... ما الجانب الغامض في الكوازرات؟

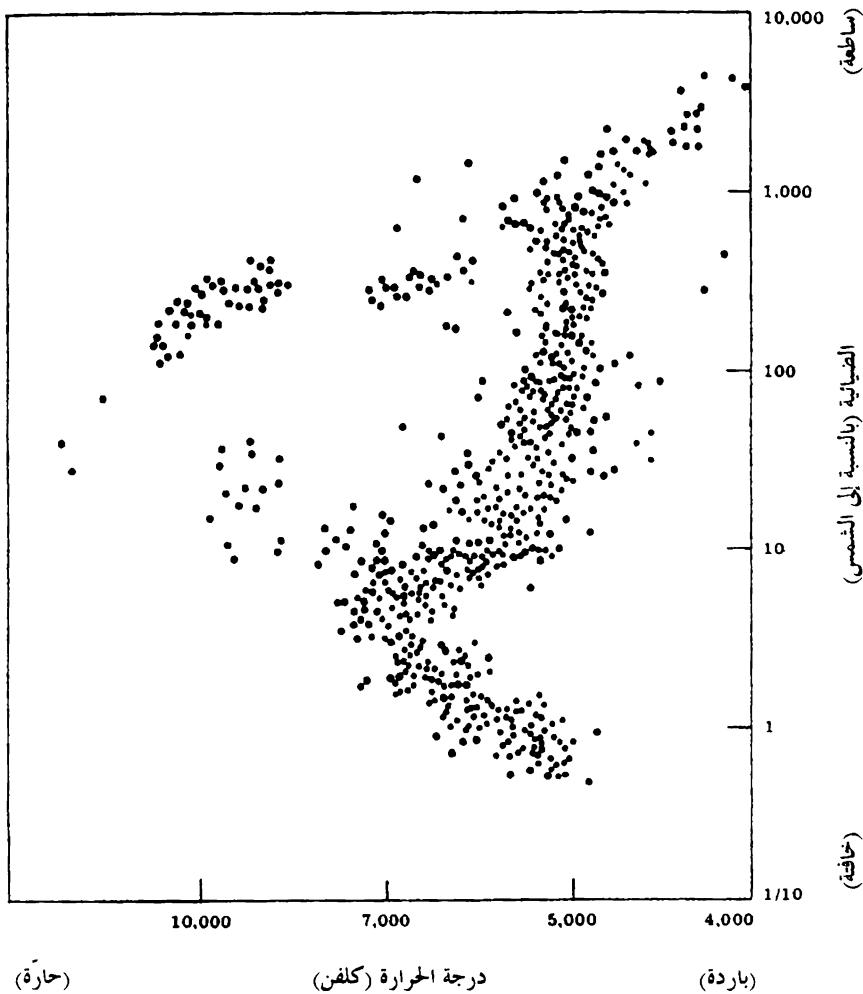
الجواب: مصدر خرج الطاقة الهائل الذي تملكه إذا كانت فعلاً على بُعد ناءً جداً عَنَا، كما هو الاعتقاد السائد.

اختبار ذاتي

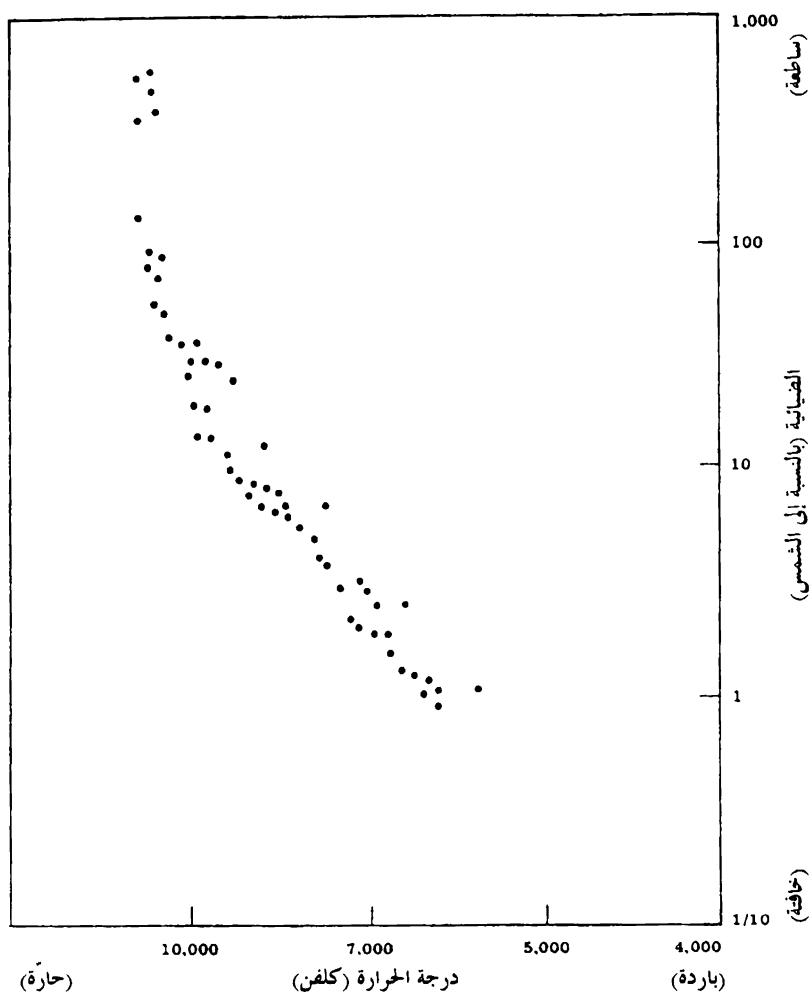
يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل السادس وتمثّلها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهداً استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

- 1. عَرِفْ المَجْرَة.....
- 2. رَتِّبْ مَا يلي تصاعدياً بحسب الحجم: نجم، كوكب، مجرة، حشد مجرّات، حشد مفتوح، حشد فائق، المنظومة الشمسية.....
- 3. ارسم مشهدأً تخطيطياً جانبياً لمجرة درب التبانة، وأثبت عليه (أ) طول القطر؛ (ب) القرص؛ (ج) النواة؛ (د) ذراع لولبية؛ (هـ) الهالة؛ (و) موقع الشمس والأرض؛ (ز) موقع الحشود الكريّة.....
- 4. أيٌ مما يلي تَحدَّد في الوسط البَيْنِجَمِي: غاز الهيدروجين، الإشعاع، البكتيريا، جُسيمات غبارية دقيقة صلبة، الفيروسات، بخار الماء، الكحول، غازات عناصر أثقل من الهيدروجين، جزيئات عضوية، الطحالب؟.....
- 5. لماذا كان من المهم في نظرية التطور النجمي معرفة تركيب المادة البَيْنِجَمِيَّة في كل حقبة؟.....
- 6. عُدْ إلى الشكل 9.6 وقرّر هل الفضاء الواقع خلف «رأس الفرس» فارغ من النجوم حقاً؟ فصل.....

7. ما السبب في أن إشعاع الـ 21 سم الراديوي الصادر عن ذرات الهيدروجين أكثر فائدةً من الضوء المرئي في مسح بنية مجرة درب التبانة؟
8. استعن بمخاططي H-R للحشدين التجميئين 1 و 2 الشكلان 24.6 (أ) و(ب) للإجابة عما يلي :
- (أ) أي الحشدين أقدم عمرًا؟
- (ب) أي الحشدين يضم نجوم الجمهرة؟
- (ج) أي الحشدين يضم نجوماً تتوفر فيها مقادير عالية نسبياً من العناصر الثقيلة؟
- (د) أيهما حشد كُرَيْي؟
- (ه) أيهما يضم عدداً كبيراً من النجوم الزرقاء الساطعة؟
- (و) أيهما قد يحوي ما يصل إلى 10 ملايين نجم؟
9. (أ) ما هو أبعد جرم سماويٍ يُرى بالعين المجردة؟
- (ب) كم من الزمن يستغرق الضوء الصادر عن ذلك الجرم كي يصل عينيك؟



10. عدد الأشكال الرئيسية للمجرات وفقاً لنظام تصنيف هبل، وبين السبب في أنها لا تمثل مراحل متعاقبة في تطور المجرات.



الشكل 24.6 (ب) مخطط H-R للحشد 2.

11. ما أكثر التفسيرات شيوعاً لخرج الطاقة الهائل في المجرات الشبيهة؟

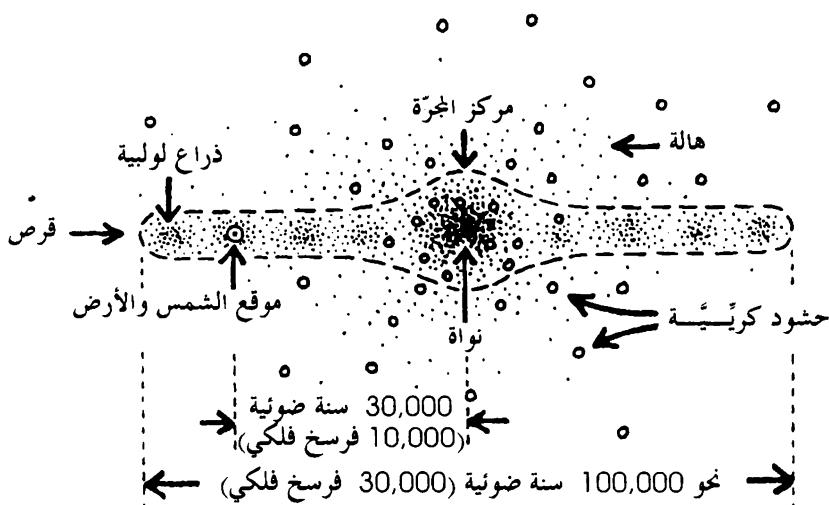
12. قابل كلاً من الشروح التالية بالجِرم المناسب للوصف:

- | | | |
|---------------------|---|----|
| (1) مجرّات متصادمة. | (أ) يبدي أكبر انزياح أحمر معروف حتى اليوم. | -- |
| (2) مجرّة سايفرت. | | |
| (3) مجرّة نظامية. | (ب) سُحب الغاز والغبار هنا أعلى كثافة بكثير. | -- |
| (4) كوازر. | | |
| (5) مجرّة راديوية. | (ج) تُظهر الصورة الشعاعية رقعتين كبيرتين تُصدران أمواجاً راديوية على طرفيين متقابلَيْن لمجرّة مرئية تقع بينهما. | -- |
| | (د) ذات نوافٍ ساطعة وصغيرة نسبياً، مع خطوط إصدار عريضة في طيفها. | -- |
| | (هـ) يمكن تفسير ضيائتها على أنها حصيلة نجوم كثيرة مجتمعة. | -- |

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتها صحيحةً كلّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأت في بعضها فعدُّ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقة أكبر إذا تعددت أخطاؤك.

1. تجمُّعٌ عظيمٌ من النجوم والغاز والغبار، تتماسك جميعاً بفعل قوة الثقالة.
(الفقرة 1.6)
2. كوكب، نجم، المنظومة الشمسية، حشد مفتوح، مجرّة، حشد مجرّات، حشد فائق.
(الفقرات 1.6 إلى 3.6 و 16.6)
3. الشكل 25.6. (الفقرات 2.6 و 3.6 و 11.6)

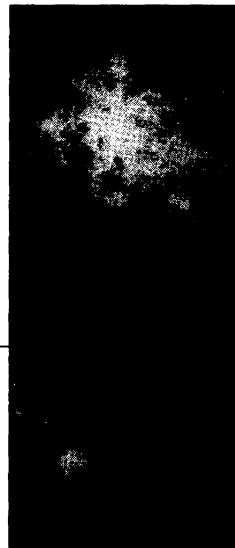


الشكل 25.6 مرأى جانبي لمجرة درب التبانة (كما تُرى من حافتها).

- . 4. غاز الهيدروجين، الإشعاع، جسيمات غبارية دقيقة صلبة، بخار الماء، غازات عناصر أثقل من الهيدروجين، جزيئات عضوية. (الفقرة 6.6)
- . 5. لأن المادة البنجمية هي المادة الأولية للنجوم والكواكب الجديدة. (الفقرتان 6.6 و 8.6)
- . 6. لا، فـ«رأس الفرس» سديم قاتم، وهو تجمع كثيف نسبياً من مادة بنجمية يمتلك غبارها ضوء النجوم أو يبعثره، فيخفى بذلك النجوم التي خلفه فلا نكاد نراها. (الفقرة 7.6)
- . 7. لأن الأمواج الراديوية تنفذ من خلال الغبار البنجمي في قرص مجرة درب التبانة بصورة أكثر فاعلية بكثير من أمواج الضوء المرئي. (الفقرة 8.6)
- . 8. (أ) 1؛ (ب) 2؛ (ج) 2؛ (د) 1؛ (ه) 2؛ (و) 1. (الفقرات 3.6 و 4.6 و 9.6)
- . 9. (أ) مجرة المرأة المسلسلة (أندروميدا). (ب) 2,2 مليونا سنة تقريباً. (الفقرة 12.6)
- . 10. الإهليجية، واللوبلبية، وغير المنتظمة. جميعها تحتوي على نجوم هرمة، لذا لا بد من أن تكون من عمر واحد. (الفقرات 13.6 إلى 15.6)
- . 11. وجود جرم هائل، يرجح أنه ثقب أسود، في مركز المجرة. (الفقرة 17.6)
- . 12. (أ) 4؛ (ب) 1؛ (ج) 5؛ (د) 2؛ (ه) 3. (الفقرات 5.6 و 17.6 إلى 20.6)

7

الكون



في البدء خلق الله السماوات والأرض، وكانت الأرض خربة خاوية، وعلى وجه الغمّ ظلمة، وروح الله ترف على صفحة الماء. وقال الله: «ليكن النور»، فكان نور. ورأى الله النور أنه حسن.

سفر التكويرن 1:1-14

الأهداف:

- تعريف علم الكون.
- بيان حدود علم الكون وافتراضاته الأساسية.
- إقامة الدليل على أن الكون يتسع باستمرار.
- عرض قانون هبل.
- بيان أهمية ثابت هبل.
- وصف ماضي الكون وحاضرِه استناداً إلى نظرية الانفجار العظيم.
- استشراف مستقبل الكون في ضوء نماذج الكون المفتوح، والمنبسط، والمغلق.

- إيراد أرصاد مهمة تعضد نظرية الانفجار العظيم.
 - عرض وسائل للاختيار من نماذج الكون المفتوح، والمبسط، والمغلق.
 - تقديم مشكلة في نموذج الانفجار العظيم وحلّها بنموذج الكون المتوسيع توسيعاً انفجاريأً.
 - عرض طرائق فلكية لتقدير عمر الكون وحدوده.

1.7 تسائلات لا تنتهي

يتساءل الناس دوماً عن كيفية بداية الكون وعن مآلِه، ولقد ابتدأَت أسطيرُ الأقدمين وفلسفتهم ولاهوتهم نماذجَ تصوّر نشأته ونهايته. وعلم الكون أو الكوزمولوجيا cosmology مبحثٌ يدرس أصلَ الكون وبنيةَ الحالَية وتطورَه ونواتجه، ويستشرف مصيرَه.

يُبتعد علماء الفلك نماذج كونية cosmological models، وهي توصيفات رياضية تسعى إلى تفسير: كيف بدأ الكون؟ وكيف يتغير بمرور الزمن؟ وماذا سيحصل به في المستقبل؟ ويتعين أن تكون النماذج منسجمة مع الملاحظات والرصدية التي بحوزتنا عن النجوم وال مجرات.

وفي غضون السنوات الخمسين الماضية جرى اختبار نوعين أساسيين من النماذج الكونية هما: النموذج التطوري evolutionary ونموذج الحال المستقرة steady state. وجاءت النتائج لتجسد النموذج التطوري.

تختلف النماذج الكونيةُ عن التفسيرات الدينية للكون اختلافاً جوهرياً.
فهل لك أن تذكر ذلك الاختلاف؟

للطبيعة على الظواهر الفيزيائية، بل تحاول تفسير هذه الظواهر بمقتضى قوانين الطبيعة والرياضيات حسراً.

7.2 الكون المتوسّع

إن الظاهرة الأساسية التي لا بد أن يلحظها أي نموذج كوني هي انزياح الضوء الوارد من المجرات النائية في الطول الموجي نحو النهاية الحمراء (أمواج طويلة) للطيف. تسمى هذه الظاهرة الانزياح الأحمر الكوني

. cosmological redshift

ترى النظرية الحديثة أن هذا الانزياح الأحمر ناشئ عن تمدد المكان -
الزمان⁽¹⁾، بصورةٍ تجعل المجرات الأخرى تبتعد عنا. فإن معظم المجرات النائية التي نرصدها تتميز بأكبر انزياحاتٍ حمراء، وهي أسرع المجرات انطلاقاً في فضاء الكون (الشكل 1.7).

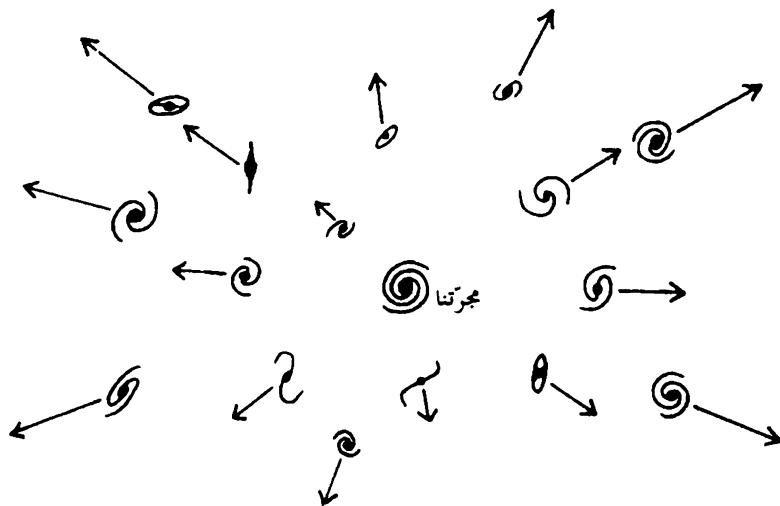
عندما ننظر في أعماق الفضاء نرى المجرات تنحسر مبتعدةً عنا. فماذا يدلُّ هذا المشهد؟ ..

الجواب: يدلُّ على أن الكون في حالة توسيع حتماً.

7.3 الانزياحات الحمراء

أمعن النظر في الشكل 2.7، الذي يعرض الانزياحات الحمراء والسرعات المقابلة لها في خمس مجراتٍ متفاوتة البُعد عنا.

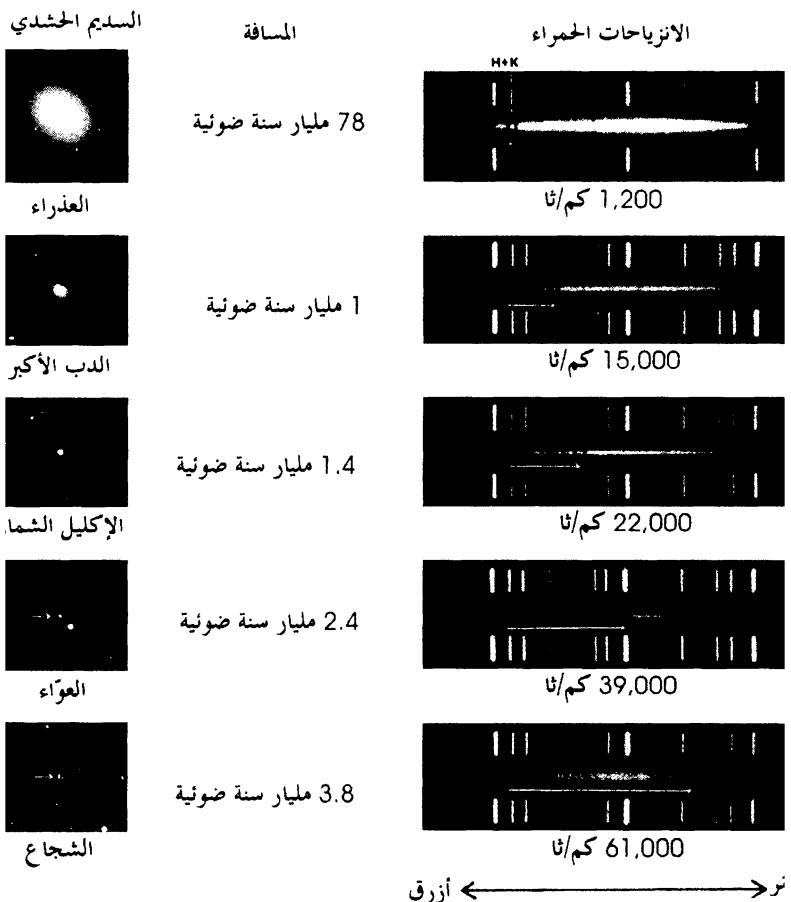
(1) نظام المكان - الزمان الرباعي الأبعاد، يُستعمل لتمثيل الكون في نظرية النسبية، وفيه ثلاثة أبعاد تُنظر الفضاء العادي، أما البُعد الرابع فيناظر الزمن. يسمى أيضاً: متّصل المكان -
الزمان space-time continuum. (المغرب)



الشكل 1.7 ترمي (انحسار) المجرات، كما يبدو من مجرتنا درب التبانة (السهام تدل على السرعات).

يلاحظ أنَّ الخطوط الطيفية المخبرية للأطوال الموجية المعروفة، أُظهرت فوق وتحت خطوط طيف كل مجرة للرجوع إليها، وأنَّ زوجاً من أقتم خطوط الامتصاص، H و K للكالسيوم المتأين، قد وُسما في أعلى الطيف المرجعي إلى اليسار في مواضعهما غير المُترابحة. يتراوح هذان الخطان نحو الأحمر (إلى اليمين من الصورة) بمقادير متزايدة في حالة المجرات البعيدة.

بالاستعانة بالشكل 1.7(أ) ارسم خطأً بيانيًا تقريبياً تمثل كل نقطة فيه سرعة تراجع إحدى هذه المجرات وبعدها. ماذا تلاحظ عندما ترسم خطأً منحنياً سلساً يصل بين النقاط الخمس؟ وضح ذلك

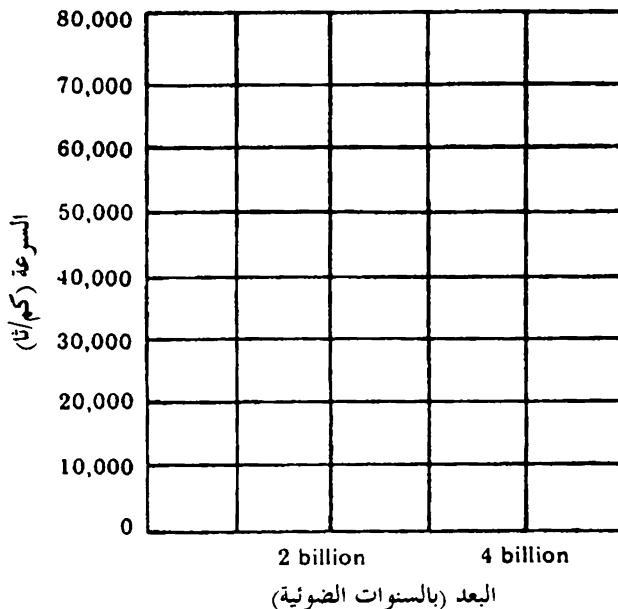


2.7 الانزياحات الحمراء والسرعات المقابلة لها في خمس مجرات. المسافات م في حالة ثابت هبل المساوي 15 كم/ثا / مليون سنة ضوئية.

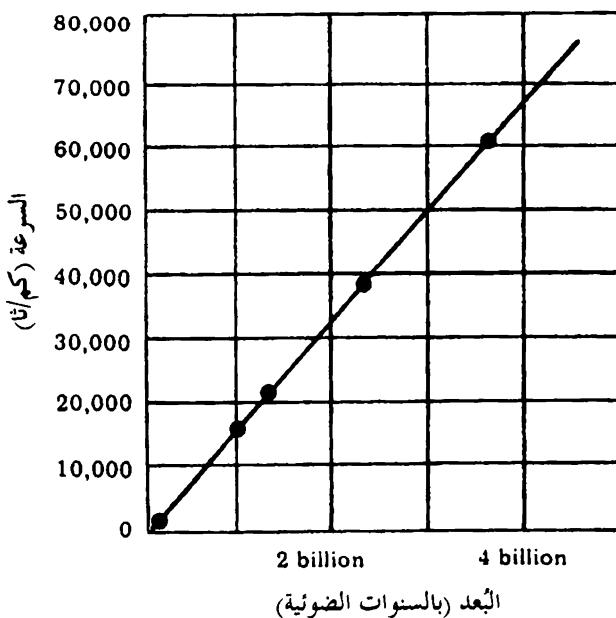
يعنى وجود علاقة خطية بين سرعة تراجع هذه المجرات وبعدها

علاقة السرعة بالمسافة

قضى عالم الفلك الأمريكي إدوين هبل جلّ سينيّ حياته باحثاً، فراح يدرس العلاقة بين بعدها وسرعة انحسارها. واكتشفَتْهُ الخطية التي وجدتها توأماً علاقةً صحيحةً على وجه العموم: وهي



الشكل 3.7 (أ) شبكة متسمة لمخطط السرعة مقابل البعد.



الشكل 3.7 (ب) مخطط هيل لخمس مجرات.

سرعة انسحاب المجرات مع تزايد بُعدها. [وهذا ما يسمى علاقة السرعة بالمسافة velocity-distance relation].

ينصُّ قانون هَبْل Hubble law (1929) على أن سرعة الانحسار v لمجرة يتناصف طرداً مع بُعدها d عَنَا، ونكتب:

$$v = Hd \quad \text{حيث } H \text{ هو ما يسمى ثابت هَبْل}$$

وتتجلى أهمية ثابت هَبْل في أنه يعطي معدل انحسار المجرات، أي معدل توسيع الكون. ويُستعمل في قانون هَبْل أيضاً لحساب المسافات إلى المجرات من انزياحاتها الحمراء المقيسة.

وليس من السهل تحديد ثابت هَبْل بدقة، ذلك بسبب وجود ارتيابات في سُلُّم المسافات المجرية. وكثيراً ما تُعدَّ قيمة المعلنة، وهي تقع على وجه التقرير بين 50 و 100 كم/ثا/ميغا فرسخ فلكي (15 و 30 كم/ثا/ مليون سنة ضوئية).

علمت فيما تقدَّم أن بعض الكوازرات أكبر انزياحات حمراء رُصدت حتى اليوم (الفقرة 20.6). فإذا كانت هذه الظاهرة مفعولاً دوبليرياً، وهذه الكوازرات تبتعد عَنَا بسرعة أكبر من كل المجرات المعروفة، فماذا تقول في بُعدها؟ وضَّح إجابتك ...

الجواب: هذه الكوازرات هي أبعد الأجرام التي تستطيع رصدها؛ فقانون هَبْل ينص على أن أبعد الأجرام هي أسرعها ابتعاداً عَنَا.

5.7 المقدمة المنطقية

إن الافتراض الأساسي الذي نكونه في إطار مسعانا لإدراك كُنه الكون يسمى المبدأ الكوني cosmological principle.

ينص المبدأ الكوني على أن الكون متجانس homogeneous ومُتَنَاهٍ⁽¹⁾ على نطاق كبير؛ أي إن توزع المادة واحد في كل مكان من فضاء الكون وفي كل زمان، وإن الكون يبدو موحد الخواص في جميع الاتجاهات.

وليس للفضاء الذي يلينا مباشرةً ميزة خاصة؛ فقوانين الفيزياء عامة شاملة، أي إن راصداً في أي مكان من الكون قد يرى في وقت معين ما نراه نحن إلى حد بعيد.

من هنا تبرز أهمية المبدأ الكوني في أنه يتتيح لنا افتراض أن هذا الجزء الصغير الذي نستطيع رصده من الفضاء يمثل حقيقة سائر الكون الذي لا نستطيع رصده. وهو يسمح لنا كذلك بصوغ نظرية تفسّر الكون كله، حتى تلك الأجزاء التي لا نتمكن من رصدها.

تبين أوصادنا أن المجرات النائية تجري مبتعدةً عنا. فهل يعني ذلك أن مجرتنا درب التبانة هي مركز الكون كله؟ فسر ذلك

الجواب: لا. فالمبدأ الكوني يقضي بأنك لو نظرت في الفضاء الكوني من أي مجرة أخرى لرأيت عدداً مقارباً من المجرات الواقعة في كل اتجاهات الفضاء، وهي تجري مبتعدةً عنك.

❷ يمكنك القيام بتجربة بسيطة لتمثيل المبدأ الكوني (الشكل 4.7). خذ باللوناً، واجعل سطحه الخارجي يمثل فضاء ثلاثي الأبعاد. أثبتْ عليه نقاطاً كيـفـما اتفق تمثل المجرات، وعلم إحداها (د ت) رمزاً لمجرتنا درب التبانة.

(1) التناهي isotropy: توّحد الخواص، أي تساويها في جميع الاتجاهات. (المغرب)



الشكل 4.7 إن البالون المتفاخ يمثل نموذجاً منطقياً لمفهوم الكون المتوسّع.

انفاخ البالون فينعني إلى «البعد الرابع». انظر كيف تتباعد النقاط (المجرات) أكثر فأكثر مع استمرار النفخ وتَمَطّط البالون. («البعد الرابع» هو الزمن. والحجم داخل البالون يمثل الماضي، وخارجه يمثل المستقبل).

7.6 نظرية الانفجار العظيم

تفترض نظرية الانفجار العظيم Big Bang أن الكون قد خُلِق بحدث انفجاري عنيف جداً يسمى الانفجار العظيم، وهو منذئٍ في حالة تطوير وتوسيع. كانت البداية - وفقاً لهذه النظرية - منذ 10 - 20 مليار سنة خلت.

فقد كانت جملةً مادةً كوننا الحالي وإشعاعه متكتلةً في ما يسمى كُرة النار البدائية primeval fireball، وهي حالةً بلغت غاية الحرارة والكثافة تمددً منها الكون بسرعة، فكان الانفجار العظيم بدايةً ذلك الزمن والفضاء الذي نعرفه.

تمددت المادة والإشعاع الناجم عن الانفجار الأول تمددًا سريعاً، ثم حصل بعد ذلك تبريد. وفي غضون بضع ثوانٍ تكونت البروتونات (نووى الهيدروجين) والنترونات والإلكترونات. وفي دقائق معدودة وُجد الديوتريوم

(الهييدروجين الثقيل) الأول ونوى الهليوم، إضافةً إلى أثارةً من عدة عناصر خفيفة .

وبمرور عدة ملايين من السنين، انفصلت المادة عن الإشعاع، وبدأت المجرات والنجوم بالتكوين، وهكذا استمر الكون بالتوسيع في المكان والزمان، وال مجرات بالتباعد منذ ذلك الحين .

والملاحظ اليوم أنَّ الكون مازال في توسيع دائم؛ فالنجوم تتكون داخل المجرات من الهيدروجين الأصلي الذي يعود إلى عهد الانفجار العظيم. وقد وُجدَ أن مادة الكون المرصودة تتألف من 74 في المئة من الهيدروجين و 24 في المئة من الهيليوم على وجه التقرير، يضاف إليها مقادير ضئيلة من عناصر أخرى خفيفة مثل الديوتريوم واللithium، كما هو متوقع .

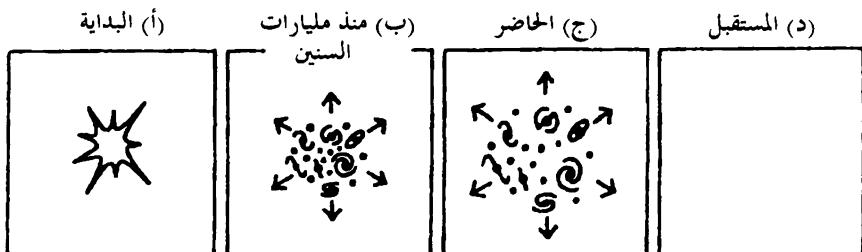
هذا ويقبل معظم علماء الفلك بالوصف الذي تعطيه نظرية الانفجار العظيم للمراحل الماضية والحاضرة للكون. إلا أن التوقعات متفاوتة حول المستقبل، ولا سيما عندما يستند الهيدروجين الأصلي في النجوم في آخر المطاف، فتتوقف عن السطوع. حينئذ سيتقرر المصير النهائي للكون بنتيجة ظهور إحدى قوتين على الأخرى: التوسيع الخارجي، وجذب الثقالة الداخلية .

ويرى نموذج الكون المفتوح open universe أن الكون مستمرٌ في التوسيع إلى ما لا نهاية⁽¹⁾، ثم إنه، هذا الذي بدأ بانفجار ناري عظيم، سوف يخبو متهياً إلى ظلام دامس ترافقه «زفة» واهية .

من الشكل 5.7 أو جزء مراحل الكون المفتوح وفقاً لنظرية الانفجار العظيم .

(أ) ؛ (ب) ؛ (ج) ؛ (د)

(1) قال الله تعالى في التنزيل العزيز: «والسماء بنيناها بأيدٍ وإنَّا لموسيعون». [الذاريات 47] (المعرب)



الشكل 5.7 مراحل الكون المفتوح (نظرية الانفجار العظيم).

الجواب: (أ) حدوث الانفجار العظيم؛ (ب) تكون المجرات؛ (ج) استمرار المجرات بالانحسار، والكون بالاتساع؛ (د) استنفاد الهيدروجين الأصلي، واستمرار الكون المظلم البارد - الناجم عن ذلك - بالتوسيع اللانهائي.

7.7 الانكماش العظيم

يرى نموذج الكون المغلق closed universe أن الكون - الذي بدأ بالانفجار العظيم - لن يستمر في التوسيع إلى الأبد، بل إن قوة الثقالة ستوقف تمدده وتفرض حالة من الارتصاص أو الانكمash.

فإذا كان الكون مغلقاً فعلاً، فإننا اليوم نعيش مرحلة التمدد المنظور، وهذا يستتبع أن الكون في المستقبل سوف يتباطأ إلى أن يتوقف تماماً، ثم يبدأ بالانقباض. وفي أثناء انقباضه سوف تنكفي المجرات نحو الداخل بحيث يتوجه بعضها نحو بعض، إلى أن تنكمش المادة كلها من جديد، متحولة إلى حالة بالغة الحرارة والكتافة.

أما نموذج الكون المتأرجح oscillating universe فيتوقع أن انفجاراً عظيماً آخر سوف يعقب حالة الانكماش العظيم Big Crunch المشار إليها آنفاً، وأن ذلك سيفسح المجال لولادة كونٍ جديد متسع من المادة نفسها. وهكذا يكون الكون في تأرجح بين التوسيع والانكماش إلى الأبد.

من الشكل 6.7 أوجز مراحل الكون المغلق وفقاً لنظرية الانفجار العظيم.

(أ)

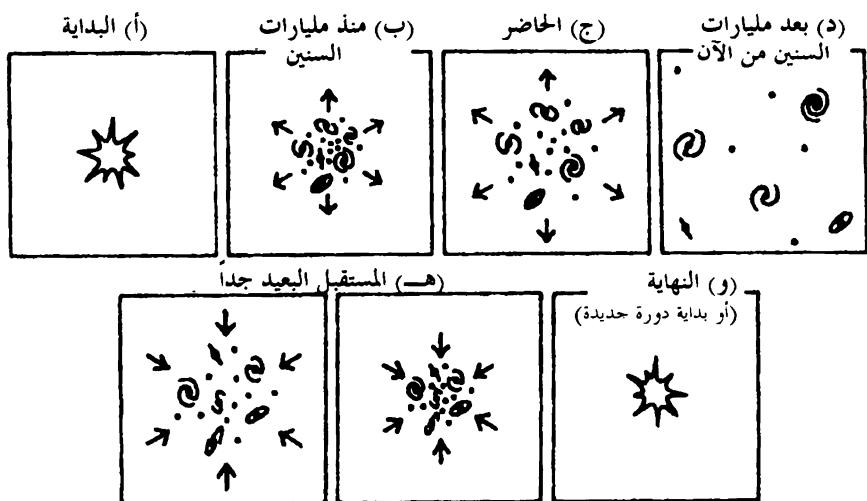
(ب)

(ج)

(د)

(هـ)

(وـ)



الشكل 6.7 مراحل الكون المغلق (المتأرجح) (نظرية الانفجار العظيم).

الجواب: (أ) حدوث الانفجار العظيم؛ (ب) تكون المجرّات وأخذها بالانحسار المستمر؛ (ج) حياتنا في كونٍ متّوسع، وتباعد المجرّات إحداها عن الأخرى اليوم؛ (د) توقف المجرّات في المستقبل؛ (ه) انكماش الكون، وانكفاء المجرّات نحو الداخل؛ (و) انكماش المادة من جديد.

7.8 نظرية الحالة المستقرة

كانت نظريةُ الحالةِ المستقرة Steady State theory منذ بضعة عقود نِداً لنظرية الانفجار العظيم، فهي ترى أن الكون لا يتطرّر أو يتغيّر مع الزمن، إذ لم يكن له بدايةً في الماضي ولن تكون له نهايةً في المستقبل؛ فماضي الكون وحاضرُه ومستقبلُه واحدٌ إلى الأبد.

تعتمد هذه النظرية المبدأ الكوني الكامل perfect cosmological principle الذي يقضي بأن الكونَ واحدٌ لا يتغيّر في كلّ مكانٍ وزمانٍ، وهو يحافظ على كثافة وسطية واحدة للمادة إلى الأبد^(١).

ولتفسير مسألة الاتساع المطرد للكون، يذكر نموذجُ الحالةِ المستقرةَ أن هيدروجينًا جديداً يتولّد في الفضاء باستمرار، بمعدلٍ يكفي لاستخالف المادة التي حملتها بعيدًا المجرّات المنحرسة. إلا أنَّ النظرية لم تُشير إلى مصدر الهيدروجين الجديد المتولّد.

يجدر بالقول إنَّ نظريةَ الحالةِ المستقرة لا تلقى قبولاً لدى معظم علماء الفلك، لأنها تتنافى والواقع العلمي الثابتة علمياً: فتولّد كتلة جديدة لا تفسير لها - وهي بالطبع شكلٌ من أشكال الطاقة - خروجُ على ثوابت القانون الطبيعي في حفظ الطاقة، وهو ينصّ على أنَّ جملةَ الطاقة في نظامٍ مستقلٍ

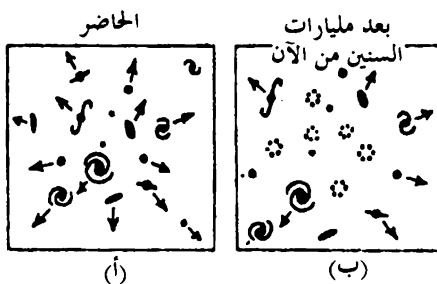
(١) إن ثبات مظهر الكون (وفقاً لنظرية الحالةِ المستقرة) هو سبب تسميته كونَ الحالةِ المستقرة، وهو يختلف اختلافاً واضحاً عن الكون كما تقتضيه نظرية الانفجار العظيم، حيث يصبح الفضاء أكثر فأكثر خلاءً بتباعد المجرّات. (المغرب)

ثابتة لا تتغير، وأن الطاقة لا يمكن خلقها أو تدميرها، وإن كان من الممكن حدوث تحولات فيها ضمن المنظومة.

ومع ذلك، تحظى نظرية الحالة المستقرة عند أنصارها باستحسان فلسفى؛ فهم يقولون إنها أعطت تعريفاً لكونٍ وُجدَ في الماضي وسيبقى موجوداً دوماً في المستقبل. علماً بأن ثمة فرضية بقيت دون أن تعرّض لها نماذج التطور البدلة، وهي التي قالت بوجوب تولد عناصر ثقيلة في نجوم منفجرة، وطرحت لتفسير وجود تلك العناصر من غير حدوث انفجار عظيم. من الشكل 7.7 أوجز وصف الكون وفقاً لنظرية الحالة المستقرة.

(أ)

(ب)



الشكل 7.7 مراحل تطور الكون (نظرية الحالة المستقرة).

الجواب: (أ) انحسار المجرات، وتوسيع الكون، وتولّد مادةً جديدة، وتكون مجرّات جديدة؛ (ب) يتكرّر هذا النموذج نفسه. يحافظ الكون على كافية وسطية واحدة إلى ما شاء الله.

7.9 اختبارات رصدية

الرصدية التي في حوزتهم عن الكون أم غير متوافق؟

والطريقة المباشرة لمعرفة آلية تطور الكون هي مقارنة مظهره اليوم بمظهره قبل مليارات السنين. ولما كان من المتعذر علينا عملياً إجراء أرصاد تستغرق مليارات السنين بسبب تقدُّم عمر الكون، يلجأ الفلكيون بدلاً من ذلك إلى معاينة مجراتٍ تبعد عنا مسافات متفاوتة.

صحيح أن دراسة صورٍ حديثة لمجراتٍ نائية يمكنك من النفاد إلى معرفة ماضيها الزمانية السحيق⁽¹⁾، وهي فكرةٌ تبدو بسيطة إلا أنها عسيرة التنفيذ، لأن التكنولوجيا لم تبلغ بعد في تطورها مرحلةٍ تتيح تصوير الأجرام النائية تصويراً تفصيلياً.

ومن ثم فإن كلَّ المعطيات التي قد تُستعمل لاختبار النماذج الكونية تزخر بالارتباطات؛ فليس ثمة معطيات حتى اليوم على درجة كافية من الدقة يمكن أن تؤكِّد أن أيَّاً من النماذج صحيحٌ تماماً.

كيف يتمكن علماء الفلك من الكشف عن مظهر الكون (أ) منذ مليوني سنة خلت؟ (ب) منذ ثلاثة مليارات سنة خلت؟ فصل إجابتك.....

الجواب: لعلَّ الطريقة المباشرة لذلك هي دراسة صورٍ للمجرات من قبيل (أ) أندروميدا (المرأة المسلسلة)، التي تبعد عن الأرض نحوَ 2,2 مليوني سنة ضوئية، و(ب) هايدرا (الشجاع)، التي تبتعد زهاء 3 مليارات سنة

(1) راجع الفقرة 15.6. (المغرب)

ضوئية. يستغرق الضوء سنة واحدة لانتقال سنة ضوئية واحدة؛ فالضوء الذي نتلقاه نحن الآن غادر أندروميدا قبل 2,2 مليوني سنة، أو هايدرا قبل 3 مليارات سنة. وبذلك نعلم الآن حال الكون حينئذ.

7. 10 ثابت هبل المتقلب

يقوم علماء الكون بمقارنة قيمة ثابت هبل اليوم بقيمتة قبل مليارات السنين لتحقق توقعاتهم.

و واضح أن ثابت هبل لا يظل ثابتاً بل يتناقض بمرور الزمن، وهذا يدل على أن اتساع الكون آخذ في التباطؤ.

تنبأ الدراسات النظرية بحدوث تباطؤ deceleration إذا كانت قوة الثقالة هي المؤثر الوحيد. ولا بد من أن يكون ثابت هبل اليوم أصغر منه منذ مليارات السنين، لأن مركبات الكون تتجاذب في ما بينها بفعل قوة الجذب التناولي.

ويكون ثابت هبل أسرع تناقضاً في نموذج الكون المغلق، منه في نموذج الكون المفتوح. فإذا كان الكون مغلقاً فعلاً فهو يتباطأ بمعدل سوف يفضي به إلى التوقف الكامل.

من ناحية أخرى، يقول نموذج الكون المنبسط flat universe إن الكون لن يتسع لانهائياً، كما أنه لن ينكش، بل سيؤول التباطؤ وسرعة التوسيع في نهاية الأمر إلى الصغر في آن معاً.

إن النتائج المتعلقة بثابت هبل غير دقيقة، ولا يمكن اعتمادها قياماً نهائياً بحال من الأحوال، وذلك بالنظر إلى غياب وسيلة لقياس المسافات إلى الحشود المجرية بدرجة عالية من الضبط والدقة حتى اليوم.

ممّ تبع أهمية توخي الدقة الكبيرة في قياس قيمة ثابت هبل؟

الجواب: إن القيمة الدقيقة لثابت هبل تنهض دليلاً مؤيداً لواحد من النماذج الكونية التي استعرضناها آنفاً. ويُستعمل ثابت هبل لحساب عمر الكون وحدوده.

11.7 المادة والطاقة

إنَّ من شأن المشاهدات التي تتناول كثافة المادة (والطاقة) في الكون أنْ تضيف أدلةً أساسيةً للاختيار من بين النماذج الكونية المتاحة.

تعرف الكثافة الحرجة critical density للمادة بأنها متوسط الكثافة الدنيا اللازمة لقوة الثقالة كي توقف تمدد الكون دون أن تعكسه⁽¹⁾، وقيمته المحسوبة نظرياً منوطَة بقيمة ثابت هبل (وهي قيمة غير دقيقة)، لكنها تقارب 10^{-3} غ/سم^3 ، أو بضع ذرات من الهيدروجين لكل متر مكعب.

إن وفرة عنصر الديوتريوم في الفضاء اليوم تضع حدَّاً لأعلى مقدار من المادة العادية يمكن وجوده في الكون. ويفترض أساساً أن كل الديوتريوم الموجود فعلاً قد تولد من الانفجار العظيم، ومن ثم فارتباطه وثيق بالكثافة الأصلية للمادة. وتدل المشاهدات العلمية على أن الانفجار العظيم لم يولد أكثر من 0,1 من المادة العادية، إضافة إلى القوة التثاقلية الناجمة، واللزامة في نهاية الأمر لإيقاف التوسيع المرصود.

يُطلق اسم أوميجا Omega (رمزها ؟) على نسبة متوسط كثافة المادة

(1) أي إنها الكثافة اللازمة لكون مغلق. فإذا تجاوزت كثافة الكون الفعلية الكثافة الحرجة (المحسوبة نظرياً) توقفَ عن التوسيع وانكمش، وإذا كانت كثافته أقلَّ منها واصلَ توسيعه إلى ما لا نهاية. أما كثافة الكون فيحسبها علماء الفلك باختيار حجم محدود من الفضاء وإحصاء عدد المجرات فيه. تُحسب كتلة كل مجرة، ثم تُقسم الكتلة الإجمالية للمجرات على الحجم المختار. (المغرب)

المرصودة إلى إشعاعها أو أثرها التثاقلي على القيمة الحرجة. وُجِد أن هذه النسبة أقل من 1 حالياً، وأن قوة الثقالة التي تقابلها لا تستطيع إيقاف التوسيع البَّتَّة. إذاً يبدو أن الكون مفتوح.

ولَا بدَّ من وجود ما يسمى مادة الكتلة المفقودة missing mass أو ما يكافئها من طاقة لم تُكتَشَفَ بعد، مقابل كثافة حَرْجة للمادة أو متوسط كثافة أعلى لها. ومن الممكن وجود نيوترونات كبيرة، أو أجرام هالية متراصنة ضخمة massive compact halo objects («ماخوهات» MACHOs اختصاراً)، أو جسيمات كبيرة ضعيفة التأثير weakly-interacting massive particles (ومُنْبَات WIMPs). وقد يعمل الثابت الكوني cosmological constant (يرمز له بالحرف اليوناني Λ) - المكافئ لطاقة هائلة، وهو الذي أدخله أينشتاين أول مرة على نظرية النسبية العامة - على زيادة قوة الجذب التثاقلي أو إنقاذهَا.

ما الأهمية الكوئية المحتملة لاكتشافات جديدة تتصل بالكتلة والطاقة غير المرصودتين في الكون حتى الآن؟

الجواب: ستكون كثافة المادة في الكون أكبر من قيمتها الحالية المرصودة. وقد تكون كافية لإيقاف توسيع الكون أو عكسه. وربما كان الكون منبسطاً أو مغلقاً، مع أنه يبدو اليوم مفتوحاً.

7.12 الإشعاع الكوني

تتبَّأ نظرية الانفجار العظيم بأن الكون سيمتلئ بإشعاع الخلفية الكوني cosmic background radiation، وهو بقية من الإشعاع تخلَّفت عن الانفجار العظيم الأصلي.

ويُعتقد أن كرة النار البدائية قد أطلقت في الفضاء إشعاعاً قوياً قصيراً الموجة (يماثل درجة حرارة تصل إلى تريليونات الدرجات) في جميع الاتجاهات، بما يشبه انفجار قنابل ذرية عملاقة. سينتشر ذاك الإشعاع في المستقبل، ويبعد مائة الكون المتوسّع مائةً منتظماً. لكنه سيصيب الأرض الآن على صورة إشعاع أمواج صغيرة (راديوية قصيرة short radio) يعادل درجة حرارة لا تتجاوز بضع درجات فوق الصفر المطلق.

في سنة 1965 تمكّن الفيزيائيان الأميركيان آرنو پنزيات Arno Penzias وروبرت ويلسون Robert Wilson من رصد إشعاع أمواج صغيرة آتية بالتساوي من كل الاتجاهات في السماء، ليلاً ونهاراً على مدار العام. وهو شبيه بالإشعاع الذي يطلقه جسم أسود عند درجة الحرارة 2,7 كلفن، ويتميز باطّرداده وانتظامه في كلّ مكان.

وأخيراً كَشَفَ علماء الفلك في ما يبدو إشعاع كرة النار الذي ولد الانفجار العظيم عندما بدأ الكون.

ماذا يعني اكتشاف إشعاع الخلفية الكوني لنظرية الحالة المستقرة؟

الجواب: إنه يُبطل نموذج الحالة المستقرة، إذ يعجز النموذج عن إعطاء تفسير لوجود هذا الإشعاع.

7.13 جوانب نجاح نموذج الانفجار العظيم

لَخُص الأرصاد التي تَجْحُ نموذج الانفجار العظيم في تفسيرها

الجواب: يجب أن تشمل إجابتك الجوانب التالية: (1) الانزياحات الحمراء للمجرات النائية؛ (2) إشعاع الخلفية الكوني؛ (3) وفرة الهيدروجين والهليوم.

7. 14. تسلسلات تتعلق بالانفجار العظيم

أخفق النموذج القياسي للانفجار العظيم في تفسير إفضاء تلك البداية الانفجارية إلى تجاهس إشعاع الخلفية الكوني والبنية الواسعة للكون المرصود.

ثم حتى لو كان التوزُّع الأوَّلِي للطاقة والمادة سلِسًا، فإن قوَّة الثقالة وحدَها لم تكن تكفي - ضمن حدود العُمر المحسوب للكون - لتكثيل المادة في الحشود المجرية والخشود الفائقة التي نرصدها. فمن المحتمل إذن أن يكون ثمة شيءٌ من اللاتناحي⁽¹⁾ anisotropy واللاتتجانس inhomogeneity في بدايات الكون.

في سنة 1981 اقترح الفيزيائي الأمريكي آلن غوث Alan Guth فكرة التوسيع الانفجاري inflation، وهي مرحلةٌ وجيزَةٌ من التوسيع الخاطف أعقبت الانفجار العظيم، لتسوية الامتداد الرحبِّ للكون، واتساقه وتشابُكه. وناقشت قضية التسطُّح flatness problem التي تتناول الأسباب التي تحمل على ما قد يرقى إلى الجزم بأن كثافة الكون عند فجر ولادته كانت قريبة جدًا من الكثافة الحرجة. وتَحَلُّ هذه القضية بإضافة نموذج الكون الانفجاري التوسيع إلى نظرية الانفجار العظيم Big Bang，مع ملاحظة أن التوسيع يتسارع عندما تعمل طاقة كتلة دخيلة على نبذ الثقالة⁽²⁾.

(1) اللاتناحي: تباين الخواص في جميع الاتجاهات. (المغرب)

(2) انظر إن شئت مقالةً بعنوان Cosmic Inflation Comes of Age بقلم ستيف ناديس. في مجلة Astronomy، عدد شهر نيسان (أبريل) 2002، الصفحتان 28 - 32. وفيها فضل بيان عن أفكار آلن غوث في التوسيع الانفجاري. (المغرب)

وقد رَصَدَ الساتلُ الربوطيِّ الأمريكيِ المسمى كشاف إشعاع الخلفية الكوني Cosmic Background Explorer (COBE) اختلافات حرارية طفيفة في متوسط درجة حرارة السماء البالغ 2,7 كلفن. تُمثِّل تلك الاختلافات تموُّجاتٍ عريضةً لمادةٍ خيطةٍ الشكل ربما تكون قد نَمَتْ داخل المجرات والخشود المجرية والخواص الضخمة في الفضاء الابدي (الشكل 8.7).

على أنَّ نموذج أينشتاين - دو سيتير Einstein-de Sitter المفضل في علم الكون الانفجاري يَسْتَدِعِي أن يكون الكون متجانساً ومتناهياً. ويفترض أنصار هذا النموذج أن كمية كبيرة جداً من مادة الكون أو طاقته ذات طبيعة غريبة تستعصي على الكشف.

ولعلَّ الأرصاد المقبلة تكشف عن أنواع وكثافات الطاقة الكتليلية الموجودة فعلاً.

يُوذَقْلَةً من علماء الفلك التخلّي عن نظرية الانفجار العظيم كلياً. اذكر اثنين من المحاذير الرئيسية بهذا الشأن الابدي

(1)

(2)

الجواب: (1) ظهور نموذج يبيّن آلية تطوير الكون بعد اللحظات الأولى من الانفجار العظيم، وهو ينسجم والبنية الواسعة المرصودة من الكون؛ (2) الكشف الصريح عن المادة القائمة، بشكلها المألوف أو الغريب.



الشكل 8.7 تاريخ الكون (نموذج الانفجار العظيم المتمدد انفجاريًّا).

15.7 عمر الكون

تَمْيل تقديرات عمر الكون إلى الزيادة، من بضعة آلاف السنين إلى الملايين ثم إلى مiliارات السنين.

تقوم التقديرات القياسية لعمر الكون على قيمة ثابت هَبْل. واستناداً إلى ذلك، يكون عمر الكون منذ الانفجار العظيم (ويسمى زمن هَبْل Hubble time) مساوياً $H/1$. لكن ثابت هَبْل مازال غير دقيق ويتعارض لشيء من التعديل لحساب التباطؤ الذي اعتبر الكون في ماضي الزمان. هذه الطريقة تقدر عمر الانفجار العظيم بين 10 مليارات و20 مليار سنة.

كذلك يعطي قياسُ تقادُم النشاط الإشعاعي للصخور والأحجار النيزكية أعماراً قريبةً مما سبق. فقد قدّر عالم الفلك الأمريكي David N. Schramm (1945 - 1997) عمر الكون بعشرين مليار سنة، عن طريق حساب مقدار ما اضمحلَّ من عنصر الرينيوم 187 الإشعاعي النشاط منذ تكونه أول مرة في المراحل الأولى الفتية من تاريخ مجرة درب التبانة. وهناك وسيلة أخرى قدّر فيها عمر الكون استناداً من عمر أقدم النجوم، وتبيّن أن عمره بهذه الطريقة يقع بين 13 مليار و18 مليار سنة.

اذكر ثلاثة طائق لتقدير عمر الكون.

(1)

(2)

(3)

الجواب: (1) قياس ثابت هبل H و زمن هبل الذي يساوي H^{-1} ؛ (2) قياس درجة اضمحلال النشاط الإشعاعي للصخور والأحجار النيزكية؛ (3) الاستدلال من أعمار أقدم النجوم المرصودة.

16.7 حدود الكون

تعتمد تقديرات نصف قطر الكون أيضاً على قيمة ثابت هبل اعتماداً كبيراً. فالمسافة إلى حافة الكون المرصود (وتسمى شعاع هبل c/H) تساوي سرعة الضوء (c) مقسومة على ثابت هبل (H)، أي c/H . وتُظهر هذه التقديرات أن نصف قطر الكون يقع بين 12 مليار و 16 مليار سنة ضوئية (الشكل 9.7).

وتظل التساؤلات البشرية الأزلية - من قبيل: كيف بدأ العالم؟ وهل سينتهي؟ - ماثلة لا يجد العلم لها جواباً سديداً حتى اليوم.

استعرض مجموعة التقديرات التي صارت بحوزتك عن الكون، باستكمال ما يلي:

الكون المرصود كما يبدو اليوم

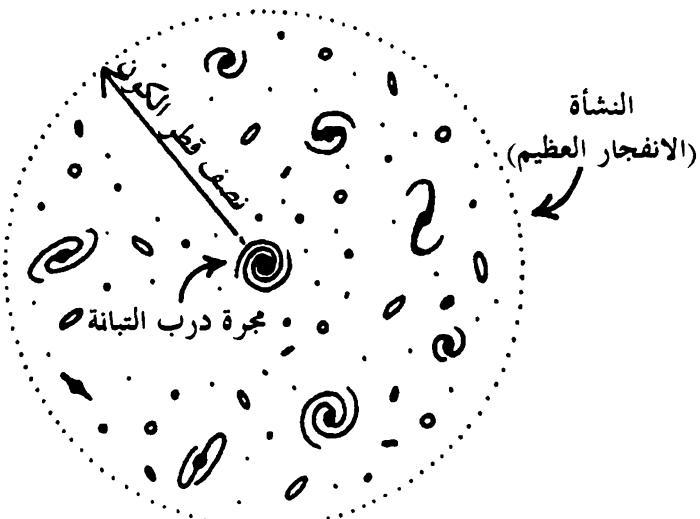
(أ) معدل انحسار مجراته النائية (ثابت هبل)

(ب) نصف قطره التقريري

(ج) عمره التقريري بشكله الحالي

الجواب:

(أ) من 50 إلى 100 كم/ثا/ميغا فرسخ فلكي (من 15 إلى 30 كم/ثا/مليون سنة ضوئية).



الشكل 9.7 شعاع هبل.

- (ب) من 12 مليار إلى 16 مليار سنة ضوئية.
(ج) من 10 مليارات إلى 20 مليار سنة تقريباً.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل السابع وتمثّلها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهدًا استطاعتك، ثم انظر في الأجبوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

- 1. عرّف علم الكون
- 2. بِمَ تختلف النماذج الكونية عن التفسيرات الدينية للكون؟
- 3. صِف الدليل على أنَّ الكون يتَوَسَّع
- 4. اذْكُر نصَّ قانون هَبْل

- 5. ما سبب أهمية ثابت هبل في علم الكون؟
- 6. اذكر الافتراضات الأساسية للنماذج الكونية كافة
- 7. اعُز واحداً أو أكثر من النماذج الكونية الثلاثة الرئيسية (نظرية الانفجار العظيم) إلى كل من العبارات التالية : --
- (أ) منذ 10 مليارات إلى 20 مليار سنة انفجر الكون إلى الوجود من حالة بلغت الغاية في الحرارة والكثافة . --
 - (ب) إن كمية كبيرة من مادة الكون مادة قاتمة وذات طبيعة غريبة تستعصي على الكشف . --
 - (ج) تبتعد المجرات بسرعات تتزايد مع تزايد البعد . --
 - (د) في المستقبل، سيتوسع الكون بلا حدود . --
 - (ه) في المستقبل، سيتوقف الكون عن التوسيع ثم ينكشم . --

8. اذكر ملاحظتين أساسيتين يمكن أن تساعدان في الاختيار بين كون مفتوح وكون مغلق.
- (1)
- (2)
9. ما الأهمية الكونية لإشعاع الخلفية الكوني؟
10. ما هو الإسهام الرئيسي لنموذج الكون المتوسط انفجارياً في نظرية الانفجار العظيم؟
11. أعط (أ) عمر هبل التقريري للكون ؛ (ب) شعاع هبل التقريري

الأجوبة

قارن أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتها صحيحة كلها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأت في بعضها فعد إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقة أكبر إذا تعددت أخطاؤك.

1. علم الكون (الكوزمولوجيا) فرع من العلم يعني بدراسة منشأ الكون وبنائه الحالية وتطوره ومصيره النهائي.

(الفقرة 1.7)

2. إن النماذج الكونية لا تسعى إلى إضفاء سبب أو معنى خارق للطبيعة على الظواهر الفيزيائية، بل تحاول تفسير هذه الظواهر بمقتضى قوانين الطبيعة والرياضيات حصرًا.

(الفقرة 1.7)

3. يُزاح الضوء الوارد من المجرات النائية في الطول الموجي نحو النهاية الحمراء للطيف، في ظاهرة تسمى الانزياح الأحمر. يزداد الانزياح الأحمر لمجرة بازدياد بعدها عنا. ينحسر أبعد المجرات باطراد عنا، وبعضها عن بعض في آن معاً.

(الفقرة 2.7)

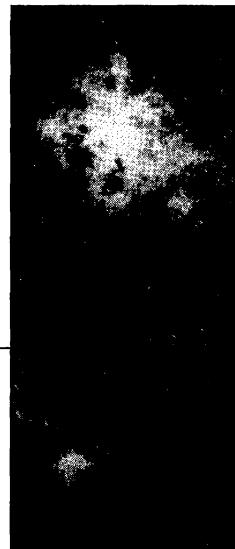
4. ينص قانون هيل على أن سرعة الانحسار (v) لمجرة يتتناسب طرداً مع بعدها (d) عنا. ويكتب جبرياً: $Hd = v$ ، حيث H هو ثابت هيل.

(الفقرة 4.7)

5. ثابت هيل أهمية كبرى لأنه يعطي معدل انحسار المجرات، أو معدل توسيع الكون. فهو إذن أساس تقدير حجم الكون وعمره.

- (الفقرات 4.7 و 10.7 و 15.7 و 16.7)
6. ينص المبدأ الكوني على أن الكون متجانس ومُتَنَاهٍ على نطاق كبير وفي أي زمان.
- (الفقرة 5.7)
7. (أ) 1 و 2 و 3؛ (ب) 2 و 3؛ (ج) 1 و 2 و 3؛ (د) 1؛ (هـ) 2
- (الفقرات 2.7 و 6.7 و 7.7 و 10.7 و 11.7 و 14.7)
8. (1) معدل تغيير ثابت هبل مع الزمن؛ (2) كثافة المادة في الكون.
- (الفقرتان 7 و 10.7 و 11.7)
9. إن إشعاع الأمواج الصغرية الذي يصيب الأرض من جميع اتجاهات الفضاء يقدم دليلاً قوياً على نموذج الانفجار العظيم. والظاهر أنه البقية المختلفة من الإشعاع المترافق نحو الأحمر، المتولدة من ذلك الانفجار.
- (الفقرة 12.7)
10. ثمة مرحلةً وجيبةً من الاتساع الخاطف حدثت بعْد الانفجار العظيم، قد تفسّر كيف أن البداية المتفجرة يمكن أن تفضي إلى تجانس إشعاع الخليفة الكوني، وكذلك إلى تأليف البنية الهائلة للكون المرصود.
- (الفقرة 14.7)
11. (أ) 10 مليارات إلى 20 مليار سنة؛ (ب) 12 مليار إلى 16 مليار سنة ضوئية.
- (الفقرتان 7 و 15.7 و 16.7)

استكشاف المنظومة الشمسية



وأخيراً ستفتح الشمس نفسها في مركز الكون.

نيكولاوس كوبرنيكوس

De Revolutionibus Orbium Coelestium (1543)

الأهداف:

- ذكر عناصر المجموعة الشمسية.
- بيان الفرق الأساسي بين الكوكب والنجم.
- إبراد الدليل الداعم للنظرية السديمية في تكوين المنظومة الشمسية.
- ذكر أطوار القمر.
- إعطاء لمحَة إلى تطور إدراكتنا للمنظومة الشمسية، مع الإشارة إلى إسهامات كلٍّ من بطليموس، وكوبرنيكوس، وغاليليو، وتيخو براهه، وكپلر، ونيوتون.
- عرض القوانين التي تحكم حركة الأجسام تحت تأثير قوة الثقالة.
- تفسير الحركات الظاهرة للكواكب، ومنها الحركة التراجعية.

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

1.8 وصف عام

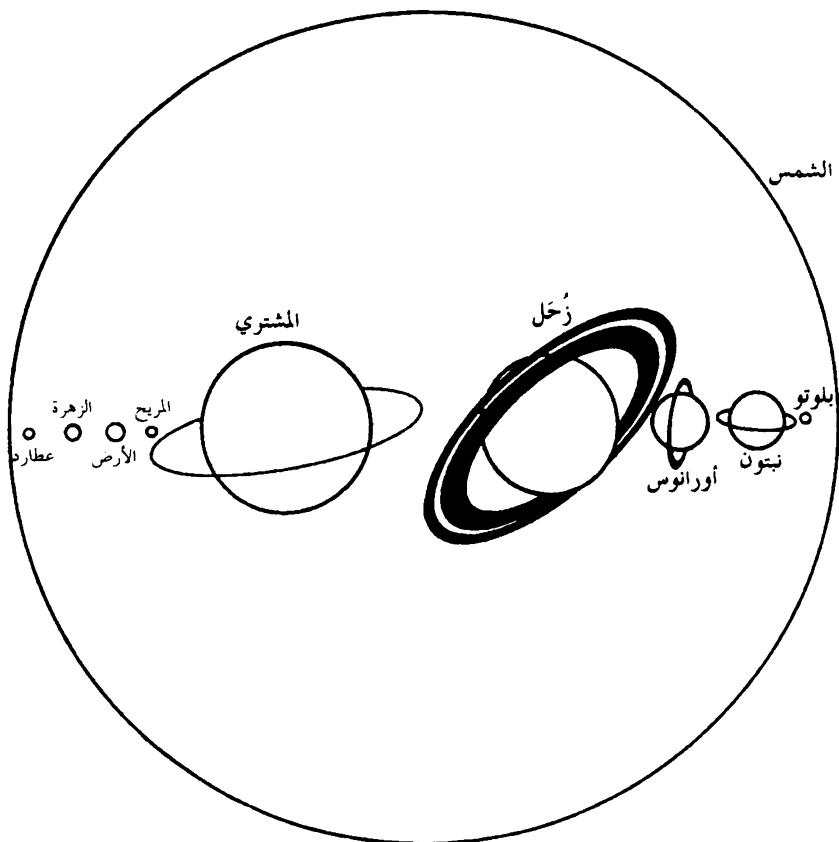
تتألف منظومتنا الشمسية solar system من الشمس وجميع الأجرام المرتبطة بها تثاقلياً - وهي الكواكب التسعة مع أقمارها، والكويكبات (تسمى أيضاً الكواكب الثانوية)، والمذنبات، والغبار والغاز **البيئوكبّي** .

والكواكب planets أجرام تدور حول النجوم مباشرةً، والأقمار moons أجرام تدور حول الكواكب . والكواكب وأقمارها أخفض كتلةً وحرارةً من النجوم؛ فالنجوم تولّد ضوءاً من ذاتها، خلافاً للكواكب والأقمار التي لا تكفي كتلتها لإحداث تفاعلات الاندماج النووي اللازمة للاشتعال، فهي إذاً تضيء بانعكاس ضوء النجوم عليها .

تفاوت كواكب منظومتنا الشمسية من حيث الكتلة؛ فأخفّها بلوتو وأثقلها المشتري، الذي تبلغ كتلته 318 مرة كتلة الأرض . إلا أن كتلة الكواكب كلّها مجتمعةً لا تزيد على 0,001 كتلة الشمس .

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

ما الفرق الأساسي بين الكوكب والنجم؟



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

الجواب: الكوكب أخفض كتلةً وحرارة من النجم، وهو يضيء بفعل انعكاس ضوء نجم عليه. (يولد النجم ضوءه من ذاته).

2.8 منشأ الكواكب

تكونت المجموعة الشمسية - وفقاً لنموذج السديم الشمسي solar nebular model - منذ نحو خمسة مليارات سنة من سحابة بَيْنَجُمِيَّة شرقية دوارة (الفقرة 3.4). تقلص السديم إلى الشمس البدائية proto-Sun التي يكتنفها قرص دوار

تكونت فيه الكواكب من تنامي الغبار والغاز (الشكل 4.4). ثم بدأ الشمس الوليدة معظم الغاز والغبار المتخلّف.

ويجد علماء الفلك في خصائص المنظومة الشمسية اليوم ما يعنى
نظرية السديمة هذه.

تطوف الكواكب جميعها حول الشمس في اتجاه واحد من الغرب إلى الشرق، أي عكس اتجاه حركة عقارب الساعة كما تُرى من فوق. تسمى حركة الكواكب هذه الحركة الطردية direct motion (الشكل 2.8). وتدور الكواكب كذلك حول محورها في الوقت الذي تطوف فيه حول الشمس. وُجِدَ أنَّ دورانها جمِيعاً حول محاورها (فيما عدا الزهرة وأورانوس) طرديًّا أيضاً.

يسمى المستوى الوسطي لمدار الأرض حول الشمس مستوى فلك البروج *ecliptic*. ويلاحظ أن مدارات كل الكواكب تقع في مستوى واحد تقريباً، وكأنها مسارات في مضمار سباق. أما ميل *inclination* كوكب بلوتو، وهو الزاوية الواقعة بين مستوى المداري وفلك البروج، فهو حالة خاصة شاذة (الجدول 2.8).

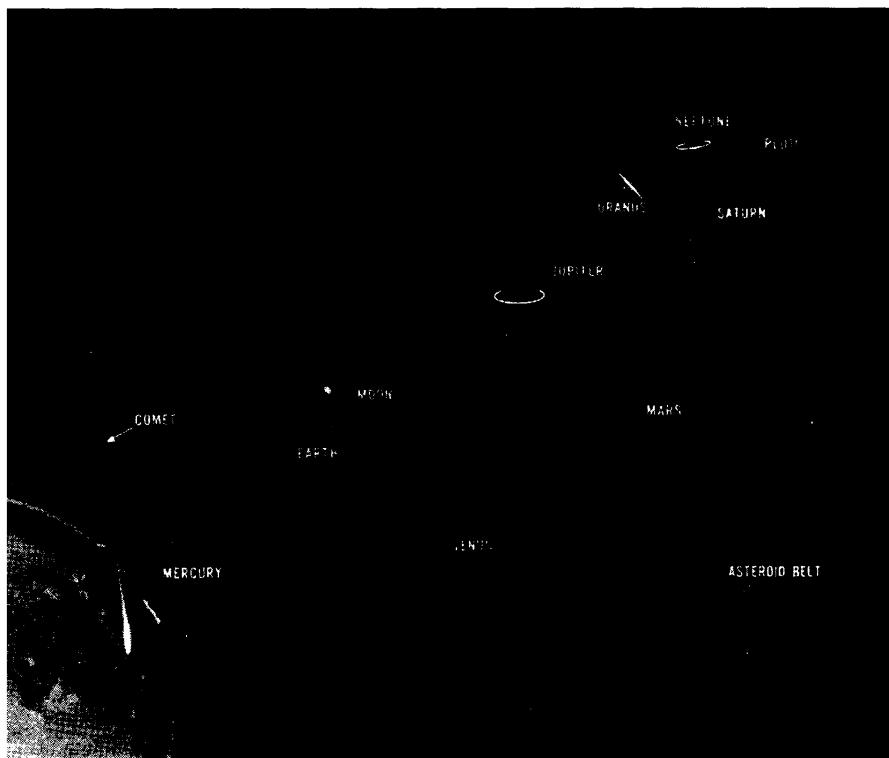
وتسمى الكواكب التي تقع مداراتها أقرب إلى الشمس من بُعد مدار الأرض عن الشمس الكواكب السُفلية *inferior*، في حين تسمى الكواكب التي تقع مداراتها خارج مدار الأرض الكواكب العُلوية *superior*.

بالاستعانة بالشكل 2.8 عدد (أ) الكواكب السفلية و(ب) الكواكب العلوية.

(1)

(c)

الجواب: (أ) عطارد والزهرة؛ (ب) المريخ والمشتري وزحل وأورانوس ونيتون ويلتون.



الشكل 2.8 ترتيب مدارات الكواكب حول الشمس (بدون التقيد بمقاييس رسم معين).

3. أيام الأسبوع

هناك خمسة من الكواكب - هي عطارد والزهرة والمريخ والمشتري وزحل - تبدو في السماء كنجوم شديدة السطوع. وقد عرف الأقدمون هؤلاء الكواكب الخمسة الساطعة إضافة إلى الشمس والقمر، واعتقدوا أنَّ كلَّاً منها يهيمن على أحد أيام الأسبوع أو يحكمه، فُسْمِي باسمه (باللاتينية).

وأسماء الأسبوع التي نستعملها [بالإنكليزية] مستوحاة من الأنجلوسكسونيَّين الذين وضعوا لها أسماء لاللهة بدلاً من اسمائها الرومانية. أسماء الأيام بالفرنسية والإسبانية فهي مطوَّعةٌ عن اللغة اللاتينية مباشرةً.

الجدول 1.8 أيام الأسبوع

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

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

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

4.8 أطوار القمر

القمر هو التابع الطبيعي الوحيد للأرض ، وهو يطوف حولها في الوقت الذي يطوف كوكبنا حول الشمس ، وينور في السماء من انعكاس ضياء الشمس عليه .

يتغير مظهر القمر بانتظام كل شهر . وتُنير الشمس نصفه دوماً ، لكن الشكل الساطع الذي نراه للقمر من الأرض (والذي يسمى طور القمر phase) يتبدل في أثناء دورانه حولها . تسمى هذه الدورة المتواترة دوريًا لأشكاله

الظاهرية أطوار القمر ⁽¹⁾ phases of the Moon .

تأمل الشكل 3.8 ولاحظ أنَّ القمر الجديد new Moon مظلمٌ، وغيرٌ مرئيٌ في السماء لأنَّ الوجه المظلم للقمر يكون مقابلًا للأرض. ثم ما يليه بعد بضعة أيام أن يعقبه الهلالُ المتنامي waxing crescent، الذي كثيراً ما يُرى قرصه مُنارًا إِنارةً خافتةً بضوء الشمس منعكساً من الأرض، في ظاهرة تسمى الوجه الأرضي earthshine .

بانقضاء نحو سبعة أيام على قمر جديد يكون قد قطع رُبع دورته حول الأرض، فيبلغ وقت الظهيرة، ونتمكن من رصد ما يسمى نور الربع الأول ⁽²⁾. يلي ذلك مرحلة القمر المحدودب المتنامي first quarter gibbous، حيث يكون أكثر من نصف قرصه المنير مرئياً من الأرض.

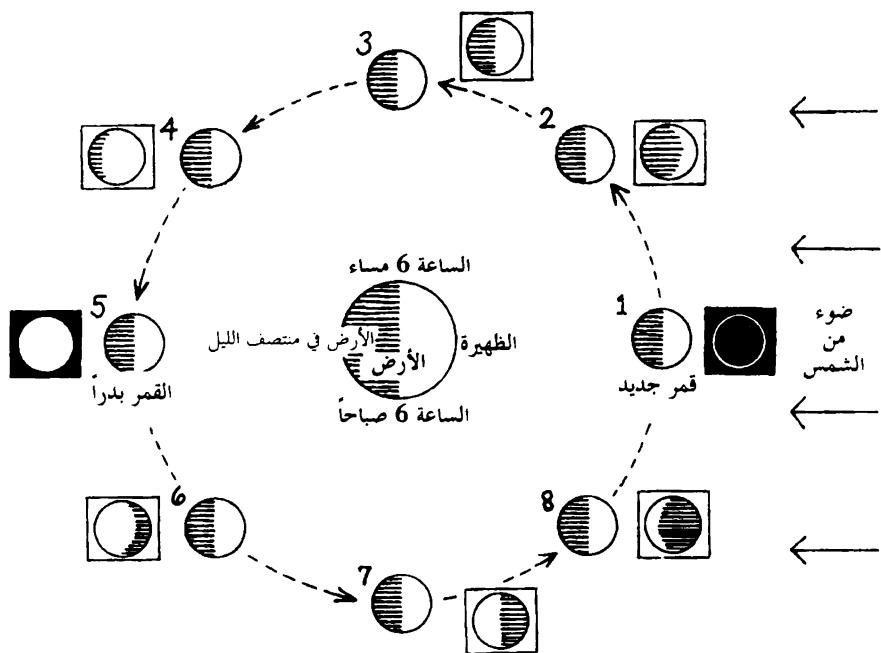
وبمرور نحو أسبوعين من دورته يصير القمر بدرًا full Moon ينير السماء طوال الليل بتمام قرصه الوضاء. يذكر أنَّ القمر البدر يحدث 12,37 مرة في كلّ سنة⁽³⁾. ومن ثم فإن حدوث بدرَيْن في شهر واحد يمكن أن يصادف مرأة كل 2,72 ستين في المتوسط. يسمى القمر البدرُ الثاني في شهر معين القمر الأزرق⁽⁴⁾ blue Moon. وما يحدث مرأة كل 19 سنة تقريباً أن يقع في السنة شهران بقمريْن بذرَيْن، ذلك لأنَّ شهر شباط (فبراير) لا يحدث فيه قمر بدر.

(1) وفي التنزيل العزيز: (والقمر قَدْرَنَاهُ مَنَازِلَ حَتَّى عَادَ كَالْعَزْجُونِ الْقَدِيمِ) [يس 39].
(المغرب)

(2) الربع الأول: وجه من أوجه القمر عندما يكون قريباً من تربعه الشرقي، أي حين يكون نصفه الغربي مرئياً للناظر إليه من الأرض. (المغرب)

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

(4) إن العبارة الإنكليزية «once in a blue moon» تفيد أمراً نادر الوقوع، أو «مرة كلَّ حين». وهي - بترجمتها الحرفية: «مرة عند كل قمر أزرق». لها أساس من الواقع؛ فقد يبدو القمر أزرق اللون في حالات نادرة، بسبب وجود جسيمات في الغلاف الجوي الأرضي.
(المغرب)



الشكل 3.8 أطوار القمر - كما تُرى من الأرض - مرسومةً ضمن مربعات. تضيء الشمس نصف القمر دوماً، كما يظهر في الدائرة الداخلية. يحسب مطالع القمر باتجاه الشرق من السماء، مع العلم بأن المطالع: 0° و 90° و 180° و 270° تقابل أطوار قمر جديد، وتربع عليه الأول، والقمر البدر، وتربع عليه الأخير، على الترتيب.

ينمحى الجزء المرئي من قرص القمر الساطع، أي يبدأ بالتناقص wane، بعد أن يستكمل القمر رحلته حول الأرض في غضون الأسبوعين الأخيرين من دورته.

إن متوسط الزمن الذي يتطلبه القمر ليكرر أطواره المذكورة آنفاً يبلغ 29,5 يوماً، ويسمى الشهر الاقتراني synodic month أو lunation. وفي هذا السياق، فإن عمر القمر يُقاس اعتباراً من غرّته [إلى غرّته التالية].

حدِّ الأطوار المقابلة لموقع القمر المشار إليها في مداره حول الأرض، كما هي معلمة في الشكل 3.8: (أ) هلالٌ متناهٍ

- (ب) التربع الأول ؛ (ج) محدودب مت남 ؛ (د)
 محدودب متناقص (منمحق) ؛ (ه) التربع الثالث
 ؛ (و) هلال منمحق

★ ارقبِ القمر يومياً مدة شهر إن استطعت. دون أرصادك في ما يتصل بمظهره الساطع، وموقعه بالنسبة إلى الشمس، ووقت بزوغه وأفوله. استنِدْ من المعلومات الواردة في هذا الفصل لتفسير التغيرات التي تلاحظها.

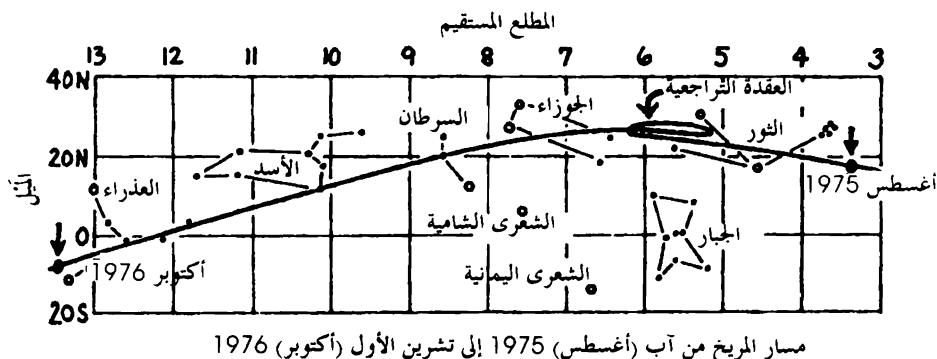
5.8 رصد الكواكب

يتعذر تحديد موقع الكواكب على الخرائط النجمية، لأن النجوم تحافظ على مواقعها النسبية في السماء عشرات السنين، وأما الكواكب فلا. وكلمة planet (كوكب) مشتقة من الكلمة يونانية تعني «الطواف» أو «الجوال». وتتحرّك الكواكب عبر الكرة السماوية قريباً من فلك البروج.

يظهر كوكباً الزهرة وطارد وهو يتحرّك في سماء الأرض إلى الأمام وإلى الخلف على جانبي الشمس. ويبلغ المطال elongation الأعظمي (وهو بعد الكوكب شرق الشمس أو غربيها) للزهرة 48° ولطارد 28° .

وتطفو الكواكب: المريخ والمشتري وزحل نحو الشرق عموماً في ما بين كوكبات دائرة البروج. وتبدو الكواكب في بعض الأحيان وقد عكست اتجاه حركتها نحو الغرب بما يطلق عليه اسم الحركة التراجعية retrograde motion، إلى حين قبل أن تستأنف حركتها الطردية. تسمى هذه الحركة الخلفية الظاهرة، ثم استئناف الحركة الأمامية من جديد العقدة التراجعية retrograde loop (الشكل 4.8).

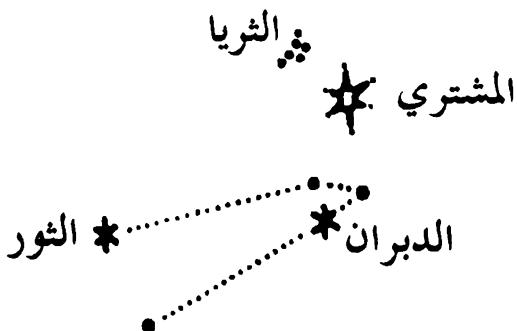
وبإمكانك معرفة المواقع الدقيقة للكواكب في ليلة ما عن طريق المنشورات الفلكية وبرمجيات الكمبيوتر والتقويم (انظر «مصادر مفيدة» في نهاية الكتاب).



الشكل 4.8 رصد مواقع متعاقبة ل彗星 Kohoutek في ما بين كوكبات دائرة البروج، في أثناء رحلات مركبة الفضاء الأمريكية فايكنغ التاريخية إلى الكوكب الأحمر.

اقترب طريقةً للبحث عن كوكب معين كالمشتري في السماء الليلية.....

الجواب: بالاستعانة بالمنشورات الفلكية أو برمجيات الكمبيوتر أو أحد التقاويم العلمية، حدد أولًا الكوكبة التي يقع فيها كوكب المشتري اليوم من دائرة البروج. ثم عين موقع الكوكبة على خرائطك النجمية. افترض - على سبيل المثال - أنك وجدت المشتري في كوكبة الثور. فإذا وجدت هذه الكوكبة في السماء الليلية استطعت رصد المشتري بسهولة، وكان هو «النجم» الساطع الذي لا يتمي إلى الكوكبة (الشكل 5.8).



الشكل 5.8 كوكب المشترى في كوكبة الثور.

❖ دون موقع كلٌ من كوكبي الزهرة والمريخ على مدى عدة شهور. حاول رصدهما في السماء إن استطعت. استعن بالمعلومات الواردة في هذا الفصل لتفسير الحركات التي ترصد.

6.8 نبذة تاريخية

أدى البحث عن تفسير بسيط للحركات المرصودة للكواكب في السماء إلى إحداث تغيير في نظرة الإنسانية إلى هذا العالم.

وصف عالم الفلك الإسكندرى بطليموس Ptolemy في كتابه «المجسطي» Almagest - الذي قد يرقى إلى السنة 150 بعد الميلاد - النموذج الأرضى المركزى geocentric model للكون⁽¹⁾. وقد شجع اعتمادهم آنذاك أن الدائرة شكل «تم» يمثل الكمال، على افتراض أن الشمس والقمر والكواكب تتحرك على دوائر صغيرة أطلقوا على كل واحدة منها اسم الذروج epicycle، تدور مراكزها حول الأرض على دوائر أكبر منها سمّوها دوائر deferents بطليموس.

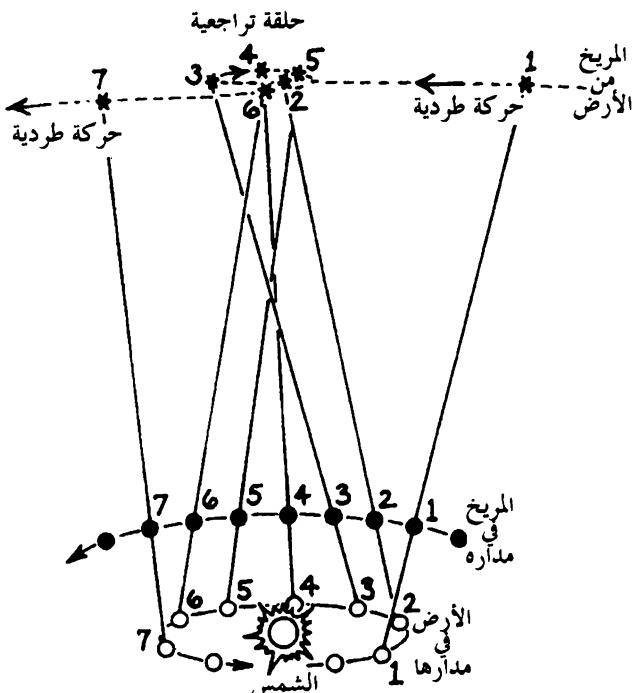
(1) أي الذي عُدَّت فيه الأرض مركز الكون. (المغرب)

ولما يربو على أربعة عشر قرناً من الزمن لقيَ هذا النَّظَامُ الْبَطْلِيمُوسِيُّ قبولاً عاماً بصفته أساسَ العمل الفلكي. ولا شك في أنه استطاع أن يصفَ، بدرجة عالية من الدقة، الموضع المرصودة للأجرام السماوية المعروفة في ذلك الوقت وحركاتها، وأن يجسّد النَّظَرةَ التي كانت سائدةً بين الناس عن الكون بحكم رصدهم للسماء. وبتعديلات طفيفة فقط، عَدَتْ هذه النَّظَرِيَّةُ الأرضيةُ المَرْكَزِ جزءاً لا يتجزأً من المبدأ الأساسي للكنيسة الرومانية الكاثوليكية في القرون الوسطى.

ثم نَشَرَ عَالِمُ الفلك البولوني نيكولاوس كوبنيكوس Nicolaus Coprnicus (1473-1543) نموذجه الانقلابي الشمسي المَرْكَزِ heliocentric model في النظام الكوبرينيكي Copernican system تدور الكواكب - والأرض أحدها - حول مركِّز ثابت هو الشمس. ووفقاً لهذا النموذج تنشأ حركات التضليل الظاهرية للكواكب عن اجتماعِ الحركات المدارية الحقيقية للأرض والكواكب المرصودة في آنٍ واحد.

تفَسِّرُ الحركةُ الظاهريةُ للكوكب المريخ (الشكل 6.8) كما يأتي: في الواقع لا يتحرك المريخ حركةً تراجعيةً في مداره أبداً، بل إنَّ الكواكب كلها تتحرك إلى الأمام. وما العقدةُ التراجعيةُ في السماء إلا نتيجةً للحركة النسبية للأرض والمريخ؛ فالأرض - التي هي أكبر سرعةً - عندما تدرك المريخ وتتجاوزه، يبدو هذا الأخير وكأنه يطوف بحركة تراجعية. ألا ترى أن ذلك يشبه مراقبتك سيارةً تتحرك ببطءٍ على الطريق عندما تتجاوزها سيارةً أسرع منها؟

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



الشكل ٦.٨. الحركة الظاهرة للكوكب المريخ كما وصفها النموذج الشمسي المركزي. تدل الأرقام على موضع الكوكب عند أبعاد زمانية مقدارها شهر واحد. (١ - ٣): يظهر المريخ وقد تباطأ حركته الطردية عندما تدركه الأرض. (٤): يبدو المريخ في حركة تراجعية عند تجاوز الأرض له. (٥ - ٧): يستأنف المريخ حركته الطردية عندما تقدمه الأرض.

الجواب: أن الأرض عادت لا تُعد مركز الكون بكماله، ولا هي الأعلى أهمية.

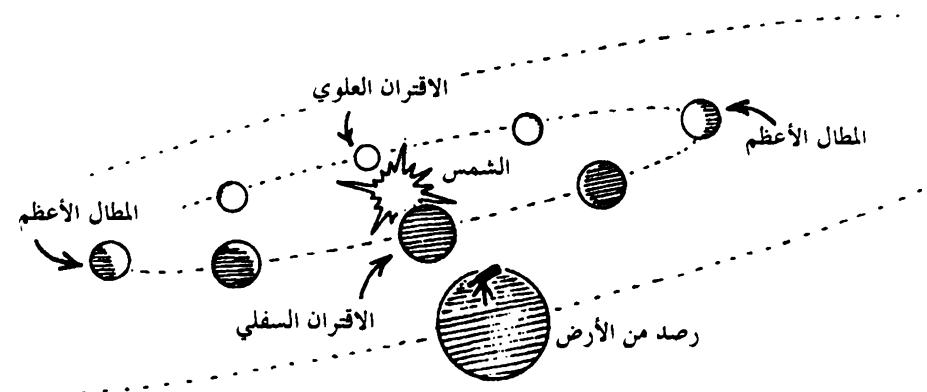
7.8 بوادر المقطبات المقربة

كان العالم الإيطالي غاليليو غاليلي Galileo Galilei (1564 - 1642) أول من استعمل المقراب لأغراض رصد السماء. وقد وفرت أرصاده معطيات مهمة حقاً لنظرية كوبيرنيكوس.

رصد غاليليو مشهد جبال القمر ونحوه وفوهاته والمساحات الشاسعة الدكناه عليه، إضافةً إلى البقع الشمسيه وحركاتها، فاقتنعَ بأن السماء متغيرة لا تثبت على حالٍ واحدة. كذلك فإن اكتشافه لأربعة أقمارٍ كبيرة تطوف حول المشتري أكد اعتقاده بأن الأرض ليست هي مركز كل الحركات السماوية.

لاحظ غاليليو أن كوكب الزهرة الساطع يتغير مظهُره وحجمه بانتظام، ولم يتمكن النظام البطليموسي من تعليل أطوار الزهرة، إلا أن نظام كوپرنيكوس أعطى له تفسيراً بسيطاً.

يبيدي كل من الكوكبين السفلَيْن: الزهرة وعطارد أطواراً عندما يعكسان ضوء الشمس على الأرض من موقع مختلف من مدارَيْهما حول الشمس (الشكل 7.8). يلاحظ أن الكوكب السفلي يبدو أكمل ما يكون إضاءة وهو



الشكل 7.8 أطوار كوكب الزهرة كما تُرصد بمقابل من الأرض.

في طورِ أحدياده، قرب وضع الاقتران العلوي *superior conjunction*، وهي النقطة الواقعة على الجانب بعيد من الشمس عندما تُرى من الأرض؛ في حين يبدو هلاماً وأكبر ما يكون حجماً قرب وضع الاقتران السفلي *inferior conjunction*.

conjunction ، وهي النقطة الواقعة بين الأرض والشمس.

في سنة 1616 حَظَرَت الكنيسة الرومانية الكاثوليكية الكتب المنادية بمبادئ كوبرنيكوس [التي عدتها ضرباً من الهرطقة]. وسُمِح لغاليليو بمتابعة بحوثه شريطة ألا يحمل مبادئ الهرطقة، أو يعلّمها، أو يدافع عنها. ومع ذلك أيدَ غاليليو نظام كوبرنيكوس في دراسة له بعنوان: «محاورة حول نظامي الكون الرئيسيين» نُشرت سنة 1632.

وفي السنة التالية - وقد أُمسى غاليليو شيخاً ناهز السبعين بعد حياة حافلة - أكرهته محاكم التفتيش Inquisition على النكوص عن آرائه الفلكية، ولزوم منزله بقية حياته. وطوال 350 سنة ظلَّ الجدل محتدماً بين العلماء واللاهوتيين والمؤرخين حول تواافق الدين والعلم، إلى أن تحرَّكت الكنيسة تدريجياً لتصحيح قرارها الجائر بحق غاليليو، فبِرَأْهِه منذ عهد قريب جداً (سنة 1992).

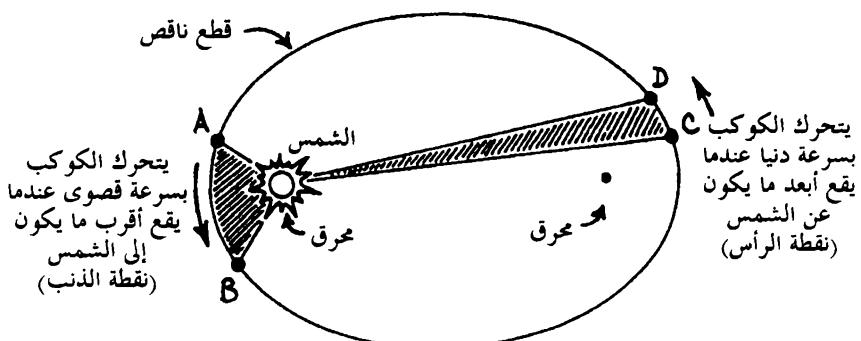
8.8 قوانين الحركة الكوكبية

استنبط عالم الفلك الألماني يوهان كِپلِر Johannes Kepler (1571 - 1630) وصفاً بسيطاً ودقيقاً للحركة الكوكبية. وكان يعمل مستمدًا من مدونات موروثة عن العالم الفلكي الدانمركي تيغه براهه Tycho Brahe (1546 - 1570) الذي كان قد أثبتَ موقعاً النجوم والكواكب بدقة لم يُسبق إلى مثلها منذ 20 سنة. ومن الطريق أن بقايا مرصد براهه ونتائجِه معروضةً في جزيرة فِن Ven السويدية اليوم للزائرين المهتممين.

أسهمت قوانين كِپلِر Kepler's laws الثلاثة إسهاماً كبيراً في رفع درجة دقة النتائج المتعلقة بمواقع الكواكب. وتنص هذه القوانين على:

- أنَّ كُلَّ كوكبٍ يطوف حول الشمس في مدارٍ على شكل قطعٍ ناقصٍ تقع الشمس في أحد محرقيه.

2. أن الكوكب يتحرك بحيث «يمسح» الخط 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 حركة الكواكب في سرعتها القصوى عندما تقع أقرب إلى الشمس (نقطة الرأس perihelion)، وفي سرعتها الدنيا عندما تقع أبعد ما تكون عنها (نقطة الذئب aphelion)⁽¹⁾.



الشكل 8.8 الحركة الكوكبية.

3. أن الزمان الذي يقتضيه كوكب للدوران حول الشمس يتعلق بكثير بهذا المدار، بحيث يتناسب مربعاً الزمين اللازمين لأي كوكبين لإتمام دورة لهما حول الشمس مع مكعبين متوسط بعديهما عنها.

يمكن استعمال قانون كبلر الثالث هذا لإيجاد متوسط بعد كوكب (d) عن الشمس، مقارنة بمتوسط بعد الأرض (1 وحدة فلكية) عنها (راجع

(1) وهذا منطقٌ وفق القانون الثاني لکبلر، ويمكن ملاحظته بالنظر إلى المساحات المظللة في الشكل 8.8. فلكي تساوى هذه المساحات يعني أن تكبر المسافة المقطوعة على المدار خلال زمِنٍ معين أكثر فأكثر كلما اقترب الكوكب من الشمس على مداره. إذن، ووفقاً لهذا القانون، تتغير سرعة الكوكب في أثناء دورانه على مداره الإهليجي، فتتزايد باقترباه من الشمس وتتناقص بابتعاده عنها. (المَعْرَب)

الفقرة 4.2). يُحسب الدور المداري (p) للكوكب بالسنوات عن طريق الأرصاد. ويعبر عن قانون كيلر الثالث رياضياً بالعلاقة: $p^2 = d^3$.

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

كم يكون بُعد كوكب عن الشمس إذا تبيّن بالرَّصد أنَّ دُورَه المداري 8 سنوات؟ أوضح إجابتك

الجواب: 4 وحدات فلكية، أو 4 أضعاف متوسط بُعد الأرض. بتطبيق القانون الثالث لـكيلر:

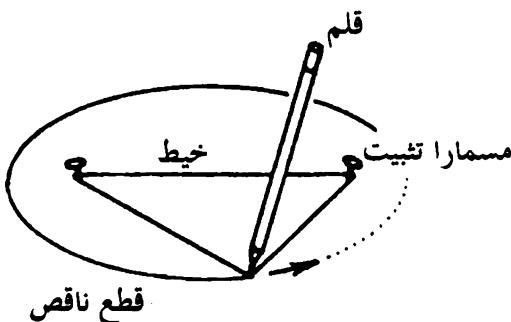
$$p^2 = d^3$$

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

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

ملاحظة: القطع الناقص ellipse (الإهليج) منحنٍ مغلقٍ يتحقق فيه أن مجموع بُعدَي أيّ نقطة عليه عن نقطتين ثابتتين - هما المحرقان أو البؤرتان foci- يساوي ثابتًا مفروضًا. ومطال المدار الإهليجي eccentricity يعبر عن مقدار انحراف القطع الناقص عن أن يكون دائرة تامة، ويُحسب بقسمة طول المسافة بين المحرقين على طول المحور الكبير. علمًا بأن نصف المحور الكبير semi-major axis هو الذي يحدد مقاس القطع الناقص.

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



الشكل 9.8 طريقة رسم قطعٍ ناقصٍ.

9.8 الحركة والثقالة

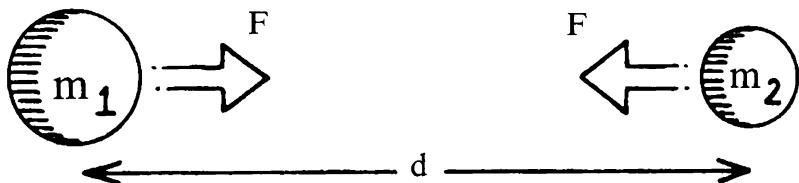
رأينا أن قوانين كيلر تفسّر كيف تُرَصِّدُ الكواكب وهي تتحرك. أما الفيزيائي والرياضي الفذ السير إسحاق نيوتن (1642 - 1727) فقد صاغ قوانين لتفسير تحرك الكواكب على الصورة التي تتحرك بها، فنشر كتابه: المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية The Mathematical Principles of Natural Philosophy عام 1687.

- تضمّن 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 قوىٌ تُغيّرُ من حالته تلك.
 2. إن القوة النهاية F المطبّقة على جسمٍ تساوي كتلة ذلك الجسم m مضروبةً بتسارعه a . ونكتب: $F = ma$
 3. إذا تأثر جسمان أحدهما قوّتين متساويتين ومتعاكستين أحدهما على الآخر.

أما قانون نيوتن في الثقالة law of gravity فنصّه:

يتجاذب جسمان كتلتهما m_1 و m_2 ويفصلهما البُعد d بقوة F تسمى قوة الثقالة، التي تتناسب طرداً مع جداء الكتلتين وعكساً مع مربع البُعد

بينهما (الشكل 10.8). ويكتب هذا القانون رياضياً: $F = Gm_1m_2/d^2$ حيث G هو ثابت تثاقلي (الملحق 2).



الشكل 10.8 قانون نيوتن في الثقالة.

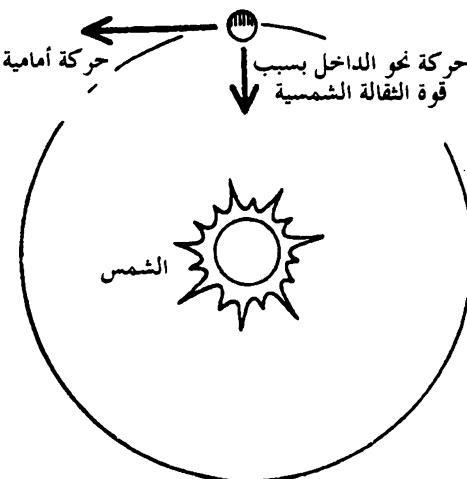
ومن الضروري وجود قوة جذب للبقاء على الكواكب دوارة في مساراتها المنحنية حول الشمس، إذ بدونها تطوح الكواكب هائمة في لجوء الفضاء. هذه القوة توفرها ثقالة الشمس التي تعمل باستمرار على جذب الكواكب نحو الشمس⁽¹⁾.

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

وقد أدرك نيوتن بعقربيته أن قانونه في الثقالة يصح على الأجسام الساقطة على الأرض، وعلى حركة القمر والكواكب، وكذلك على الأجسام المادية كافة. فحكمَ أن قانون الثقالة وقوانين الحركة الثلاثة هي قوانين أساسية في الفيزياء. وُجِدَ فعلاً أن قوانينه عامة شاملة universal تنطبق على الأجسام كلّها في أيّ مكان من الكون.

عمم نيوتن قوانين كيلر في الحركة الكوكبية، وردها رياضياً إلى مبادئ

(1) إن هذه الهيمنة التثاقلية التي تفرضها الشمس على الكواكب توسيع تسميتنا للعائلة الشمسية بالمنظومة الشمسية. (المغرب)



الشكل 11.8 شكلان للحركة اللذان يعيان الكوكب طوافاً في مداره حول الشمس.

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

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

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

8.10 حركة القمر المدارية

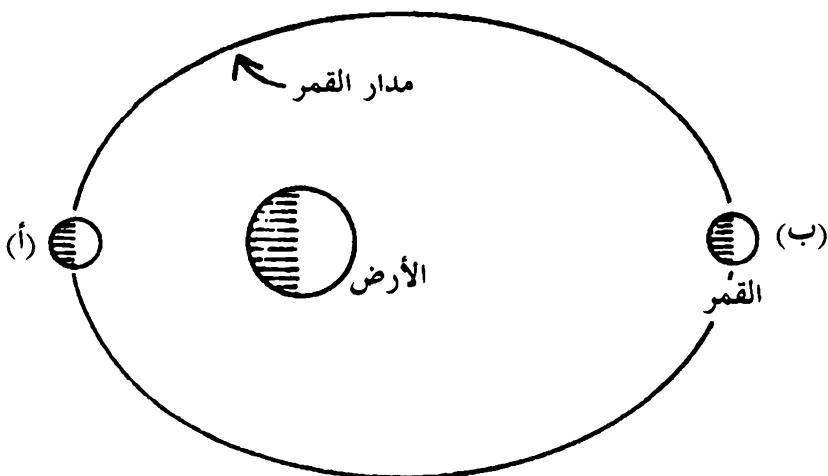
إن مدار القمر قطعٌ ناقصٌ تقع الأرضُ في أحد محراقيه، وهو يدور حولها بسرعة وسطى قدرها $1,02 \text{ كم/ثا}$ (2295 ميل/ساعة).

يُتَمَّ القمر دورةً واحدةً حول الأرض بالنسبة إلى النجوم في زمنٍ يقارب 27,3 يوماً، وتسمى هذه المدة شهراً نجمياً (أو فلكياً) sidereal month.

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

عِينْ نقطتي الأوج والحضيض في الشكل 12.8، واذكر أين يbedo القمر أكبر من معدّل حجمه، وأين يbedo أصغر؟ (أ).....
.....(ب)

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

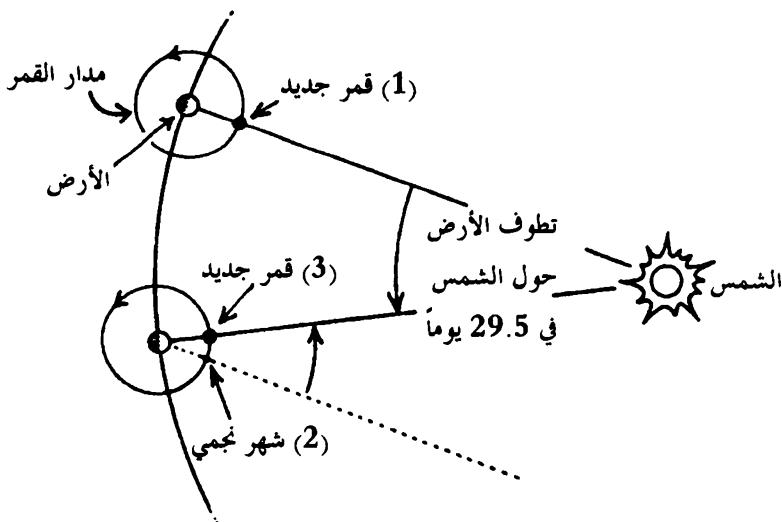


الشكل 12.8 مدار القمر حول الأرض .

8.11 الرَّصْف

إذا كنت هاوياً لألعاب المفردات اللغوية أو لأحاجي الكلمات المتقاطعة، فإن كلمة الرَّصْف *syzygy* كلمة مناسبة؛ وهي تعني وقوع ثلاثة أجرام سماوية، كالشمس والقمر والأرض، على استقامَة واحدة.

بالاستعانة بالشكل 13.8 عُلِّمَ لماذا كان الشهْرُ الاقترانِي - أو شهر أطوار القمر - أطْوَلَ من الشهْر النجمي (الفلكي) بِيُومَيْن
.....



الشكل 13.8 إن المدة بين قمرَيْن جديدين هي أطْوَل بِيُومَيْن من الشهْر النجمي.

الجواب: ابْدأ بقمرِ جديـد (1). بعد 27,3 يوماً يكون القمر قد أتَمَ دورةً حول الأرض (2). لكن الأرض والقمر قد طافا في ذلك الوقت أيضًا حول

الشمس معاً. فلا بدّ من انقضاء يومين آخرين قبل أن يتنظم القمر والأرض والشمس على خطٍ واحد، ويعود القمرُ جديداً ثانية (3).

12.8 الرحلات الفضائية

تنصاع المركبات الفضائية لقوانين الفيزياء الأساسية التي تخضع لها الأجرام الفلكية الطبيعية.

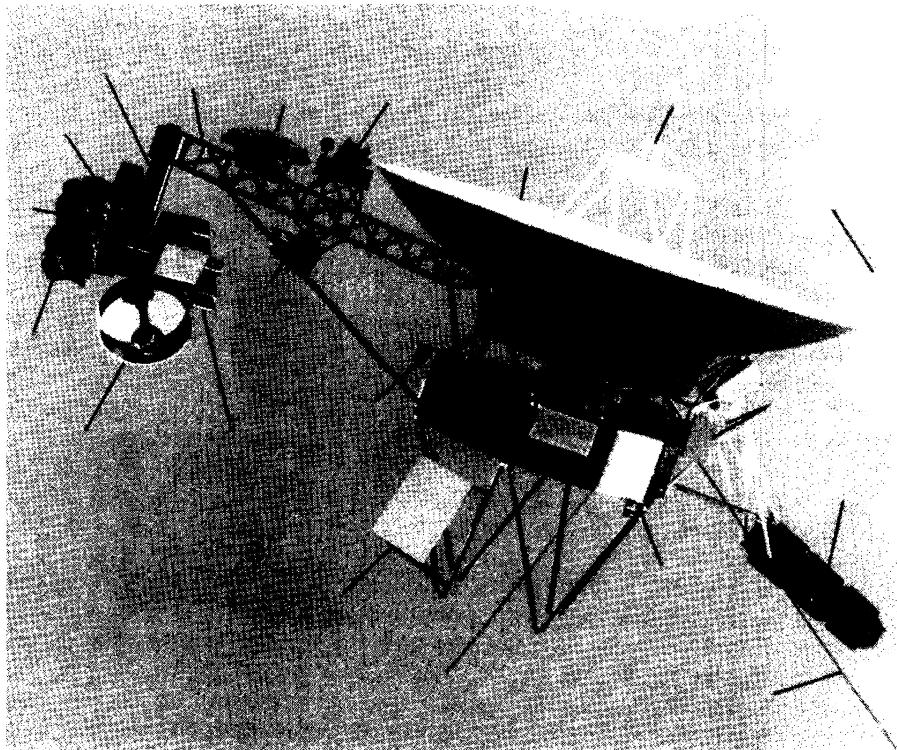
يسمى كلُّ جسم يدور في فلكِ حولَ جرم آخر أكبر منه السائل satellite. فالصواريخ تُطلق أقماراً صناعية في مدارات حول الأرض بسرعة أمامية forward velocity لا تقلُّ عن 8 كم/ثا (300, 17 ميل/سا)، تعمل حصيلة حركتها الأمامية وحركتها الانجذابية نحو الأرض بتأثير قوة الثقالة الأرضية على إبقاء هذه السواحل طوافة في مداراتها. وعلى حين تُصمم معظم السواحل لتحترق بفعل الاحتكاك إذا هي دخلت راجعة إلى الغلاف الجويي الأرضي، تُصنع المركبات المأهولة وتجهيزاتها بحيث تبقى سليمة بعد دخولها عائدة إلى جوّ الأرض، وتهبط بسلام.

كان أولَ قمرٍ صنعيٍ أُطلق إلى الفضاء الخارجي السائل الروسي المسمى سبوتنيك 1 Sputnik 1، وهو كرةً معدنيةً تزن 82 كيلوغراماً (180 رطلاً إنكليزياً) مزوّدةً بجهاز إرسال وبطاريات، أُطلق إلى الفضاء بتاريخ 4 تشرين الأول (أكتوبر) سنة 1957 إذاناً باستهلال عصر الفضاء. واليوم تعمل مئات من السواحل الربوطية الخاصة بالاتصالات والأحوال الجوية والبحوث العلمية والملاحة والأغراض العسكرية، تطلقها دولٌ كثيرة، في مدارات لها حول الأرض.

تُرسل المركبات الفضائية الربوطية في مهام لاستكشاف الكواكب، وهي تُطلق بسرعةً أماميةً إلى مدارات لها حول الشمس. وتحسب حركاتها علمياً بتطبيق قوانين نيوتن، تماماً كما تحسب الحركات الكوكبية نفسها.

تمكّنت المركبات الفضائية الرّبوطية من رصد الكواكب كلّها عن كثب في ما عدا بلوتو. وترُوّد هذه المركبات بمصوّرات، ومجسّات معطيات وأجهزة كمبيوتر مبرمجة لتعمل آلياً، بعيداً عن أيّ تدخل إنساني مباشر. على أنّ أيّاً منها لم تَعُدْ حتى اليوم، وهي تعود إلى الأرض بصوّر ومعطيات تبئّن لأغراض التحليل العلمي.

على أن أكثر رحلات الفضاء طموحاً، التي استغرقت عدة كواكب كانت مشروع فوياجر الأميركي U.S. Project Voyager، فقد أطلقت المركبة التوأمان: فوياجر 1 وفوياجر 2 (الشكل 14.8) سنة 1977، انتهازاً لفرص

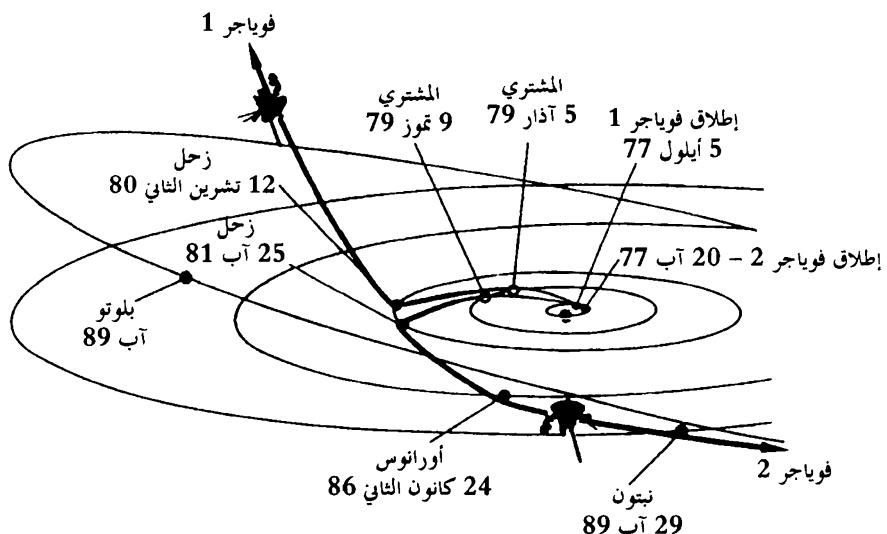


الشكل 14.8 مركبة الفضاء فوياجر التي تزن 800 كغ (نحو طن واحد). وتضم 11 مجموعة من مجسّات الأجرام المستهدفة، ومجسّات البُجُنّيمات والحقول والأمواج. تقوم مولدات الطاقة النووية - الكهربائية بتغذية أجهزة المركبة ومعدّاتها اللاسلكية والكمبيوتيرية.

حدوث تسامٍ كوكبيًّا لا يحدث إلا كل 176 سنة. شملت المهمة الفضائية - التي دامت 12 سنة - حوادث مقابلة مع المشتري وزحل وأورانوس ونبتون، ومنظوماتها الحلقية الفريدة، إضافةً إلى 48 قمراً من أقمارها.

ولهذه الغاية رسم مسار المركبة بدقة عالية، واستعملت تقنية معايدة الثقالة gravity assist، التي تقوم على الاستفادة من الحقل الثقاللي gravitational field للكوكب في تغيير سرعة المركبة الفضائية دون استنفاد وقودها، استُعملت في كل مقابلة لزيادة سرعة المركبة فوياجر، وحُثي مسار تحليقها بدرجة تكفي لنقلها إلى الوجهة التالية.

وقد أفاءت مركبتا فوياجر 1 و 2 كلتاهما صُوراً ومعطيات نفيسةً بلغت في مجموعها 118,000، وأحدثت انقلاباً حقيقياً في علم الفلك الكوكبي. بل إن فوياجر 1 تغادر المجموعة الشمسية حالياً لترقى فوق مستوى دائرة



الشكل 15.8 الجدول الزمني لمشروع فوياجر. أطلقت فوياجر 2 أولاً، وبعد 16 يوماً أطلقت فوياجر 1 على مسار أسرع وأقصر. تواريخ المقابلات الفلكية هي نقاط تقاطع مساري المركبتين ومسارات الكواكب.

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

كم سنة استغرقت المركبة الفضائية فوياجر 2 - منذ انطلاقها - للوصول إلى:

(أ) المشتري ؟ (ب) زحل ؟

..... ؟ (ج) أورانوس ؟ (د) نبتون ؟

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

الجدول 2.8 خصائص الكواكب

الأرض	الزهرة	عطارد	متوسط البعد عن الشمس
149,6	108,2	57,9	بملايين الكيلومترات
(93)	(68)	(36)	(بملايين الأميال)
1,00	0,72	0,39	بالوحدات الفلكية
29,79	35,02	47,87	متوسط السرعة المدارية، كم/ثا
365,26	365 يوماً	224,70	الدور المداري، النجمي
-	584	87,97	الاقتراني (باليام)
4 56 23	سا د ثا	243,019	الدور المحوري، النجمي (باليام وال ساعات وال دقائق والثانية)
${}^{\circ}0'00$	${}^{\circ}3'24$	${}^{\circ}7'00$	ميل المدار على فلك البروج
0,017	0,007	0,206	لا مركزية المدار
0,0034	0	0	النفلطاح
12,756 (7,930)	12,104 (7,520)	4,879 (3,030)	القطر الاستوائي، بالكيلومتر (بالميل)

ال الأرض	الزهرة	عطارد	
1,00	0,82	0,06	الكتلة (الأرض = 1)
5,52	5,24	5,43	الكثافة، طن / م ³
1,00	0,90	0,38	الثقالة السطحية (الأرض = 1)
قمر واحد	0	0	التوابع المؤكدة

الجدول 2.8 خصائص الكواكب (تتمة)

زحل	المشتري	المریخ	
			متوسط البُعد عن الشمس
1429,4	778,3	227,9	بملايين الكيلومترات
(888)	(486)	(142)	(بملايين الأميال)
9,56	5,20	1,52	بالوحدات الفلكية
9,65	13,06	24,13	متوسط السرعة المدارية، كم / ثا
سنة 29,46	سنة 11,86	686,98 يوماً	الدور المداري، النجمي
378	399	780	الاقتراضي (باليام)
10,656 ساعة	9,842 ساعة	سا ٣٧ ٢٤	الدور المحوري، النجمي (باليام وال ساعات وال دقائق وال ثوانى)
° 2 ' 30	° 1 ' 18	° 1 ' 48	ميل المدار على فلك البروج
0,056	0,048	0,093	لا مركزية المدار
0,098	0,065	0,0065	التفلطح
120,540 (74,900)	142,980 (88,850)	6,794 (4,220)	القطر الاستوائي، بالكيلومتر (بالمiles)
95,16	317,83	0,11	الكتلة (الأرض = 1)
0,70	1,33	3,94	الكثافة، طن / م ³
1,08	2,54	0,38	الثقالة السطحية (الأرض = 1)
18 قمراً حلقات	16 قمراً حلقات	قمران	التوابع المؤكدة

الجدول 2.8 خصائص الكواكب (تممة)

أورانوس	
	متوسط البُعد عن الشمس
2875,0	بملايين الكيلومترات
(1787)	(بملايين الأميال)
19,22	بالوحدات الفلكية
6,80	متوسط السرعة المدارية، كم / ثا
سنة 84,01	الدور المداري، التجمي
370	الاقتراني (بالأيام)
17,239 ساعة	الدور المحوري، التجمي (بالأيام وال ساعات وال دقائق وال ثوانی)
° 0 ' 48	ميل المدار على فلك البروج
0,046	لا مركزية المدار
0,023	التقطيع
51 ، 120 (31 ، 770)	القطر الاستوائي ، بالكيلومتر (بالميل)
14,50	الكتلة (الأرض = 1)
1,30	الكثافة ، طن / م ³
0,91	الثقالة السطحية (الأرض = 1)
17 قمراً حلقات	التابع المؤكدة

13.8 معلومات عامة عن الكواكب

يساعدنا علم الكواكب المقارن - ology كوكب بمقارنته بغيره - على تحسين إدراكنا منظومتنا الشمسية. ويبين الجدول 2.8 الـ السيارة .

لاحظ علماء الفلك أنَّ عطارد والزُّهرة والأرض والمرِّيخ تشتَرك بخصائص فيزيائية ومدارية متماثلة ، فأطلقوا عليها اسم الكواكب الأرضية terrestrial planets ل شبَّهُها بالأرض ؛ وأنَّ المشتري ورُّحَل وأورانوس ونيبتون تتماثل في ما بينها أيضاً فأسمُوها الكواكب العملاقة giant أو المشتريوية Jovian (نسبة إلى كوكب المشتري). أما بلوتو الغامض فلا ينسنك في أيٍ من المجموعتين .

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

الكواكب العملاقة	الكواكب الأرضية
(أ)	(أ)
(ب)	(ب)
(ج)	(ج)
(د)	(د)

الجواب :

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

14.8 أيام وسنوات

نسمَّي دُوراً مدارياً⁽¹⁾ period of revolution المدة الالازمة لجُرم سماوِي ليطوف دورةً واحدةً تامةً حول مداره .

(1) أو orbital period (المعرب)

ونسمى دوراً مدارياً نجمياً (أو فلكياً) sidereal revolution period مدة سنة للكوكب بالنسبة إلى النجوم بالقياس الزمني الأرضي. أما الدور المداري الاقتراني synodic revolution period للكوكب فهو دوره المداري كما يرى من الأرض، ويعادل الزمن اللازم للكوكب ليعود إلى موقع ظاهري aspect معين بالنسبة إلى الشمس كما يظهر ذلك من الأرض، كوضع الاقتران conjunction مثلًا.

يختلف الدور الاقتراني للكوكب عن دوره النجمي لأن الأرض نفسها تطوف في مدارها حول الشمس.

من ناحية أخرى فإن الدور المحوري period of rotation هو المدة اللازمة لجسم سماوي ليتّم دورة واحدة حول محوره. والدور المحوري النجمي sidereal rotation period للكوكب هو مدة يوم نجمي (فلكي) على الكوكب (الفقرة 1.23). والدور المحوري الاقتراني synodic rotation period للكوكب هو مدة يوم شمسي واحد عليه، أي الفاصل الزمني بين عبورَيْن زوالَيْن meridian transits متعاقبَيْن للشمس، كما قد يرى ذلك راصد على ذلك الكوكب.

ومنذ عهد بعيد يُتَّخذ دوران الأرض حول محورها معياراً لضبط الزمن timekeeping، إلا أن دوران الأرض ليس منتظمًا تماماً؛ فدقّته جيدة حتى نحو 0,001 من الثانية يومياً. في مقابل ذلك هناك المِيقاتيات الذرية atomic clocks التي هي أكثر المِيقاتيات دقة، وهي تعمل على أساس قياس ترددات الطنين الطبيعي للذرّة معلومة - من السيريوم cesium أو الهيدروجين أو الربيـق - إذ تصل دقّتها إلى واحد من مليار من الثانية يومياً. وتتولى الهيئة الدولية لمراقبة دوران الأرض International Earth Rotation Service رصد الفارق بين المِعيارَيْن الزَّمَنِيَّيْن، وتقوم كلَّ حين بإدخال إضافات من ثانية واحدة، تسمى الثوانِي الكبِيسة leap seconds، على مِيقاتيات العالم كافة حسب الضرورة.

من الجدول 2.8 استنبط ما يلي :

(أ) أي الكواكب العملاقة يتميز بأطول سنة؟ وكم تعادل بالسنوات الأرضية؟

.....

(ب) أي الكواكب يتميز بأطول يوم نجمي؟ وكم يعادل بالأيام الأرضية؟

.....

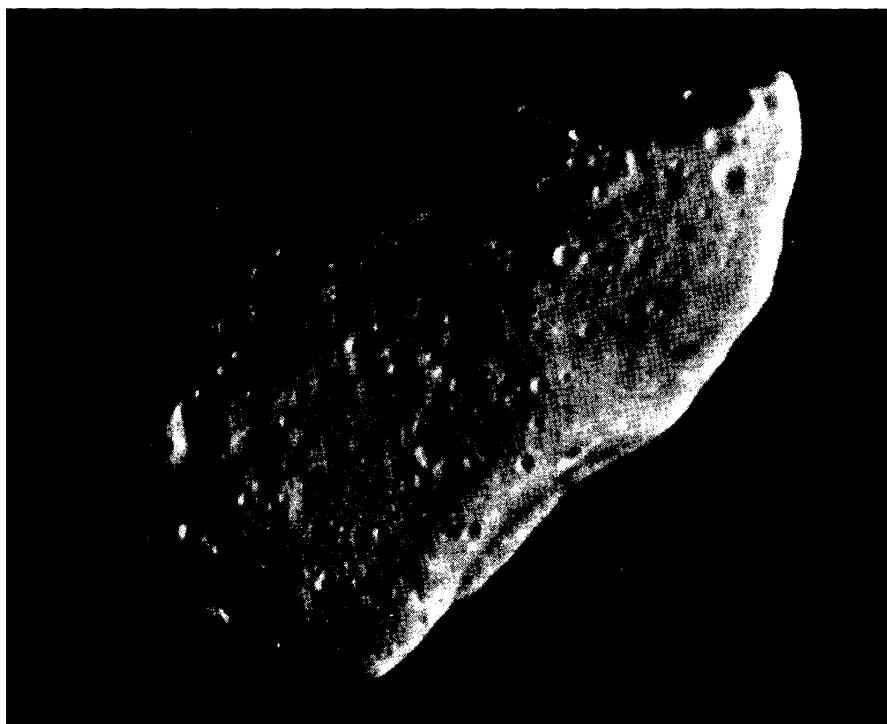
الجواب : (أ) نبتون؛ تعادل سنته 164,8 سنة أرضية؛ (ب) الزهرة؛ يعادل يومه 243 يوماً أرضياً.

15.8 الكويكبات

الكويكبات asteroids، أو الكواكب الثانوية، أجرام صخرية صغيرة غير منتظمة الأشكال تدور حول الشمس. وأغلبها يتبع مسارات داخل منطقة تسمى الطوق الكويكبي asteroid belt، تقع بين مداري المريخ والمشتري⁽¹⁾.

ومن خلال مقارب تبدو الكويكبات شبيهة بالنجوم. ويعود اكتشاف أكبر كويكب إلى الفلكي الصقلّي غيوسيبي بيازي Giuseppe Piazzi (1746 - 1826) عام 1801، الذي رقّمه 1 وسمّاه سيريز Ceres، ويبلغ قطره 950 كيلومتراً (590 ميلاً). ومنذ ذلك الحين صنّف ما يربو على 6000 كويكب، يضاف إليها نحو 200 كويكب كلّ سنة. ويبدو أن كتلة الكويكبات مجتمعة لا يتجاوز 0,0001 من كتلة الأرض، علماً بأن مليارات أخرى منها دقيقة كجسيمات الغبار يحتمل وجودها أيضاً.

كانت أول صورة تُلتقط ل الكويكب عن قرب هي صورة الكويكب 51 Gaspra التي التقاطها المركبة الفضائية الأمريكية غاليليو سنة 1991 (الشكل 16.8). يلاحظ أن غاسپرا قطعة صخرية غليظة غير منتظمة الشكل بلغ أبعادها زهاء $11 \times 12 \times 20$ كم ($7 \times 12 \times 8$ أميال)، وتنشر على سطح وَهَات، وتغشاه أنقاض ترابية.



شكل 16.8 أول صورة قريبة ل الكويكب، 951 غاسپرا، التقاطتها مركبة الفضاء الأمريكية غاليليو عندما كانت هي وال الكويكب على بعد 55 مليون كيلومتر عن الأرض. يقارب قطره أصغر فوئاته 300 متر.

يدور غاسپرا عكس اتجاه حركة عقارب الساعة في زمن يزيد قليلاً على سبع ساعات. وقد لوحظ أن مقدار ضوء الشمس الذي تعكسه الكويكبات الأخرى على الأرض يتفاوت ويتكرر كل عدّة ساعات، وهذا يدل على أنه

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

تصنف الكويكبات في ثلاثة أنواع رئيسية بالاستعانة بالطيفيات الضوئية spectrophotometry، وهي الوسيلة الدقيقة لتعيين الأقدار magnitudes ضمن مناطق ذات أطوال موجية معينة. ف الكويكبات النوع C سُمِّيت C-type asteroids كذلك لغَلَبة الكربون على تركيبها، فهي شديدة الْدُكَنة ويكثر وجودها في الطوق الكويكبي الخارجي. وهناك الكويكبات النوع S-type asteroids التي تحتوي على السيليكات ممزوجةً بالمعادن، وتتصف باعتدال درجة سطوعها، وتتوافرها في الطوق الداخلي. ثم هناك الكويكبات النوع M-type asteroids التي يعتقد أنها معدنية في معظم تركيبها، وتبعد ساطعةً جداً.

وأغلب الظن أن الكويكبات الساطعة هي تكتلاتٌ من المادة تكتَّفت من السديم الشمسي الأصلي، لكنها لم تتنامِ بما يكفي لتكون كوكباً كبيراً. فأسطع الكويكبات هو كويكب 4 فيستا Vesta الذي يبلغ قطره 530 كيلومتراً (330 ميلاً)، وأخفتها ربما تكون شظايا ناشئةً عن حوادث تصادم متكررة.

يُجدر بالذكر أن بعض الكويكبات تقترب من الأرض دورياً اقتراباً نسبياً؛ ف الكويكبات آتن Aten asteroids لها مداراً داخل مدار الأرض، في حين تُعبَر كويكبات أبولو Apollo asteroids مدار الأرض وتتحرك ضمنه وصولاً إلى نقطة الرأس perihelion. وقد رُصدت كويكبات أبولو هذه فعلاً على مسافة مليون كيلومتر فقط أو أقل عن الأرض. أما كويكبات آمور Amor asteroids - التي تقع مداراً لها على بعد 1 إلى 1,3 وحدة فلكية - فتبقي خارج مدار الأرض دوماً.

هذا ويخشى كثيرٌ من الناس حدوث تصادم كارثي مدمر لدى رؤية كويكب قريب أول مرة. ويقرّ علماء الفلك أن الكويكبات التي يتجاوز قطرها الكيلومتر تمثل خطراً وبيلاً مطلقاً. ولعل المقاريب الحديثة قادرةً على رصد موقع كويكب بهذا قبل وصوله للأرض بعشرين السنين، فتُتخذ

الإجراءات الالزامية لاعتراضه تفاديًّا لخطره⁽¹⁾.

وإلى عهد قريب، أكَّد تحليل إشارات رادارية مرئية عن كويكب، أنه أول كويكب معدنيٌ ذي مدار قريب من الأرض. وقد اكتُشِف الماء على شكل ماء إماهة water of hydration على كويكب 1 سيريز أولاً. ومن يدري، فلربما صار بالإمكان - في غضون القرن الحادي والعشرين - نَقْبُ الكويكبات المعدنية لتوفير المواد الأولية لمستعمرات الفضاء الخارجي، وللحملات العديدة في ما بين الكواكب مستقبلاً.

وقد رُصِدَ عددٌ من الأجرام الجليدية الصغيرة، التي لا يُعرف منشؤها على وجه اليقين، في مدارات حول الشمس خارج مدار كوكب نبتون. وربما أنها أول الكويكبات التي رُصدت في منطقة خارجية على الإطلاق. من هذه الأجرام 2060 شيرون Chiron الغريب الأطوار الذي يبلغ قطره 120 كيلومترًا (62 ميلاً)، وولَدَ غلافاً غازياً منتشرًا لفَهُ عندما تحرك مقترباً اقتراباً شديداً من الشمس سنة 1990، مما يوحي بوجود جليد سطحيٍّ، وهذا من صفات المذنبات. لذلك فقد يكون شيرون مذنباً لا كويكباً «طبعياً»، بل قد تكون هذه الأجرام الواقعة وراء كوكب نبتون هي الدليل المباشر الأول على ما يسمى بحزام كويپر Kuiper belt، الذي يفترض أنه مصدر المذنبات القصيرة الدور.

ما هي الكويكبات؟

الجواب: حشوُّ من أجرام صخرية غير منتظمة الأشكال، تطوف حول الشمس بين مداري المريخ والمشتري على وجه الخصوص.

(1) إن كويكباً يبلغ قطره كيلومتراً واحداً يصطدم بالأرض قمئًّا لأن يحرز كميةً من الطاقة تعادل انفجاراً نووياً بطاقة تدميرية قد تصل إلى 40,000 ميغا طن. لذلك يبحث علماء الفلك على إنشاء منظومة دولية للإنذار المبكر عند اقتراب الكويكبات من الأرض. (المعرب)

الجدول ٣ .٨ توابع المنظومة الشمسية

اكتشاف	دوره المداري (بالأيام)	متوسط بُعده عن الكوكب ^١ (بالكيلومترات)	قطره (كم)	التابع	الكوكب
	27,322	384,500	3,474	القمر	الأرض
1877 هول ، 1877 هول ،	0,319 1,262	9,400 23,500	26x22x18 16x12x10	فوبوس ديموس	المرتبط
سينوت/ فوياجر ١ ، جويت ، دانيلسون ، بارنارد ، سينوت/ فوياجر ١ ، غاليليو ، غاليليو ، غاليليو ، غاليليو ، كوال ، پيرين ، نيكولسون ، پيرين ، نيكولسون ، نيكولسون ، ميلوتي ، نيكولسون ،	0,295 0,298 0,498 0,675 1,769 3,551 7,155 16,689 238,7 251,6 259,2 259,6 631 R 692 R 735 R 758 R	128,000 129,000 180,000 222,000 422,000 671,000 1,070,000 1,885,000 11,110,000 11,470,000 11,710,000 11,470,000 21,200,000 22,350,000 23,330,000 23,370,000	(40) 20 262x146x134 (100) 3,642 3,138 5,268 4,608 10 170 24 80 20 30 36 28	ميتس أدرستيا أمالثيا ثيري آيو أوروبا غانيميد كاليستو لیدا هيماليا ليسيشا إلارا أنانكي كارمي پاسيفي سينوري	المشتري
شوولز / فوياجر ٢ ، تيريل / فوياجر ١ ، كوليتر / فوياجر ١ ، كوليتر / فوياجر ١ ، دولفوس ، فاوتين / فوياجر ١ ،	0,575 0,601 0,613 0,629 0,695 0,694	134,000 137,000 139,000 142,000 151,000 151,000	20 38x34x28 148x100x68 110x88x62 198x192x152 138x110x110	بان أطلس بروميثيوس پاندورا جانوس [*] إيسميريوس [*]	رُحل

اكتشافه	دوره المداري ^{بـ} (بالأيام)	متوسط بُعده عن الكوكب ^ا (بالكيلومترات)	قطره (كم)	التاريخ	الكوكب
1789 هيرشل ،	0,942	187,000	398	ميماس	رُحْل
1789 هيرشل ،	1,370	238,000	498	إنسيلادوس	
1684 كاسيني ،	1,888	295,000	1,060	تيثيس	
1980 سميث / فوياجر 1 ،	1,888	295,000	30x26x16	تيليسو	
1980 پاسكو / فوياجر 1 ،	1,888	295,000	30x16x16	كالبيسو	
1684 كاسيني ،	2,737	378,000	1,120	دايوني	
1980 لاكس ، لاكاشوز ،	2,737	378,000	32	هيلين	
1672 كاسيني ،	4,518	526,000	1,528	ريا	
1655 هايغنز ،	15,94	1,221,000	5,150	تيتان	
1848 بوند ، لاسيل ،	21,28	1,481,000	185x140x113	هيپريون	
1671 كاسيني ،	79,33	3,561,000	1,436	أياستوس	
1898 بيكرينغ ،	550.4 R	12,960,000	220	فيفي	
1986 تيريل / فوياجر 2 ،	0,336	49,800	26	كورديليا	أورانوس
1986 تيريل / فوياجر 2 ،	0,38	53,800	30	أوفيليا	
1986 فوياجر 2 ،	0,435	59,200	42	بيانكا	
1986 سينوت / فوياجر 2 ،	0,465	61,800	65	كريسيدا	
1986 سينوت / فوياجر 2 ،	0,476	62,600	54	ديدمونة	
1986 سينوت / فوياجر 2 ،	0,494	64,400	82	جولييت	
1986 سينوت / فوياجر 2 ،	0,515	66,100	108	بورشا	
1986 سينوت / فوياجر 2 ،	0,560	70,000	54	روزاليند	
1986 سينوت / فوياجر 2 ،	0,624	75,300	66	بيلندا	
1986 سينوت / فوياجر 2 ،	0,764	86,000	154	پلٹ	
1948 كويبر ،	1,413	129,900	480x468x466	ميراندا	
1851 لاسيل ،	2,521	190,900	116x1156x1156	آريل	
1851 لاسيل ،	4,144	266,000	1,170	أمبريل	
1787 هيرشل ،	8,706	436,300	1,578	تيتانيا	
1787 هيرشل ،	13,46	583,400	1,522	أوبيرون	

اكتشافه	دوره المداري ^{بـ} (بالأيام)	متوسط بُعده عن الكوكب ^¹ (بالكيلومترات)	قطره (كم)	التابع	الكوكب
غلامدان وآخرون، 1997	579,4	7,169,000	(80)	كاليان	أورانوس
غلامدان وآخرون، 1997	1284	12,214,000	(160)	سيكوراكس	
كاروكشا/فوياجر 2، 1999	0,638	76,000,000	(80)	S/1986 U10 S/1999 U1 S/1999 U2	
كافيلارز وآخرون، 1999 كاپلارز، 1999					
تيريل / فوياجر 2 ، 1989	0,30	48,000	58	نياد	نبتون
تيريل / فوياجر 2 ، 1989	0,31	50,000	80	ثالاسا	
سيبوت / فوياجر 2، 1989	0,34	52,500	148	ديسبينا	
سيبوت / فوياجر 2 ، 1989	0,43	62,000	158	غالاتيا	
رايتسيما/ فوياجر 2، 1989	0,56	73,600	208x178	لاريسا	
سيبوت / فوياجر 2، 1989	1,12	117,600	436x416x402	بروتوبوس	
لاسيل، 1846	5.877 R	354,000	2,704	تريلتون	
كويبر، 1949	360,1	5,510,000	340	نيريد	
كريستي، 1978	6,387	19,100	1,186	كارون	بلوتو

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

= مدار تراجعي. * تابع مشتركة في المدار. القيم المحصورة بين قوسين قيمٌ تقديرية.

ملاحظة: في الحالة التي كان فيها اكتشاف التابع نتيجةً لدراسات تحليلية أجريت لاحقاً لصُورٍ بثتها مركبنا الفضاء فوياجر 1 و 2، ذُكر اسم الفلكي الذي رصد التابع أول مرة، مقترباً بسنة الاكتشاف إزاء اسم مركبة الفضاء.

16.8 مقاييس في الأقمار

تَقَدَّمَ لكَ أَنَّ الْكُوَاكِبَ الْعَمَلَاقَةَ أَعْظَمُ كَتْلَةً وَأَقْوَى جَاذِبَيَّةً مِنَ الْكُوَاكِبَ الْأَرْضِيَّةَ، وَمِنْ هُنَا كَانَتْ أَقْدَرَ عَلَى الاحتفاظِ بِالْأَقْمَارِ الَّتِي تَكَوَّنَتْ فِي الْجَوَارِ أَوْ مَرَّتْ بِهِ.

استعين بالجدولين 2.8 و 3.8 للإجابة عن الأسئلة التالية: (أ) كم عدد أقمار الكواكب الأرضية؟؛ (ب) ما عدد الأقمار المؤكدة الوجود للкваكب العملاقة؟ (ج) عدد أقمار الكواكب التي هي أكبر من قمرنا. (د) ما هو أكبر قمرٍ معروف في المنظومة الشمسية؟

(أ)

(ب)

(ج)

(د)

الجواب: (أ) للكواكب الأرضية ثلاثة 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 : غаниميدي وكاليستو وأيو؛ وقمر زُحل : تيتان . (د) غانيميدي .

اختبار ذاتي

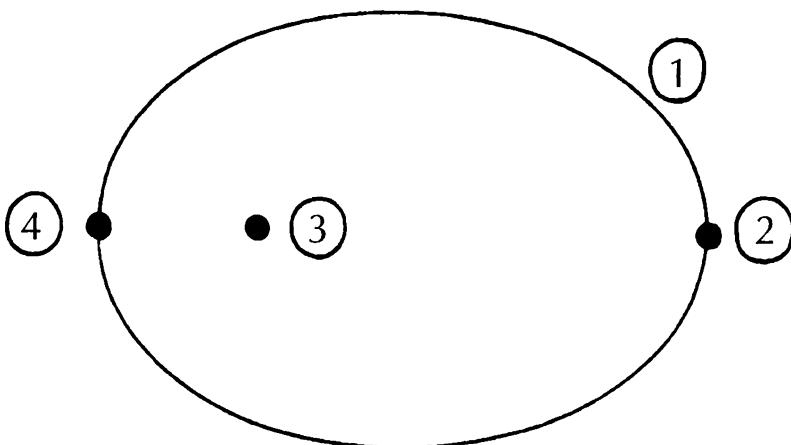
يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل الثامن وتمثّلها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهدًا استطاعتك، ثم انظر في الأجبوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. مم تتألف المنظومة الشمسية؟
..... ما الفرق الجوهرى بين النجم والكوكب؟
2. اذكر حققتين تعضدان النظرية السليمية في تكون المنظومة الشمسية
3. أي أطوار القمر ترى - عند خطوط العرض الشمالية المتوسطة - إذا كان القمر بازغاً في السماء قرابة
(أ) الساعة 6 مساء؟
(ب) وقت الظهر؟
4. وافق بين كل شخصية علمية والإسهام الذي قدّمه لتطوير فهمنا للمنظومة الشمسية .

- (أ) وَصَفَ الرُّؤْيَاةَ الْأَرْضِيَّةَ الْمَرْكَزِيَّةَ لِلْكَوْنِ فِي كِتَابِهِ «الْمَجْسِطِيٌّ» نَحْوَ سَنَةِ 150 م. --
- (ب) أَفَرَّ قَوَانِينَ الْثَلَاثَةَ فِي الْحَرْكَةِ الْكَوْكِبِيَّةِ تَجْرِيبِيًّا مِنْ مَعْطِيَّاتِ رَصْدِيَّةٍ. --
- (ج) أَوْلَى مِنْ اسْتَعْمَلَ الْمَقْرَابَ فِي الرَّصْدِ الْفَلْكِيِّ وَاكْتَشَفَ أَطْوَارَ الزُّهْرَةِ. --
- (د) وَضَعَ كِتَابًا يَصْفِ فِيهِ النَّمُوذِجَ الشَّمْسِيَّ الْمَرْكَزِيَّ لِلْحَرْكَاتِ الْكَوْكِبِيَّةِ، تُشَرِّي سَنَةَ 1543 وَهِيَ سَنَةُ وَفَاتِهِ. --
- (هـ) صَاغَ الْقَوَانِينَ الْثَلَاثَةَ الْأَسَاسِيَّةَ فِي الْحَرْكَةِ وَالْقَانُونِ الْعَامِ لِلْجَاذِبِيَّةِ. --
- (و) رَصَدَ وَدَوَّنَ الْحَرْكَاتِ الْكَوْكِبِيَّةِ مَا يَقْرَبُ 20 سَنَةً. --

..... 6. ما الذي يبقى الكواكب في مداراتها حول الشمس؟

7. استعن بالشكل 17.8 في تعين ما يلي : (أ) الشمس ؛ (ب) القطع الناقص ؛ (ج) نقطة الذئب ؛ (د) نقطة الرأس ؛ (ه) النقطة التي تكون فيها قوة الثقالة أعظمية ؛ (و) النقطة التي تكون عندها حركة الكوكب أبطأ ما يمكن



الشكل 17.8 الحركة الكوكبية.

8. كم الفارق الزمني بين الشهر القمري النجمي (الفلكي) والشهر القمري الاقتراني؟ أوضح إجابتك
9. ما القوة التي تبقي مركبات الفضاء في مساراتها في أثناء انتقالها عبر المنظومة الشمسية؟
10. صنف كلاً مما يلي بصفتها خصيصة من خصائص (1) الكواكب الأرضية أو (2) الكواكب العملاقة .
- (أ) بعيدة عن الشمس
- (ب) صغيرة القطر
- (ج) كبيرة الكتلة

- (د) منخفضة الكثافة
 (ه) قصيرة دَوْرُ الدوران المداري
 (و) قصيرة دَوْرُ الدوران المحوري
 (ز) لها أقمار كثيرة
 11. قاِيلُ كُلَّ وصفٍ مما يلي بالكوكب الذي ينطبق عليه الوصف. استعن بالجدول 2,8.

(1) عطارد.	(أ) أقربها إلى الشمس.	--
(2) الزُّهرة.	(ب) مدارات أكثر المدارات مَيِّلًا نحو	--
(3) الأرض.	مستوي فلك البروج.	--
(4) المريخ.	(ج) له أطول يوم نجمي.	--
(5) المشتري.	(د) سنته تعادل ستين أرضيتين.	--
(6) زُحل.	(ه) أكبرها كتلة.	--
(7) أورانوس.	(و) أعلىها كثافة.	--
(8) نبتون.		
(9) بلوتو.		

12. ما هي الكواكب؟

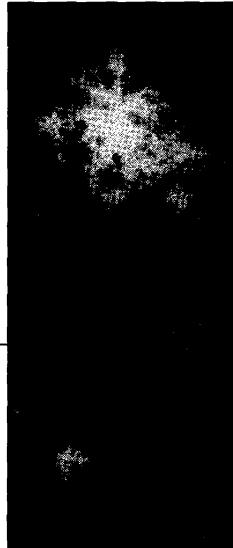
الأجوبة

قارن أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتها صحيحة كلها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأت في بعضها فعد إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقة أكبر إذا تعددت أخطاؤك.

1. من نجم واحد هو الشمس، وتطوف حولها تسع كواكب مع أقمارها، إضافة إلى الكويكبات، والمذنبات، والغاز والغبار البينوكبتي. (الفقرة 1.8)
2. الكتلة. فالكوكب أخفض كتلة وحرارة من النجم؛ وفي حين أن النجم يولد ضوءه من ذاته، فإن الكوكب يضيء بانعكاس ضوء النجم عليه. (الفقرة 1.8)
3. تطوف الكواكب جميعها حول الشمس في اتجاه واحد. تقع مدارات كل الكواكب - باستثناء بلوتو - في مستوى فلك البروج تقريباً. (الفقرة 2.8)
4. (أ) البدر؛ (ب) التربع 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 الانجدابية نحو الشمس بتأثير قوة الثقالة. (الفقرة 9.8)
7. (أ) 3؛ (ب) 1؛ (ج) 2؛ (د) 4؛ (هـ) 4؛ (و). 2. (الفقرتان 8.8 و 9.8)
8. يومان. في الوقت الذي يطوف فيه القمر حول الأرض، تطوف الأرض

- والقمر معاً حول الشمس .
9. الثالثة . (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 8.13 و 8.14 والجدول 2.8)
12. أجرامٌ صخريةٌ غير منتظمةٌ الأشكال، طوافٌ حول الشمس بين مداراتي المريخ والمشتري على وجه الخصوص. (الفقرتان 1.8 و 16.8)

الكواكب



الأرض مهد البشر، لكن الإنسان لا يمكن أن يحيا في المهد إلى الأبد.

كونستانتين تسيولكوفسكي (1857 - 1935)

الأهداف:

- بيان أوجه التشابه والاختلاف في الخصائص العامة والأحوال السطحية لعطارد والزهرة والأرض والمريخ.
- تفسير ما يقصد بـ «نجم الصباح» و «نجم المساء».
- دراسة الغُلُف الجوية لكلٌ من عطارد والزهرة والأرض والمريخ والمشتري وزحل وأورانوس ونيتون وپلوتو.
- وصف أحوال المريخ في موقع هبوط مركبتي الفضاء فايكنغ 1 و 2.
- عرض مشاهدَيْن تشيران إلى احتمال تدفق الماء على المريخ فيما مضى من الزمان.
- مقارنة البُثُّية الداخلية للأرض بالبُثُّية الداخلية للمشتري.

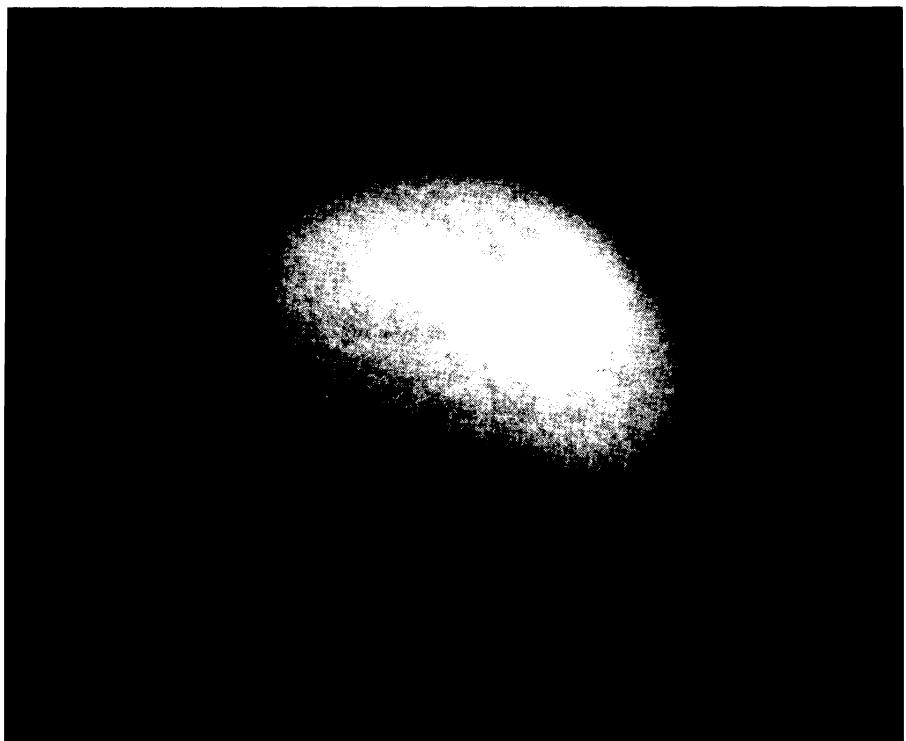
- عرض نظرية تكتونيات الصفائح أو الألواح (الانجراف القاري)، وصلتها بالنشاط الجيولوجي على الأرض.
- إيراد اثنين من مصادر القلق البيئية المتعلقة بجُوّ الأرض.
- ذكر سمةٍ شهيرةٍ للزَّهرة والمريخ والمشتري وزُحل، يمكن رصدها بمقرابٍ صغير، وتفسيرها وفقاً للمعطيات الحالية.
- بيان أوجه التشابه والاختلاف في الخصائص العامة للمشتري وزُحل وأورانوس ونپتون.
- عرض ما عُرِف عن توابع المريخ والمشتري وزُحل وأورانوس ونپتون وپلوتو.
- وصف الخصائص المعروفة للكوكب پلوتو.

1.9 عطارد

عطارد Mercury أقرب الكواكب إلى الشمس، وغالباً ما يكون متوارياً في وهجه (الشكل 1.9). وتسميته نسبةً إلى رسول الآلهة الرومانية الرشيق الحركة تسميةً موقفة؛ فهو يسعى حول الشمس أسرع من سائر الكواكب، بمعدل سرعة يبلغ 172،000 كم/ساعة (107 ميل/ساعة).

وأول المشاهد القريبة لعطارد كان مما بثته مركبةُ الفضاء الرَّبوطية الأمريكية مارينر 10، التي تمكنت من تصوير نصف الكوكب فوتografياً بين سنتي 1974 - 1975 باقتربابها ثلث مرات منه (الشكل 2.9).

يبعد عطارد شيئاً بقمرنا؛ فسطحه قديمٌ ومثقلٌ بالفوهةـات التي توحـي بـتعـرضـ الكـواـكبـ الدـاخـلـيةـ كلـهاـ إـلـىـ وـابـلـ منـ الأـحـجـارـ الـنيـزـكـيـةـ فـيـ المـراـحـلـ الأخيرةـ منـ تـكـوـنـهـاـ. تـسـمـيـ أـكـبـرـ فـوـهـةـ عـلـىـ عـطاـردـ حـوـضـ كالـوريـسـ Caloris Basinـ، وـيـبـلـغـ قـطـرـهـ 1300ـ كـيـلـوـمـترـ (800ـ مـيـلـ). وـتـدـلـ الـمسـاحـاتـ الـكـبـيرـةـ الـمـلـسـاءـ مـنـ سـطـحـهـ، الشـبـيهـ بـبـحـارـ الـقـمـرـ، عـلـىـ أـنـ الـكـوـكـبـ قدـ شـهـدـ تـدـفـقـ حـمـمـ بـرـكـانـيـةـ عـلـىـ نـاطـقـ وـاسـعـ فـيـ الـماـضـيـ السـحـيقـ.

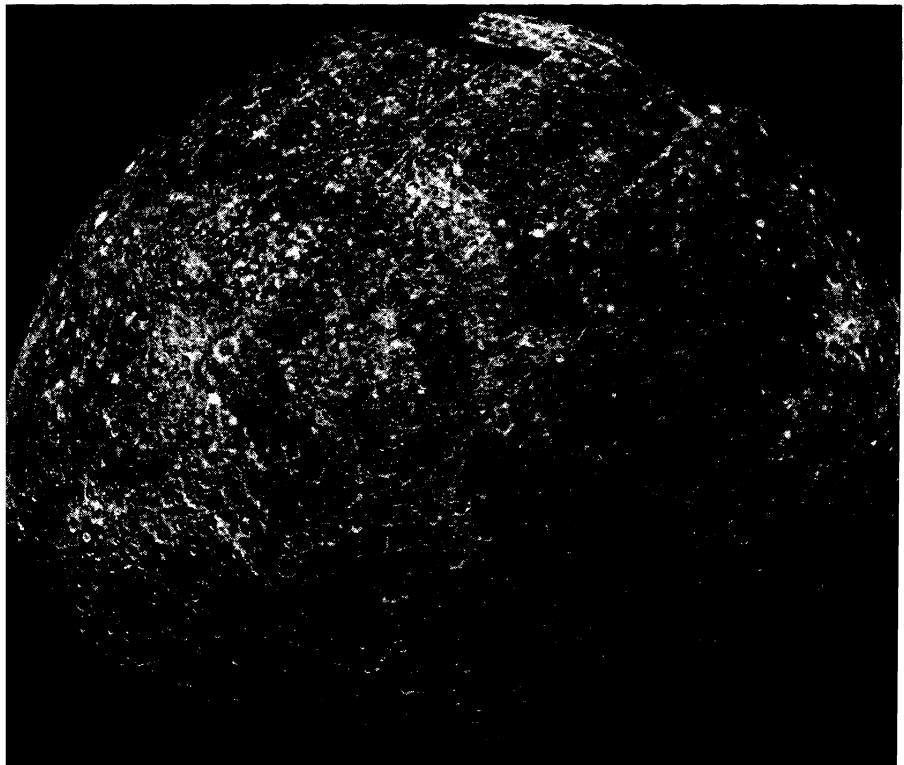


الشكل 1.9 من أ جود الصور التي يمكن التقاطها للكوكب عطارد باستعمال مقرابٍ أرضيٍّ.

تنشر في جميع أنحاء الكوكب أجرافٌ scarps يصل ارتفاعها إلى 2 كـ (1,2 ميل) وطولها إلى 1500 كـم (930 ميلاً)، يبدو أنها تكونت لدى تبرُّأ باطن عطارد وتقلصه، وانضغاط قشرته نتيجةً لذلك.

ومحور دوران عطارد شاقولي (وليس مائلاً كمحور دوران الأرض). وهذا يستوجب أن تكون الشمس عموديةً دوماً على خط استوائه. كذلك فليس ثمة فصلٌ تتعاقب على الكوكب. ويلاحظ بعض ضوء الشمس على قطبيه باستمرار.

تفاوت درجات الحرارة من يحموم بالغ الحرارة في ضوء الشمس المباشر يبلغ 700 كلفن (430° مئوية أو 800° فارنهايتي)، إلى قارسٍ لا يتعدى



لشكل 2.9 كوكب عطارد . «توليفة» من أكثر من 200 صورة التقطتها مركبة الفضاء مارينر 10 يقارب قطر أكبر فوئاته 170 كم (100 ميل) . لاحظ أيضاً الأشعة النيرة المنبعثة من فوئات خلفها صدم حديث العهد ، والسهول الملساء الدكناة ، والأجراف الكبيرة .

90 كلفن (180° - مئوية أو 300° - فارنهايتيه) على الجانب المظلم من الكوكب تحرّر درجات الحرارة المفرطة الارتفاع مواد سريعة التطاير من سطحِ للكوكب ، فيتكون من ذلك غلاف جويٌّ واه جداً اكتُشِفَ فيه الهليبو الصوديوم والهيدروجين ، وربما الأكسجين . أما ضغط الهواء السطحي فإنه يحصل إلى جزءين من تريليون من ضغط الهواء على الأرض عند مستوى سطح البحر (أي أقل من $10^{-9} \times 2$ مليبار) . تتسرّب معظم الغازات ، ومنها بخار الماء المحتمل ، من الكوكب ، إلا أن بعضها قد ينحبس بجوار المناطق الباردة عند القطبيين ، ويترسب كنوع من الثلج .

تجدر الإشارة إلى أن نصف الكرة العطاردية التي لم يسبق أن صُورت من قبل تصويراً فوتografياً، قد جرى رصدها أول مرة سنة 1991 برادر أرضي التمرکز. ويُظهر التفاوت في درجة العاكسيّة السطحية للإشارات الرادارية تفاصيل السمات التضاريسية السطحية. فتشير النتائج إلى وجود رواسب جليديّة عند قطبِي عطارد. ويبدو أن درجة الحرارة في المناطق القطبيّة منخفضة إلى حد الإبقاء على الجليد متجمداً عند الدرجة 125 كلفن (148° - مئوية أو 235° - فارنهایتیة). يتميز عطارد بحقل مغناطيسي ضعيف جداً يؤثّر في حركة الجسيمات المشحونة في الريح الشمسيّة، وقد يؤثّر كذلك في الوفرة المتغيّرة للصوديوم المرصود في غلافه الجوي الواهي.

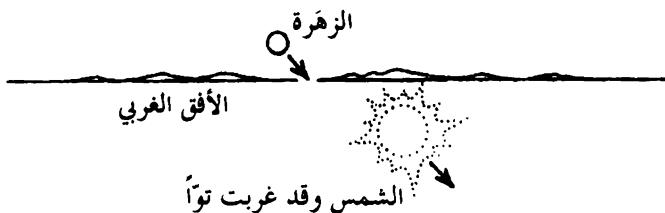
إذا كان لعطارد قشرة من صخر سيليکاتي خفيف (متوسط كثافته يقارب ثلاثة أضعاف كثافة الماء)، فكيف تفسّر متوسط كثافة الكوكب التي تقارب 5,5 مرات كثافة الماء؟

الجواب: يتراجّع أن لعطارد لبّاً شديد الكثافة. (يقدّر العلماء أنّ لعطارد لبّاً حديدياً كثيفاً يناهز حجم قمرنا، تحيط به قشرة صخريّة).

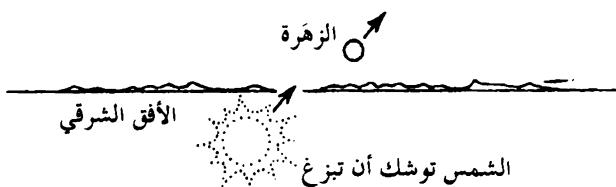
2.9 الزهرة: رصده

سُميَّ كوكبُ الزُّهرة Venus الساطع نسبةً إلى آلهة الحب والجمال عند الرومان. وفي الليل يفوق سطوعه سطوعَ سائر نجوم السماء. وهو على درجة من الوضوح الصارخ بحيث يخطئه الناسُ في كثير من الأحيان، فيحسبونه جسماً طائراً مجهول المنشاً UFO = unidentified flying object (الشكلان 3.9 و 4.9).

يطوف الزُّهرة - شأن عطارد - حول الشمس داخل مدار الأرض. ونتيجةً لذلك يبدو كلا الكوكبين دانياً من الشمس، ويستطيعان في الجهة



الشكل 3.9 الزهرة نجم المساء في السماء الغربية بعيد غروب الشمس.



الشكل 4.9 الزهرة نجم الصباح في السماء الشرقية قبيل بزوغ الشمس.

الغربيّة من السماء بعيد غروب الشمس قرب مطالهما الشّرقيّ، ثم يتبعان الشمس عبر السماء. وكثيراً ما يُطلق عليهما عندئذ اسم نجمي المساء . evening stars

وهما يُسميان نجمي الصباح morning stars في الجهة الشرقيّة من السماء قبيل بزوغ الشمس قرب مطالهما الغربيّ، ثم يسبقان الشمس عبر السماء .

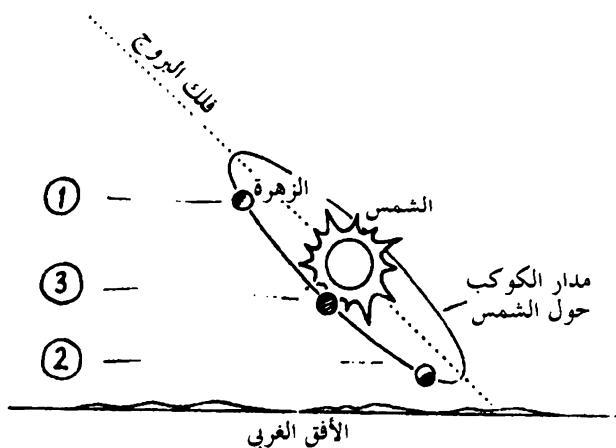
يُذكَر أن للزُّهرة عطَارد دورة أطوار cycle of phases (الشكل 7.8) يمكن رصدها باستعمال مقراب صغير. يلاحظ أيضاً أن الزُّهرة يدور من الشرق إلى الغرب، أي إنه يتحرك تراجعاً retrograde .

يمُر كوكبا الزُّهرة عطَارد عادةً من فوق الشمس ومن تحتها عند نقاط اقتران. ويحدث أن عطَارد يَعبر transit الشمس، أي يمرّ من أمامها مباشرةً

في وضع اقتران. يحدث ذلك لعطارد نحوًا من 13 مرةً في مدة قرن، وأقلَّ من ذلك بكثير للزُّهرة. وعند حدوث هذه الظاهرة يعاين الرَّاصدون نقطةً صغيرةً تتحرك عابرةً وجهَ الشَّمس الساطع. وتشير الأرصاد إلى أنَّ عطارد سيَعْبُر بتاريخ 7 أيار (مايو) سنة 2003 و 8 تشرين الثاني (نوفمبر) سنة 2006، وأنَّ الزُّهرة سيَعْبُر بتاريخ 8 حزيران (يونيو) سنة 2004 و 5 حزيران (يونيو) سنة 2012.

يكون الزُّهرةُ في وضع اقتران سفليٍ كلَّ 584 يوماً، ثم يقترب من الأرض حتى يصير على بُعدٍ نحو 40 مليون كيلومتر (25 مليون ميل) عنها، أي أقرب إلى الأرض من أي كوكب آخر.

استعن بالشكل 5.9 في تعين موقع كوكب الزُّهرة عندما يكون:



الشكل 5.9 كوكب الزُّهرة في مداره.

(أ) نجمٌ مساءٌ ؟

(ب) نجمٌ صباحٌ ؟

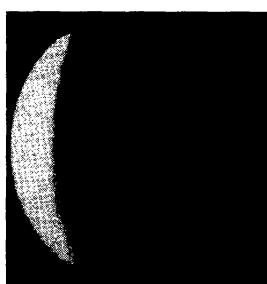
(ج) في وضع اقتران

الجواب: (أ) 1؛ (ب) 2؛ (ج) 3.

3.9 الزهرة: الكوكب

يُضيء كوكب الزهرة بسطوعٍ شديد بسبب السحب الكثيفة الدائمة التي تلتفه فتعكس فيضًا من ضوء الشمس، وتحول دون رؤية سطحه.

وقد أُنجزت مركبات فضائيةٌ ربوطيةً، أمريكيةً وروسية، زادت عدتها على العشرين، مهمات علميةٌ ناجحةٌ للكوكب، وبُثت إلى الأرض معطياتٌ نفيسةٌ لتحليلها ومعالجة الصور. من أوائل المركبات التي أُرسلت باتجاه الزهرة: مارينر 2 /محاذاة - سنة 1962 ، وفينير 3 /صدم - سنة 1965 ، وفينير 7 /حطٌّ رفيق - سنة 1970 ، وفينير 9 /مدار - سنة 1975 (الشكل 6.9).



الشكل 6.9 الزهرة كما يرى بواسطة (أ) مقرابٍ أرضي. (ب) المركبة الأمريكية الرائدة الطوافة حول الزهرة، المسماة بفينير ڤينوس أوريبيتر. (ج) خربطة حاسوبية من معطيات مركبة ماجلان للتصوير الراداري وقياس الارتفاعات.

يتَرَكَبُ نحو 97 في المئة من الغلاف الجوي للكوكب الزهرة من ثنائي أكسيد الكربون و 1 - 3 في المئة من الأزوت، إضافةً إلى آثارٍ من بخار الماء والهليوم والنيون والأرغون ومركبات الكبريت، والأكسجين. وهو يدور

بحركات كروية واسعة. وتبلغ درجة الحرارة عند ذرى سُحبِه زهاء 250 كلفن (9° فارنهaitية). وتقع الطبقات السحابية التي يناهز سمكُها (جملة) 19 كيلومتراً (12 ميلاً) على ارتفاع يقارب 50 - 70 كيلومتراً (40 ميلاً) فوق سطحه. وتبدو السُّحبُ بلون أصفر بتأثير حمض الكبريت الأكال.

التقطت أول الصور لسطح الكوكب سنة 1975 بواسطة مركبات فنيرا الفضائية التي حَطَت عليه *Venera landers*. ويلاحظ أن الصخور والتربة تبدو برقاillée اللون تحت السُّحب الغليظة؛ أما من الأرض فتبدو رمادية في ضوء الشمس المباشر. وقد وجدت المركبات الفضائية على سطح الكوكب بيئات كالحة لامضيافة، ثم ما لبثت أن تحطم في غضون ساعتين فقط، بسبب الأحوال الجوية الجهنمية هناك (الشكل 7.9)⁽¹⁾.



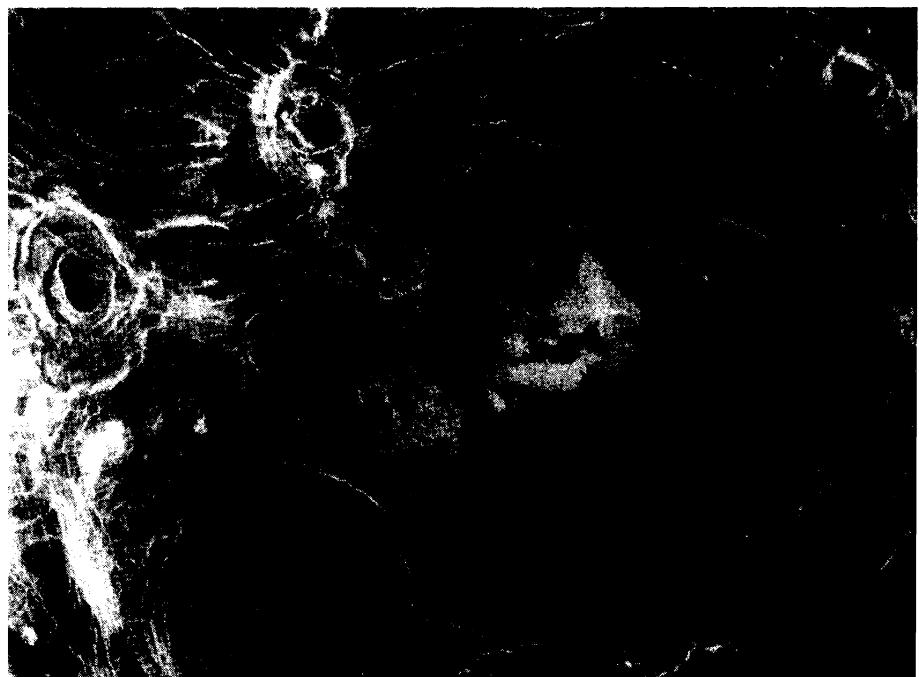
الشكل 7.9 من الصور الأولى لسطح الزهرة، التقطتها المركبة الفضائية فنيرا القصيرة الأجل.

تصل درجات الحرارة السطحية 755 كلفن (482° مئوية أو 900° فارنهaitية)، ذلك لأن ثنائي أكسيد الكربون ويخار الماء في السُّحب يسمحان بدخول الضوء المرئي الوارد من الشمس، لكنهما لا يسمحان بخروج

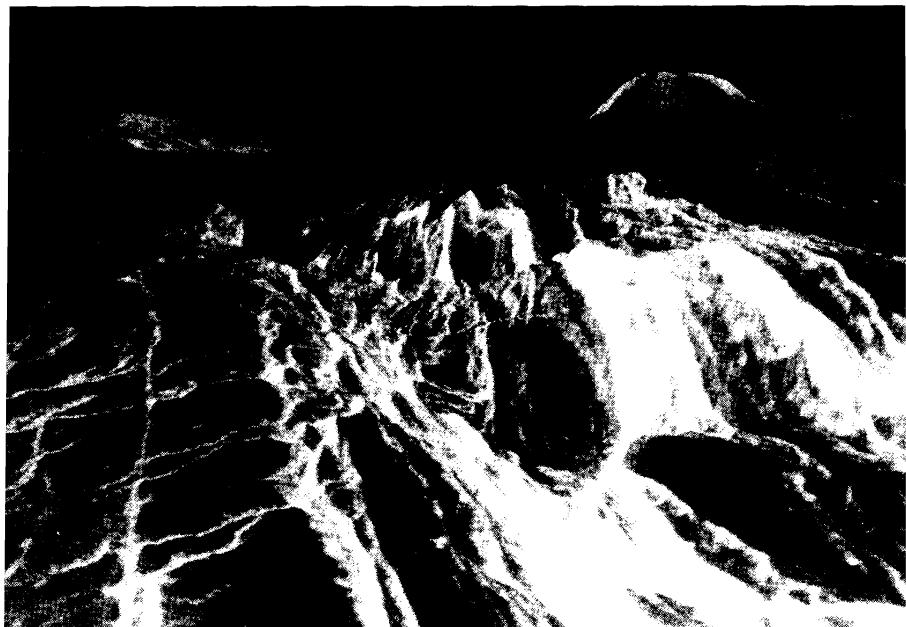
(1) فدرجة الحرارة هي من الشدة بحيث تذيب الرصاص المستعمل في صناعة أجهزتها الإلكترونية. انظر ص 205 من كتاب Explorations: an Introduction to Astronomy by Thomas T. Arny, Mosby, 1994 (المغرب)

الحرارة تحت الحمراء التي يطلقها السطح الصخري المتأقد. تسمى هذه الظاهرة مفعول الدفيئة greenhouse effect، ومن شأنها أن تجعل الزهرة أشدّ حرارة [نتيجة لهذا الانحباس الحراري]. ويزيد الضغط الجوي على الكوكب 90 ضعفاً على الضغط الجوي الأرضي (أي بأكثر من 90 واحدة ضغط، أو 1330 رطلاً إنكليزياً لكل بوصة مربعة)، مع وجود صواعق برقٍ ورعدٍ كثيرة.

ولمسح سطح الزهرة يُطلق العلماء إشارات رادارية من الأرض أو من مركبة ربوطية تطوف حول الزهرة، ويحلّلون الرجع. وقد وجد أن أفضل مردود من معطيات التصوير الراداري جاء من المركبة الأمريكية ماجلان التي طافت حول الكوكب ما بين سنتي 1989 و 1994، ومسحت 99 في المئة من سطحه (الشكلان 8.9 و 9.9)، واختبارت باطنها وغلافه الجوي.



الشكل 8.9 العنكبوتيات arachnoids التي ينفرد بها كوكب الزهرة، يقع قطرها بين 50 و 230 كيلومتراً تقريباً، على سهوله.



الشكل 9.9 مشهد لمنطقة غرب آيستلا ريجيو مستنبط من معطيات مركبة ماجلان للتصوير الراداري وقياس الارتفاعات. يمتد الفالق الخسفي، الذي يظهر في أمامية الصورة، إلى قاعدة بركان غولا مونز Gula Mons الذي يبلغ ارتفاعه 3 كم (إلى اليمين). لاحظ أيضاً بركان سيف مونز Sif Mons الذي يبلغ امتداده 300 كم وارتفاعه 2 كم إلى اليسار.

تُظهر الصور الرادارية سطحاً صخرياً جافاً، ما يقارب 80 في المئة منه سهولٌ منبسطةٌ نسبياً تكتنفها الصدوع والفوّهات الناجمة عن الصَّدم، إضافةً إلى البراكين التي تقع على عمق كيلومتر واحد من السطح الوسطي للكوكب. ويبلغ الفرق بين أخفض الارتفاعات وأعلاها 15 كيلومتراً (9 أميال).

هذا وقد دَرَجَ الاتحاد الفلكي الدولي International Astronomical Union على إعطاء اسمين لـكُلِّ مَظَهُرٍ من مظاهر سطح أجرام المنظومة الشمسيَّة؛ أحدهما وصفيٌّ يُستعمل للمظاهر الجغرافية السائدة على كلِّ الأجرام، والآخر للتعرِيف. وفي حالة الزُّهرة تُنسب أسماء المعالم التضاريسية إلى آلهة الحب أو إلى نساء خالدات رَحَلْنَ عن دنيانا منذ ثلَاث سنوات على الأقل، لا

يُستثنى من ذلك إلا جبل ماكسويل مونت Maxwell Montes (أكبر جبال الزهرة) فهو يُنسب إلى الفيزيائي الاسكتلندي جيمز كلارك ماكسويل James Clerk Maxwell (1831 - 1879) الذي مَهَّدت نظرياته في الكهرومغناطيسية الطريق لاختراع الرادار.

تبعد الفوهات الناجمة عن الصدم على كوكب الزهرة مختلفة عنها في عالم آخر. وما يحدث هنا هو أن كتلاً صخريةً آتيةً من الفضاء تحرق في خضم الجو الكثيف. تهوي كتل صدم ضخمةً على الزهرة بسرعة تقارب 20 كم/ثا (12 ميل/ثا)، محروقةً كميةً هائلةً من الطاقة تكفي لتبخير الجسم المتردي وما حوله من سطح. تُلفظ المقدوفات ejecta - التي هي مواد سطحية - وتبقى مصهورةً بسبب الحرارة السطحية العالية جداً، وتتدفق من الفوهة بأشكال ذات مظهر يشبه بتلات الأزهار.

ترتفع النجود highlands كقاراًت فوق السهول الجافة. وأكبر نجود الزهرة تَجْدُ أفرودايت Terra Aphrodite الذي تبلغ مساحته زهاء نصف مساحة أفريقيا. ثم تَجْدُ أصغرً يسمى تَجْدَ عشتار Terra Ishtar، وهو بمساحة الولايات المتحدة القارية. وترتفع هنا ماكسويل مونت - وهي كتلة جبلية - إلى نحو 11 كيلومتراً (7 أميال) فوق متوسط نصف القطر. يلاحظ أيضاً وجود مناطق تكثر فيها الصدوع.

تلاحظ كذلك معالم بركانية غريبةً متشورةً في أرجاء السهول، منها:

- 1 - البراكين البازلتية shield volcanoes، وهي قباب مسطحة صغيرة بقطر 2 - 3 كم (1 - 2 ميل) وارتفاع بضعة مئات الأمتار، وُجدت بفعل دفقات حمم بركانية ضعيفة تراكمت فكُونَت جبلاً بركانياً عريضاً.

- 2 - القباب القرصية المسطحة pancake domes، التي يبلغ عرضها عادةً 25 كيلومتراً (15 ميلاً) ولا يزيد ارتفاعها على ميل واحد، وهي مرتبطةً

بصُهارة magma غليظة لزجة تتجاوز في تركيبها المحتوى المعتمد من السيليكا (ثنائي أكسيد السيليكون).

3 - الأكاليل البركانية coronae، وهي حلقات مستديرة الشكل ذات طيات ضئيلة البروز، يترجح أنها تكونت من دفقات حممية تراكمت إلى شكل قبي، غاص فيما بعد وارتضى. ويعتقد أن بعض البراكين مازال نشطاً.

الزهرة أكثر الكواكب شبهاً بالأرض من حيث حجمه وكتلته وكثافته وبعده عن الشمس؛ غير أنك لا تستطيع العيش هناك. اذكر ثلاثة أسباب لذلك.

(1)

(2)

(3)

الجواب: (1) لحرارته الشديدة: 482 ° مئوية (900 ° فارنهaitية)؛ (2) لجوء المؤلف من ثنائي أكسيد الكربون السام؛ (3) لارتفاع ضغطه الجوي ارتفاعاً ماحقاً: أعلى من الضغط الجوي الأرضي بأكثر من 90 ضعفاً.

4.4 الأرض

يُضيء كوكبنا الأرض Earth كدرة نفيسة نادرة زرقاء وبيضاء تسبح في الفضاء (الشكل 10.9). وهو - بترتيبه الثالث من حيث بعده عن الشمس - أهم الكواكب على الإطلاق بالنسبة إلينا نحن البشر.

يقارب إجمالي المساحة السطحية لكوكبنا $5,10 \times 10^8 \text{ كم}^2$ (أي ما يعادل مليون ميل²)، تغطي المياه أكثر من 70 في المئة منها في ظاهرة فريدة من نوعها في المنظومة الشمسية.

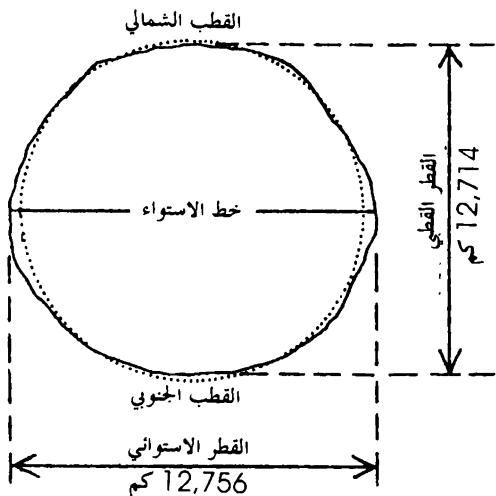


الشكل 10.9 الأرض كما رصدها من القمر رواذ مركبة أبولو الفضائية.

في آسيا - قرابة 9 كم (29,000 قدم) فوق مستوى سطح البحر؛ أما أعماق نقطة مقيسة تحت الماء فهي غور ماريانا Marianas Trench، الذي يهبط مربوبي على 11 كم (36,000 قدم) تحت سطح المحيط الهادئ.

تبلغ كتلة الأرض زهاء $10^{24} \times 6$ كغ، وهي توفر الثقالة السطحية للازمية التي ألقناها.

انظر في الشكل 11.9 واحسب الفرق بالكميات كم يزيد طول خط استواء الأرض على البعد بين قطبيها الشمالي والجنوبي؟



الشكل 11.9 ولد دوران الأرض اليومي حول محورها انتفاخاً استوائياً وتسطحأ قطبياً (رسم بشيء من الغلواء رغبة في التوضيح).

طريقة الحل :

طول القطر الاستوائي - طول القطر القطبي = $12,756,34 - 12,713,80$ كم = 42,54 كم.

٥.٩. بُنية الأرض

يقدر علماء الفلك أن الأرض قد ولدت منذ نحو 4,6 مليارات سنة خلت، وأنها تكونت مع الكواكب الأخرى من سحابة الغاز والغبار ذاتها التي تكونت الشمس (الفقرة 3.4).

ولما كان من المتعذر على علماء الجيولوجيا النفاذ إلى أعماق الأرض لدراستها مباشرةً، فهم يقررون بنائها وتركيبها من طريق آلية انتقال الأمواج الزلزالية الناشئة عن الزلازل والانفجارات عبر طبقاتها وعلى امتداد سطحها. وهم يصوّرون الأرض اليوم ملائفة من ثلاث طبقات:

1) القشرة crust، وهي الطبقة الخارجية الرقيقة الصلبة التي يبلغ متوسط سُمكها 35 كم (22 ميلاً)، وهي أغلظ حيث توجد القارات منها تحت المحيطات. تترَكَب القشرة في المقام الأول من صخور خفيفة، كالغرانيت والبازلت.

2) المعطف (الغلاف) mantle، وهو الطبقة الواقعة تحت القشرة، وتمتد نحو الداخل زهاء 2880 كيلومتراً (1800 ميل). ويشير التحليل المعملي لعينات بركانية إلى أن المعطف الغليظ مؤلفٌ في معظمِه من صخور سيليكاتية كثيفة تشبه في سلوكها إلى حدٍ ما سلوك «سفاكتر الكاراميل». فهي مرنّة مطواة تحت تأثير الضغط المطرد، لكنها صَدُوعة تحت تأثير الصدم.

3) اللُّب core، وهو الطبقة المركزية، وتبلغ ثخانتها 3470 كيلومتراً (2170 ميلاً). وهنا توجد طبقة خارجية معدنية مصهورة بسمك 2100 كيلومتر (1300 ميل) يُحتمل أنها تحدق بمركزِ صلب. يتَّألف اللُّب على الأرجح من حديد عالي الكثافة ونيكل عند درجة حرارة تقارب 6400 كلفن.

بالاستعانة بالشكل 12.9، عُين الطبقات الثلاث الرئيسية للأرض واذكر السُّمك التقريبي لكل منها.

(1)

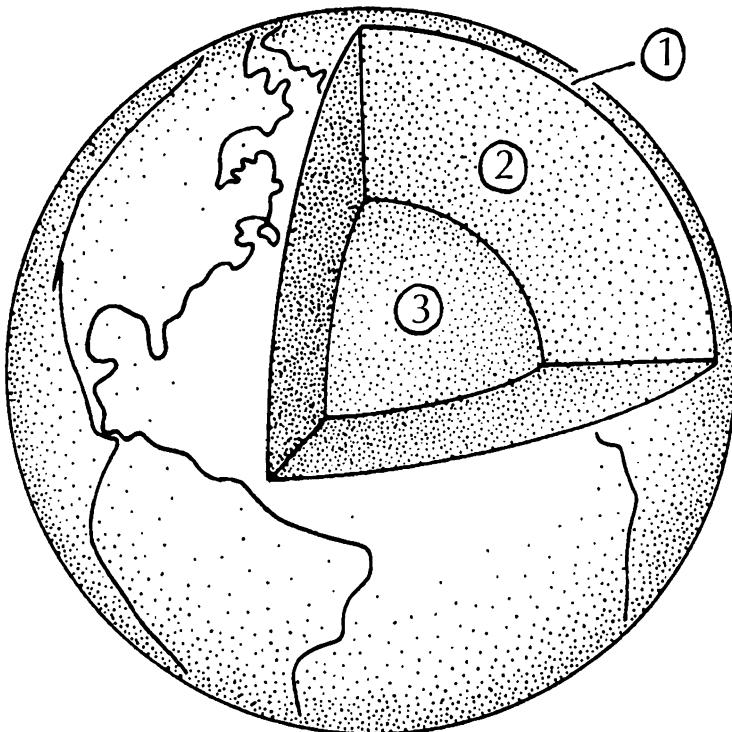
(2)

(3)

الجواب: (1) القشرة: 35 كم (22 ميلاً) في المتوسط؛ (2) المعطف: نحو 2880 كم (1800 ميل)؛ (3) اللُّب: نحو 3470 كم (2170 ميلاً).

6.9 نشاط الأرض الجيولوجي

إن سطح كوكبنا الأرضي المتقلقل دائم التغيير بسبب من عوامل الحفاظ



الشكل 12.9 بنية الأرض، بطبقاتها الثلاث الرئيسية.

والفاعلية الجيولوجية؛ فقد عُرف أن أقدم الصخور المكتشفة حتى الآن وسط البحيرات وسهوب التَّنْدُرَا⁽¹⁾ tundra النائية الواقعة في شمال غرب كندا، وهي صخورٌ مغرقةٌ في القِدْمِ، ترقى إلى نحو 3,96 مليارات سنة خلت.

وتشير الأدلة القاطعة على أن قارات العالم كلها كانت - منذ زهاء 200 مليون سنة - قارَةً وحيدةً عظيمةً أطلق عليها اسم بانجيا Pangaea [ومعناها الحرفي: الأرض المتصلة]، ثم انفصلت فيما بعد إلى القارات المعروفة لنا اليوم.

وطبقاً لنظرية تكتونيات الصفائح أو الألواح plate tectonics (التي تسمى

(1) أصقاع منبسطة جرداً في المناطق القطبية الشمالية وما جاورها. (المغرب)

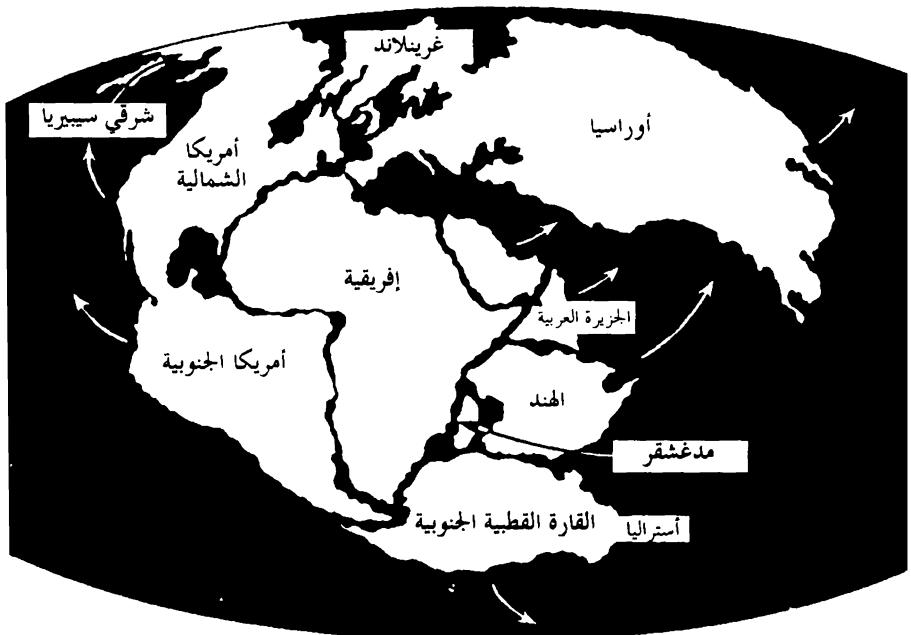
أيضاً نظرية الانجراف القاري (continental drift theory)، فإن القارات وقيعان المحيطات راسية في صفائح أو لواح صخرية بقطر آلاف الأميال. تتحرك هذه الألواح ببطء على المعطف المطواع من تحتها، فيتبدل شكل قشرة الأرض عند حدود نهايات الألواح. وبتباين الألواح تنفصل القارات ببطء تبعاً لذلك بمعدل لا يزيد على 2,5 سم (إنش واحد) سنوياً. يتعاظم هذا المقدار الصئيل ليبلغ 5000 كم (3000 ميل) أو يزيد في غضون 200 مليون سنة.

يتربّب على حركة الصفائح كذلك تكون الجبال وحدود الزلازل ونشاط البراكين. ويحدث ذلك عند الحدود في ما بين الصفائح المتحركة، حيث تتضاغط الصفائح بعنف.

(¹) ترى إحدى النظريات الشائعة أن تيارات الحمل convection currents تغذّي الانجراف القاري، إذ تتدفق تيارات من الصهارة نحو الأعلى عبر طبقة المعطف، إلى أن تمّ بصخور باردة صلبة، فتتدفق أفقياً. يخلخل الاحتكاك ثبات الألواح الحاملة للقارّة ويزيجها. وأخيراً تغوص الصهارة المتبرّدة. وعلى امتداد حيود وسط المحيط midocean ridges تنسكب الصهارة من خلال القشرة انسكاباً متواصلاً، مولدةً صخوراً جديدة.

ثمة من الأدلة ما يقطع بأن القارات في انزياح مستمر. ويستعين العلماء في قياس هذا الانزياح بأجهزة المدى الليزري laser-ranging devices التي تُرجمّع نبضات من الضوء عن مقارب عاكسة رُكّزت على سطح القمر. وقد وُجد فعلاً توافقاً كبيراً في الخطوط الساحلية لأمريكا الجنوبيّة وغرب أفريقيا، وتماثل في المستحاثات النباتية والحيوانية على امتداد الساحلين، مع أنهما اليوم متبعدين جداً بمسافة تُقدّر بـ 5000 كم (3000 ميل) من المحيط الأطلسي (الشكل 13.9).

(1) حركات كبيرة تحدث في معطف الأرض، أو فيما تحت القشرة الأرضية نتيجة لاختلاف درجات الحرارة. (المغرب)



الشكل 9.13 خريطة للأرض كما قد تبدو منذ نحو 200 مليون سنة.

وقد قيست أعمار صخورٍ من قاع المحيط الأطلسي، فُوجِدَ أنَّ عُمُراً قد يناهز 150 مليون سنة، وتتوسّع قرب خطوط السواحل القارية. لو أنَّ صخوراً بعمر 4 مليارات سنة اكتُشِفت في قاع المحيط الأطلسي، فهل كان ذلك يؤثّر في صحة نظرية الانجراف القاري وكيف؟

الجواب: كان من شأن ذلك أن يثير شكوكاً خطيرةً تمثّل صحة النظرية، التي

تقول إن المحيط الأطلسي - الذي يبلغ عرضه زهاء 5000 كم (3000 ميل) ما بين الخطوط الساحلية القارئية - قد تكون على مدى الـ 200 مليون سنة الفائتة، ولم يكن قد وُجد منذ 4 مليارات سنة.

7.9 مغناطيسية الأرض

إن لوكبنا حقلًّا مغناطيسياً magnetic field، أي منطقة من القوى المغناطيسية تؤثّر في إبرة البوصلة.

يقع القطب المغناطيسي الشمالي قريباً من خط العرض 76° شمالاً وخط الطول 101° غرباً في شمال شرق كندا. ويمتد زهاء 1300 كم (800 ميل) بدءاً من القطب الشمالي الجغرافي، ويتغيّر موقعه ببطء مع مرور الزمن. ويقع القطب المغناطيسي الجنوبي قريباً من خط العرض 66° جنوباً وخط الطول 140° شرقاً. ويعتقد أن الحقل المغناطيسي للأرض قد تولد بفعل لبها السائل المكوّن من الحديد والنيكل، الذي يؤدي دور «دينامو» عملاق في أثناء دوران الكوكب حول محوره. ولعلّ الحركة المعقدة لهذا اللب هي التي تسبّب الهجرة الطويلة الأمد للقطبين المغناطيسيين.

تمتد الكرة المغناطيسية magnetosphere - وهي المنطقة المحيطة بالكوكب حيث يكون الحقل المغناطيسي مؤثراً - في فضاء الكون ما يعادل أربعة أضعاف نصف قطر الأرض من الطرف المقابل للشمس. أما الذيل المغناطيسي magnetotail - وهو جزء الكرة المغناطيسية الواقع على الطرف بعيد من الشمس - فيمتد أشبه بذيل يقع طوله بين 10 و 1000 مرة نصف قطر الأرض.

يَحتجز الحقل المغناطيسي الأرضي كثيراً من الجسيمات المشحونة النشطة الناشئة عن الريح الشمسية. وهذه الجسيمات قد تكون ضارةً جداً، فتظلُّ في حركة دائرة سريعة ضمن منطقتين حلقيتين تسمّيان حُزمَ فان

آلن Van Allen belts في الكرة المغناطيسية.

ما هي الكرة المغناطيسية؟

الجواب: هي المنطقة المحيطة بالأرض حيث يكون الحقل المغناطيسي ذو تأثير.

٩.٨ الغلاف الجوي الأرضي

يحيط بالأرض غلاف جوي atmosphere يمتد عدة مئات الأميال في الفضاء.

من المرجح أن جو الأرض الأول، الذي ساد منذ أكثر من أربعة مليارات سنة، يختلف كثيراً عن جوها اليوم. إذ يعتقد أن غازات سامة من مركبات الهيدروجين والكربون والأكسجين وأزوت - كثنائي أكسيد الكربون والنشادر والميتان إضافة إلى بخار الماء - ربما تكون قد انثُرعت outgassed أو تحرّرت من باطن الكوكب الفتى الحار.

فثنائي أكسيد الكربون السريع الانحلال في الماء يمكن أن يكون قد انتزع عن طريق اتحاده بمواد كالكالسيوم في المحيط لتكوين حجر الجير limestone؛ والأكسجين الحر الذي يحتاج إليه للتنفس ربما أنه تولد بفعل النباتات الخضر. ومن المعلوم أن الأوراق الخضر في عملية التخليل الضوئي photosynthesis تمتلك ثنائي أكسيد الكربون من الجو، وتستفيد منه لنموها، مطلقة الأكسجين.

يتراكب الهواء اليوم من نحو 78 في المئة آزوت و 21 في المئة أكسجين و 1 في المئة من الأرغون وثنائي أكسيد الكربون وغازات أخرى. ويحتوي كذلك على مقادير متغيرة من بخار الماء والغبار وأول أكسيد الكربون والتواءج الكيميائية الصناعية والكائنات الدقيقة.

يحتشد أكثر من نصف هذا الهواء ضمن حيز الـ 6 كيلومترات (4 أميال) الأولى فوق سطح الأرض. ثم يتخلخل بسرعة مع ازدياد الارتفاع، حتى إذا بلغ الارتفاع 12 - 50 كيلومتراً (7 - 30 ميلاً) فوق سطح البحر، أثر ضياء الشمس فوق البنفسجي في الهواء فتولد الأوزون ozone، وهو جزيء مؤلفٌ من ثلات ذرات من الأكسجين (O₃). يؤلف الأوزون في الجو طبقة تكتنف الأرض هي بمثابة غطاء حيوي يقي الكائنات البشرية والنباتية من إشعاع الشمس فوق البنفسجي الضار⁽¹⁾. أما على ارتفاعات تتجاوز 160 كم (100 ميل) فيمكن أن تدور السواتل بحرية دون خشية الانجداب نحو الأسفل.

ويستعمل الباحثون حالياً نماذج محاكاة كومبيوتيرية وأجهزة معقدة على الأرض، وعلى متن الطائرات ومركبات الفضاء، بغية دراسة التغيرات الخطيرة المحتملة في الغلاف الجوي وفي المناخ، التي يكون الإنسان سبباً فيها. وفي حكم المؤكد أنَّ المستويات المرتفعة من المواد الكربونية المختلفة للأوزون، والمتحرّرة من أجهزة التبريد والتكييف ومردّات الهباء المعلق aerosol sprays فوق الثقوب الواسعة التي نشهدها في طبقة الأوزون فوق المناطق القطبية بخاصة، وتخلخل هذه الطبقة فوق خطوط العرض المتوسطة. ومن المهم أن نعلم أن التراكم المتزايد لثنائي أكسيد الكربون، وللشوائب المنطلقة من احتراق الفحم والنفط، إضافة إلى تلاشي الغابات المطرية، كل ذلك قد يحدث تسخيناً شاملاً في كوكبنا شبيهاً بمحض الدفء على كوكب الزهرة.

(1) تذكر أن الإشعاع فوق البنفسجي أكثر فاعلية وأعلى طاقة من الضوء المرئي بسبب قصر أطوال أمواجها. وتمثل أهمية الأوزون في أنه ماضٌ قويٌ للإشعاع فوق البنفسجي، ولو انعدمت طبقة الأوزون لانسكب الإشعاع الشمسي انسكاباً في الغلاف الجوي السفلي وألحق أذى مستطيراً بالكثير من أنماط الحياة على الأرض؛ بل إن ثمة شكّاً في إمكان قيام حياة على سطح الأرض في غياب الوقاية التي توفرها طبقة الأوزون هذه. ولهذا السبب تتصافر جهود الحكومات في العالم اليوم للحد من استعمال المواد الكيميائية التي تمتزج بالغلاف الجوي العلوي، وتُتحد كيميائياً بطبقة الأوزون فتتلتفها. (المغرب)

يبلغ إجمالي كتلة الغلاف الجوي الأرضي برمّته نحوً من 5000 تريليون طن. وتعمل الثقالة على الإبقاء عليه مرتبطاً بالأرض، مع أن ذرات منه قد تتسرب من طبقاته العليا بين حين وآخر. وعند مستوى سطح البحر يضغط كل ذلك الهواء إلى الأسفل بقوة تساوي $1,03 \text{ كغ}/\text{سم}^2$ (14,7 رطلاً إنكليزياً في البوصة المربعة) تسمى واحدة ضغط جوي atmosphere of pressure. وقد وُجد أن وثمة واحدة ضغط جويٌّ أخرى شائعةٌ تسمى المليبار millibar. ضغط الهواء على الأرض عند مستوى سطح البحر يقارب 1013 مليبار.

ما تركيب الهواء الذي يُقيِّ على استمرار حياتنا على الأرض (أ)? وكم يبلغ ضغطه عند مستوى سطح البحر (ب)? (أ)
(ب)

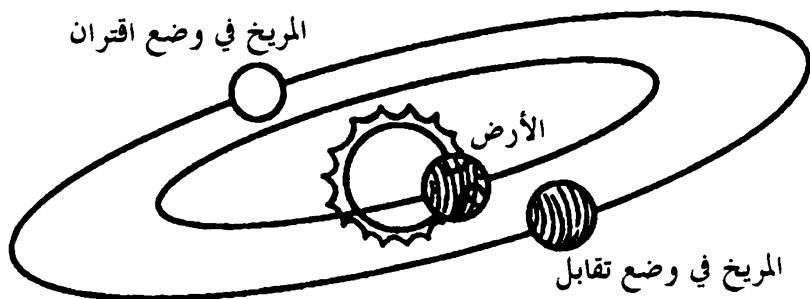
الجواب: (أ) نحو 78 في المئة آزوت و 21 في المئة أكسجين و 1 في المئة ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى، إضافةً إلى مقادير متغيرة من بخار الماء والشوائب؛ (ب) زهاء $1,03 \text{ كغ}/\text{سم}^2$ (14,7 رطلاً إنكليزياً/إنش مربع). يسمى أيضاً واحدة الضغط الجوي، و 1013 مليبار.

9.9 المريخ: رصده

كان كوكب المريخ Mars الضارب لونه إلى الحمرة يذكّر الرومان دوماً بالدم والنار، فأطلقوا عليه اسم «مارس» نسبةً إلى إله الحرب عندهم. ولهذا الكوكب قمران يحملان اسمَيْن موحيَّين هما فوبوس Phobos («الخوف») وديموس Deimos («الفزع»)، لا يُريان إلا باستعمال مقاريب قويةً جداً.

تبعد الكواكب العلوية - والمريخ أحدهما - أسطع ما تكون عندما تقع على الجانب المقابل للأرض من الشمس، وهو ما يُسمى وضع التقابل opposition. ثم يقابلنا قرصٌ تام الضوء رصين. يكون المريخ في وضع التقابل كل 780 يوماً في المتوسط.

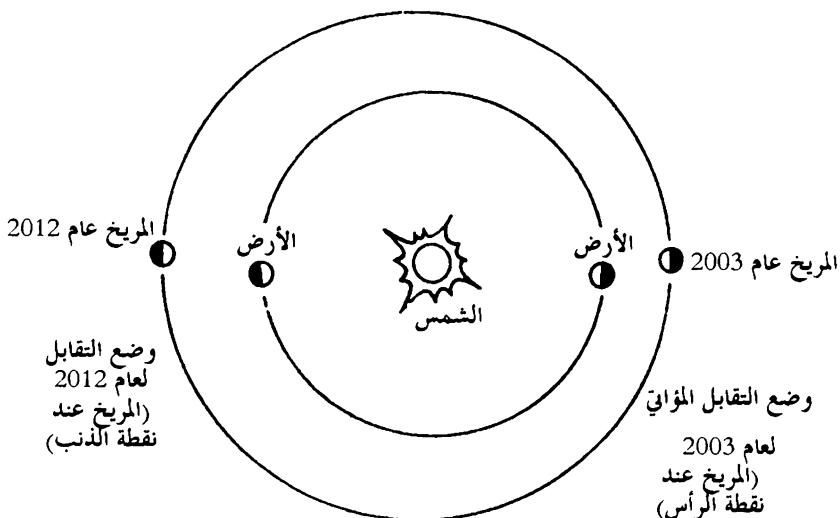
من جهة أخرى، تستعصي الكواكب العلوية على الرصد عندما تقع على الجانب المقابل للشمس من الأرض، وهو ما يسمى وضع الاقتران conjunction (الشكل 14.9).



الشكل 14.9 مظهران مهمان للمريخ من الأرض.

يكون المريخ أقرب إلى الأرض في بعض حالات التقابل، منه إليها في بعض حالات التقابل الأخرى، ذلك بسبب من شذوذ مداره (الجدول 1.8). يُسمى وضع التقابل الداني التقابل المؤاتي favorable opposition، حيث يbedo فرض المريخ أكبر ورصده أجود، مع العلم بأن معظم أوضاع التقابل المؤاتي تحدث عندما يقترب الكوكب من نقطة الرأس (الشكل 15.9). عندئذ يكون المريخ على بعد من الأرض لا يتعدى 56 مليون كم (35 مليون ميل)، ويحدث ذلك في نهاية الصيف على فوائل زمنية من 15 إلى 17 سنة.

وعندما يقع المريخ قريباً من وضع تقابل مؤاتٍ، تستطيع - باستعمال مقراب - أن تعain معالم بديعة طالما داعت خيالك. ففي كل من نصفي الكورة ترى قلنسوة قطبية polar cap بيضاء تتخلص مساحتها في الصيف. وقد ترى أيضاً عواصف غبارية، ومساحات دكناه اعتقاد فيما مضى - خطأ - أنها



الشكل 9.15 وضع تقابلِ مؤاتٍ، وأخر غير مؤاتٍ في الدورة المريخية.

ماء أو حياة نباتية. ولعلّها في الحقيقة مشاهد لأجزاء من سطح الكوكب عقب حدوث عواصف غبارية (الشكل 16.9).

في سنة 1877 رَصَدَ عالِمُ الفلك الإيطالي جوفاني شباباريللي G. V. Schiaparelli ما ظَنَّ أنها قنوات مستقيمة دكناه على سطح المريخ أطلق عليها اسم «كتالي» canali. وقد تُرجمَتْ هذه الكلمة خطأً على أنها «قنوات». ثم طلع الفلكيُّ الأمريكيُّ بيرسيفال لوويل Percival Lowell (1855 - 1916) في مطلع القرن العشرين ليحدث لغطاً في الأوساط العلمية، عندما ذهب بعيداً إلى الظن بأن مخلوقات مريخية ذكية هي التي شَقَّت القنوات المزعومة. وقد أطلقَتْ مسابِرُ علميةٍ أمريكيةٍ وروسيةٍ لاستكشاف المريخ (والمريخ أكثر ما سُبِّرَ من الكواكب)، إلا أن أحدَها لم يكشف عن وجود أي قنوات. وأغلب الظن أن «القنوات» ما هي في الواقع إلا سلاسل جبلية أو صخور دكناه كشفَتْ عنها العواصف الغبارية.



لشكل 9.16 صورة للمرصد في وضع تقابل له سنة 1999، التقاطها مقراب هابل الفضائي. يظهر الكوكب في كل مشهد وقد أتمَ زُيَّع دورته اليومية.

الجواب: لوقوع الكوكب أقرب ما يكون عن الأرض عندئذ. (فالمرصد الأرض كلاهما يطوفان في مدارين إهليلجيَّين حول الشمس، ومن ثم تفاوت البُعد بينهما بدرجة كبيرة).

٩.١٠ سطح المريخ

تُعدُّ مركبة الفضاء ثايكننغ لاندر 1 Viking Lander الأمريكية الرَّبوطية، التي حطَّت على كوكب المريخ بتاريخ 20 تموز (يوليو) 1976، أولَ عهden المعاينة الفاحصة لسطح كوكب آخر.

لاحت سهول الذهب Chryse Planitia، الواقعة بين خط العرض 22,46° شمالاً وخط الطول 48,01° غرباً، بصخورها المبعثرة وترابها الناعم وكثبانها الرملية وهضابها البعيدة. وبعد شهرين حطت المركبة ثايكينغ لاندر 2 على سهول الطوبى Utopia Planitia على بعد 7500 كم (4600 ميل) شمال غرب موقع هبوط سلفها. وتبدو الصخور المنقوبة هناك شبيهة بالصخور التي تولّدها البراكين الغازية أو حوادث صدم الأحجار النيزكية بالأرض.

بَثَتَتِ المركبات ثايكينغ 1 و 2 ما يزيد على 4500 صورة للسطح المريخي، و 3 ملايين تقرير علمي عن أحوال الجو فيه، وكذلك معطيات مستمدّة من الاختبارات الكيميائية والأحياءية. وفي سنة 1984 غَدَتْ مركبة ثايكينغ لاندر 1 التاريخية من معارضات أول متحف يقع في عالم آخر، عندما انتقلت الملكيّة إلى المتحف الجوي والفضائي الوطني الأميركي U.S. National Air and Space Museum.

وفي سنة 1997 انضمّت المركبة الأميركيّة المستكشفة للمريخ (بات فايندر) Mars Pathfinder إلى سوجرنر Sojourner التي كانت أول مركبة تهبط على كوكب آخر (الشكل 17.9). جالت سوجرنر - بعجلاتها الست - مسافة 100 متر (110 ياردات) في أرجاء سهل Ares Vallis (وهو سهل فيضانات واسع في المناطق الاستوائية الشماليّة من المريخ)، لدراسة الصخور والتربة هناك. وفي غضون أربعة أشهر بَثَتَتِ المركبة الرّبوطَيَّتان أكثر من 17،000 صورة، و 16 تحليلًا كيميائيًا للصخور والتربة، و 8,5 ملايين قياس للحرارة والضغط والريح.

تبُدو التربة الحمراء الصَّدِئَة عند موقع الهبوط وكأنها صلصالٌ غنيٌ بالحديد، والصخور تغطيها غلالةٌ من مادةٍ دقيقة التَّجْبُب ضاربٌ لونها إلى الحمرة. والظاهر أن عوامل التجوية الكيميائية والتعرية قد فعلت فعلها في الصخور. ويُعتقد أن الكوكب كان في ماضي الزمان غنياً بالمياه الجارية؛ آيةٌ



شكل 17.9 منظر بانورامي تاريخي لسطح المريخ، تظهر فيه مركبة سوجرنر الربوطية ذات العجلات الست، وهي أول مركبة تحط على الكوكب.

ذلك وجود حصى مكؤر ورمالي غزيرة وجسيمات غبارية. تتركب التربة الناعمة من نحو 45 في المئة أكسيد السيليكون و19 في المئة أكسيد الحديد المتميّه (الصدأ). وتتلون السماء بلون ورديٍ نهاراً بفعل الغبار الأحمر العالق في الجو كمزيج من الدخان والضباب. ويتلون الغروب بالأزرق الباهت. وفي حين تصل درجات الحرارة في الصيف إلى -10° مئوية (14° فارنهایتیة) كحد أقصى، تهبط في الشتاء إلى ما دون -123° مئوية (-190° فارنهایتیة)، مع ظهور طبقة رقيقة من الجليد. لوحظ أيضاً أن ضغط الهواء على الكوكب لا يتجاوز 7 أو 8 مليبار.

لم يُبدِ في موقع هبوط المركبتين ما يشير إلى وجود كائنات حية كبيرة، كما لم يلاحظ أي ماءٍ جاري.

صف باختصار سطح المريخ في موقع الهبوط

الجواب: إنه يبدو كصحراء حمراء جافة تتناثر فيها الصخور. سماوئه وردية اللون، ودرجة حرارته منخفضة.

١١. المريخ: الكوكب

تُظهر خرائط ثلاثية الأبعاد عالية الدقة high-resolution، من قياسات تجريها المركبة الأمريكية الاستطلاعية الطوافـة حول المريخ Mars Global Surveyor (MGS) اعتباراً من سنة 1998، كوكباً جافاً ووعراً ومتجمداً.

ومع أن النصف الجنوبي من الكـرة المريخية قديم وتغشـاه الفوهـات في معظمـه، فإن نصفـها الشـمالي سـهولـ منـبسطـة في الأـغلـب الأـعمـ، وهـي أـخفـضـ مـستـوى بـعدـة كـيلـومـترـاتـ. وربـما كانـت هـذه الأـراضـي الشـمـالية المـنـخـضـة في سـالـف زـمانـها حـوضـاً لـبـحـرـ مـحيـطـ مـلـأـتـهـ التـرـسيـباتـ.

يَنْصُفُ المـريـخـ بـيراـكـينـ عـظـيمـةـ، رـبـماـ مـازـالـ بـعـضـهـاـ تـشـيطـاـ. وـيـعـدـ الـبـرـكـانـ المـسـمـىـ جـبـلـ أـولـمـبوـسـ Olympus Monsـ أـعـظـمـ بـراـكـينـ المـجـمـوعـةـ الشـمـسـيـةـ طـرـأـ؛ فـهـوـ يـسـمـقـ إـلـىـ اـرـتـفـاعـ يـصـلـ نـحـوـ مـنـ 27ـ كـيلـومـترـاـ (17ـ مـيـلـاـ)^(١)ـ فـوـقـ مـتوـسـطـ اـرـتـفـاعـ السـطـحـ، وـيـحـتـويـ عـلـىـ كـمـيـةـ مـنـ الـحـمـمـ الـبـرـكـانـيـةـ أـكـبـرـ مـنـ جـزـءـ هـاوـايـ الـأـمـريـكـيـةـ.

وتـدـلـ مـعـطـيـاتـ الثـقـالـةـ الـمـسـتـنـبـطـةـ مـنـ تـغـيـرـاتـ مـدارـاتـ المـركـبةـ الاستـطـلاـعـيـةـ MGSـ، وـكـذـلـكـ ذـرـىـ الـبـرـاكـينـ الـبـالـغـةـ الـاـرـتـفـاعـ، عـلـىـ أـنـ سـمـكـ قـشـرـةـ الـكـوـكـبـ يـقـارـبـ 50ـ كـمـ (30ـ مـيـلـاـ)، وـأـنـهـ لـاـ يـنـجـرـفـ كـانـجـرـافـ القـارـاراتـ الـأـرـضـيـةـ. وـيـتـرـجـحـ أـنـ لـلـمـريـخـ مـعـطـفـاـ أـبـرـدـ مـنـ مـعـطـفـ الـأـرـضـ وـأـغـلـظـ مـنـهـ.

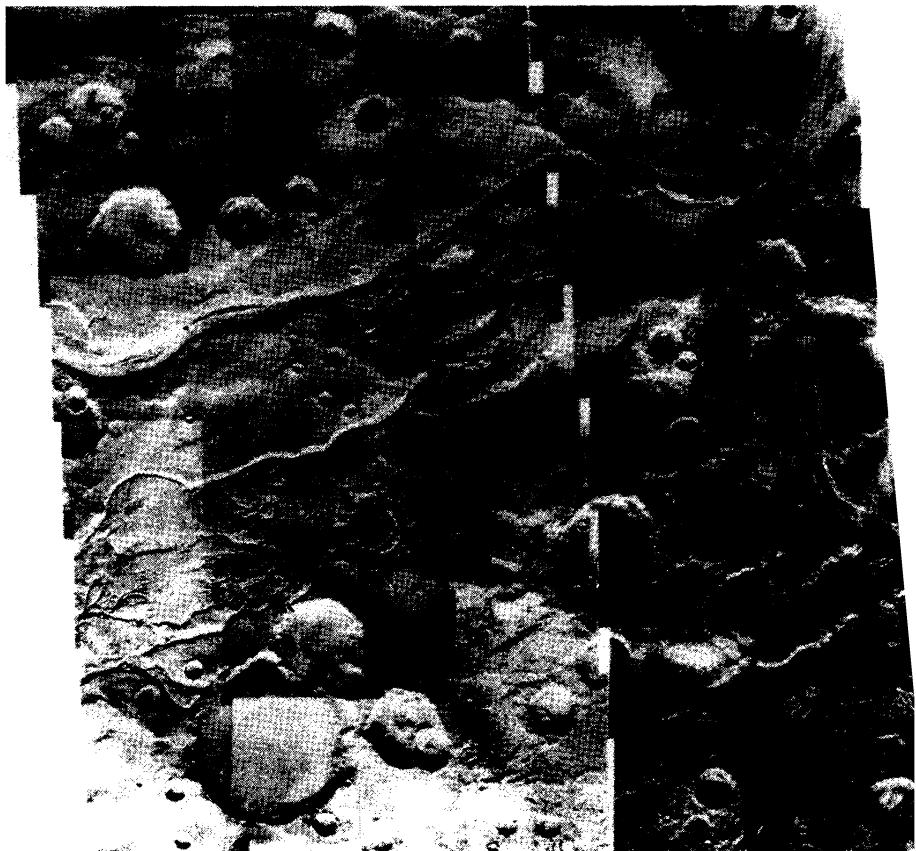
وـتـظـهـرـ شـرـائـطـ خـطـيـةـ linear bandsـ لـمـادـةـ عـالـيـةـ الـمـغـنـطـيـسـيـةـ فـيـ بـعـضـ أـقـدـمـ

أجزاء القشرة. ومن ثم لا بد أن المريخ كان في غابر الدهور ذا لبٌ حديديٌّ مصهور، ونشاطٌ مغناطيسيٌّ وجيوولوجيٌّ واضح، مع أن شيئاً من ذلك لا يلاحظ فيه اليوم.

من مظاهر هذا الكوكب أيضاً صدوعُه العميق، وأكبرها الصدع المريخي العظيم Valles Mariner، وهو شبكةٌ معقدةٌ من الوديان الصخرية تمتد مسافة 5000 كيلومتر (3000 ميل) على طول خط الاستواء بعمق 6 كيلومترات (4 أميال) في المتوسط. ويزداد من المظاهر التضاريسية المتنوعة انهيارات وانفلاقات وقنوات جريان هائلة عميقَتها عواملُ الحَت والتعرية.

تُوحِي الفوَهاتُ والحُفَر السطحيةُ بِتعرُض الكوكب لحوادث صدم عنيفة من الأحجار النيزكية. ويلاحظ أن أخفض نقطة على المريخ - التي تهبط مسافة 7 كم (4 أميال) تحت متوسط مستوى السطح - هي قاع حوض هيلاس Planitia Hellas الدائري، أكبر فوهةٍ صدم في المنظومة الشمسية، ويرقى إلى نحو أربعة مليارات سنة خلت. أما أكثر الفوَهات فتوءًة نسبياً، من قبيل فوهة يوتي Yuty التي يبلغ قطرها 18 كم (11 ميلاً)، فتبعد وَكأن مياهاً، مصحوبةً بقطع صخرية متكسرة، قد تدفَقت فيها وجَرت مسافات كبيرةً في أعقاب حادثة صدم هائل.

وليس ثمة ما يشير اليوم إلى وجود مياه سطحيةٍ جاريةٍ على المريخ. على أن دليلاً غير مباشر يشير إلى حدوث طوفانٍ ماحق في أحراشه الغابرة؛ تدلُّ على ذلك القنوات العميقَةُ الملتويةُ الشبيهةُ بمجاري أنهارٍ ذات روافد (الشكل 18.9)، وهي تدلُّ على أن أنهاراً عظيمةً شَقَّتها في الماضي السحيق. وقد تكون تلك المياه محتجَّسةً في القلانس الجليدية ice caps والجمد الدائم permafrost تحت السطح. ولعلَّ التغيرات المناخية قد أسهمت كثيراً في تحويل بيئَة المياه الجارية إلى عالم بارد هو عالم المريخ الذي نشهده.



الشكل ١٨.٩ صورة للمرىخ من مركبة فايكنغ الطوافة، تُظهر القنوات العميقه الملتوية والفوئهات على سطح الكوكب.

لكن وجود الماء واضح على هيئة جليد وبخار. فالقلنسوة الجليدية الدائمة عند القطب الشمالي مؤلفة من ماء متجمد، وتُجللها في الشتاء طبقات من ثاني أكسيد الكربون الذي يتجمد خارج حدود الغلاف الجوي. أما القلنسوة الجليدية عند القطب الجنوبي للكوكب فهي ثاني أكسيد الكربون متجمد. ويبدو أن صقيع الشتاء هو ماء متجمد وغبار، مع ظهور ضباب وسُحب رقيقة بين حين وآخر.

أما الغلاف الجوي للمريخ فهو أوهن من أن يحجب الأشعة الشمسية فوق البنفسجية الضارة التي ما تنفك تسعف وجه الكوكب. ويطغى عليه ثنائي أكسيد الكربون، الذي يؤلف 95 في المئة من تركيبه، إضافة إلى 2 - 3 في المئة آزوت، و 1 - 2 في المئة أرغون، و 0,1 - 0,4 في المئة أكسجين، مع أثارٍ من بخار ماء وغازات أخرى.

تهب رياح غبارية هو جاء دوامة من نصف الكرة الجنوبي صيفاً، وغالباً ما تجتاح كل أرجاء الكوكب. تشير هذه الرياح، التي قد تصل سرعتها إلى 120 كم/ساعة (75 ميل/ساعة) في الساعة، غباراً خفيف اللون، فتعري الصخور الدكناة وتُغيّر شكلها بالاحت والتآكل. وقد لوحظ أن طبقات رقيقة من الجليد والغبار بطول مئات الكيلومترات تتوضع عند القطبين بفعل عواصف غبارية شاملة مستمرة بتعاقب الفصول.

ومن المأمول أن تصبح أول رحلة مأهولة إلى المريخ حقيقة واقعة في غضون السنوات العشر المقبلة. ولا بد من أن يسبق ذلك بالطبع إرسال أجهزة ربوطية تزوّدنا بالمزيد من الخرائط والمعطيات عن سطح الكوكب، وقد تتمكن هذه الأجهزة من استحضار عينات من صخور المريخ وتربيته إلى الأرض لتحليلها.

وإذ يدرك العلماء - بحق - أن وجود الماء أساسى للحياة، فهم يعتقدون أن ثمة نوعاً من الحياة شهد المريخ في الماضي البعيد، عندما كان أكثر دفئاً ورطوبة. ويُحتمل وجود حياة ميكروبية عليه حتى الآن.

اذكر دليلين على أن المريخ قد شهد فيما مضى ماء جارياً على سطحه.

(1)

(2)

الجواب: (1) وجود القنوات السطحية العميقه المتعرّجة، التي تبدو وكأنها

شُقّت بفعل أنهار عظيمة متدفقة؛ (2) وجود القلنسوة الجليدية الدائمة في قطبه الشمالي، وهي مؤلفة من ماء متجمد ربما كان متدفقاً على سطحه في الماضي.

12.9 قمراً المريخ

فوبيوس وديموس قطعتان صخريتان صغيرتان غير منتظمتي الشكل لا يزيد طولهما على 21 كم (13 ميلاً) و 12 كم (7 أميال) على الترتيب (الشكل 19.9). يُتم فوبيوس دورة حول المريخ كل 7,7 ساعات، في حين ينجز فوبيوس دورته حوله في 1,3 يوم.

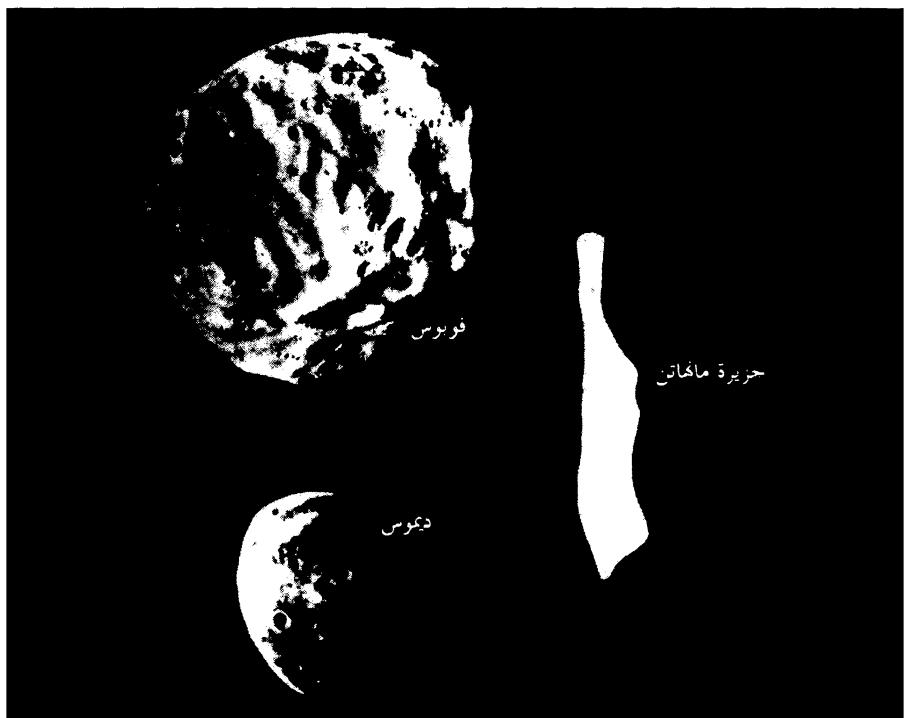
يبدو القمران كلاهما هَرِمِين نوعاً ما، وتغشاهما فوهات صدم متفاوتة القدام. يلاحظ على فوبيوس وجود حزوز striations وسلسل من فوهات صغيرة، يطلق على أكبرها اسم «ستيكني» Stickney الذي يقارب قطره 10 كم (6 أميال).

ورأَ ذِكر قمرَيْن للمرّيخ في كُتب الأدب؛ فقد ذَكَرَهما الأديب الإنجليزي جوناثان سويفت Jonathan Swift سنة 1727 [في كتابه رحلات غلivelyr⁽¹⁾ Gulliver's Travels] قبل زمن طويل من اكتشافهما فعلاً على يد عالم الفلك الأمريكي أسف هول Asaph Hall (1829 - 1907).

صف باختصار قمرٍ المريخ

الجواب: قطعتان صخريتان صغيرتان ليس لهما شكل منتظم، وتغشاهما الفوهات.

(1) ذلك عندما توقف غلivelyr في مصر خياليًّا أسماه لابوتا Laputa يقطنه عدد كبيرٌ من الفلكيين، وكان من بين مكتشفاتهم قمران للمرّيخ صغيران. (المعرب)



الشكل 9.19 فوبيوس وديموس، قمراً المريخ، وقد جعلا على مقاييس تصوير واحد مع جزير مانهاتن للمقارنة.

9.13 المشتري : رصده

سُميَّ كوكب المشتري *Jupiter* نسبةً إلى جوبيتر ملك الآلهة وحاك الكون في الأسطورة الرومانية القديمة. وهو أكبر كواكب المجموعة الشمسية على الإطلاق، لذلك يفوق سطوعه في الليل سطوع النجوم وسائر الكواكب إلا الزهرة.

يمكن - باستعمال مقراب صغير - رصد كوكب المشتري بـ **بُخُزْمِه السحابيَّ** الكثيفة الملؤنة والمتوازية، وبقعته الحمراء الكبرى، وأكبر أربعة أقمار مر أقماره هي: آيو 10، وأوروبا *Europa*، وغانيميد *Ganymede*، وكاليست

. تتغير مظاهر هذه الأقمار كل ليلة في أثناء دورانها حول الكوكب. و تدرج المنشورات الفلكية وبرمجيات الكمبيوتر (انظر «المصادر المفيدة» في نهاية الكتاب) المواقع الحالية للأقمار وحالات احتجاجها وعبورها.

في سنة 1979 تمكنت مركتنا الفضاء الروسية الأمريكية فوياجر 1 و 2 من الاقتراب من المنظومة المشترية؛ فحلقت فوياجر 1 على بعد 700، 206 كم (400، 128 ميل) من ذرى سحب المشتري، وحلقت فوياجر 2 على بعد 570، 000 كم (350، 000 ميل) منها. وبثت المركتان أكثر من 33، 000 صورة.

على أن أفضل رصد للمنظومة المشترية يرجُنا من المركبة الروسية الأمريكية غاليلي. ففي سنة 1995 اشطرت هذه المركبة إلى جزءين غير بعيد عن المشتري، فغاص أحدهما - وهو مسبار جوي atmospheric probe - مندفعاً عبر سحب الكوكب، وبث معلومات هامة مدة ساعة واحدة قبل أن تلفه الحرارة العالية والضغط المرتفع؛ في حين ما برح الجزء الآخر - وهو مركبة طوافة - يدور حول الكوكب يجمع معلومات وصوراً للمشتري وأقماره، ويبثها منذ ما يربو على أربع سنوات.

من خلال مقارب صغير، تبدو أسطع أقمار المشتري - وهي أربعة - وكأنها نجوم. ما هي الأرصاد التي تدل على أنها في الواقع الأمر أقمار توابع للكوكب؟

الجواب: تبيّن الأرصاد أن هذه الأقمار تتغيّر مواقعها كل ليلة وهي تدور حول الكوكب.

14.9 المشتري: الكوكب

المشتري أكبر كتلة من سائر كواكب المنظومة الشمسية وأقمارها مجتمعة، حتى لكأنك تشعر أنه كان قاب قوسين من أن يكون نجماً؛ فلو أنه

كان أكبر كتلةً بنحو 80 ضعفاً لبدأت فيه تفاعلات الاندماج النووي (الشكل .(20.9



الشكل 20.9 صورة للمشتري بالضوء المرئي، من مقارب هبل الفضائي. الصورة الداخلية هي أولاً صورة مباشرة فوق بنسجية للشقق المشتوري.

يبعد الكوكب كرّة سائلة هائلة رشيقه الدّوّمان، يعلوها غلاف جويٌّ كثيف يتتألف في المقام الأول من الهيدروجين والهليوم. والظاهر أنه يحتوي على لبٍ صلب صغير نسبياً. تطوق المشتري منظومةً حلقيَّة رقيقة باهته من حبيبات غباريَّة أطلقتها النيازكُ من الأقمار الداخلية العميقه. ويمتد الجزء الخارجيُّ، وهو حلقة عنكبوتية واهية تلي حلقة أخرى أشدَّ سطوعاً، نحو من 210،000 كم (130،000 ميل) من مركز الكوكب.

تنتشر المظاهر السحابية المتبدلة الغنية بالألوان، وكذلك النماذج الجوية المعقدة، انتشاراً في الغلاف الجوي الدينامي المرصود؛ إذ تومض صواعق برق فائقة، وتظهر أشكالاً معقدة داخل الحزام belts المتحركة الدكناء اللون والمناطق الأخف منها لوناً lighter zones وفي ما بينها. وعلى حين أن الهيدروجين، والهليوم، والأثارة المكتشفة من الميتان، وبخار الماء كلها عديمة اللون، ترى أن الكبريت أو مركبات الفوسفور والنشادر على أعماق مختلفة لا بد من أن تضفي على الغلاف الجوي ألوانه الزاهية الحمراء والبرتقالية والصفراء والبنية، وسُحبَ البيضاء. أما البقعة الحمراء الكبرى Great Red Spot المعروفة، فهي عاصفةٌ جويةٌ عملاقةٌ رُصدَتْ منذ أكثر من 300 سنة، مع تفاوت في قياسها ولونها ودرجة سطوعها. تدور البقعة الحمراء الكبرى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وهي تدور أيضاً حول الكوكب، وتتصف بأنها أقل بروادةً من السحب المحيطة، وتعلو فوقها إلى ارتفاع قد يصل إلى 24 كيلومتراً (15 ميلاً). يلاحظ أيضاً أن عواصف ودّامات أصغر نطاقاً تنتشر في شتى أرجاء السحب الشريطية.

تصل درجات الحرارة إلى 160 كلفن (170° فارنهايتي) عند قمم السحب. ويمتد الغلاف الجوي نحو الأسفل نحو 21,000، 000 كيلومتر (13,000 ميل). تزداد كثافة الهيدروجين باطراد من القمة نحو الداخل مع تزايد الضغط، إلى أن يتحول إلى هيدروجين سائل. ولا بد من أن يكون الضغط في الأسفل عالياً بدرجة تكفي لکبس الهيدروجين إلى حدٍ بالغ الكثافة يسمى الهيدروجين المعدني السائل liquid metallic hydrogen.

وقد تبلغ درجات الحرارة في لب الكوكب 30، 000 كلفن (53,000 فارنهايتي)، وذلك يفسر الأرصاد التي تشير إلى أن المشتري يطلق زهاء ضعفه كمية الحرارة التي يتلقاها من الشمس. ويذكر أن للكوكب حلاً مغناطيسيًا قوياً يحتبس الشوارد (الأيونات) والإلكترونات في نظامٍ معقدٍ من

حُزْم إشعاع شديد ضخمة. كذلك فإن تذبذبات البلازما (مجموعة من الأيونات والإلكترونات) تعلل شيئاً من الإصدار الراديوي المرصود في المشتري. ثم إن الحقل المغناطيسي حقل ثانوي القطب dipolar أساساً، إلا أنه يخالف الحقل المغناطيسي الأرضي في الاتجاه. ومن المحتمل أن يكون مصدره تيارات كهربائية في طبقة الهيدروجين السائل، علماً بأن الحقل المغناطيسي للمشتري عند قمم سُعبّه أقوى من الحقل الأرضي بـ 1,5 - 7 أضعاف. ويتفاوت حجم الغلاف المغناطيسي الهائل للكوكب، ربما بسبب تغيرات في ضغط الريح الشمسية؛ فقد يمتد باتجاه الشمس مسافة 7 ملايين كيلومتر (4 ملايين ميل)، ونحو الخارج قرابة 650 مليون كيلومتر (400 مليون ميل) حتى مدار كوكب زحل.

ولعل الغلاف الجوي للمشتري لافت للنظر بنوعٍ خاص، إذ قد يكون شيئاً بخلاف الأرض الأول.

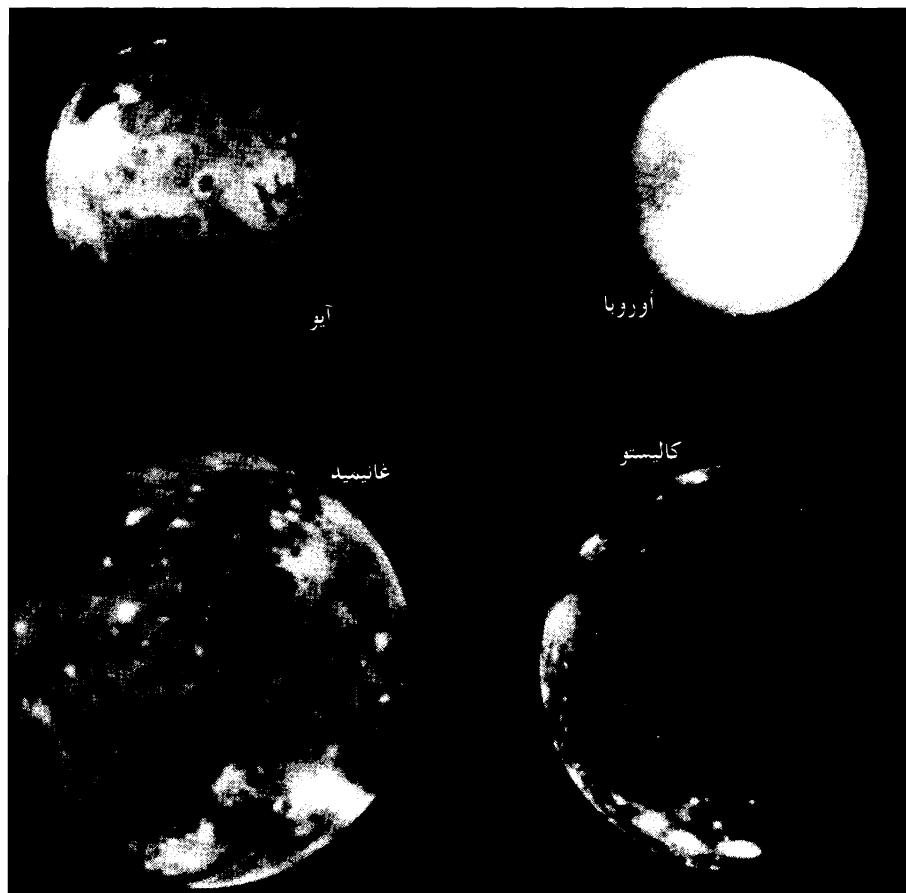
ممٌ يتَّأْلِف جُوُ المشتري؟

الجواب: يتَّأْلِف بالدرجة الأولى من الهيدروجين والهليوم، مع أثارة من الميتان والنشادر وبخار الماء وغازات أخرى.

15.9 أقمار المشتري

عُرِف حتى اليوم 16 قمراً، معظمها صغير، تطوف بالمشتري (انظر الجدول 3.8). وركَّزت مركبة غاليليو على أكبر أربعة منها تسمى أقمار غاليليو Galilean moons، نسبة إلى مكتشفها غاليليو غاليليه، يضاف إليها أعمق الأقمار الداخلية: متيس Metis وأمالثيا Amalthea وثبي Thebe (الشكل 21.9).

أما أمالثيا الصغير فيحاكي كرة حمراء قانية تكتنفها آثار صدم نيزكية.



الشكل 21.9 صورة فوتوغرافية مركبة لأقمار غاليليوا الأربعة الطوافة بـ كوكب المشتري، التقاطها مركبة فوياجر الفضائية.

وأما آيو الغني بالألوان [فهو أقرب أقمار غاليليوا إلى المشتري] ، ويتميز ببراكينه النشطة التي تلفظ مواد حممية غنية بالكبريت تلوّن سطحه بألوان برترالية زاهية وحرماء وبئية وسوداء وببيضاء . وما البقع البيضاء الناصعة على القمر آيو إلا صقiqu من ثنائي أكسيد الكبريت . وما غلافه الجوي الواهي المتخلخل إلا غاز من ثنائي أكسيد الكبريت في المقام الأول . وأغلب الظن أن براكينه ناشئة عن التسخين الذي يسببه الشد التناولي من أوروبا وغانيميد على آيو ، والجذب الذي يعقبه عليه من المشتري لإعادته إلى مساره النظماني .

فتتولد عن ذلك انتفاخاتٌ مدّية tidal bulges على سطح آيو أكبر مئة مرة من الانتفاخات المدّية على الأرض، التي تبلغ عادةً متراً واحداً (3,3 أقدام).

تحوم سحابةٌ عملاقةٌ من الجسيمات المشحونة، تتألف أساساً من أيونات الكبريت والأكسجين، حول المشتري على بُعد القمر آيو منه. والمرجح أن تلك الجسيمات منتَرعةً من آيو بفعل القوى المغناطيسية، ولا سيما إذا علمنا أن الغلاف المغناطيسي للمشتري يدور معه. وقد تنتقل أيضاً جسيمات السحابة على امتداد خطوط الحقل المغناطيسي للكوكب داخل غلافيه القطبيين الشمالي والجنوبي، مسببةً مشاهد شفقةً مشتربةً أخاذة.

وثمة دليلٌ قاطعٌ على وجود جليدٍ مائي على سطوح الأقمار: أوروبا وغانيميد وكاليستو. يلاحظ أن أوروبا - الذي ينافز قمرنا حجماً وكثافةً - هو أسطع أقمار غاليليو، وقد تختزن قشرته الجليدية المنساء، التي تتقاطع عليها خطوط طويلة، بحراً محيطاً من المياه سخّتها الحرارة المدّية.

يتألف غانيميد وكاليستو من نسبة من الماء قد تصل إلى 50 في المئة، تشبّهها مواد صخرية. وغانيميد أكبر قمر معروف في المنظومة الشمسية، إذ يبلغ قطره 5260 كم (3261 ميلاً)، وعلى سطحه مساحات دكناه قد توحي بالقدم، تغشاها فوهات كثيرة ومظاهر تصاريسيّة أزهى لوناً وأكثر فتوةً تتميز بوجود أثلام وأحاديد فيها، ثبّئ بنشاط تكتوني شامل. ويبدو سطح كاليستو أكثر صنوانه قدماً، وتنقبه فوهات صدم كثيرة. ولعل أكبر الفوهات قد انطلقت عبر الزمان بتدفع القشرة الجليدية عليها. ويرصد العلماء معالم تشبه مخلفات أحواض كبيرة جداً ربما تنبع دليلاً على حوادث تصادم بقطيع ضخمٍ من الصخر والمعدن.

(أ) ما هو أكبر قمر في المنظومة الشمسية؟

(ب) وكم قطره؟.....

١٦.٩ زُحل

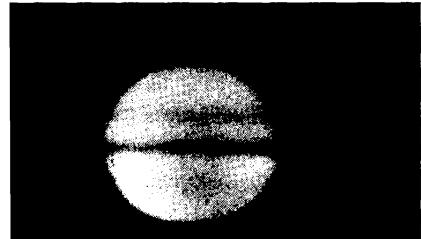
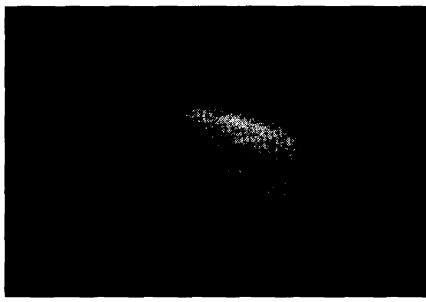
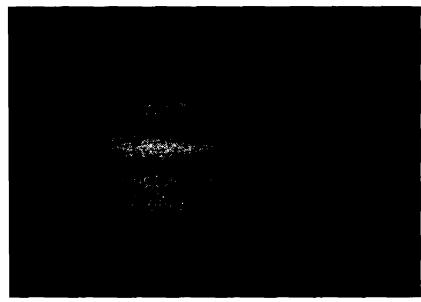
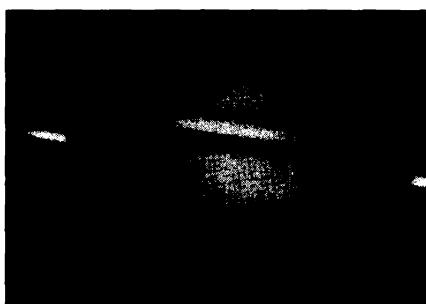
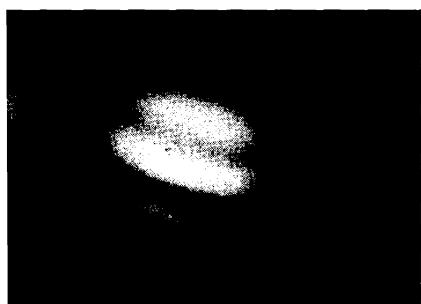
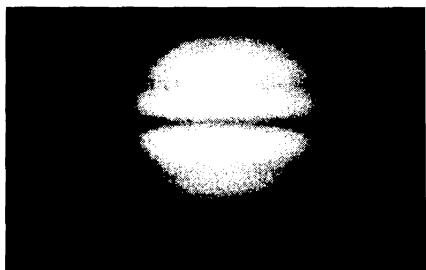
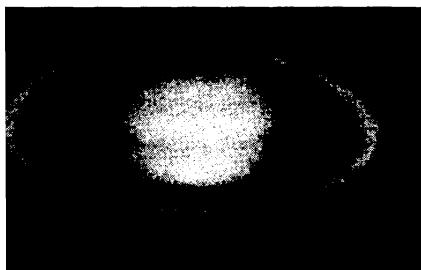
زُحل Saturn أبعد الكواكب الساطعة، استمدَّ اسمه من ساتورن آلهة الزراعة عند الرومان. تُمِيزه حلقاتٌ باهرةٌ الضوء (الشكل 22.9) سُميَت وفقاً لترتيب اكتشافها - اعتباراً من الكوكب باتجاه الخارج - بحروف عُرِفت بها هي: D، C، B، A، F.

تُرى الحلقات بزوايا كثيرة، حتى ٢٩°، لأن الأرض وزُحل كليهما يدوران حول الشمس. ولما كان زُحل يستغرق ٢٩,٥ سنة ليتَّم دورته حول الشمس، فإننا نراه في اتجاه واحد بالنسبة إلى الأرض في المنطقة نفسها من السماء مدةً شهور. ومع أن أسطع حلقاته تبلغ ٦٥,٠٠٠ كم (٤٠,٠٠٠ ميل) عرضاً، إلا أنها رقيقة لا تتجاوز بضعة كيلومترات (أميال) سُمِّكاً، بحيث يمكن رؤيتها النجوم من خلالها (الشكل 22.9).

حلقت مركبة فوياجر ١ سنة ١٩٨١ على بعد ٦٤,٠٠٠ كم (٤٠,٠٠٠ ميل) من ذرى سُحب زُحل، ثم فوياجر ٢ سنة ١٩٨٢ على بعد ٤١,٠٠٠ كم (٢٦,٠٠٠ ميل) منها. وبَتَّ المركباتان صورة للمنظومة الزُحلية.

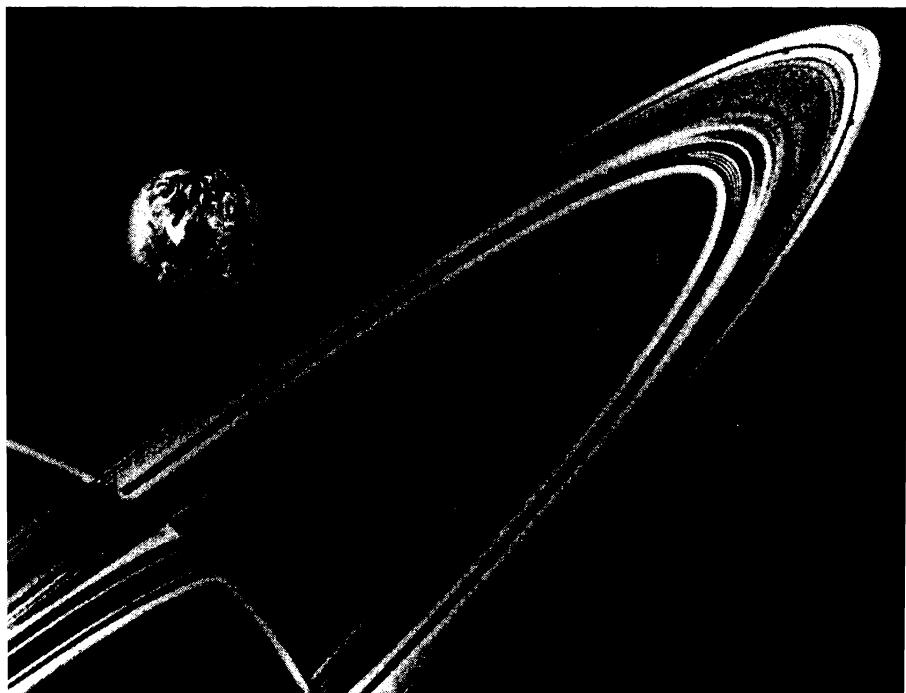
تتألف حلقات زُحل من جُسيمات جليدية أشبه بُكرات ثلجية أو صخور مكسوَّة بالجليد تطوف حول زُحل، بعضها لا يتجاوز حجم هباء الغبار، في حين يصل بعضها الآخر إلى حجم جلمود كبير. وهي تضيء بانعكاس ضوء الشمس عليها. ويُحتمل أن تكون الجسيمات الكبيرة مخلفات أقمارٍ هشممتها الصدمات، والصغيرة من نواتج حوادث الصدم؛ أو قد تكون الحلقات مادةً لم يُكتب لها أن تجتمع في قمر واحد.

مائتاً من حَلِيقَات ringlets دقيقة هي التي تؤلُّف الحلقات A و B و C، وهذه يمكن رؤيتها بمقاريب صغيرة. يُلاحظ في الحلقة B وجود عالم طويلة تشبه شعاع الدولاب، ربما تكون جُسيماتٍ دقيقة مضيئةً أثارتها القوى الكهربائية.



شكل 22.9 هيئات كوكب زحل كما يبدو من الأرض. حدث أكبر ميل للطرف الشمالي للحلقات باتجاه الشمس سنة 1987، يتوجه الطرف الجنوبي للحلقات حالياً شمساً. رُصدت الحلقات على حرفها آخر مرة سنة 1996.

في سنة 1979 اكتشفت المركبة الأمريكية الرَّبوطية پيونير Pioneer 11 الحلقَة F. وتتصف هذه الحلقَة بأنها ذات حُلَيْقَاتٍ منفصلة تتضافر جزئيًّا وتتفتَّل بتأثير القوى التَّشالية لقمرَيْن صغيرَيْن «يرِعَان» تماسُك مادَّة الحلقَة⁽¹⁾. وقد أكَدَت مركبة فوياجر 1 وجودَ الحلقَتين D و E، واستطاعت اكتشافَ الحلقَة C (الشكل 23.9).



الشكل 23.9 حلقات رُحل كما صورتها مركبة الفضاء فوياجر، محسنة بالكمبيوتر لإظهار التفاصيل الدقيقة. الحلقات الساطعة أعرض بنحو خمس مرات من الأرض (نَظَهراً في الصورة بمقاييس واحد)، في حين لا يكاد يتجاوز سُنْكُها 100 متر.

(1) لذلك تسمى أمثل هذه بالأقمار الرُّعَاة shepherding satellites. (المَعْرِب)

وكوكب زُحل - شأن المشتري - كرّة غازية هائلة متعددة الطبقات، ذات لبّ صغير نسبياً مؤلف من الحديد والسليليكات. غلافه الجويّ ديناميّ مسطّح عند قطبيه بسبب دورانه السريع حول محوره. على أنّ ألوانه ومعالمه، من قبيل الحُزم والمناطق والأشكال الإهليجية المعمرّة، أقلّ تمثيراً بكثير لوجود طبقة سديمية فوق السُّحب المرئية. صحيح أنّ لغلاف زُحل الجويّ مكوّنات المشتري نفسها، ولكن بنسبٍ مختلفة؛ فهو يحتوي على أقلّ من نصف مقدار الهليوم. ويُجدر بالذكر أنّ ما يطلّقه زُحل من الطاقة يفوق ما يتمتّص منها عن طريق الشمس. ولعلّ ترسب الهليوم من الغلاف الجوي المكوّن أساساً من الهيدروجين هو الذي يمدّ الكوكب بحرارته الداخلية.

وعلى فواصل زمنية تقارب 29,5 سنة، يتلقى نصف الكرة الشمالي من زُحل حرارةً أعظميةً من الشمس، فتظهر فجأةً بقعةً بيضاءً عظيمةً بقطر آلاف الكيلومترات، إن هي إلا عاصفةً غازيةً عملاقةً مندفعةً من أعماق الغلاف الجوي للكوكب. مثال ذلك البقعة الإهليجية البيضاء العظيمة White Oval التي ظهرت بتاريخ 24 أيلول (سبتمبر) 1990 وانتشرت على مسافات واسعة من المنطقة المدارية للكوكب في شهر تشرين الأول (أكتوبر)، ثم خبّثَت وغابت عن النّظر في شهر تشرين الثاني (نوفمبر).

تحدّث أعتى الرياح، التي تزيد سرعتها على 1600 كم/ساعة (1000 ميل/ساعة)، في المنطقة الاستوائية من زحل، وهي أعتى بكثير من رياح المشتري؛ إذ تقع درجات الحرارة عند ذرى السُّحب بين 86 كلفن (305° فارنهایتیة) قرب مركز المنطقة الاستوائية و 92 كلفن (294° فارنهایتیة). يصحب ذلك إصدارات شفقيّة وтلماع برق.

ومع أن كتلة زُحل تفوق كتلة الأرض 95 مرة، وحجمه يتجاوز حجمها 844 مرة، فإنّ له أخفض معدل كثافة بين الكواكب جميعاً، وهذا يستتبع أن يطفو على وجه الماء لو أن بحراً واسعاً أتيح له الوجود في مكان ما!

يبلغ الغلاف المغناطيسي لزحل زهاء ثُلث حجم غلاف المشتري، ويتغير - هو أيضاً - مع تغير شدة الريح الشمسية. وقد يمتد باتجاه الشمس قرابة مليون كم (مليون ميل). يجذب الحقل المغناطيسي الجسيمات المشحونة المحدقة بزحل في أثناء دورانه حول نفسه.

هذا وقد أطلق العلماء في الولايات المتحدة وأوروبا سنة 1997 مركبة فضائية أسموها كاسيني Cassini لاستكشاف زحل سنة 2004. وقد رسم للمركبة أن تنشطر لدى اقترابها من الكوكب إلى قسمين:

(1) مسبار أطلق عليه اسم هاينريخ Huygens، مهمته إجراء اختبارات والتقاط صور في أثناء اندحاره عبر الغلاف الجوي للقمر تيتان Titan، وبعث تقرير مجمل عن السطح فيما إذا حطَّ المسبار بسلام وسارت الأمور على ما يرام؛ (2) مركبة طوافية لبثِّ معطيات علمية عن زحل وأقماره مدة أربع سنوات متواليات.

..... (أ) ممَّ تتألف حلقاتُ زحل؟

..... (ب) هل لك أن تعطي تفسيراً لمظاهرها المضمة عند استعمال مقارب صغير؟

الجواب: (أ) جسيمات جليدية يقع حجمها ما بين هباءة غبار وجلמוד ضخم، تشبه كراتِ ثلج جليدية أو صخوراً مكسوًة بالجليد، تطوف بزحل؛ (ب) كثرة عدد الجسيمات وبعدها الكبير عنا. (تذكر كذلك أن المجرات النائية تبدو مصممة هي الأخرى، مع أنها مؤلفة من مليارات النجوم المنفصلة).

17.9 أقمار زحل

لزحل 18 قمراً مؤكداً وعدة أقمار مظنونة (الجدول 3.8). ويُحتمل اكتشاف أقمار أخرى في ضوء تواصل جهود العلماء في تحليل الكلم الضخم من المعطيات التي وفرتها مركبة فوياجر.

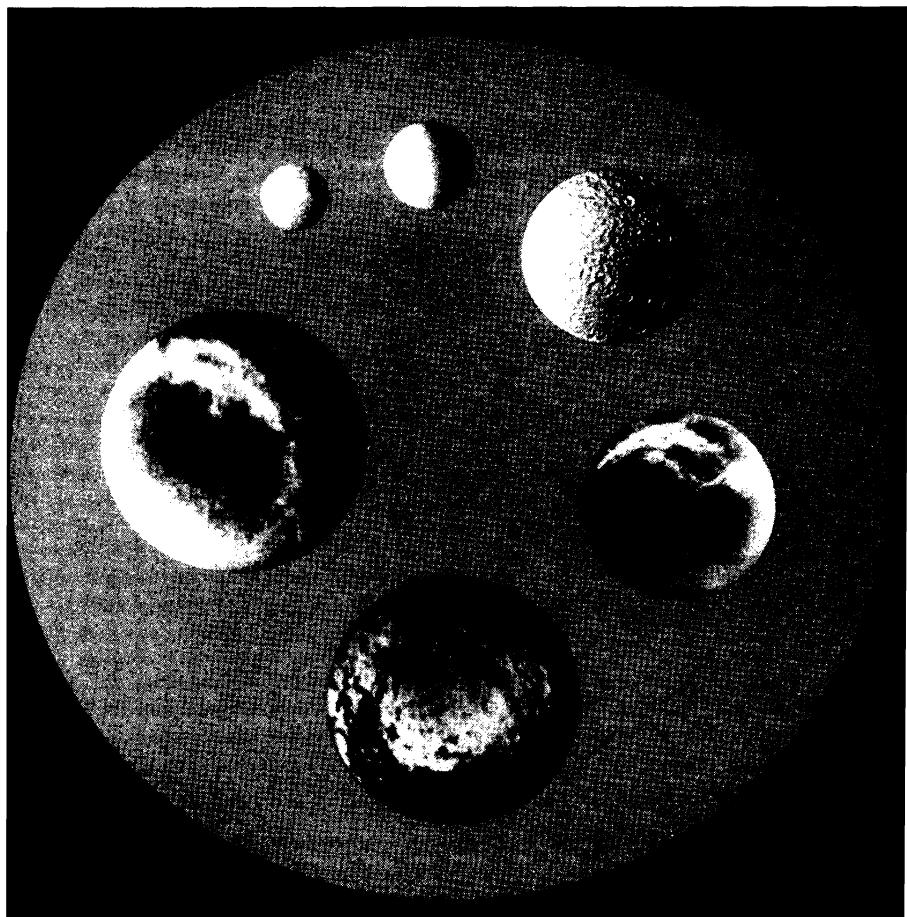
وتitan أكبر أقمار زحل⁽¹⁾ وأكثرها إثارة (الشكل 24.9)؛ فغلافه الجوي - المصطبغ بلون برتقالي - غلاف حقيقى ملموس يطغى على تركيبه الأزوت، إضافة إلى مركبات هيدروكرбونية كالميتان. ولربما تجري فيه عمليات حيوية أولية prebiotic processes. يختفي سطح تيتان تحت طبقة من سديم كثيف. ويفلغ على الظن أنه مركب من الصخر والجليد، مع إمكان وجود بحر من مركب الميتان والإيتان السائلين. وتبلغ درجة حرارته السطحية وضغطه السطحي 94 كلفن (-292° فارنهایتية).

وأما الأقمار: ميماس Mimas، وأنسيلادورس Enceladus، وتيثيس Tethys، ودايوني Rhea، فيبدو أنها مؤلفة في معظم تركيبها من جليد مائي، وجميعها - فيما عدا أنسيلادورس - مثقل بالفوهات. كذلك يتألف هاپيريون Hyperion، وأياپتوس Iapetus فيما يبدو من جليد مائي.

وفي حين يظهر هاپيريون على أنه أقدم أقمار زحل، وبوجود مظاهر تدل على تعريضه قبل لاصدم أحجار نيزكية، يلاحظ على أياپتوس مادة ثلوجية دكناة على طرفيه المتقابلين. لكن أكثر ما يلفت النظر هو أن القمر فيبي Phoebe يدور بحركة تراجعية.

ثمة ثمانية أقمار صغيرة أخرى ذات أشكال غير منتظمة، تشير إلى أنها شظايا أجرام عظيمة تحطمـت. فالقمر پروميثيوس Prometheus «يرعى» الحافة

(1) يبلغ قطره نحو 5000 كيلومتر (3000 ميل)، أي إنه أكبر قطرًا بقليل من كوكب عطارد، ويقابـنـ من حيث كتلـهـ ونصف قطرـهـ بأقـمارـ المشـتـريـ الكـبـيرـةـ كـانـيمـيدـ وـكـالـيـسـتوـ.ـ (ـالـعـرـبـ)



لشكل 24.9 تيتان - أكبر أقمار رُحل - (بدون غلافه الجوي الغليظ)، والأقمار المتوسطة الحجم معروضة بمقاييس تصوير واحد في هذه الصورة المركبة مما يشهّد مركبة ثوياجر.

الداخلية للحلقة F، ويرعى القمر Pandora حافتها الخارجية. ويُذكر أن تأثيرهما التناقض على مسافات متفاوتة قد يسبّب افتال الحلقة.

..... أيّ أقمار رُحل هي أكبرها وأكثرها إثارة؟ اشرح

الجواب: تيتان. له غلاف جوّي ملموس يغلب على تركيبه الأزوت والمركبات الهيدروكربونية. ولربما تجري فيه عمليات حيوية أولية.

18.9 أورانوس

كان أورانوس First Uranus أول كوكب جرى تعرّفه بواسطة مقراب، عندما اكتشفه سنة 1781 عالم الفلك البريطاني ويليام هيرشل William Herschel (1738-1822) باستعمال مقراب قياس فوهته 150 مم (6 بوصات) من صنع يده. كان مرشحاً ليطلق عليه اسم منسوب إلى الملك جورج الثالث [الذي اكتشف الكوكب في عهده]، إلا أنه سُمي أخيراً أورانوس نسبة إلى إله السماوات في الأساطير الإغريقية القديمة.

يبدو كوكب أورانوس، الذي يبلغ قدره الأعظمي +5,7، كقرص صغير (يَتَّخِذُ لوناً أزرق أحياناً) عند رصده بمقراب. ويمكنك رؤيته بعينك المجردة أو بمنظارك إذا عرفت أين تنظر وأنت ترعرى السماء (انظر «المصادر المفيدة» في نهاية الكتاب).

كان الكوكب مصدر غموض وإبهام إلى حدّ بعيد، إلى أن حلّقت فوياجر 2 سنة 1986 على بعد 500، 81 كم (300، 50 ميل) من ذرى سُحبه، وبثت 7000 صورة لمنظومة أورانوس.

يتميز أورانوس بميلانه الشاذ على جانبه، وتحيط به منظومة من حلقات ضيقّة، وهو بذلك يشبه «عين ثور» bull's eye عملاقة. تبلغ الزاوية الفريدة بين محوره وقطب مداره 98°. وتتعرّض مناطق القطبية الشمالية والجنوبية لضياء الشمس والظلمة على التناوب في أثناء تطوفه حول الشمس، مع العلم بأن دورانه المحوري تراجيئي.

ولعلّ أورانوس تعرّض في المراحل الأولى من تاريخه لتصادم مع جرم بحجم كوكب زَعْرَعَة فما نتج عنه ذلك.

يُطغى على تركيب غلافه الجوي الهيدروجين ونحو 15 في المئة هليوم ومقادير ضئيلة من الميثان وغيرها من المركبات الكربوهيدراتية. ويُعود سبب ما يبدو عليه من زرقة في اللون إلى أن غاز الميثان يتَّسِعُ إلى امتصاص الضوء الأحمر من ضوء الشمس. وفي غلافه الجوي سُحب تمرُّ من الشرق إلى الغرب، شأن سُحب كوكبي المشتري وزحل.

تهب الرياح فيه باتجاه دوران الكوكب، وبسرعات تقع بين 40 و 160 م/ثا (90 و 360 ميل/ساعة). ومن عَجَبِ أَنْ ذُرى سُحبه - المضاء منها بالشمس والمظلمة - تُبدي معدَّل درجة حرارة واحداً يقارب 60 كلفن (-350° فارنهایتية).

وقد كَشَفَتْ مركبة ثوياجر 2 عن وجود سديم حول القطب الجنوبي المضاء بالشمس، ومقادير كبيرة من الضوء فوق البنفسجي، أُطلق عليها اسم وهج النهار dayglow، صادرة عن نصف الكرة المضاء بالشمس من الكوكب.

ولأورانوس أيضاً غلاف مغناطيسي ذو حُزم إشعاع شديد وإصدارات راديوية قوية. ويعمل محور حقله المغناطيسي بزاوية مقدارها 60° باتجاه محور الدوران. وينتشر حقله المغناطيسي تماثلاً مع الحقل المغناطيسي الأرضي من حيث الشدة، غير أنه يتفاوت تفاوتاً أكبر بكثير بسبب انزياحه عن مركزه. وربما تولد هذا الحقل نتيجة لوجود بحرٍ محاطٍ من الماء والنشادر، موصلاً كهربائياً ومضغوطاً ضغطاً فائقاً، يقع بين الغلاف الجوي للكوكب ولبه الصخري.

يمتد خلف الكوكب ذيلٌ مغناطيسيٌ magnetotail أسطوانيٌ دوار مسافة لا تقل عن 10 ملايين كيلومتر (6 ملايين ميل)، ينفتل متَّخذَاً شكلَ نَزَاعَة سدادات فلينية corkscrew متَّصلة بفعل الدوران الاستثنائي للكوكب.

تختلف اختلافاً واضحاً عن حلقات
هي دكناه قاتمة تتألف في معظمها من



في صورة مركبة مما بثته مركبة فوياجر 2. (بـ
ن، رسمت فوق صورة مركبة من صور فوياجر 2
ة الصورة.

ويُعتقد أنَّ التعرُض الشديد للإشعاع ربـ
سطوحها الجليدية ذاك اللون القاتم
ما إن تبدو حتى تختفي. ولا بدَّ من أـ
ها مولدة الغبار الدقيق الذي يbedo منتشرـ
ورانوسية. وقد رصَدت مركبة فوياجرـ
ي drag atmospheric ناشئ عن إكليلـ
السُّحب الجوي ربما يتسبَّب في دخواـ
كوكب.

ويوحى وجود حلقات غير تامة، وكذلك تغيير الكُمدة opacity في عدد من الحلقات الرئيسية، بأن منظومة الحلقات ربما تكونت بعد أورانوس نفسه. وقد تكون **الجسيمات الحلقية** أنقاضاً لقمرٍ تهشم بفعل حادثة صدم عالية السرعة، أو تمزق بظواهر تناقلية.

..... ما سبب ميلان كوكب أورانوس على محوره؟

الجواب: من المحتمل أنه تعرض في المراحل الأولى من تاريخه لتصاص زعزعه.

19.9 أقمار أورانوس

تطوف بأورانوس خمسة أقمار كبيرة، وما لا يقل عن اثنين عشر قمراً صغيراً (انظر الجدول 3.8).

ولا يبدو أكبر هذه الأقمار في السماء أكثر من نقطٍ ساطعة صغيرة، حتى باستعمال المقاريب الكبيرة. أول ما اكتُشِفَ من هذه الأقمار هو تيتانيا Titania سنة 1787، وأخر ما اكتُشِفَ منها ميراندا Miranda سنة 1948. وقد وجد العلماء مما وفرته لهم مركبة فوياجر 2 أن أقمار أورانوس تكتلٌ صخريٌّ - جليديٌّ رماديٌّ دكناً يؤلف الجليد المائي في ما يبدو نحو 50 في المئة من تركيبها، في حين يتألف 20 في المئة من الكربون والمواد التي تقوم على الآزوت، و30 في المئة من الصخر.

ميراندا - أصغر الخمسة - يبدو أغرتها على الإطلاق (الشكل 25.9)؛ فهو يضم أحاديد صدعيةً بعمق 20 كم (12 ميلاً)، وطبقات منحدرةً ومستوية (مصالب)، ومظاهر تضاريسية منكسرة (على شكل ٧)، وجبالاً شديدة البروز، وسهولاً منبسطة متراصة. هذا المزيج غير المتنسق من الأنماط

التضاريسية المتغيرة، على سطوح هرمة وفية، يدلُّ على تنوع في النشاط التكتوني والاصدم العنيف والتسخين المدّي الذي يسبّبه الشُّدُّ التّتّاقيٰ للكوكب أورانوس على قمره.

يبلغ حجم أكبر قمرَيْن: تيتانيا وأوبيرون Oberon زهاء نصف حجم قمنا. أما آريل Ariel فهو أسطعها، وقد يكون سطحُه أكثرَها فتوةً بما يحويه من وديانٍ متصدّعة ونماذج تدفقٍ جليدية واسعة النطاق. وإذا كان الأمر كذلك هنا، فإن تيتانيا يضمُّ منظومات صدعية هائلةً وأحاديد عميقةً تشهد بوجود فعالية جيولوجيَّة ماضية، على حين أن سطحَيْ أمبريل Umbriel وأوبيرون القاتمَيْن يبدوان هَرِمَيْن ومثقلَيْن بالفوَّهات، وذلك يوحي بمحدودية النشاط الجيولوجي الماضي فيه.

اكتُشفت بوساطة المركبة فوياجر 2 عشرة أقمارٍ صغيرة يبلغ قطرُ أكبرها بـ 155 كيلومترًا (96 ميلاً)، ويترَكَّبُ أكثرُ من نصفها من الصخر والجليد. يرعى القمران پورشيا Portia وروزاليند Rosalind الحلقةَ الخارجيةَ إبسيلون epsilon لإبقاءها ضمن منطقة ضيقة.

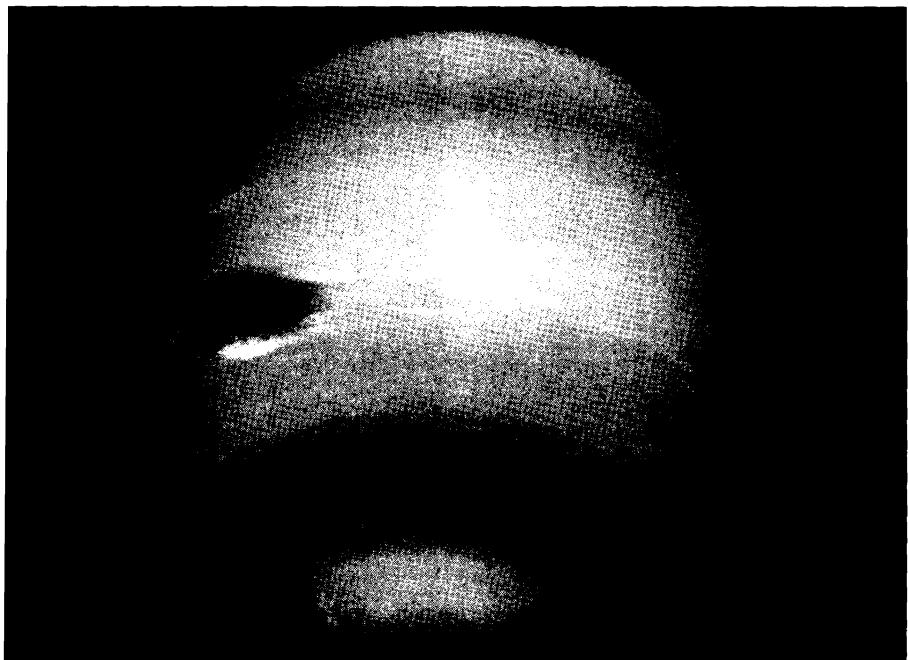
(أ) بمِيختلف سطحاً القمرَيْن آريل وأمبريل؟

(ب) علام تدلَّ هذه الاختلافات؟

الجواب: (أ) آريل ساطعُ كثير الصدوع، تظهر فيه تدفقات واسعة النطاق من مادةٍ جليدية؛ أما أمبريل فقاتلٌ وهَرِمٌ ومثقلٌ بالفوَّهات؛ (ب) آريل: نشاط جيولوجي؛ أمبريل: ضعف في النشاط الجيولوجي.

9.20 نبتون

عندما حلقت مركبة فوياجر 2 على بعد 5000 كم (3000 ميل) من نبتون Neptune سنة 1989 ، كان هذا الكوكب أبعد الكواكب عن الشمس . وقف أتاحت لنا الصور التي بثتها فوياجر - وعددتها 8000 صورة - إلقاء أول نظر فاحصة على المنظومة النبتونية (الشكل 26.9). وكما في أورانوس ، فإن نبتون غطاء من سحب غليظة من الهيدروجين والهليوم والميثان ، يبدو بلون أزرق زاهي .



الشكل 26.9 كوكب نبتون كما صورته مركبة الفضاء فوياجر 2. الصورة محسنة بالكمبيوتر لإظهار التفاصيل الدقيقة . لوحظ تغير في مظهر السحب الساطعة بالقرب من البقعة القاتمة الكبرى 1989 في غضون ساعات .

عد اكتشاف نبتون فتحاً حقيقةً في علم الفلك النظري . فقد لاحظ كل من الفلكيين: الإنكليزي جون آدمز John Adams (1819 - 1892) والفرنسي

أوربان لوفيرييه Urbain Leverrier (1811 - 1879) أَنَّ كوكب أورانوس لا يتبع المسار الذي يقتضيه قانون نيوتن في الثقالة بدقة، فاستنتجَ أنَّ حركته تضطرب بفعل قوَّةٍ ثقاليَّةٍ لـكوكب آخر مجهول، تبنَّاً بموقعه في السماء.

وفي سنة 1846 استطاع الفلكيُّ الألمانيُّ يوهان غاليه Johann Galle (1822-1910) من مرصد برلين تحديدَ الموضع المتوقَّع، ووَجَدَ نِيتوَن فعلاً. سُمِّيَ الكوكبُ نسبةً إلى آلهة البحر عند قدماء الرومان.

ومع أنَّ نِيتوَن - وهو أصغر الكواكب الغازية العملاقة - لا يتلقَّى من ضوء الشمس سوى نسبة 3 في المائة مما يتلقَّاه المشتري منه، إلَّا أنه يتمتع بخلاف جوَّيٍّ ديناميَّ؛ إذ إنَّ أعتى الرياح على أيِّ كوكبٍ هناك تهبُ جهة الغرب، خلافاً لاتجاه الدوران المحوريِّ. وتظهر عدَّة بُقُعٍ دكناً كبيرة، وسُحبٌ عالية طويلة ساطعة، وخطوطٌ شريطية وأعمدة.

كانت البقعةُ القاتمةُ الكبرى Great Dark Spot 1989 فيما مضى عاصفةً عملاقةً بحجم الأرض (تشبه البقعةَ الحمراءَ الكبرى للمشتري)، طوافَةً حول نِيتوَن مرتَّةً كلَّ 18,3 ساعة. وفي الجوار تهبُ الرياح بسرعة 2000 كيلومتر (1200 ميل) في الساعة. ثم اختفت البقعةُ القاتمةُ الكبرى 1989 نهائياً، وظهرت بقعةً جديدةً شماليةً هي البقعةُ القاتمةُ الكبرى Great Dark Spot 1994 التي صوَّرها مقرابُ هَبْل الفضائيِّ.

يميلُ الحقلُ المغناطيسيُّ لنِيتوَن ميلاً كبيراً يبلغ 47° عن محور الدوران، وهذا ينبع بوجود دفقٍ في باطنِه. يتسبَّبُ الحقلُ المغناطيسيُّ بحدوث إصداراتٍ راديوية وظواهرٍ شفافيةٍ ضعيفةً.

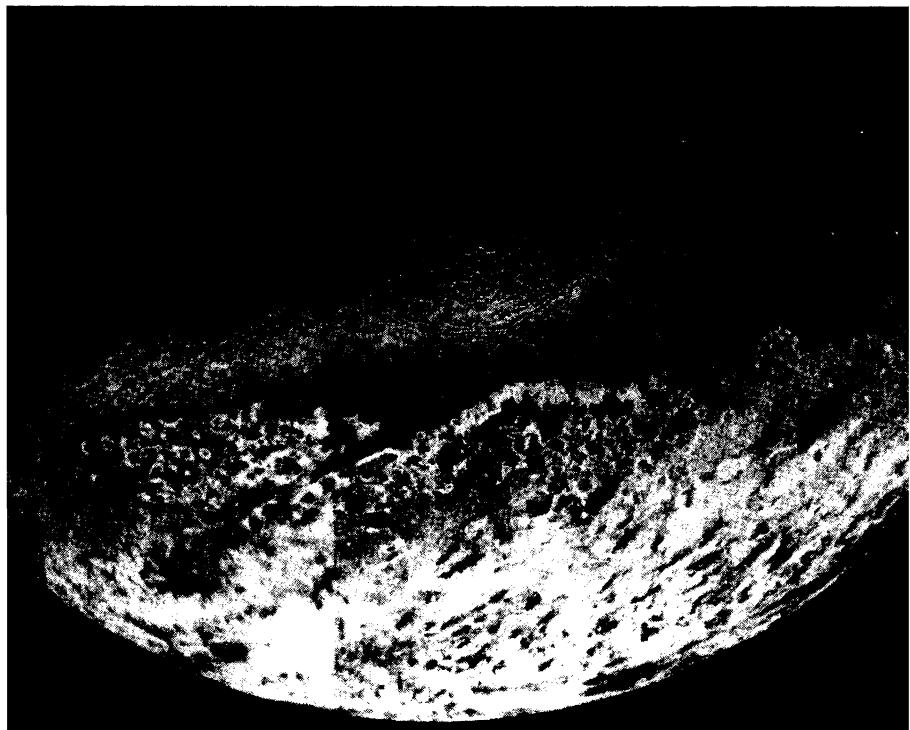
رَصَدَتْ مركبةٌ فُوياجِر أربعَ حلقاتٍ تُطُوقُ نِيتوَن، وهي منتشرةٌ على مساحةٍ واسعة، ومادُتها رقيقةٌ جداً لم يُفلح العلماءُ باستبيانها تماماً من الأرض.

لماذا عُدَ اكتشاف نبتون فتحاً في علم الفلك النظري؟

الجواب: تنبّأت الدراسات النظرية باحتمالية وجود كوكب غير مرئي . ثم اكتشف نبتون فعلاً بالبحث عنه في السماء عند البقعة المتوقعة نظرياً.

21.9 أقمار نبتون

لنبتون ثمانية أقمار مؤكدة (الجدول 3.8)، أكبرها وأهمها ترايتون (الشكل 27.9). وأظهرت معطيات مركبة ثوياجر أنَّ سطح ترايتون



الشكل 27.9 ترايتون، أكبر أقمار نبتون، ويظهر منه نصف الكرة المواجه للكوكب الأم، في تركيبة من 12 صورة بتّها مركبة ثوياجر 2.

يحتوي على ميتان جليدي، كما كشفت قياسات حديثة بالأشعة تحت الحمراء عن وجود غازٍ أول أكسيد الكربون وثنائي أكسيد الكربون، وعن قطع جليدية من هذا الأخير كذلك. ورصدت اندفاعات نشطةٌ شبيهةٌ بنبع فوارٍ تُقذف بغازٍ من الأزوت غير المرئي وجسيمات من الغبار الأدكن نحو الأعلى مسافةً عدة كيلومترات في جوّ الفضاء. واللافت أن درجة الحرارة السطحية لترايتون هي أبْرَد ما رُصد من مناطق المنظومة الشمسية برمّتها على الإطلاق، وتبلغ نحو 38 كلفن (-391° فارنهایتیة). ويلاحظ أن لون قلنسوته القطبية الجنوبية الكبيرة ضاربٌ إلى الوردي، وأنه أميّلٌ إلى القتامة والاحمرار اعتباراً من الحافة المثلثة باتجاه الشمال، ربما بسبب تلوّنه بالضوء فوق البنفسجي وإشعاع غلافه المغناطيسي الذي يؤثّر في غاز الميتان الموجود في غلافه الجوي وسطّحه.

يمتد غلافُ جوّيُّ رقيقٍ جداً مسافةً تقارب 800 كيلومتر (500 ميل) فوق سطح ترايتون، الذي يبلغ ضغطه السطحي قرابة 14 ميكروبار، أي 1/70,000 الضغط السطحي للأرض. وقد تكون جسيمات الأزوت الجليدي سُجِّباً رقيقةً فوق سطحه ببضعة كيلومترات.

ثمة ستة أقمارٍ صغيرةٍ دكناً اكتشفتها مركبةٌ فوياجر الثانية، تؤثّر أن تبقى قريبةً من المستوى الاستوائي للكوكب نپتون، وأطلقت عليها أسماء مستمدّة أيضاً من آلهة الماء في الأساطير القديمة. أكبر هذه الأقمار هو بروتیوس Proteus، ويبلغ قطره 420 كيلومتراً (250 ميلاً). هذه الأقمار الصغيرة - شأن الحلقات - يترجّح أنها شظايا من أقمارٍ أكبر حجماً تحطّمت في حوادث تصادم.

بالنظر إلى كثافته العالية نسبياً ودورانه التراجعي، قد لا يبدو ترايتون فرداً أصلياً من عائلة نپتون. ماذا عسى أن يكون منشؤه؟ ..

الجواب: من المحتمل أن نُپتون أَسْرَ تراييتون، في حقبةٍ ما، من مدارٍ شاذًّا أصلًا.

22.9 بلوتو

بلوتو Pluto - أبعد الكواكب المعروفة عن الشمس - عالمٌ متجمدٌ سُميَّ نسبةً إلى إله العالم السفلي عند الإغريق (الشكل 28.9). وهو كوكبٌ خافتُ جداً يبلغ قدره الأعظميّ 14+.

اكتُشفه الفلكيُّ الأمريكيُّ كلايد تومباو Clyde Tombaugh (1906 - 1997) سنة 1930 في سياق بحثه عن كوكبٍ مجهولٍ يفترض أن ثقالته هي مصدر عدم انتظام حركة كوكبيِّ أورانوس ونُپتون على مداريِّهما. ويمكن أن يضيء بلوتو بسطوعه الحالي بفعل انعكاس ضوء الشمس عن الميَّان المتجمد الممزوج بأنواعٍ أخرى من الجليد الذي يغشى سطحه. وإذا كان الأمر كذلك، فإنه أصغرُ من الحجم المقدَّر له. والظاهر أن كتلته لا ترقى إلى الجرم بأنه هو الكوكب المجهول المقترَح، الذي مازال علماءُ الفلك يؤمّلون اكتشافه.

تؤكّدُ أرصادٌ حديثةٌ لاحتِجاجٍ نجميٍّ stellar occultation أنَّ للكوكب غلافًا جويًا من غاز الميَّان. فقد لوحظ أن ضوءه يكبو تدريجيًّا عند مرور نجمٍ خلفه، ثم يعود ضوءه تدريجيًّا كذلك، بدلاً من حصول احتِجاجٍ مفاجئٍ ثم انكشافٍ مفاجئٍ.

يطوف قمرٌ كبيرٌ نسبيًّا، هو كارون Charon، حول بلوتو في مدارٍ صغير يزيد نصفُ قطره الوسطي قليلاً على 19,000 كيلومتر (11,000 ميل) (الجدول 3.8). في سنة 1978 رصَّدَ الفلكيُّ الأمريكيُّ جيمز كريستي James Christy القمر كارون لأول مرة فرأه أشبهً بانتفاحٍ على صورة بلوتو. وتأتي تسميَّته نسبةً إلى النوتَيِّ الذي ينقل أرواح الموتى عبر نهر الجحيم إلى العالم

السفلية حسب ما ترويه الأساطير. يدور كارون حول بلوتو في زمن مساواً تماماً للزمن الذي يستغرقه الكوكب لإنجاز دورة حول نفسه. ومن ثم يمكن لرائد فضاء أن يرى كارون دوماً في موقع واحد من السماء، ومن نصف كرة واحدة فقط من بلوتو.

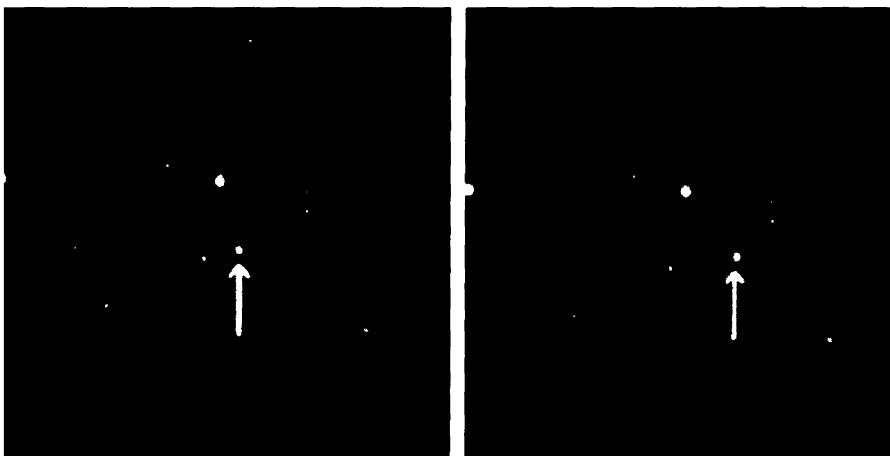
ينفرد بلوتو بأغرب مدارٍ من بين مدارات الكواكب كلها. نذكر من مظاهر شذوذ مداره أنه دنا في سنة 1980 من الشمس حتى أقرب إليها من نبتون، وفي سنة 1989 بلغ نقطة الرأس، وهو اليوم يتبعد عن الشمس. وفي سنة 1999 عَبَرَ بلوتو مسافةً 6,1 وحدات فلكية فوق مدار نبتون نحو الخارج ليكون أبعد الكواكب عن الشمس من جديد.

لا يقتصر تفرد منظومة بلوتو على قمره ومداره، فمعظم خصائص الكواكب الأخرى فريدة أيضاً. حتى إن منشأه في المنظومة الشمسية موضع حيرة؛ فقد يكون في الأصل نواةً كوكبيةً جليديةً ضخمة، أو قمراً منفلتاً من نبتون، أو جرمًا بینجميًا أُسرته ثقالةً الشمس لدى مروره على مقربة دانية منها.

لم تتوجه أيٌّ مركبة فضائية نحو بلوتو بعد، كما أن إرسال مركبات إليه غيرُ وارد في الوقت الحاضر.

وبالنظر إلى موقع بلوتو النائي من المنظومة الشمسية، فإنه لم يُتم دوره واحدة له حول الشمس منذ اكتشافه.

بالاستعانة بالشكل 28.9 حاول أن تفسّر كيف تحقق علماء الفلك أن بلوتو ليس نجماً.....



شكل 28.9 صورتان فوتوغرافيتان لبلوتو، تُظهران حركته في غضون 24 ساعة.

لجواب : يتبيّن من الصُور الملتقطة لبلوتو في أوقات مختلفة أنه «يغِير موقعه بالنسبة إلى نجوم الخلفية». (بذل مكتشفه تومباو جهداً عظيماً في دراسة لملايين من صُور النجوم والكواكب المشتبهات، استناداً إلى أزواجٍ من الصُور الفوتوغرافية التُقطت لأجزاءٍ من السماء في تواريخ متباينة).

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل التاسع وتمثّلها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهداً استطاعتك، ثم انظر في الأجبوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. فيما يلي سماتٌ معروفةٌ يمكن رصدها بمقرابٍ صغير. انسُب كل سمةٍ إلى كوكبها.

(1) المزيف.	(أ) الأطوار.	--
(2) المشتري.	(ب) القلسوتان الجليديتان	--
(3) زحل.	القطبيتان.	--
(4) الزهرة.	(ج) البقعة الحمراء الكبرى.	--
	(د) الحلقات.	--

2. اعزِّ السماتِ المألوفةِ التاليةِ إلى أزواجِ الكواكبِ الصحيحةِ.

(أ) حُزمٌ سُحبٌ شريطيةٌ متناوبةٌ	(1) عطارد والزهرة.	--
(2) المشتري وزحل.	ومتوازيةٌ، دكناه وزاهيةٌ.	--
(3) أورانوس ونپتون.	(ب) فوهاتٌ وجبالٌ كثيرةٌ.	--
	(ج) أغطيةٌ سحابيةٌ غليظةٌ من الهيدروجين والمهليوم	--

3. اذكر ثلاثةً أسبابٍ يجعل من الزهرة كوكباً غير صالح لارتياده

.....	(1)
.....	(2)

(3)

4. يمثل الشكل 29.9 كواكب الزُّهرة والأرض والمرِيخ في أفلاكها حول الشمس. عِين الحرف (على الرسم) الذي يدلّ على كلّ مما يلي:

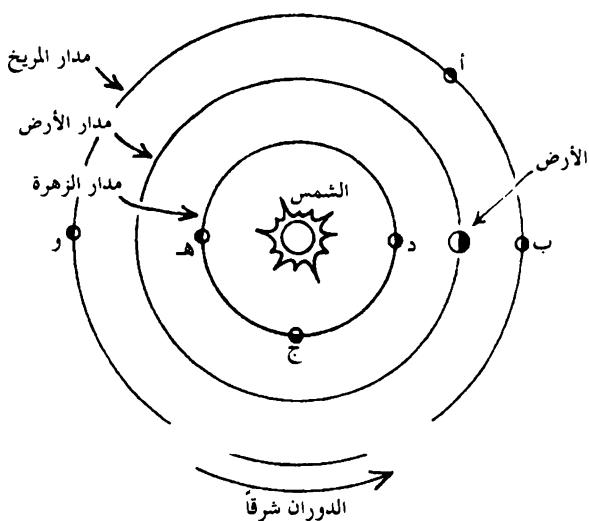
- (1) الزُّهرة كونه نجم المساء
- (2) الزُّهرة في طَوْرٍ جديـد
- (3) المرِيخ في وضع تقابل
- (4) المرِيخ غير مرئي في سماء ليلنا

5. أنشئ رسمًا تخطيطيًّا وحدّد عليه طبقات الأرض الثلاث الرئيسية.

(1) ; (2) ; (3)

6. أعطِ ثلاثة أرصاد تعضد نظرية تكتونيات الصَّفائح (الانجراف القاري).

(1)



الشكل 29.9 مظاهر كوكبي الزُّهرة والأرض والمرِيخ من الأرض.

..... (2)

..... (3)

7. صف مشهد المريخ وجوه ودرجات حرارته في مواقع هبوط المركبات
الرّبوطية عليه.

8. اذكِر اثنين من الأرصاد التي تشير إلى احتمال تدفق الماء على المريخ
في الماضي البعيد.

..... (1)

..... (2)

9. عدّ أوفر الغازات وجوداً في الغُلْف الجويّة لـ:

(أ) الأرض

(ب) المريخ

(ج) المشتري

(د) رُحل

(هـ) أورانوس

(و) تيتان

10. قابلٌ كلاً من مكتشفي مركبة فوياجر الفضائية بـ كوكب أو أكثر مما يلي: --
 (أ) حلقة (حلقات) محيطة. (1) المشتري.
 (ب) قمر (أقمار) تطوف (2) زحل.
 (ج) أورانوس. (3) بالكوكب.
 (د) نبتون. (4)
11. قابلٌ كلاً من الصفات التالية بـ قمر كوكب. --
 (أ) أكبر أقمار المجموعة الشمسية. (1) غانيميد/المشتري.
 (ب) القمر الوحيد الذي يُعرف له غلاف جوي ملموس. (2) آيو/المشتري.
 (ج) أكثر الأقمار نشاطاً جيولوجياً وبركانياً. (3) ميراندا/أورانوس.
 (د) أغرب الأقمار، لاحتواه على مزيجٍ من السطوح الفتية والهرمة. (4) ترايتون/نبتون.
 (ه) أبعد السطوح، مع وجود اندفاعاتٍ نشيطةٍ شبيهةٍ بنبعٍ فوار.

الأجوبة

قارن أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتها صحيحة كلها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأت في بعضها فعد إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لرتك إعادة قراءة الفصل بكماله بدقة أكبر إذا تعددت أخطاؤك.

1. أ) 4؛ (ب) 1؛ (ج) 2؛ (د) 3
 (الفقرات 2.9 و 9.9 و 13.9 و 14.9 و 16.9 و 18.9 و 20.9)
 .2. أ) 2؛ (ب) 1؛ (ج) 3
 (الفقرات 1.9 و 3.9 و 13.9 و 14.9 و 16.9)
 .3. (1) جُوه السام المؤلَّف من ثاني أكسيد الكربون؛
 (2) حرارته البالغة (التي قد تصل إلى 900° فارنهایتیة)؛
 (3) ضغطه الجوي الماحق (الذي يتجاوز 90 واحدة ضغط).
 (الفقرة 3.9)
 .4. (1) ج؛ (2) د؛ (3) ب؛ (4) و
 (الفقرتان 2.9 و 9.9)
 .5. الشكل 12.9: (1) القشرة؛ (2) المعطف؛ (3) اللب.
 (الفقرة 5.9)
 .6. (1) تماثل المستحاثات الباتية والحيوانية على امتداد الخطوط الساحلية لأمريكا الجنوبية وغرب إفريقيا.
 (2) توافق هذه الخطوط الساحلية بحيث يتمم بعضها بعضًا.

(3) عدم وجود صخور في قاع المحيط الأطلسي قرب الخطوط الساحلية أقدم من نحو 150 مليون سنة.

(الفقرة 6.9)

7. يبدو السطح كصحراء حمراء جافة تتناثر فيها الصخور. سماوئه وردية اللون، ودرجة حرارته منخفضة.

(الفقرة 10.9)

8. (1) وجود فنوات سطحية عميقه ومتعرجه، تبدو وكأنها شُقّت بفعل أنهار عظيمه متداcleة.

(2) وجود ماء متجمد في القلنسوتين الجليديتين القطبيتين.

(الفقرة 11.9)

9. (أ) الآزوت (نحو 78 في المئة) والأكسجين (قرابة 21 في المئة)؛

(ب) ثاني أكسيد الكربون؛

(ج) هيدروجين وهليوم؛

(د) هيدروجين وهليوم؛

(ه) هيدروجين وهليوم، مع بعض الميتان؛

(و) آزوت.

(الفقرات 8.9 و 11.9 و 14.9 و 16.9 إلى 18.9)

10. (أ) 1 ، 2 ، 3 ، 4 ؛ (ب) 1 ، 2 ، 3 ، 4

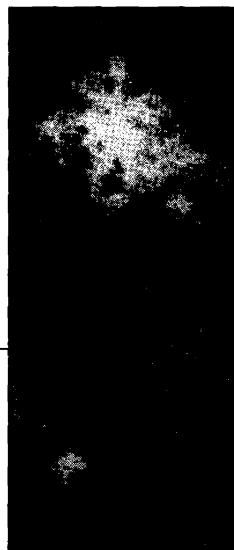
(الفقرات 15.9 و 17.9 و 19.9)

11. (أ) 1 ؛ (ب) 4 ؛ (ج) 2 ؛ (د) 3 ؛ (ه) 5

(الفقرات 15.9 و 17.9 و 19.9 و 21.9)

10

القمر



تخاذل التجوم حول القمر البهي بضوئها وتلزم خدرها عندما ينثر القمر نوره على الأرض بدرأ نام الرؤاء.

سافو (نحو 612 قبل الميلاد) المقطع 4

الأهداف:

- تفسير مظهر القمر وحركاته الظاهرية في السماء.
- مقارنة القمر بالأرض من حيث القطر، والكتلة، ومعدل الكثافة، والثقلة السطحية.
- وصف المعالم العامة لسطح القمر.
- بيان أوجه التشابه والتغاير بين القمر والأرض من حيث النشاط الجيولوجي وعوامل التعرية السطحية.
- عرض مجملً لفرضية حول منشأ القمر، بما يتفق والأرصاد العلمية.
- تفسير المنشأ المحتمل للفوّهات والبحور القمرية.
- وصف أحوال سطح القمر في موقع هبوط مركبة أبولو عليه.

- عرض النموذج الحالي لِبنية القمر الداخلية.
- طرح تساؤلات وقضايا حول القمر لَمَا تُحسم بعد.
- تحديد الموضع النسبي للأرض، والقمر، والشمس، في أثناء حوادث كسوف وخشوف.

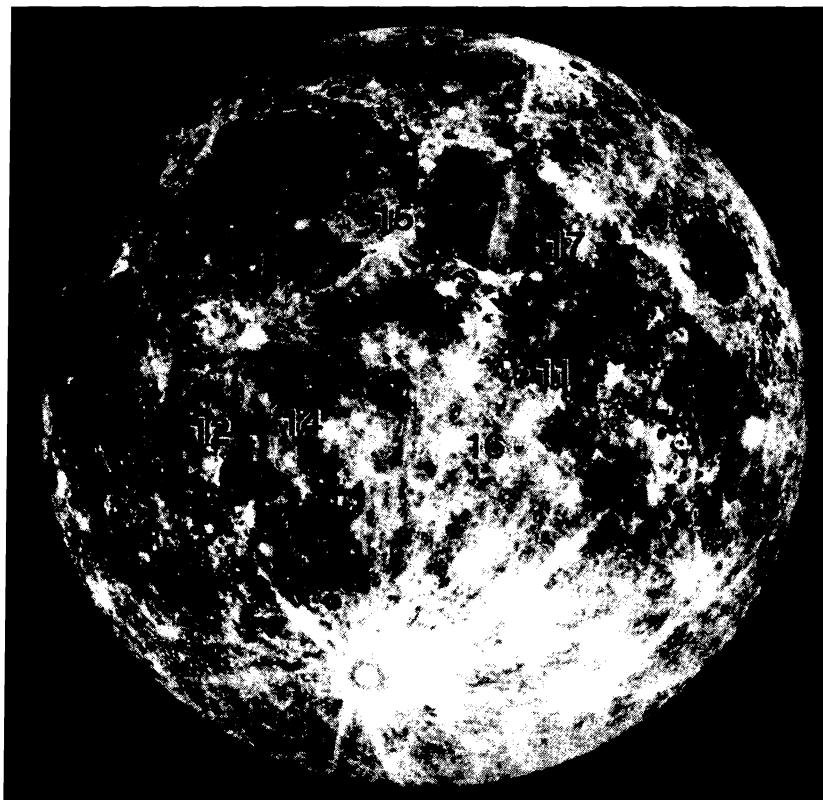
10.1 جارٌ الجنب

لطالما استهوى القمرُ بسحره قرائح الشعراء وقلوب المحبين. فعند القدر $-12,5$ يكون القمرُ البدر أسطع من نجوم القدر الأول قرابة $25,000$ مرة (الشكل 1.10).

ارتبط اعتقاد الناس في الماضي بالتأثير المباشر للقمر الساطع في السلوك الشخصي للأفراد؛ فراحوا يمارسون طقوساً خاصةً عندما يكون القمر بدراً، وأطلقوا أسماءً على آلهة القمر من قبيل: ديانا ولوна وسيليني وسيثيا. حتى إن كلماتٍ مشتقةٍ من «القمر» من مثل: «moonstruck» (= مختلط العقل)، و«lunacy» (= جنون) كانت تشير في الأصل إلى جنونٍ يتبدل مع تبدل أطوار القمر.

ونحن نعرف اليوم عن القمر - بحكم قربه مثنا - أكثر مما نعرف عن أيٍ من أجرام السماء؛ فهو يقع على بُعد $384,400$ كم ($240,000$ ميل) عن الأرض. وقد وصلت مركباتٌ فضائيةٌ ربوطيةٌ و Mahmولة إلى القمر وحطّت عليه، وبئثت آلاف الصور والمعطيات العلمية والعينات من سطحه.

من ذلك رحلات أبولو القمرية Apollo Moon Missions الأمريكية الست (1969 - 1972) التي أنزلت رجالاً على سطحه، مزودين بمصوّرات وأجهزة لإجراء تجارب علمية هناك، وعادت بكميات من صخور القمر تزن 380 كيلوغراماً (837 رطلاً إنكليزياً) للدراسة المخبرية. استمرّت تجهيزات أبولو بإرسال معطيات حتى سنة 1977 عندما أوقفت لأسباب مالية.



١٠. القمر بدرأ. المواقع السّتة، حيث هبط رواد مركبة أبولو الفضائية الأمريكية، مـ بالأرقام ١١ - ١٧. اطلب أسماء أبرز البحور والفوهـات والسلالـات الجبلـية من خـ القمر.

ينشر القمر نورهـ بـانعـكـاس ضـيـاء الشـمـس عـلـيـهـ^(١). فإذا عـلـمـنا أنـ متـوـعـ albedo المرئـيـ - وهو نـسـبـة ضـوء الشـمـس الوارـدـة التي يـعـكـسـها الشـفـاءـ - لا يـتـجـاـوزـ ١١ـ فيـ المـئـةـ فـقـطـ، أـدـرـكـناـ أنـ مـعـظـمـ ضـوءـ الشـمـسـ ، يـرـدـ عـلـى سـطـحـ القـمـرـ العـدـيمـ الـهـوـاءـ يـجـريـ اـمـتـصـاصـهـ.

تنسب العرب «الضـوءـ» إـلـيـ الشـمـسـ، وـ«النـورـ» إـلـيـ القـمـرـ. قال الله تعالى فيـ القـرـآنـ: (هـوـ الـذـي جـعـلـ الشـمـسـ ضـيـاءـ وـالـقـمـرـ نـورـاـ وـقـدـرـهـ مـنـازـلـ لـتـعـلـمـوا عـدـدـ السـوـالـاتـ) [يونـسـ ٥ـ]. (المـعـربـ)

لماذا تعتقد أن القمر البدَر هو أسطع الأضواء في سماء الليل؟

الجواب: لأنَّه أقربُ إلى الأرض من سائر الأجرام السماوية الأخرى.

10.2 القمر في السماء

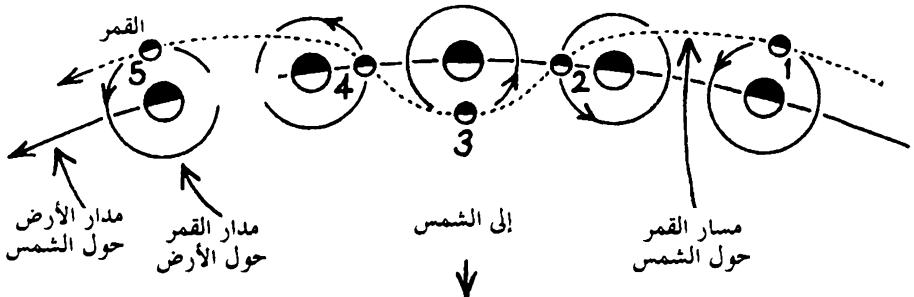
إذا رعيت القمر بانتظام، لاحظت حركته الظاهريَّتين في السماء، إضافةً إلى أطواره (الفقرة 4.8).

ستلاحظ أنَّ القمر يزغ من جهة الشرق، ويتحرك غرباً عبر السماء، ويأفل كلَّ يوم، لأنَّ الأرض تدور حول نفسها يومياً.

وستلاحظ أيضاً أنَّ القمر يغيِّر موقعه بالنسبة إلى النجوم بمقدار 13° شرقاً في كلِّ يوم، لأنَّ القمر يتحرَّك بالنسبة إلى الشمس يومياً، في حين تطوف منظومة الأرض - القمر حول الشمس كلَّ سنة (الشكل 10.2).

علَّ تأثُّر بزوغ القمر بنحو 50 دقيقة يومياً عن اليوم السابق

الجواب: يقع القمر عند بزوغه في برج نجميٍّ معين. وتمرور نحو 24 ساعة، عندما تكون الأرض قد أتمَّت دورتها حول الشمس، تبلغ هذه النجوم نفسها من جديد، لكنَّ القمر يكون في هذه الأثناء قد تحرَّك زهاء 13° شرقاً بالنسبة إلى النجوم، ومن ثم لا يبرغ إلا متأخراً.



الشكل 10.2 دوّران منظومة الأرض - القمر حول الشمس. ثمة مبالغة في إبراز تموج مدار القمر، زيادة في الإيصال.

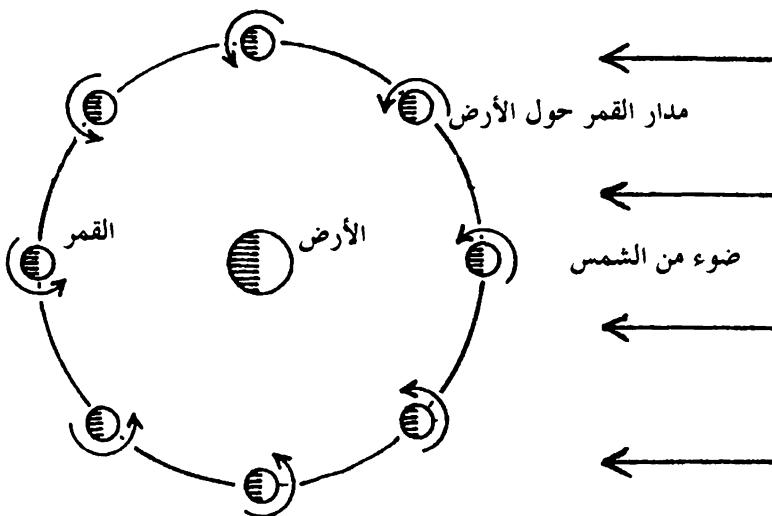
10.3 دوران القمر

إن ثقالة الأرض تبعث القمر على التزام نمطٍ من الدوران يسمى الدوران المتزامن synchronous rotation؛ ذلك أن القمر يدور على محوره مرّة كل 27,3 يوماً، ويستغرق الزمان نفسه تماماً للطواف مرّة حول الأرض. وهذا ما يجعل وجهه واحداً منه في مواجهة الأرض في كل الأوقات (الشكل 10.10).

لاحظ أنك ترى السمايات نفسها للـ «إنسان في القمر» طوال الشهر، دون أن ترى قافية رأسه أبداً. (يبدو أن القرص المرئي للقمر ينماح في ظاهرة تسمى الميسان أو التأرجح libration، ناشئة عن تغييرات طفيفة في حركات القمر، وإذن بإمكانك أن ترصد فعلاً نسبة 59 في المائة من إجمالي سطحه طوال الوقت).

وأغلب الظن أن تساوي الدوارين المحوري والمداري للقمر ليس محض صدفة، بل ثمرة دهور من الاحتكاك المدي tidal friction.

لماذا اقتصرت قدرة الإنسان على رؤية وجه واحد من القمر فحسب



الشكل 10.3 الدوران المتناظر للقمر. إنَّ وجهاً واحداً من القمر يقابل الأرض دوماً.

قبل بلوغ مركبات الفضاء وجهه القصبي؟

الجواب: لأنَّ دُورة المحوري مساوٍ لدُورة المداري حول الأرض، ومن ثم فإنَّ وجهاً واحداً للقمر يظلُّ مُقاَبلاً للأرض أبداً.

10.4 ظواهر خاصة

بإمكانك أن ترصد تغييرات مثيرة أخرى في مظهر القمر.

فالهالة القمرية halo، أو الحلقة المطيفة بالقمر ليست في الواقع الأمر قريبة منه على الإطلاق، بل إنَّ بلورات جليدية في أعلى الغلاف الجوي الأرضي تكسِّر أشعة نور القمر لدى اخترافها البلورات، مولدة هذه الظاهرة الهالية.

وعندما يكون القمر قريباً من الأفق قد يبدو أحمر اللون. ومن ذلك الموقع ينتقل نور القمر مسافةً أطول عبر الغلاف الجوي ليصل إلى عيوننا، منه عندما يكون القمر في كبد السماء. ويتألف نور القمر (انعكاس ضوء الشمس) كله من ألوانٍ مرئية. تتبعثر أشعةُ القمر القصيرةُ (الزرقاء)، في حين تبقي أشعه الطويلةُ (الحمراء) - التي تخترق الغلاف الجوي بسرعة ويسر - لتبكي على القمر اللون الأحمر.

كذلك يبدو القمر البدر أكبر حجماً عندما يكون قريباً من الأفق، منه عندما يكون في كبد السماء. هذا الإحساس الخاطئ، الذي يُعرف بظاهرة الانخداع القمري Moon illusion مازال غير مفهوم تماماً حتى الآن، فنحن نعلم بالبداية أن حجم القمر واحد لا يتغير. ولعلَّ هذا الانخداع البصري النفسي ناشئ عن مقارنة الراصد للقمر بما يجاوره من أجرام قياساً على النجوم النائية.

يسُمّى بدرُ الحصاد harvest Moon الوقت الذي يكون فيه القمر بدرًا قرب موعد الاعتدال الخريفي. عندئذٍ يبلغ القمر في المساء قبل وقته المعتمد، ناثراً أنواره في أرجاء السماء، ومتىحاً للمزارعين ساعات إضافيةً لحصد مزروعاتهم. يحدث قمرُ الحصاد عندما تكون الزاويةُ بين فلك البروج والأفق أصغريةً تقربياً.

هل تعتقد أن رواد مركبة أبولو الفضائية عاينوا «حلقةً تطيف بالأرض»
وهم على سطح القمر؟ وضح ذلك

الجواب: لا. فالحلقة حول القمر وهم تسبّبُه جسيماتُ جليديةٌ في الغلاف الجوي للأرض. أما القمر فليس له غلافٌ جويٌ أو ماءٌ لإحداث هذا الشعور الخادع بوجود حلقةٍ في الفضاء تحدق بالأرض.

5.10 حجم القمر

يُعدُّ القمرُ تابعاً كبيراً جداً، مقارنةً بحجم كوكبه الأم. يمكن معرفة حجم القمر من القياسات المتعلقة بقطره الزاوي وبعده عن الأرض.

يُذكر أنَّ بُعدَ القمر قد قيسَ بدقةٍ مدهشة بلغت جزءاً من عشرة مليارات (أي بارتياب بضعة سنتيمترات فقط)، وذلك بحساب الزمن الذي يستغرقه شاعع ضوء ليزري للوصول إلى مقاربٍ عاكسة متعرِّكة على القمر، ثم الإياب.

وُجد أنَّ القطر الاستوائي للقمر هو 3476 كيلومتراً (2160 ميلاً)، مقارنةً بالقطر الاستوائي للأرض، الذي يبلغ 756,12 كيلومتراً (8000 ميل تقريباً).

قارن حجمَ القمر بحجمَ الأرض

الجواب: قطر القمر يقارب ربع قطر الأرض.

طريقة الحل: قطر القمر \div قطر الأرض $\cong 3500 \text{ كم} \div 13,000 \text{ كم}$

$$1/4 = (2000 \text{ ميل} \div 8000 \text{ ميل}) \cong$$

6.10 كثافة القمر

تبَلُّغ كتلةُ القمر، المقيسُّةُ من تغييرات السرعة التي يولّدُها القمرُ في المركبات الفضائية، $10^{22} \times 7,35 \text{ كغ}$ ، أي $\frac{1}{8}$ كتلة الأرض.

ويبلغ متوسطُ كثافة القمر $3,34 \text{ طن}/\text{م}^3$ ، أو قرابةً $\frac{3}{5}$ متوسط كثافة الأرض.

ولا تزيد ثالثةُ القمر السطحيةُ على نحو $1/6$ الثالثة السطحية للأرض، بسبب صغر كتلته وحجمه. ويعني ذلك أنَّ رائدَ فضاءٍ وزنه على الأرض 84 كغ (180 رطلاً إنكليزياً) مثلاً، لا يزيد على سطح القمر أكثر من 14 كغ (30 رطلاً إنكليزياً).

اقتصر سبباً لكون متوسط كثافة القمر أقل من متوسط كثافة الأرض

الجواب: من المؤكد أن القمر مؤلف - بكماله تقريباً - من صخور سيليكاتية شبيهة بصخور قشرة الأرض ومعطفها، وأنه فقير بالحديد والمعادن الأخرى. (تبين من تحليل صخور القمر حتى الآن أنها ترتكب من العناصر الكيميائية عينها التي ترتكب منها صخور الأرض، مع اختلاف في النسب).

7.10 معطيات عن القمر

استعرض ما عرفت حتى الآن من خصائص القمر، باستكمال الجدول 10 التالي. قد تحتاج إلى مراجعة الفقرتين 4.8 و 10.8.

الجدول 10.1 خصائص القمر

قيمتها	الكمية
.....	(أ) متوسط البعد عن الأرض
.....	(ب) القطر
.....	(ج) الدور المداري النجمي (نجوم ثابتة)
.....	(د) الدور المداري الاقتراني (أطوار)
.....	(ه) الدور المحوري
.....	(و) الكتلة
.....	(ز) متوسط الكثافة
.....	(ح) التقالة السطحية
.....	(ط) النصوع
.....	(ي) القدر الظاهري للقمر البدر
.....	(ك) متوسط السرعة المدارية

الجواب: (أ) 400 كم (240,000 ميل)؛ (ب) 3476 كم (2160 ميلاً)، أي ربع قطر الأرض؛ (ج) 27,3 يوماً (27,321 66 يوماً)؛ (د) 29,5 يوماً (59 29,530 يوماً)؛ (هـ) 27,3 يوماً؛ (و) $10^{22} \times 7,35$ كغ، أو $1/81$ كتلة الأرض؛ (ز) 3,34 طن/م³، أو $3/5$ متوسط كثافة الأرض؛ (ح) $1/6$ الثقالة السطحية للأرض؛ (ط) 11,02؛ (ي) 12,5-؛ (ك) 1,02 كم/ثا (2295 ميل/ساعة).

8.10 رصد القمر

لطالما كان القمر هدفاً أثيراً للمناظير العادبة والمقاريب البسيطة، بسبب قربه من الأرض بدرجة تسمح برصده رصدًا مستفيضاً.

وقد وُضعت خريطة القمر في نهاية هذا الكتاب خصيصاً لتسهيل الأمر عليك في تعرّف أبرز معالم السطح. وهي تعرض القمر كما يظهر في وسط السماء في نصف الكرة الشمالي، وعلى نحوٍ تتوافق فيه اتجاهات البوصلة على خريطة القمر مع الاتجاهات السماوية، فالخريطة موجّهةً بحيث يكون الشمال في الأعلى، أي كما نرى القمر بأعيننا المجردة أو من خلال المناظير.

(يبدو القمر - من خلال كثيرٍ من المقاريب - مقلوباً، بحيث يكون الشمال في الأسفل. وفي حالة رواد على سطح القمر أو في خرائط السطح الطبوغرافية يُقلب موضعها الشرق والغرب فيقع كلُّ منها موقع الآخر، كما في الخرائط الأرضية؛ في حين يبقى الشمال والجنوب بلا تغيير).

عندما وجّه غاليليو مقرابه أولَ مرة نحو القمر، توهّم خطأً أن المساحات الدكناه الشاسعة والمسطحة نسبياً هي محطة على القمر، فأطلق عليها اسم البحار *maria* (مفردها *mare*).

لم تقع الرحلات الفضائية القمرية على أثر لمياه جارية على القمر. وما

طنٌ وهماً أنه «بحار» تأكّد يقيناً أنه أحواض حمم جافة تحتوي على البازلت basalt، وهو ضربٌ من الصخر يتولّد بتبرُّد حمم بركانية مصهورة. وعلى سبيل المثال، يبلغ قطرُ بحر الوابلات Mare Imbrium، وهو أكبر بحار الوجه المرئي للقمر، نحواً من 1100 كم (700 ميل).

يطلق على المساحات التي هي أكثر إشراقاً اسم النجود القمرية highlands. وهي مناطق أقدم عمراً وأكثر ارتفاعاً ووعورةً من مناطق البحار. تحتوي النجود في المقام الأول على صخورٍ ناريةٍ زاهية الألوان، وتغطي زهاء 80 في المئة من سطح القمر.

ما هي البحار التي تؤلّف معالم «الإنسان في القمر»؟

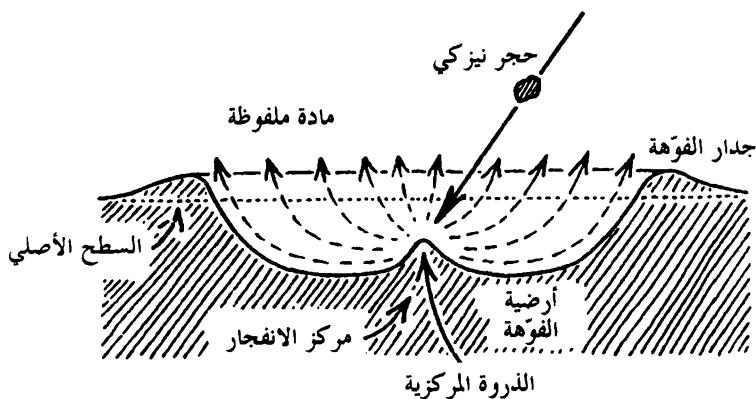
الجواب: أحواض حمم جافة ومتصلبة.

9. فوَّهات القمر

يلاحظ أن القمر منقوبٌ بفوَّهات craters في سطحه.

جرت العادة على تسمية الفوَّهات بأسماء علماء وفلاسفة لامعين أمثال كوبرنيكوس وأفلاطون. أكبر هذه الفوَّهات - من قبيل فوَّهة كلافيوس - مسطحة القيعان، ويقارب قطرُها 240 كيلومتراً (150 ميلاً)، وتسمى السهول المسورة ذات الجُدران walled plains. ويُعرف أصغرها باسم الفويهات craterlets.

تتخذ الفوَّهات النموذجية شكلًا دائرياً، وتتفاوت في حجمها ما بين حفرٍ صغيرة بسيطة وأحواضٍ دائرية هائلة بقطر مئات الأمتار، ذات جُدر قد يصل ارتفاعها إلى 3000 متر (10,000 قدم). ويرجع أن معظمها قد أحدثه أحجارٌ نيزكية ضربَت القمر (الشكل 4.10).



الشكل 10.4 تكون فوهة صدم نموذجية.

يولد الصدم حرارة عالية تبخر الحجر النيزكى نفسه وبعض المساحات التي يخترقها. تمدد المادة الحارّة المتباخرة تمدداً عنيفاً وتنفجر مكونةً فوهة دائريّة ذات حافة عالية وذرّة مركزية. تسقط المادة الملفوظة بالانفجار حول الفوهة وفي جوارها مُحدّثة في الغالب فوهات ثانوية أصغر منها.

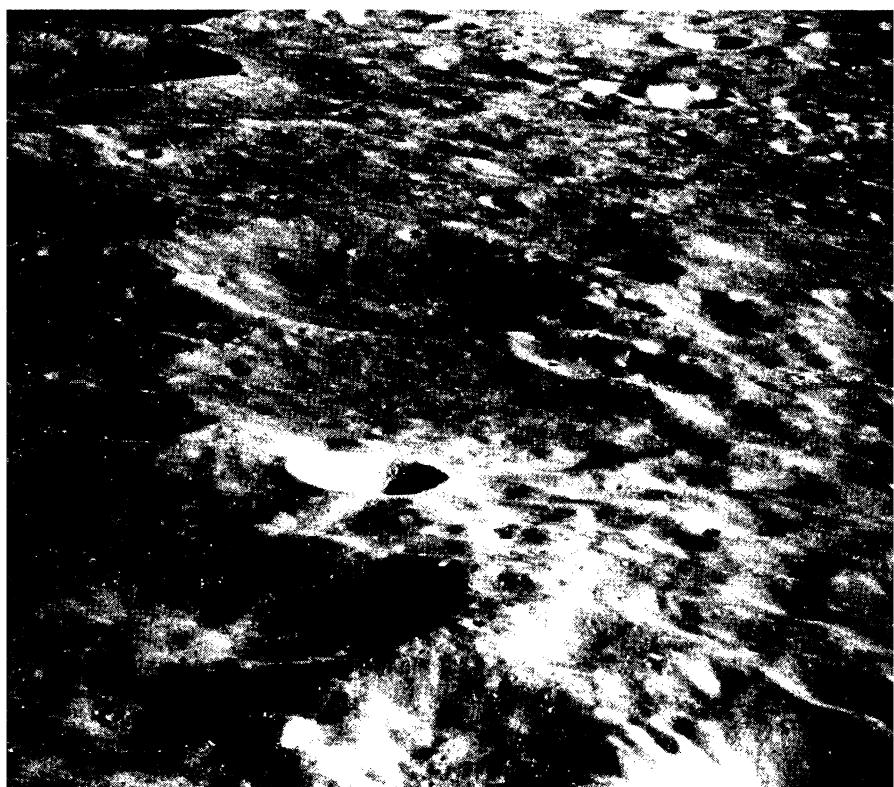
تنطلق من الفوهات خطوط طولية ساطعة تسمى أشعّة بيضاء⁽¹⁾ bright rays، تمتد مئات الكيلومترات من الفوهات البارزة الفتية. وهي في ما يبدو نماذج لطائيّر المادة المقذوفة من الانفجار الناجم عن الصدم.

ولعلَّ أنسَب الأوقات لرصد الفوهات والجبال القمرية هو عند وقوعها بجوار خط شروق الشمس أو خط غروبها الذي يسمى الخط الفاصل terminator. عندئذ يولّد الارتفاع المحدود للشمس فوق الأرض ظلاًّ تُبرِز تضاريس السطح.

يتحرّك خط شروق الشمس الفاصل sunrise terminator من اليمين إلى اليسار فوق سطح القمر بين أطواره من الغرّة إلى البدر. ويفعل خط غروب

لشمس الفاصل sunset terminator الشيء نفسه بين القمر البدر والغرة. وفي لوقت الذي يكون فيه القمر بدرًا تبرز البحار القمرية جليًّا، إلا أن انعدا لظلال السطحية يجعل من العسير تمييز تضاريس السطح.

تُظهر الصور الفوتوغرافية التي وفرتها مركبات الفضاء احتواء الوجه البعيد للقمر على فوهات ونحوها، وعدم احتوايتها على بحار كبيرة يبد جودها واضحًا تماماً على الوجه القريب. ومازال سبب هذه الفوارزة لمصرودة بين وجهي القمر: القريب والبعيد مستغلقاً على إدراك العلما (الشكل 10.5).



لشكل 10.5 الوجه البعيد من القمر كما صورته أول مرة المركبة الروسية لونا 3 بتاريخ تشرين الأول (أكتوبر) 1959.

ما العامل الذي يحتمل أنه أحدث معظم الفوئات على القمر

الجواب: أحجارٌ نيزكية هَوَثَتْ وارتقطمت في سطحه.

10 . استكشاف القمر

ما إن وطئ رائد الفضاء الأمريكي نيل آرمسترونغ Neil Armstrong سطح القمر أول مرة بتاريخ 20 تموز (يوليو) 1969، حتى دخل عالماً غريباً موحشاً.

تغطي كامل سطح القمر تربة ذرورية ناعمة تسمى الغلاف الحتاتي regolith، الذي تولّد نتيجة لتعريض سطح القمر مدة طويلة لحوادث تصادم متعدقة بأحجارٍ نيزكية هُشمَتْ سطحه إلى صخور متخلخلة تتفاوت في الحجم ما بين حصبة صغيرة وجلاميد عظيمة.

ليس ثمة مياه تجري ولا زروع تنمو. ولم توفر الدراسات التحليلية المعملية لصخور القمر وتربيته دليلاً واحداً على وجود ماء أو مستحاثات أو كائنات من أي نوع. وفي ظلّ غياب الدليل على الحياة هناك، يخلص العلماء إلى أن القمر غير ذي حياة، ولم يكن يوماً خلاف ذلك.

ولا تجد فوق القمر سماء زرقاء أو سُحبًا بيضاء أو أحوالاً جويةً ما، بسبب انعدام وجود غلاف جوي محسوس. لذلك يسود صمتٌ مُطبِقٌ في غياب الهواء الذي ينقل الأصوات.

يطول على القمر ليلاً ونهاره. فكلّ منها يبلغ 14 يوماً أرضياً. وتقع درجة الحرارة السطحية عند خط الاستواء بين 120° مئوية (250° فارنهaitية) عندما تكون الشمس في أعلى نقطة لها من السماء، و-150° مئوية (-240° فارنهaitية) ليلاً.

هذا وقد دلّل رواد مركبة أبولو على أن القمر قابل لأن يكون مسرح لنشاط الإنساني (الشكل 6.10). وفي غضون القرن الحادي والعشرين، قد



شكل 6.10. أمضى فريق مركبة أبولو الأمريكية، المؤلف من اثنين عشر رائداً، مدة بلغت في مجموعها 300 ساعة على سطح القمر. ونجح آخر ثلاثة أزواج منهم في قيادة عربات استكشافية خاصة لاستطلاع معالم السطح حول موقع الهبوط.

تمكن رواد فضاء يتمنّون في قاعدة قمرية من إجراء بحوث فلكية وعلمية أخرى، وكذلك من استنبطان موارد كالأكسجين والمعادن لرفد عهدٍ جديدٍ من استكشاف الفضاء.

لماذا كان من المجدى إقامة مقراب بصري كبير على القمر؟

الجواب: في غياب الهواء وأيّ مظاهر جوية على القمر يكون جلاء الصورة (الفقرة 21.2) عالياً دوماً.

11.10 حوادث الصدم

يتمثل أكبر عوامل حتّ سطح القمر في الرُّجم الدقيقة micrometeorites، وهي حبيبات صغيرة من الصخر والمعدن، تهوي عليه بسرعات قد تصل إلى 113 كم/سا (70 ميل/سا)، علماً بأن رُجمًا كبيرة أيضاً تصطدم بالقمر بين حين وآخر.

يشار هنا إلى أن الرُّجم الدقيقة أقل فاعالية 10,000 مرة، في تغيير معالم سطح القمر، من فاعالية الهواء والماء كعاملين حتّ وتعريفي على الأرض. فهي لا تزيل أكثر من ميليمتر واحد من السطح القمري في غضون مليون سنة كاملة.

بيان لماذا يترجّح أن يبقى أثر قدم نيل آرمسترونغ على سطح القمر محافظاً على هيئة التي كان عليها سنة 1969 لmlinيين السنين من الآن (الشكل 10.7)

الجواب: إن الحتّ على القمر ناجم في المقام الأول عن صدم رُجمٍ صغيرة، وهو يحدث هناك بدرجة أبطأ بما لا يقاس من الحتّ الناجم عن الهواء والماء على الأرض.

12.10 جبال القمر

سُميّت جبال القمر بأسماء السلالس الجبلية العظيمة على الأرض، مثل



الشكل ١٠.٧ الرحلة القمرية التاريخية للمركبة أبولو ١١ صورة لإدوبن آلدرين على سطح القمر التقطها له زميله نيل آرمسترونغ الذي يلاحظ خياله منعكساً في مقدم الخوذة المغطاة للوجه.

جبال الألب. وهي تختلف عن جبالنا من حيث التركيب والمظهر العام لأنها تولّدت وصيغت بفعل قوى ذات طبيعة مختلفة.

تسمق أعلى ذُرى جبال القمر الوعرة على ارتفاع يتجاوز 8000 متر (29,000 قدم)، بما يقارب ارتفاع قمة إفرست، أعلى جبال الأرض.

ما هما العاملان الرئيسيان اللذان لا يبرحان يعملان في تغيير شكل جبال الأرض، ولا يفعلا ذلك في جبال القمر؟ وكيف؟

الجواب: الماء والجَوَّ. إذ ليس في القمر سيلٌ مائيٌ تنحدر على السلالِ الجبلية، كما تغيب عنه العواصفُ الجوية التي من شأنها أن تحت السطح وتبليله.

13. تاريخ القمر

أعاد علماء القمر صوَّغَ قصة حياة القمر، في ضوء ما وفَّرَته رحلات أبولو الأمريكية، ولوна الروسية إليه من معطيات.

فقد وجدوا أنَّ أقدم الصخور القمرية، مما جُمِعَ من نجوده، يرقى إلى نحو 4,3 مليارات سنة، وأنَّ عمر بعض الشظايا الصخرية الخضراء الصغيرة يناهز 4,6 مليارات سنة، في حين تَكَوَّنَ أحدها - وهي صخور البحار القمرية - منذ قرابة 3,1 مليارات سنة خلت.

أما مكان ولادة القمر وطريقة نشأته، فذاشك سرّان يحار فيهما العلم والعلماء حتى اليوم.

على أن صخور القمر أغنى بالسيليكات وأفقر بالمعادن والعناصر الطيارة من صخور الأرض. لذلك يُستبعد أن يكون القمرُ فيما مضى جزءاً من الأرض ثم انفتق عنها، كما ليس ثمة ما يدلُّ على أنه تَكَوَّنَ من تنامي جُسيمات صغيرة كثيرة في السديم الشمسي.

تُقضي فرضية الصَّدْم - اللفظ impact-ejection hypothesis الشائعة بأنَّ

جرماً بحجم كوكب صدم الأرض بعيد تكُونها، ونجم عن الصدم كتلةً عمالقةً من المادة انفصلت عن الأرض واتسعت مؤلفة حلقة حول كوكبنا. تجمعت مادة الحلقة فيما بعد فكَوَّنت القمر.

ثم إن القمر الفتى تعرَّض في غضون المليار السنة الأولى من نشأته إلى قصف عنيف من رُجم نيزكية متباينة الأحجام، أحدثت فيه فوهات كبيرةً وصَهَرَت سطحه فاستحال إلى القشرة القمرية الحالية.

وبعد نحو مليار سنة من نشوئه تسخنَ باطنُه تسخيناً شديداً بفعل عناصر ذات نشاط إشعاعي. وهَمِرت البراكينُ فيضاً غامراً من الحمم البازلتية الحارة على السطح وفي الفوهات، ثم تصلبت الحمم المصهورةً وكَوَّنت البحورَ القمرية.

تبَرَّد القمرُ منذ زهاء ثلاثة مليارات سنة بدرجة كبيرة، وتوقف النشاط البركاني في معظمِه أو كاد. وفي ما عدا بعض دفقاتِ حمم ثانوية، وعددٍ محدود نسبياً من فوهات الصدم الكبيرة، من قبيل فوهة كويپرينيكوس الفتية (عمرها مليار سنة تقريباً)، لم يطرأ على القمر أي تغيير يُذكر منذئذ. ولم تسجل رسماتُ الزلازل التي أودعها روادُ مركبة أبولو القمر إلا مستوىً منخفضاً جداً من الْهَزَّات القمرية.

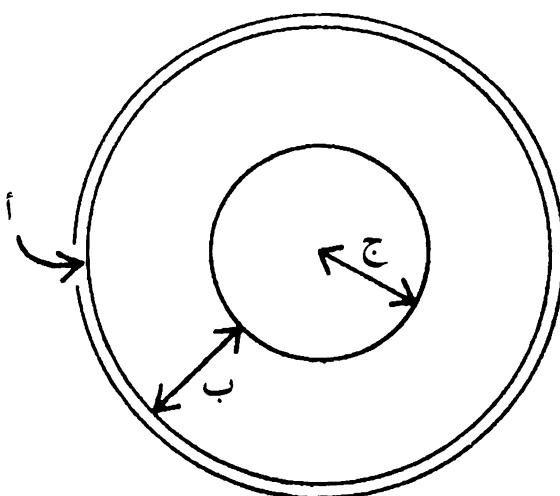
يحتفظ سطح القمر الجافُ المستقرُ العديم الهواء برقم تاريخيٍّ قياسيٍّ من الصدمات النيزكية التي حاقت به في سالف الدهور، والتي لا بدَّ من أن شطراً كبيراً منها حاقدَ بالكواكب الأرضية كافة.

كيف يختلف تاريخ الفعالية الجيولوجية للقمر عنه للأرض؟

الجواب: أضحت القمر - بعد ملياري سنة من ولادته - في حكم الميت من الناحية الجيولوجية، مقارنةً بالأرض التي ما زالت تمور بالحياة من حيث نشاط البراكين وانتصاب الجبال وانجراف القارات.

14.10 باطن القمر

يرسم علماء الجيولوجيا الصورة الحاضرة لباطن القمر استناداً إلى المعطيات التي توفرها الرحلات الفضائية. وقد كشفت قياسات حقل الثقالة عن وجود تركيزات كتالية mascons مغمورة في البحار الدائرية، يدلُّ وجودها - إضافةً إلى غياب أي نشاط زلزالي ذي بال - إلى أن للقمر طبقة خارجية، أو قشرة crust، صلبة وسميكَةً وباردةً. وقد عُلِمَ أن سُمْكَ هذه القشرة يناهز 60 كيلومتراً (40 ميلاً) على الطرف القريب من الأرض، وأنها أكبر سُمْكَاً عند طرفه البعيد عنها.



الشكل 10.8 بنية القمر.

تلی القشرة طبقة تمتد حتى عمق 1000 كم (600 ميل) تقريباً تسمى المعطف mantle، ثم اللب core الذي يمتد مسافة الـ 700 كم (400 ميل) الأخيرة نحو المركز، ولم تُعرف صفاتُه الفيزيائية حتى اليوم على وجه اليقين، وربما كان مصهوراً جزئياً في درجة حرارة قد تصل إلى 1500 كلفن. ليس للقمر حقلٌ مغناطيسيٌّ حالياً⁽¹⁾، غير أن دراسة صخور قمرية قديمة تشير إلى وجوده في الماضي.

عُين على الشكل 10.8 كلّاً من القشرة، والمعطف، واللب، واذكر العمق التقريري لكل طبقة.

(أ)

(ب)

(ج)

الجواب: (أ) القشرة: 60 كم (40 ميلاً) على الطرف القريب، وأثخن من ذلك على الطرف بعيد؛ (ب) المعطف: 1000 كم (600 ميل)؛ (ج) اللب: 700 كم (400 ميل).

10.15. أحوال السطح

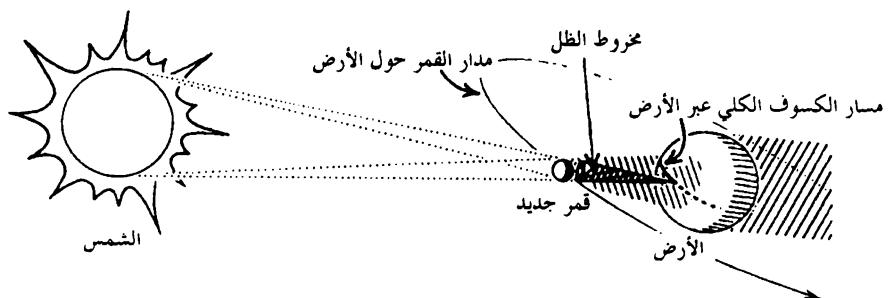
ما زالت التساؤلاتُ عن القمر كثيرة. وتشير المعطيات التي أتاحتها الرحلة القمرية الأمريكية كليمانتين Clementine (1998) إلى وجود صقيع في أعماق الفوَّهات عند القطبين. ويُنتَظر إجراء بحوثٍ عميقَة واستكشافاتٍ تتناول سطح القمر، وكذلك تحليل مزيد من مادته في المستقبل القريب.

لُخص ما تعلّمتَ حتى الآن حول سطح القمر

الجواب: ضمن فقرتك وصف بحار القمر، وفوهاته، وسلالاته الجبلية، وغياب الهواء والماء فيه، وطول نهاره وليله، ودرجات حرارته السطحية.

16.10 كسوف الشمس

يحدث الكسوف الشمسي solar eclipse عندما تقع الأرض والقمر الجديد والشمس طردياً على استقامة واحدة (الشكل 10.9).



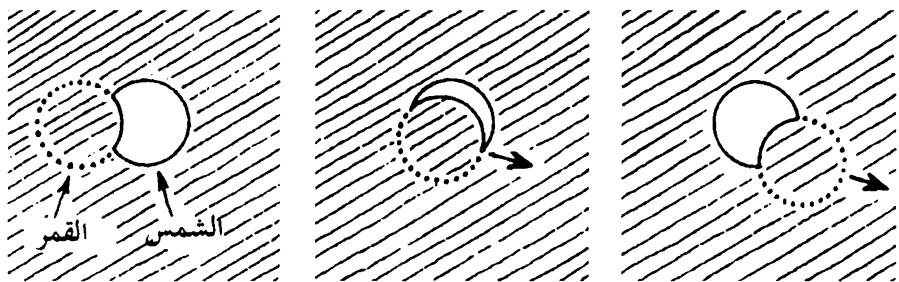
الشكل 10.9 الكسوف الشمسي (دون التقييد بمقاييس رسم معين).

يوصف الكسوف بأنه كلي total عندما يكون القمر أقرب إلى الأرض من طول مخروط ظله. عندئذ يبدو القمر أكبر من الشمس، ويحجب قرصها عن الرؤية تماماً.

لا يدوم الكسوف الكلي أكثر من بضع دقائق (7,5 دقيقة كحد أقصى)، ولا يمكن رصده إلا من أماكن متعاقبة على طول مسار منحنٍ ضيق (لا يزيد عرضه على بضع مئات الكيلومترات) يقع ضمن ظل القمر على الأرض.

ووفقاً للحسابات الفلكية، يُتوقع حدوث كسوف شمسيٌّ كليٌّ آخر بتاريخ 16 تموز (يوليو) من سنة 2186.

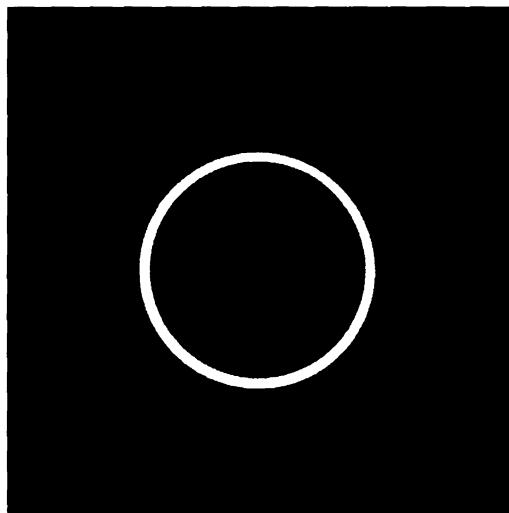
وعلى مساحةٍ أوسعٍ تحداديٍّ جانبيٍّ مسار الكسوف الكلّي، يُرى كسوفٌ جزئيٌّ partial eclipse. وقد يُرى هذا النوع من الكسوف أيضاً عندما لا يقع القمر على مقربةٍ كافيةٍ من خطّ الشمس - الأرض كما يتمكّن من حجب كاملٍ قرص الشمس (الشكل 10.10).



الشكل 10.10 رسمٌ تمهيليٌّ للكسوفِ الجزئيِّ.

ويحدث الكسوفُ الحلقيِّ annular eclipse عندما يكون القمرُ أبعدَ عن الأرض من طولٍ مخروطٍ ظلّه، فيبدو القمرُ أصغرَ من الشمس، ويحجب قرصها الساطعَ كله إلّا حلقةً خارجيةً من ضوئها (الشكل 10.11).

ولا ريب في أنَّ المشهد الكسوف الكلّي سحراً أخاذًا مشوياً بالجلال! فعند مرور القمر أمام الشمس الساطعة تنتشر ظلمةً غير اعتيادية في أرجاء السماء، وتتحفّض درجةُ الحرارة، وتلاحظ النجوم والكواكب ساطعةً في رائعة النهار. وقد ارتبط اختفاء الشمس عند بعض الشعوب فيما مضى بحوادث شؤم وطيرة تنذر بالويل والثبور. أما اليوم فيحرص الفلكيون - محترفين وشداه - على ألا يفوتوها على أنفسهم الفرصة، ولو اقتضى الأمرُ انتقالَهم مسافاتٍ بعيدةً حول العالم، بغية رصد هذا الحدث النادر واستقصاء معطياتٍ فلكيةٍ مهمةٍ منه.



الشكل 10.11. الكسوف الحلقي.

وطبيعيٌ أن تكون فُرْصُك لرصد كسوفٍ كليٍّ وأنت في بلدتك نادرةً جداً، ذلك لأن احتمال حصوله في موقع معين على الأرض لا يعود مرةً واحدة كل 360 سنة، وهذا ضئيل كما ترى. فلعلَّ من المجدى لك - إن كنتَ من المهتمين - أن تنظر في الانضمام إلى حملةٍ تستكشف حوادث الكسوف زماناً ومكاناً، لتحظى بشهود هذه الظاهرة الطبيعية المثيرة. ويدرج الجدول 10.12 أهمَّ حوادث الكسوف الكلّي المقبلة، ومواعيدها المتوقعة.

ما الطور الذي يجب أن يكون فيه القمرُ لكي يحصل كسوفٌ شمسيٌ؟

الجواب: قمرٌ جديدٌ.

17.10 خسوف القمر

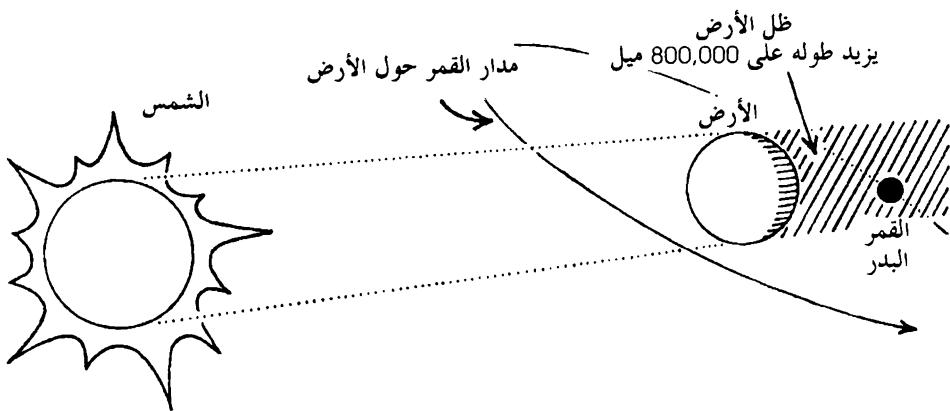
يحدث الخسوفُ القمريُّ lunar eclipse عندما تقع الشمسُ والأرضُ والقمرُ البدر طردياً على استقامةٍ واحدةٍ (الشكل 12.10).

الجدول 10 . 2 حوادث الكسوف الكلّي

المكان المتوقع لرصده	مدة الكسوف الكلّي (ثوانٍ : دقائق)	التاريخ
جنوب الأطلسي، أفريقيا	4:57	21 حزيران (يونيو) 2001
جنوب أفريقيا، أستراليا	2:04	4 كانون الأول (ديسمبر) 2002
القارة القطبية الجنوبيّة	1:57	23 - 24 تشرين الثاني (نوفمبر) 2003
جنوب المحيط الهادئ	0:42	8 نيسان (أبريل) ⁽¹⁾ 2005
أفريقيا، آسيا	4:07	29 آذار (مارس) 2006
القارة القطبية الشماليّة، روسيا، الصين	2:27	1 آب (أغسطس) 2008
الهند، الصين، جنوب المحيط الهادئ	6:39	22 تموز (يوليو) 2009
جنوب المحيط الهادئ، أمريكا الجنوبيّة	5:20	11 تموز (يوليو) 2010
أستراليا، جنوب المحيط الهادئ	4:02	13 تشرين الثاني (نوفمبر) 2012
المحيط الأطلسي، أفريقيا	1:40	3 تشرين الثاني (نوفمبر) ⁽¹⁾ 2013

يُظلم القمرُ عندما يدخل في ظلّ الأرض، إلا أنه مع ذلك يمضي في إصابة شيءٍ من ضوء الشمس الذي ينكسر حول الأرض بتأثير غلافها الجوي. تؤثّر السحب والغيار والتلوّث في لون مظهر القمر ودرجة سطوعه، فتجعله ذا لونٍ أحمر كامد.

(1) كسوف هجين hybrid eclipse، أو كسوف حلقي/كلّي. يتغيّر الكسوف من كلّي إلى حلقي، والعكس بالعكس، عند أجزاء مختلفة من المسار عندما يُحدث تقوّس سطح الأرض تغيّراً كبيراً في بعد القمر.



الشكل 10.12. الخسوف القمري (دون التقييد بمقاييس رسم معين).

ومنذ ما يزيد على ألفي سنة، لاحظ الإغريق أن ظلَّ الأرض يبدو - في أثناء خسوف قمري - دائرياً على القمر. وقد ساقَ الفيلسوف أرسطو Aristotle (384-322 قبل الميلاد)⁽¹⁾ هذا الدليل تعزيزاً لنظرية القائلة بأن الأرض كروية لا منبسطة. كذلك عَرَضَ الفلكيُّ إيراتوسيثينيز Eratosthenes (نحو 276 - 194 قبل الميلاد) أولَ قياسٍ لقطر الأرض تميّز بدرجة معقولة من الدقة.

إن فُرصَ رصد خسوف قمريٍّ كليًّا أكبرُ بكثيرٍ من فُرصَ رصد كسوفٍ شمسيٍّ كليًّا (الجدول 10.3). فالخسوف - عندما يحدث - يمكن رؤيته من أيِّ مكان على الأرض ينير فيه القمر. وتذوق حوادث الخسوف مدةً أطول بكثير من حوادث الكسوف؛ إذ ستبلغ أطول مدةً لخسوفٍ كليٍّ مرتفعَ ساعةً

(1) كتبَ أرسطو في رسالته «حول السماوات» On the Heavens هي الأشكال التي يبدو عليها القمر كلَّ شهرٍ: فقد يبدو مستقيماً أو محدودياً أو منقعاً. أما في أحوال الخسوف فمقوسٌ دوماً. ولما كان توسط الأرض [بين الشمس والقمر] هو الذي يحدث الخسوف، فإنَّ شكلَ هذا الخط [المقوس] يحدُّده شكلُ سطح الأرض، فهي إذاً كروية. (المغرب)

كاملة و 47 دقيقة بتاريخ 16 تموز (يوليو) 2000⁽¹⁾.

ما الطور الذي يجب أن يكون فيه القمر لكي يحصل خسوف قمري؟

الجواب: قمر بدر.

الجدول 10. 3. حوادث الخسوف الكلّي

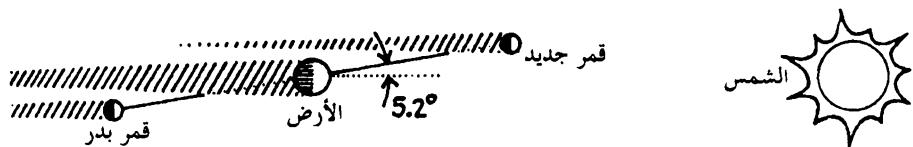
مرئي من أمريكا الشمالية	مدة الخسوف الكلّي (بالدقائق)	التاريخ
لا	107	16 تموز (يوليو) 2000
لا	60	9 كانون الثاني (يناير) 2001
نعم	52	16 أيار (مايو) 2003
نعم	22	8 - 9 تشرين الثاني (نوفمبر) 2003
لا	76	4 أيار (مايو) 2004
نعم	80	28 تشرين الأول (أكتوبر) 2004
لا	74	3 آذار (مارس) 2007
لا	90	28 آب (أغسطس) 2007
نعم	50	21 شباط (فبراير) 2008
نعم	74	21 كانون الأول (ديسمبر) 2010
لا	101	15 حزيران (يونيو) 2011
نعم	52	10 كانون الأول (ديسمبر) 2011

(1) حدث فعلاً. (المغرب)

10.18. أوقات الخسوف والكسوف

إن أكبر عدد لحوادث كسوف وخصوص قد تحدث في عام واحد هو سبعة.

لا يحدث الكسوف والخصوص بالضرورة كلما كان القمر جديداً أو بدرأ، لأن مدار القمر يميل على مستوى مدار الأرض بمقدار 5.2° . وإذا قع القمر معظم الشهور فوق خط الشمس - الأرض أو تحته في طور القمر الجديد والقمر البدر، فلا يمكن أن يحدث أي كسوف أو خسوف لهذا السبب (الشكل 10.13).

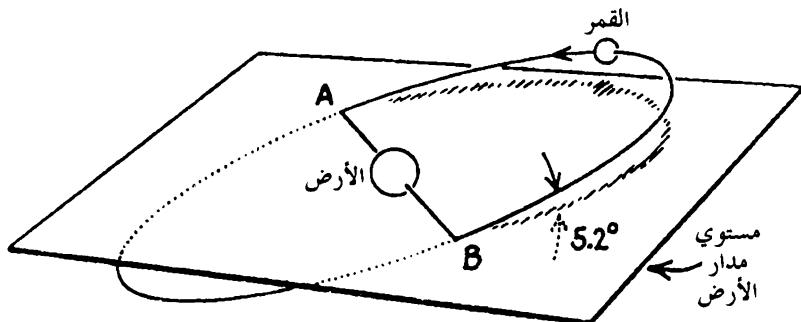


الشكل 10.13. أحوال غير مؤاتية لحدوث الخسوف والكسوف.

يعبر مدار القمر مستوى مدار الأرض عند نقطتين تسمىان العقدتين nodes. تتحرك هاتان العقدتان ببطء غرباً، في ما يسمى تراجع العقدتين regression of the nodes، بسبب الجذب التثاقلي للشمس.

أعم النظر في الشكل 10.14، وعلل لماذا لا يحدث الخسوف إلا عندما يكون القمر عند النقطة A أو النقطة B

الجواب: عندئذ تكون الشمس والأرض والقمر واقعةً طردياً على استقامـة واحدة.



الشكل 14. 10 يميل مستوى مدار القمر بـ 5.2° على مستوى مدار الأرض.

19. 10 الاحتجاج

الاحتجاج occultation هو استئثار جرم سماوي خلف آخر.

والاحتجاج بواسطة القمر هو أكثر هذه الحوادث وقوعاً وأيسراً، فكثيراً ما يمرُّ القمرُ بين الأرض ونجمٍ أو كوكبٍ، مسبباً اختفاءه فجأةً ثم ظهوره من جديد بعد مرور القمر. هذا مع العلم بأن توقعات الاحتجاج القمري متوفرة في المنشورات الفلكية الحالية (انظر «المصادر المفيدة» في نهاية الكتاب).

إذا كان كوكب المشتري أكبرَ من القمر أربعينَ مرَّةً أو يزيد، فكيف يمكن أن يحتاجب المشتري بالقمر؟

الجواب: يبدو المشتري أصغرَ من القمر، لأنَّه أبعدَ عناً منه بكثير.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل العاشر وتمثّلها. حاول الإجابة عن كلّ سؤال جهداً استطاعتك، ثم انظر في الأجبوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. لماذا يرى الراصدون على الأرض وجهاً واحداً من القمر دوماً؟

- 2. كم - على وجه التقرير - تبلغ نسبة القمر إلى الأرض من حيث
 (أ) قطره؟ (ب) كتلته؟
 (ج) معدل كثافته (د) ثقالته السطحية؟

3. قابل المعالم القمرية التالية بأسمائها:

- | | | |
|-------------------|------------------------------|----|
| (1) فوهات. | (أ) أحواض حمم جافة. | -- |
| (2) نجود. | (ب) ثقوب في السطح. | -- |
| (3) بحار. | (ج) مناطق زاهية مرتفعة ووعرة | -- |
| (4) تركيزات كتلة. | وقديمة. | -- |
| | (د) كتل مغمورة من المادة. | -- |

4. هبْ أنك على رأس حملة علمية ترود سطح القمر. أي الأدوات التالية قد يكون مفيدة؟ (أ) خزانات أكسجين إضافية؛ (ب) مسدس ناري وشعلات حرارية؛ (ج) مصباح كشاف؛ (د) بوصلة مغناطيسية؛ (ه) عيدان ثقب؛ (و) خريطة نجمية؛ (ز) مظلة؛ (ح) ساعة يد؛ وضح إجابتك

- 5. ما هو المنشأ المرجح لمعظم الفوّهات على سطح القمر؟
- 6. لماذا كان تغيير معالم السطح أبطأ بكثيراً جداً على القمر منه على الأرض؟
- 7. كم عمر أقدم صخور القمر مما جُمعَ من سطحه؟ وكم عمر أحدهما؟
..... (أ)
..... (ب)
..... 8. مثلّ برسمٍ تخطيطيًّا باطنَ القمر، وعيّن طبقاته الثلاث الرئيسية.
..... (أ)
..... (ب)
..... (ج)
..... 9. اذكر ثلاثة مسائل تتصل بالقمر لما تُحسّم بعد.
..... (1)
..... (2)

..... (3)

10. ما الطور الذي يجب أن يكون فيه القمر لكي يحصل (أ) الكسوف؟
؛ (ب) الخسوف؟

الأجوبة

قارن أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتها صحيحة كلها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأت في بعضها فعد إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقة أكبر إذا تعددت أخطاؤك.

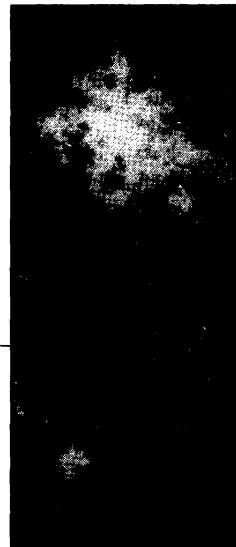
1. لتساوي دورى القمر: المحوري (حول نفسه) والمداري (حول الأرض)، وهذا ما يسمى بالدوران المترافق. (الفقرة 3.10)
2. (أ) 1/4 قطرها؛ (ب) 1/81 كتلتها؛ (ج) 5/3 كثافتها؛ (د) 1/6 ثقالتها السطحية.
(الفقرات 5.10 إلى 7.10).
3. (أ) 3 ؛ (ب) 1 ؛ (ج) 2 ؛ (د) 4. (الفقرات 8.10 و 9.10)
و (14.10)
4. (أ)؛ (ج)؛ (و)؛ (ح). لما كان القمر عديم الهواء والماء والحقلي المغناطيسي، فإن شيئاً مما يتطلب ذلك لن يكون مفيداً. (الفقرات 8.10 و 10.10 و 14.10)
5. أحجار نيزكية صدمت سطح القمر. (الفقرة: 9.10)
6. ليس ثمّ هواء ولا ماء يُحدث حتّى أو تأكلّ على القمر كما هو الحال على الأرض، كما لا يوجد نشاط جيولوجي في القمر مشابه لما هو عليه في الأرض. وتُعد الرؤجم النيزكية الصغيرة التي تهوي على القمر أهمّ عوامل الحفاظ على سطحه. (الفقرات 11.10 إلى 13.10)
7. (أ) نحو 4,6 مليار سنة؛ (ب) 3,1 مليار سنة. (الفقرة 13.10)
8. على الشكل 10.8: (أ) القشرة؛ (ب) المعطف؛ (ج) اللب. (الفقرة

(8.10 والشكل 14.10)

- . 9. (1) ما هو التركيب الكيميائي للسطح في أماكن بعيدة عن موقع هبوط مركبتي أبيلو ولونا؟
(2) هل توجد مياه أو أي مواد طيارة أخرى (ربما أوجدها الأحجار النيزكية أو المذنبات) متجمدة في المنطقة القطبية؟
(3) كيف نشأ القمر؟ (لعلك فكرت بمسائل أخرى).
(الفقرات 10.6 و 10.13 إلى 15.10)

10. (أ) قمر جديد؛ (ب) قمر بدر. (الفقرتان 10.16 و 10.17)

المذنبات والشهب والأحجار النيزكية



عندما يموت الفقراء المعدمون لا يرى أثر لمذنبات مضيئة
تشيعهم؛ في حين تلتهب السماء كلها وتضج لموت الأمراء.

ولiam شكسبيـر (1564 - 1616)

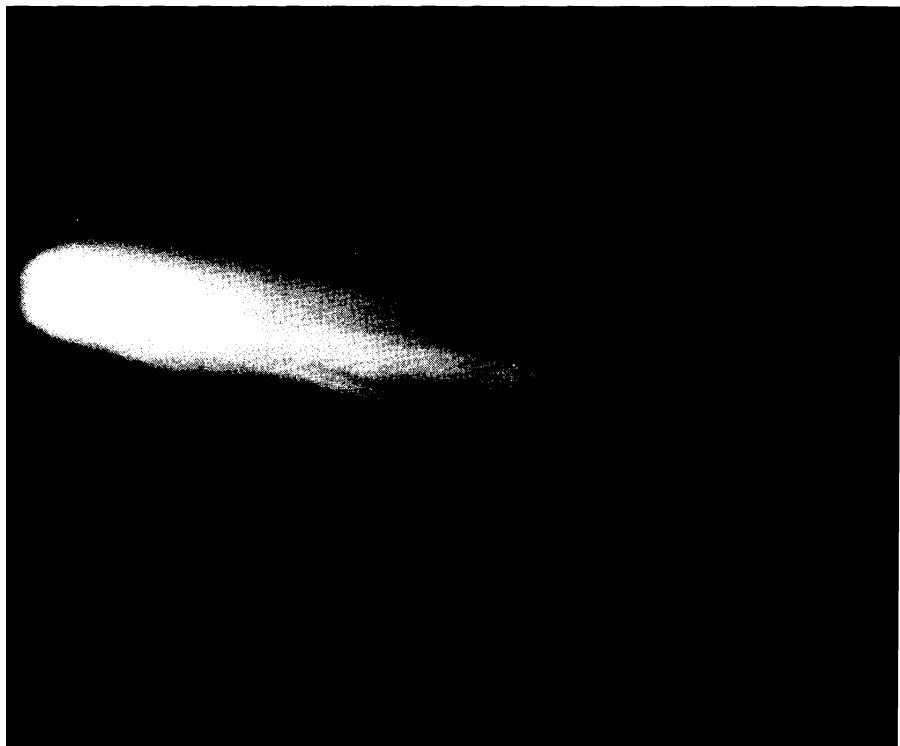
Julius Caesar, II, ii:30

الأهداف:

- بيان سبب أهمية المذنبات والأحجار النيزكية للعلماء.
- وصف النظرية الحالية لمنشأ المذنبات وتركيبها.
- تفسير التغيرات التي تطرأ على مظهر المذنب بتغيير بعده عن الشمس، على أساس النموذج الحالي لبيئة المذنب.
- تحديد العلاقة بين المذنبات ووابلات الشهب.
- التمييز بين النيزك، والشهاب، والحجر النيزكي.
- بيان تركيب الأحجار النيزكية ومنشئها المحتمل.
- ذكر بعض الآثار المحتملة على الأرض لحادثة صدم كبرى بمذنب أو بحجرٍ نيزكي .

1.11 المذنبات

ما برحت المذنبات الساطعة ترُوغُ الناس بسحرها (الشكل 1.11). هذ الأجرام النارية المظهر - خلافاً للنجوم المألوفة - تظهر وتحتفى على نحو غير متوقع. ويرقى سجل المذنبات الساطعة إلى القرن الرابع قبل الميلاد وظهورها مرتبطة تاريخياً بما تشيره في نفوس الناس من الهلع، لما يعتقدون من أنها تُدرّ كوارث إنسانية وشيكّة كالحروب والمجاعات وغيرها.



الشكل 1.11 مذنب هالي الشهير كما ظهر بتاريخ 16 آذار (مارس) سنة 1986، أي بعد خمسة أسابيع من أحدث مرورِ له ببنقطة الرأس (الأوج)

ونحن نعلم اليوم علم اليقين أن المذنبات comets عناصر جليديةٌ من أفراد منظومتنا الشمسيّة، تطوف في مدارات إهليجية حول الشمس، وتحضى

لقوانين الفيزياء الأساسية، ولا تنطوي على أية دلالات فوق طبيعية على الإطلاق.

(أ) ما الانطباع السائد لدى العامة تاريخياً حول المذبنات؟

(ب) ما هي الرؤية الفلكية الحديثة للمذيبات؟

الجواب: (أ) كان يُنظر إلى المذَّبَّات على أنها إرهاصات فوق طبيعية تُثْزِّر بشدائٍ إنسانية مُحدقة؛ (ب) المذَّبَّات عناصر جليدية تتّنمي إلى المنظومة الشمسيّة، وتسرى عليها قوانين الفيزياء الطبيعية، ولا تنطوي على أية مفاهيم مخبوءة.

2.11 أهمية المذنّيات

للمذَّبَات التي تظهر في سمائنا أهمية خاصة، حتى وإن لم تكن ساطعة، وتكمِّن أهميتها في أنها ربما كانت الأجرام الوحيدة الباقية، الحاملة للمادة الأصلية التي تكونت منها المنظومة الشمسيَّة برمَّتها منذ نحو خمسة مليارات سنة. فالأرض، والقمر، وسائر الأجرام السماوية شهدَتْ تغييرات جذرية بفعل عمليات تكتونية وعوامل حتَّى وحوادث صدِّمٍ كثيرة، ولم يبقَ من الأجرام على حاله يومُ وُجد سوى المذَّبَات.

ومذنب هالى Comet Halley من أكثر المذنبات التي كانت - ومازالت - محل دراسة وبحث ، علمًا بأن العلماء يفترضون أن لسائر المذنبات التركيب نفسه . من أجل ذلك انبرى علماء وباحثون في خمسين دولة لنشر أكثر تجهيزاتهم تقدماً على الأرض وفي الفضاء ، في حملة دولية لرصد مذنب هالى International Halley Watch في أثناء ظهوره سنة 1986 . وهم يزمعون إرسال مركبات فضائية

مستقبلية لقاء مذنب آخر دراسته عن قرب لسنوات كثيرة.

..... ممَّ تبع أهمية المذيبات؟

الجواب: إنها مصدرنا الأمثل لرصد المادة الأصلية التي منها تكون كلُّ ما في المنظومة الشمسية.

11.3 بنية المذنب

سُميَّت المذيبات بهذا الاسم تبعاً لمظهرها؛ فكلمة Comet تقابل باليونانية واللاتينية كلمتين (هما *kometes* و *cometa* على الترتيب) تعنيان «ذو الشعر الطويل».

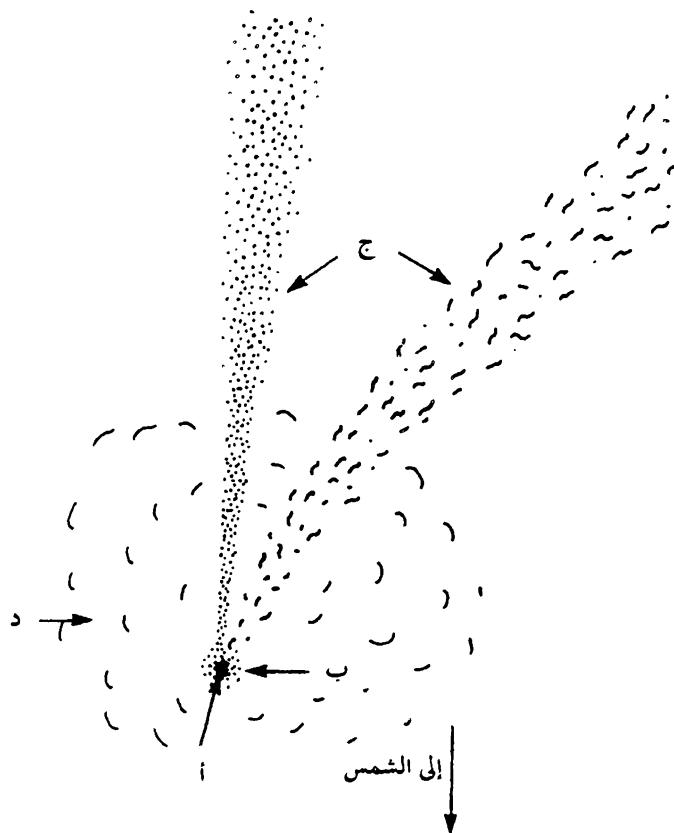
يُرى للمذنب الساطع في جو السماء رأسٌ ذو لبٍ نجميٍّ الشكل يسمى النواة nucleus تحيط بها حالة متوجهة تسمى الذئابة coma، وذيلٍ tails طولية شفافة. أما النواة فيبلغ قطرها عدة كيلومترات؛ وأما الذئابة فقد تمتد 100،000 كم (60,000 ميل) أو أكثر خارج النواة؛ وأما الذيل فتنتشر ملايين الكيلومترات في الفضاء.

وتدلُّ أرصادٌ فوق بنفسجية أجريت من مركبات فضائية على وجود سحابة هيدروجينية hydrogen cloud عظيمة مغلفة، لا تُرى من الأرض، قد يبلغ قطرها عشرات ملايين الكيلومترات.

عُد إلى الشكل 2.11 وعيّن الأقسام الرئيسية لمذنب ساطع نموذجي:

(أ) ؛ (ب) ؛ (ج) ؛ (د)

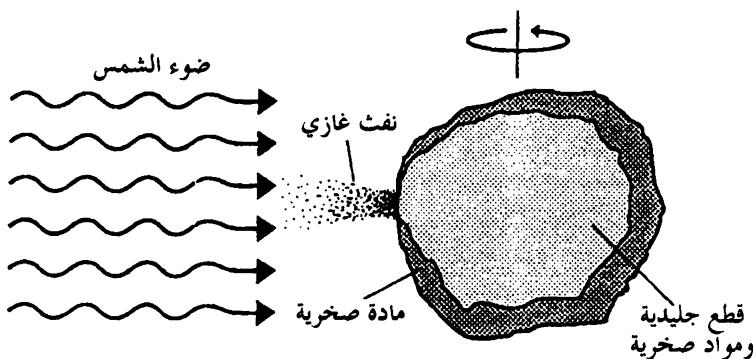
الجواب: (أ) النواة؛ (ب) الذئابة؛ (ج) الذيل؛ (د) السحابة الهيدروجينية.



الشكل 2.11 أقسام المذنب الرئيسية.

4.11 النواة

يترجح أن ميلارات المذنبات تطوف بعيداً في أقصى المنظومة الشمسية، لكنك لا تستطيع رؤيتها من الأرض؛ فهي لا تسطع في السماء إلا إذا تحركت قرباً من الشمس. يذكر أن أكثر النماذج الوصفية قبولاً لمذنب نموذجي هو ما يطلق عليه اسم نموذج كرة الثلج الملوثة dirty snowball model الذي اقترحه الفلكي الأمريكي فرد ويبل Fred Whipple سنة 1950 (الشكل 3.11).



الشكل 3.11 نموذج «كرة الثلج الملوثة» لمذنب.

فعندما يكون المذنب في أقصى المنظومة الشمسيّة، يكون مؤلّفاً من نواة فقط، ويتميز بشكلٍ وسطح غير منتظمين. تتألف النواة في المقام الأول من جليدٍ مائيٍّ وغازات متجمدة أخرى ((«الثلج»)، ممزوجة بأجسامٍ صلبة حجرية أو معدنية ((«الوسمخ»))، وتكون كثافتها وثقلاتها السطحية منخفضتين جداً.

في رحلة تاريخية رائدة، أطلقت وكالة الفضاء الأوروبية European Space Agency مركبة الفضاء الربوطية غيوتو Giotto، التي غاصلت في رأس مذنب هالي واحتقرته حتى باتت على بُعد 600 كيلومتر (375 ميلاً) من النواة الجليدية الدوامة، واحتبرت عينات من الغبار والغاز مباشرةً، وبثت راديوياً معطيات إلى الأرض لتحليلها.

وقد عثِرَ على أن النواة سوداء قاتمةً بقياس 8×15 كم (5×9 ميل) تقريباً، وتدور حول نفسها مرةً كل نحو 2,2 يومين.

وُجِدَ أيضاً أنَّ من مظاهر عدم انتظام سطح المذنب وجود شقوقٍ وفلوقٍ وفوَّهات محتملة، وأنَّ نحو 10 في المئة من السطح يحتوي على صدوعٍ تبثق منها نفاثاتٍ من الغبار والغاز - ولاسيما بخار الماء - باتجاه

الشمس، في حين تغطي باقي السطح طبقة غبارية سوداء قاتمة عازلة قدرت ثخانتها بنحو ستيمتر واحد، يغلب أنها تختلف عن انطلاق غازات طيارة من خلال ممرات كثيرة للمذنب حول الشمس.

وتبيّن أن نسبة 80 في المئة من حجم الغازات المنطلقة من النواة هي بخار ماء، إضافة إلى مركبات أخرى، منها ثنائي أكسيد الكربون، وأحادي أكسيد الكربون، والنشارد، والميتان؛ وأن بعض حبيبات الغبار هي من السيليكات، في حين أن بعضها الآخر يحتوي فقط على عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين والآزوت.

ويشير فضول العلماء وجود الكربون في مذنب هالي على شكل جزيئات عضوية معقدة، قد يكون لها أهمية بيولوجية خاصة.

مم تتألف نواة المذنب؟

الجواب: يصف نموذج كرة الثلج الملؤنة نواة المذنب بأنها مؤلفة في معظمها من جليد مائي وغازات متجمدة أخرى ممزوجة بمواد صلبة.

11. ذئابة المذنب

عند دخول نواة مذنب من حافة المنظومة الشمسية مسافة تبعد عن الشمس بضع مئات ملايين الكيلومترات، تسخن هذه النواة، وتتسامى الغازات، وتتنفلت إلى الفضاء مع غبار من سطحها. ولما كانت قوة ثقالة المذنب أضعف بكثير من أن تكبح انطلاق الغازات والغبار، تتمدد هذه نحو الخارج حول النواة بقطر آلاف الكيلومترات، مؤلفة ذئابة المذنب.

يضيء المذنب عندما تتقملور الغازات ويعكس الغبار ضوء الشمس.

ويستعمل الفلكيون مقاريب كبيرة لرصد نحو 25 من بقع الضوء الضبابية هذه كلّ سنة.

..... ما سبب نشوء الذؤابة؟

الجواب: حرارة الشمس (التي تتسبّب في تسامي جسيمات الغاز والغبار وتمدّدها).

11. الذيول

عند اقتراب مذنبٍ من الشمس، فقد يؤلّف ذيولاً من الغازات والغبار المنطلقة من النواة.

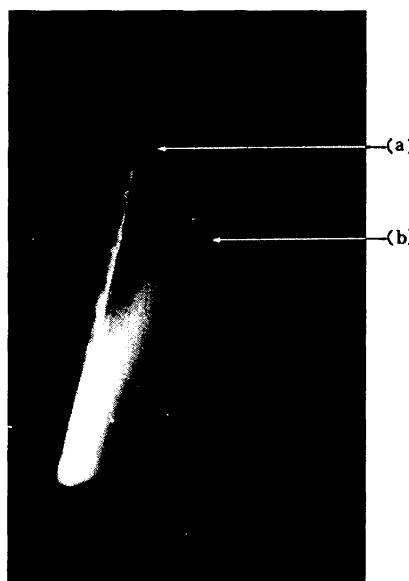
يفكّك الإشعاع فوق البنفسجي الغازات إلى جذور حرة (شظايا جزيئية وأيونات). تتأثر interact الأيونات والجسيمات المشحونة المنطلقة من الشمس في الريح الشمسية، وتنجرف الأيونات في آخر المطاف ملايين الكيلومترات لتؤلّف ذيلاً غازياً gas tail أو ذيلاً أيونياً ion tail.

إن ضوء الشمس الشديد الذي يسقط على جسيمات الغبار يُكسِبُها قوة صغيرة تسمى ضغط الإشعاع radiation pressure. يدفعُ ضغطُ الإشعاع جسيمات الغبار نحو الخارج بعيداً عن الشمس. يستمر المذنب في الحركة على حين يبدأ ذيل غباري dust tail بالتقوّس خلفه، علماً بأن ذيول المذنبات رقيقة جداً بحيث يمكن رؤيتها النجوم في الطرف الآخر من خلالها.

تُواصلُ الجزيئات والذرات المحايدة تمدّدها نحو الخارج بدءاً من النواة، إلى أن تتأين. تكون ذرّة الهيدروجين (التي هي أكثر الذرات شيوعاً) سحابة الهيدروجين الهائلة. وقد لوحظ في مذنب هالي أن سحابة الهيدروجين المحيطة بنواته قد تعاظمت إلى قطر يناهز عدة مئات الآلاف من الكيلومترات.

رُصدت آثار أيونات الهيدروجين التي حرَّرها مذنب هالي في الرياح الشمسية من مسافة 35 مليون كم (21 مليون ميل) من النواة. كما لوحظ ما يسمى الصدمة القوسية bow shock - وهي موجة صدم تنشأ حيث تعمل غازات المذنب على إعاقة الرياح الشمسية وإبطائها - من مسافة تقارب 400,000 كم (240,000 ميل) أمام المذنب.

في الشكل 4.11، عين الذيل الغازي (الأيوني)، والذيل الغباري، واذكر سبب تكون كلّ منهما.



الشكل 4.11 مذنب مرکوس بذيلين نموذجيين.

(أ)

(ب)

الجواب: (أ) الذيل الغازي؛ الرياح الشمسية؛ (ب) الذيل الغباري؛ ضغط الإشعاع.

7.11 اختفاء المذنب

لا يمكن التنبؤ بمصير المذنب مادام يتسارع بلا هواة مقترباً من الشمس. فقد تصدر عن نواته نفاثات غازية وغبارية عنيفة تفضي إلى تغيير حركته المدارية.

وإذا طاف المذنب حول الشمس دوراً كاملة، استمر على مداره عائداً إلى الفضاء الخارجي القارس. تتخلّف بعض مادة المذنب في حين يتجمد الباقي من جديد، وتختفي الذئابة والذيل.

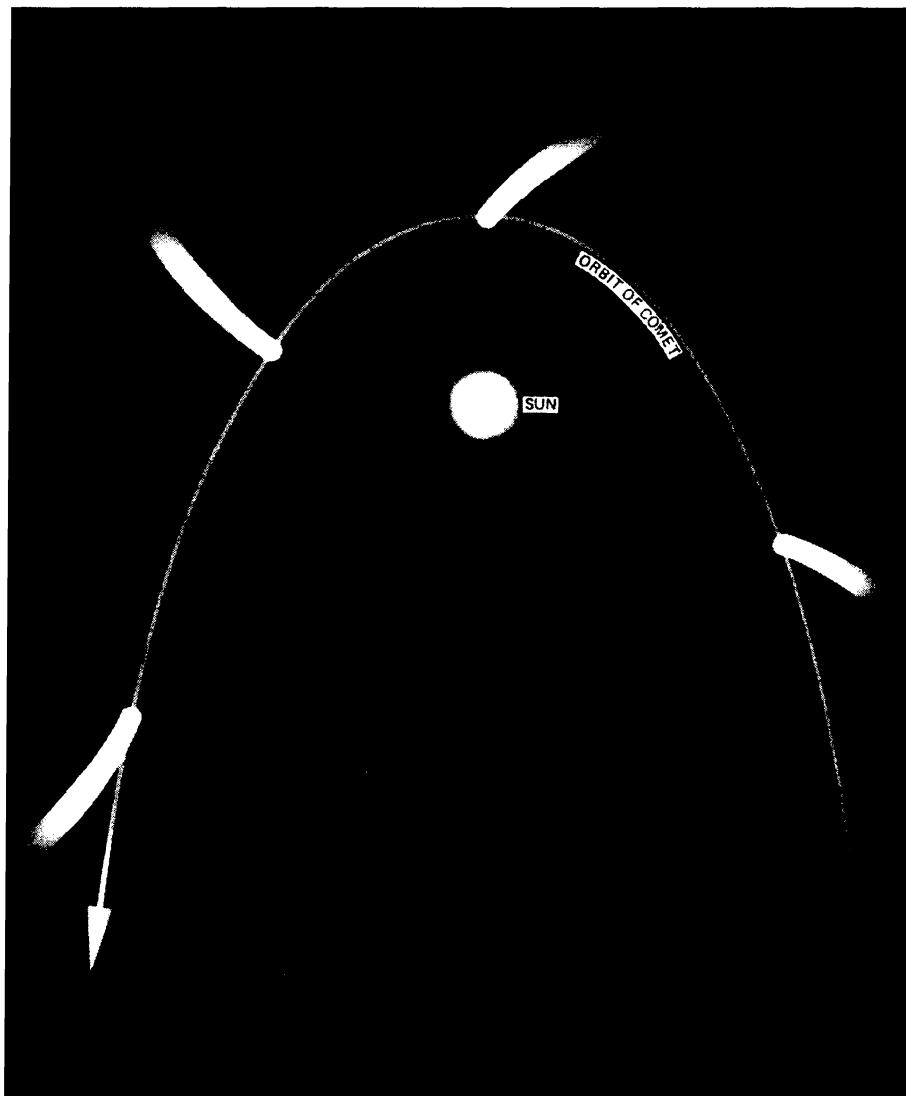
تمر بعض المذنبات على مقربة دائمة جداً من الشمس المضطربة، تودي بها فتحطم أو تتفكك. وقد يحدث أحياناً أن يهوي أحدهما داخل أتون الشمس مباشرة ولا يبقى له أثر.

بالاستعانة بالشكل 5.11 علّ لماذا تعود المذنبات إلى الفضاء الخارجي بذيلها أولاً.....

الجواب: بالنظر إلى أنَّ ذيول المذنبات تتكون بفعل ضغط الإشعاع الشمسي والريح الشميسية، وكلاهما متوجه دوماً بعيداً عن الشمس، اقتضى ذلك أن يتوجه الذيل بعيداً عن الشمس أيضاً.

8.11 منشأ المذنبات

في الخمسينيات من القرن العشرين استنبط عالم الفلك الهولندي جان أورت Jan Oort (1900 - 1992) نموذجاً حظي بقبولٍ واسع في الأوساط الفلكية، يرى أنَّ المذنبات التي نرصدها تولدت ضمن غلاف قشرى هائل من جمّهرة أجرام جليدية تبعد عن الشمس 50,000 - 100,000 مرة بعد

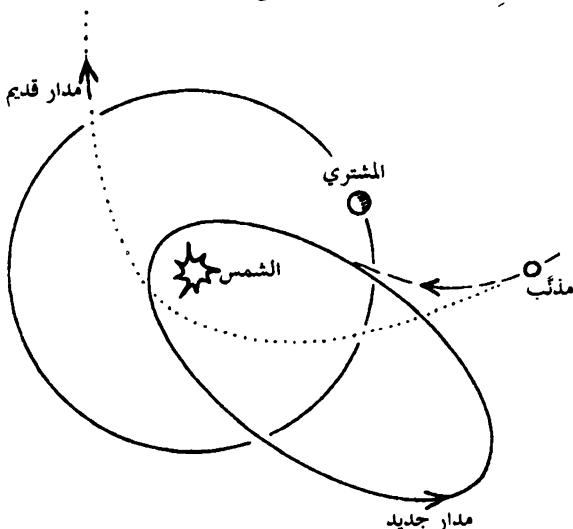


الشكل 5.11 مسار مذنب عند نقطة الرأس.

الأرض عنها. تلك هي سحابة أورت Oort cloud التي تقع عند ثلث المسافات تقربياً إلى أقرب النجوم، وقد تستوعب 100 مليار مذنب أولي.

يحدث بين حين وآخر أن يؤثر نجم عابر بقوة شد على مذنب، فيُبطئ حركته ويُهوي باتجاه الشمس. ذلك المذنب يكون مذنبًا طويلا الدور long-period comet، مداره على شكل قطع مكافئ تقريباً، ويقع دوره المداري حول الشمس ما بين 20,000 سنة و ملايين السنين.

ولو مر المذنب قريباً من كوكب عملاق - لاسيمما المشتري - تأثر بثقالة الكوكب القوية، وربما أدى ذلك إلى أن يهوي المذنب داخل الكوكب، أو أن يتسرّع متقدعاً خارج المنظومة الشمسية، أو أن يدور حول الشمس في مدار إهليلجي قصير الدور نسبياً (الشكل 6.11).



الشكل 6.11. إن الثقالة القوية للكوكب المشتري تسبب اضطراباً في حركة مذنب عابر طويل الدور على مداره، وتحمله على اتخاذ مدار جديد قصير الدور حول الشمس.

..... ما المنشأ المحتمل للمذنبات التي نرصدها؟

الجواب: سحابة هائلة من المذنبات قرب حافة المنظومة الشمسية.

٩.١١ المذنبات الدورية

صنفَ علماء الفلك نحواً من 150 من المذنبات القصيرة الدور short-period comets أو المذنبات الدورية periodic comets التي تقارب أدوارها المدارية حول الشمس عدة سنوات، وقد تصل إلى 200 سنة. وتسطع هذه المذنبات في السماء دورياً كلما دنست من الشمس.

ويُعدُّ مذنب هالي Comet Halley أشهر المذنبات وأكثرها اطراداً من حيث سطوعه، إذ سُجل منذ سنة 240 قبل الميلاد ثالثين مروراً أوجياً (عند نقطة الرأس)، وجرى رصده مقرابياً لأكثر من ثلاطة سنوات قبل ظهوره بتاريخ 9 شباط (فبراير) 1986 وبعده. يلاحظ أن مذنب هالي هو أفضل المذنبات التي أخضعت لتحليل علميٍّ مستفيض حتى اليوم.

يدرج الجدول ١.١١ أسماء بعض المذنبات التي ظهرت عدة مرات في سمائها. ما أقصر دورٍ مداريٍّ معروفٍ لمذنب؟.....

الجواب: 3,3 سنوات (مذنب إنكبي Encke).

الجدول ١.١١ بعض المذنبات الدورية.

المذنب	دوره ^(١) (بالسنوات)	أدنى اقتراب له من الشمس (بالوحدات الفلكية)
encke /P2	3,3	0,33
Giacobini-zinner /P21	6,6	1,03
Wolf /P14	8,2	2,41
Tempel-Tuttle /P55	33,2	0,98
Halley /Haley	76,0	0,59

ملاحظة: لما كانت أسماء المذنبات عرضة للتغيير، فقد وسّم الاتحاد الفلكي الدولي كلًّا مذنبًّا بحرف P مسبوقاً برقم الدور - المذنب، المحدد وفق الترتيب الذي جرى فيه تعرُّف الصفة الدورية للمذنب.

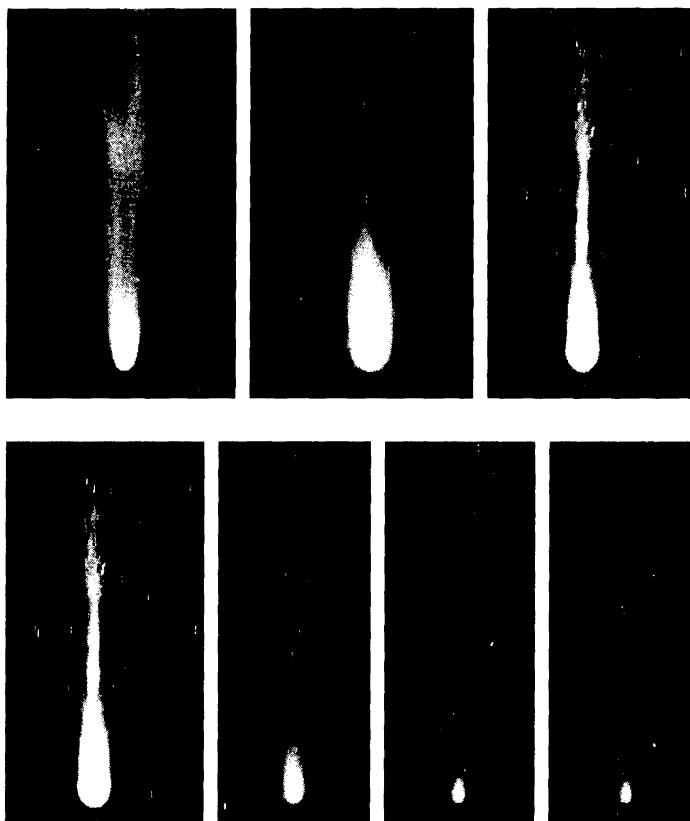
10.11 مصير المذنبات

من غير الممكن أن ينশط مذنبٌ دوريٌّ بتوليد ذئبٍ جديدة أو ذيولٍ جديدة بلا حدود؛ فنواته تفقد طبقةً سطحيةً بعمق عدة أمتار في كلٍّ مرةٍ ينجزُ فيها دورةً حول الشمس، ويتشوّشُ مداره بالمخلفات الغبارية والغازية؛ إذ يُخلف مذنبٌ هالي وراءه زهاء 1 في المئة من كتلته في أثناء كلٍّ مرورٍ أوجيٍّ له (الشكل 7.11).

يفقد المذنب الدوري في نهاية الأمر كاملَ مادته الطيارة، وقد لا يبقى منه إلا قطعٌ كبيرةً غليظةٌ وشظايا صغيرةٌ صلبة. تستمر أنقاض المذنب طوافَةً حول الشمس كأنها كواكبٌ صغيرة.

اذكر باختصار خمسةٌ من التغيرات التي تطرأ على مظهر مذنبٍ يطوف في مداره حول الشمس.....

الجواب: 1. بعيداً عن الشمس، يتآلف المذنب من نواةٍ من غازاتٍ متجمدةٍ وغبار. 2. تتكونُ الذئبٌ باقتراب المذنب من الشمس. 3. قريباً من الشمس، تتكونُ الذيول. 4. بعد الطواف بالشمس، يتجمدُ من جديدٍ مقدارٌ كبيرٌ من مادة المذنب. 5. بعيداً عن الشمس ثانيةً، تندثر الذئبٌ والذيول.



الشكل 7.11 مظهر مذنب هالي في سبعة أيام مختلفة، وقد تراجع عن الشمس بعد ظهوره سنة 1910.

11.11 اكتفاء المذنبات

في كل عام تكتشف عدة مذنبات جديدة، يجد الفلكيون المحترفون بعضها من المعطيات الفلكية التي بين أيديهم وهم في مراصدهم، ويقع الهواة المجتهدون على بعضها الآخر.

تنسب المذنبات عادة إلى مكتشفيها. غير أن ثمة استثناءات يحمل المذنب فيها اسم أول من حدد مداره رياضياً، كمذنب هالي نسبة إلى إدموند هالي (Edmond Halley 1656 - 1742). وقد يرتبط اسم مذنب جديد

بالأشخاص الثلاثة الأول الذين يبلغون عن رصدهم له. وإذا بات اكتفاء المذبنات نشاطاً دولياً واسع الانتشار، فإنك تجد أحياناً أسماء عويصة اللفظ من قبيل المذنب القصير الدور (5,3 سنوات) المسماة هوندا - مركس - پاجدوساكوفا !Comet Honda-Mrkos-Pajdusakova

..... كيف يمكنك أن تصنع مجدًا خالدًا من مذنب؟

الجواب: اكتشف مذنبًا، وسيحمل اسمك إلى الأبد.

12. مخلفات بينكوبية

يحتل المنظومة الشمسية الداخلية نثار لا حصر له من المادة يسمى النيازك meteoroids .

وال الأرض محاطة بغيار بينكوببي يرصد عند الأطوال الموجية تحت الحمراء. تدخل النيازك الغلاف الجوي للأرض باستمرار، ويجمعها علماء الفلك على ارتفاعات عالية من الصفائح الجليدية في المناطق القطبية الشمالية ومن قيعان المحيطات، لأغراض التحليل العلمي المخبري. هذه النيازك شبيهة بحبسيات الغبار التي تلفظها نواة مذنب هالي (الشكل 11.8).

..... ما هو النيزك؟

الجواب: جسم صلب طواف في الفضاء حول الشمس.

13. الشهاب

هل أضمرت يوماً في نفسك أمنية على «نجم هاو» shooting (falling) star ؟ إن هذه الومضات الضوئية ليست نجوماً على الإطلاق، بل هي شهب meteors : خطوط من الضوء ولدتها نيزك هوث عبر الغلاف الجوي للأرض بسرعات قد تصل إلى 72 كم/ثا (45 ميل/ثا)، ثم احترقت هذه الجسيمات



الشكل 8.11 قطعة من غبار مذنب، مكِبَّرة 15,000 ضعف.

الصغيرة باحتكاكها بالهواء وهي على ارتفاع ما بين 60 و 110 كم (40 و 0 ميلاً) فوق الأرض⁽¹⁾.

في أي ليلة صافية دامسة الظلمة بإمكانك أن تعاين نحو ستة شهاب في الساعة تومض في السماء فجأةً دون سابق إشارة. يحدث مثل ذلك في النهار أيضاً، لكنه لا يكون مرئياً بسبب شدة سطوع السماء نهاراً.

(1) عندما يدخل نيزك meteoroid غلافنا الجوي يسخن بالاحتكاك، وتسمى مخلفاته مد الغازات الساطعة شهاباً meteor يحترق قبل وصوله الأرض؛ فإذا بلغ النيزك سطح الأرض سُمي حجراً نيزكياً meteorite. (المغرب)

وإذا كان النيزكُ الهاوي ضخماً، ولد شهاباً بالغ السطوع يسمى كرة النار أو الشهاب الوهاج fireball. وقد يحدث أحياناً أن تسلّم هذه النيازكُ - أضخمها - جزئياً بعد سقوطها الناري. فقد رُصدت بتاريخ 8 آذار (مارس) 1976 كرة نارية حمراء مثيرة بحجم القمر البدر، عاينها عشراتآلاف الناس على مساحة واسعة تقع شمال الصين. ثم رصدوا تحطمها العنيف عندما صارت على ارتفاع 17 كم فوق مدينة كيرين Kirin. وبعد ارتطامها الانفجاريّ بالأرض أخذت عينات من شظايا كبيرة وصغيرة منها ليتولى العلماء دراستها معملياً.

..... ما هو الشهاب؟

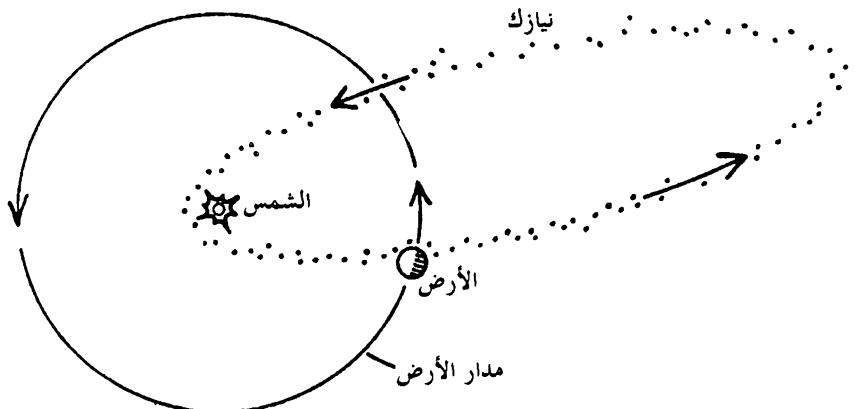
الجواب: شريطٌ من الضوء يمكن رصدهُ عندما يحترق نيزكٌ لدى دخوله الغلاف الجويّ للأرض.

14.11 وابل الشهب

في مواعيد كثيرة يمكن التنبؤ بها من كل سنة، يمكنك رصد الشهب تنهمراً انهماراً من جزء واحدٍ من السماء. تسمى هذه الظاهرة وابل الشهب meteor shower. وترتبط وابلات الشهب بالمذنبات، فتتحدد عندما تعبر الأرض - وهي تسعى في مدارها حول الشمس - جمهرةً من نيازك خلفها مذنبٌ نشط (الشكل 11.9).

في سنة 1910 ذعر الناس عندما أوشكت الأرض على اختراف ذيل مذنب هالي. ماذا تتوقع أن يحدث لو اخترقت الأرض ذيل مذنب فعلاً؟

الجواب: وابل شهب ساطع (لكنه حميد).



الشكل 9.11 يحدث وابل الشهب عند مرور الأرض قرب مدار مذنب، واحتراقها حسداً من النيلزك.

15.11 أفضل العروض الشهابية

تبعد الشهب - عند حدوثها - صادرة كلها من نقطة واحدة مشتركة في السماء تسمى **مبنيق الشهب** radiant. وتُنسب وابلات الشهب عادةً إلى الكوكبة التي يتراهى الوابل ناشئاً عنها، من قبيل وابل شهب فرساوس Perseids نسبةً إلى كوكبة فرساوس Perseus، ووابل الجبار Orionids نسبةً إلى كوكبة الجبار Orion.

يزداد إمكان رصد الشهب عادةً بعد منتصف الليل، منه قبله؛ ذلك لأن الأرض الطوافة في مدارها تكون عند الفجر مندفعـةً «بوجهها» مباشرةً عبر تجمعـات الجسيـمات⁽¹⁾. وأفضل ما تُرصد وابلات الشهب بالعين المجردة في الليالي التي لا يكون فيها القمر ساطعاً، فالقمر البدر يطمس جودة الرؤية.

(1) يمكن تمثيل هذا الفرق بمثالي من حياتنا: فأنـت إذا ركضت تحت المطر أصـابـ البـلـدـ صـدـركـ أـكـثـرـ مـاـ يـصـيـبـ ظـهـرـكـ. هـكـذـاـ يـقـدـمـ جـانـبـ الـفـجـرـ الـأـوـلـ مـنـ كـوـكـبـنـاـ نحوـ الـأـنـقـاضـ الـنـيـزـكـيـةـ الـقـرـيـةـ مـاـ فـيـ الـفـضـاءـ،ـ فـيـ حـنـ يـتـعـدـ جـانـبـ الـلـيـلـ عـنـهـ.ـ (ـالـعـرـبـ)

ويُدرج الجدول 2.11 أبرز وابلات الشهـب السنوية. ولما كان نشاط الوابل عـرضـة للتغيـر بـمرورـ الزـمنـ، فمن الأـجـدـى الرـجـوعـ إـلـىـ المـنـشـورـاتـ الفـلـكـيـةـ الـحـدـيـثـةـ (انـظـرـ «ـالـمـصـادـرـ الـمـفـيـدـةـ»ـ فـيـ نـهاـيـةـ الـكـتـابـ)ـ لـلـحـصـولـ عـلـىـ تـفـاصـيـلـ عـنـ أـفـضـلـ الـوـابـلـاتـ لـلـعـامـ الـحـالـيـ.

بالاستعـانـةـ بـالـجـدـولـ 2.11ـ، سـمـ أـكـبـرـ وـابـلـ شـهـبـ صـيفـيـ يـمـكـنـ رـصـدـهـ،ـ عـنـدـ درـجـةـ سـطـوـعـهـ الـأـعـظـمـيـ،ـ منـ خـطـ العـرـضـ 40°ـ شـمـالـاـ،ـ وـاذـكـرـ مـوـعـدـهـ

الجواب: فرساوس؛ 12 آب (أغسطس).

الجدول 2.11 أهم وابلات الشـهـبـ السنـوـيـةـ

وابـلـ الشـهـبـ	تـارـيـخـ سـطـوـعـهـ الـأـعـظـمـيـ	المـعـدـلـ السـاعـيـ التـقـريـبـيـ	المـذـنـبـ المرـتـبـ بـهـ
شهـبـ العـوـاءـ	3 كانـونـ الثـانـيـ (يناـيرـ)	30	
الـشـهـبـ الشـلـيـاقـيـةـ	23 نـيسـانـ (أـبرـيلـ)	8	1861
شهـبـ سـعدـ الـأـخـيـةـ	4 أيـارـ (ماـيوـ)	10	(ربـماـ) هـالـيـ
وابـلـ الدـلـوـ	30 تمـوزـ (يـولـيوـ)	15	
شهـبـ فـرـساـوسـ	12 آـبـ (أـغـسـطـسـ)	40	سوـيفـتـ - تـيلـ
شهـبـ الـجـبارـ	21 تـشـرـينـ الـأـوـلـ (أـكتـوبرـ)	15	(ربـماـ) هـالـيـ
شهـبـ الثـورـ	4 تـشـرـينـ الثـانـيـ (نوـفـمـبرـ)	8	إنـكـيـ
شهـبـ الـأـسـدـ	16 تـشـرـينـ الثـانـيـ (نوـفـمـبرـ)	6	1866 تـيلـ
شهـبـ الـجـوـزـاءـ	13 كانـونـ الـأـوـلـ (ديـسمـبرـ)	50	كـويـكـبـ فـيـثـونـ
وابـلـ الدـبـ الـأـصـغرـ	22 كانـونـ الـأـوـلـ (ديـسمـبرـ)	12	تـيلـ

16.11 حوادث سقوط صخري (الأحجار النيزكية)

عندما تسقط قطعة حجرية أو معدنية من الفضاء الخارجي على الأرض تسمى رجماً أو حجراً نيزكياً . meteorite

لم تسجل - في التاريخ الحديث - أي واقعة قُتِلَ فيها بَشَرٌ من حجر ساقط من السماء. ويعتقد أن مئات أطنان المادة الكونية تصلك الأرض سنوياً مختربة غلافها الجوي، غير أنَّ حجرين أو ثلاثة أحجار نيزكية لا أكثر قد تهبط كُلَّ نحو عشرة سنوات في أماكن مأهولة، لكنها - مع ذلك - لا تقاد تسبباً في وقوع إصابات تُذَكَّر.

يزن أكبر حجر نيزكي سقط على الأرض حتى الآن - وهو حجر هوبا ويست Hoba West - نحواً من 66 طناً، وما زال موجوداً في جنوب غرب أفريقيا حيث هبط. وقد جرت العادة على أن يسمى الحجر النيزكي باسم أقرب مكتب بريد من موقع هبوطه. يجدر بالذكر أنَّ كثيراً من الأحجار النيزكية الكبيرة معروضُ اليوم في متاحف مختلفة من العالم (الجدول 11.3).
ما هو الحجر النيزكي ؟

الجواب: قطعة حجرية أو معدنية من الفضاء الخارجي .

الجدول 11.3 أحجار نيزكية كبيرة معروضة في الولايات المتحدة .

اسم الحجر النيزكي	وزنه التقريبي	مكان وجوده الحالي
آنغيتيو (غرينلاند)	34 طناً	المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي (مدينة نيويورك)
ويلاميت (أوريغون)	14 طناً	المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي (مدينة نيويورك)
فيرناس كاونتي (نبراسكا)	1 طن	جامعة نيومكسيكو
باراغولد (آركنسو)	800 رطل إنكليزي	متحف شيكاغو للتاريخ الطبيعي

11.17 تركيب الأحجار النيزكية

إذا كنت مستعداً لإنفاق مزيد من المال، فما عليك إلا أن تفتّش عن حجرٍ نيزكي! فما أكثر العلماء والهواة الذين ينفقون بسخاء في سبيل اكتناء مادة أصلية خالصة من الفضاء الخارجي، لأنهم يدركون أن الأحجار النيزكية هي المادة الوحيدة البُكْر الآتية من الفضاء (سوى صخور القمر وتربيته مما عادت به مركبتاً أبولو ولونا)، التي يستطيع العلماء دراستها عن قرب.

تصنيف الأحجار النيزكية في ثلاثة أنواع تبعاً لتركيبها:

- (1) **الأحجار النيزكية الحديدية** iron meteorites، وتبلغ كثافتها ثمانية أضعاف كثافة الماء تقريباً، وتتألف أساساً من الحديد (بنسبة تقارب 90 في المئة) والنيكل.
- (2) **الأحجار النيزكية الصخرية - الحديدية** stony- iron meteorites، وتبلغ كثافتها نحو ستة أضعاف كثافة الماء، وتحتوي على الحديد والنيكل والسيليكالات.
- (3) **الأحجار النيزكية الصخرية** stony meteorites، التي تقارب كثافتها ثلاثة أضعاف كثافة الماء، وتحتوي على نسبة عالية من السيлиكالات، ولا تتجاوز نسبة الحديد والنيكل فيها 10 في المئة من كتلتها.

والأحجار النيزكية الحديدية أكثر الأنواع توافراً. أما الصخرية منها فتبدو شبيهة بصخور أرضية عادية، ولا تميّز في العادة إلا إذا رُصدت وهي تسقط، علماً بأن تحليلها المعملي يقطع بمنشئها الخارجي. ويعطي الجدول 4.11 نسبَ الحوادث المرصودة من مختلف أنواع الأحجار النيزكية الساقطة، ونسبَ تلك المكتشفة منها.

وأغلب الظن أن معظم الأحجار النيزكية شظايا كويكبات تهشّمت بحوادث صدم، بالنظر إلى تشابه تركيب هذه الأجرام. وقد قُدِّر عمرها بـ 4,6 مليارات سنة، وهو العُمر التقريري لجملة المنظومة الشمسيّة.

وإذا كان الحجر النيزكي غنياً بالكريبون، مع بعض المحتوى المائي سمي العقيدة الكربونية carbonaceous chondrite. إن اكتشاف هذا النوع من الأحجار النيزكية يزيد من فضول العلماء للبحث عن حياة في الفضاء (الفصل الثاني عشر)، إذ توحّي اكتشافات كهذه بإمكان تكون مادة الحياة الأولى خارج نطاق الأرض!

ففي سنة 1969 سقط الحجر النيزكي المسماً ميرتشيسن Murchison Meteorite، الذي يرقى عمره إلى 4,5 مليارات سنة، في فيكتوريا بأستراليا. ووُجد بالتحليل أنه محتوي على الحموض الأمينية amino acids البسيطة التي تبني البروتينات، وعلى أسمِ الحامض النووي nucleic acid bases التي تحمل العناصر الوراثية وتستنسخها، بل وعلى المواد الكيميائية العضوية الشبيهة بالشحوم lipids، وهي المكونات البنوية للخلايا الحية.

وفي السنة نفسها أيضاً سقط في شمال المكسيك الحجر النيزكي أليندي Allende Meteorite، وهو من أضخم العقائد الكربونية الساقطة حتى الآن، وتحتوي على ما يقارب 2 طنين من أقدم المواد الأولية في المنظومة الشمسية.

كذلك جرى تحصيل مجموعة تزيد على ألف حجر نيزكي غير ملوث من جليد القارة القطبية الجنوبية، وتضم بعض العقائد الكربونية المحتوية على الحموض الأمينية.

وقد تبيّن أن بعض الأحجار النيزكية «القمرية» قريبة في تركيبها من الصخور التي جمعها من على سطح القمر رواد مرحلة أبولو، وأن بعض الأحجار «المريخية» تحوي بداخلها غازات حبيسةً تكاد تكون متجانسةً كيميائياً لجوء المريخ. وربما يفسر ذلك بأن مذنبًا أو كويكباً صدمَ المريخ صدماً عنيفاً أدى إلى انفلات قطع صخرية عن نطاق جاذبية المريخ نحو الفضاء، ثم أسرها في نهاية الأمر في نطاق جاذبية الأرض.

الحدول 4.11 حدوث الأحجار النيزكية بأنواعها

أنواع الأحجار النيزكية	ما رُصد وهو يسقط	ما اكتُشف فيما بعد
الحديدية	6 في المئة	66 في المئة
الصخرية - الحديدية	2 في المئة	8 في المئة
الصخرية	92 في المئة	26 في المئة

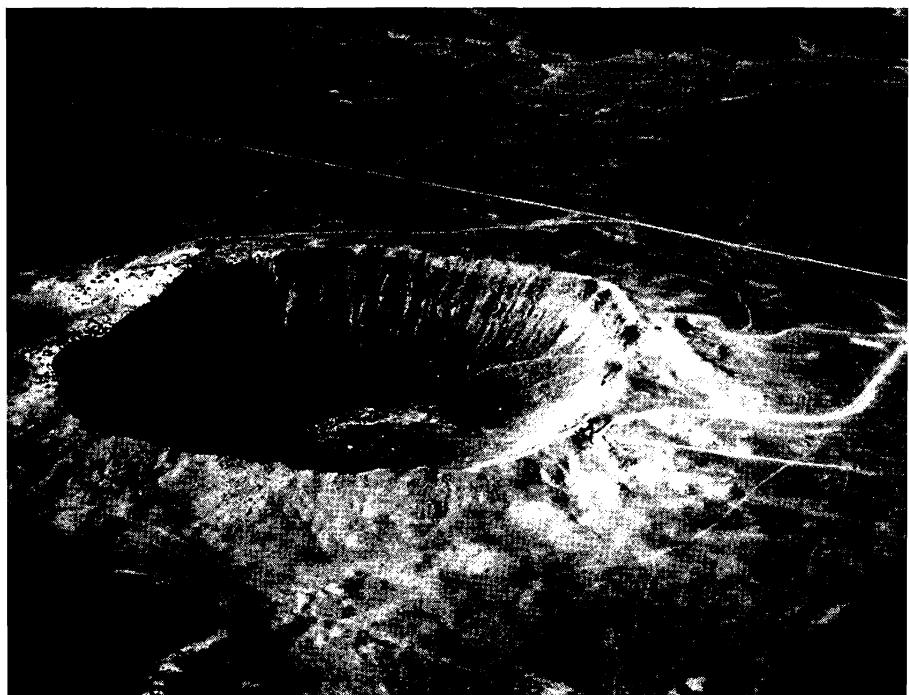
لماذا كانت الأحجار النزكية مهمةً للعلماء؟

الجواب: لأنها تمثل مادة أولية بكرةً من خارج جو الأرض يستطيع العلماء دراستها عن قرب لمعرفة المزيد عن المنظومة الشمسية.

18.11 حوادث تصادم بالأرض

قد تتساءل: ماذا عسى أن يحدث لو أن مذئباً أو حجراً نيزكياً عظيماً ضربَ الأرض؟

إن حادثة صدم بنوارة مذنب قد تكون من الشدة بحيث تولد طاقةً تعادل



الشكل ١٠.١١ فوهة ميتاور كريتر في أريزونا بالولايات المتحدة، يقارب قطرها ١,٥ كيلومتر وعمقها ١٨٠ متراً.

انفجار ملايين القنابل الهيدروجينية. إلا أن السواد من علماء الفلك يستبعدونه جداً احتمال وقوع حوادث صدم كهذه بالأرض. وكان الاحتمال الأكثـر وروداً في الماضي أن يكون الصـدم بحجر نيزكي. وبات في حـكم المؤكـى فلكيـاً اليوم أن المذنبـات أغلـبـها لا يمكن أن تقترب من الأرض الـبـةـةـ في أـثـناـ تـطـوـافـهـاـ حولـ الشـمـسـ،ـ [ـوـالـلـهـ أـعـلـمـ].ـ

بتاريخ 8 حـزـيرـانـ (ـيـونـيوـ) سـنةـ 1908 ضـربـ سـيـبيرـياـ انـفـجـارـ عـمـلاـءـ غـامـضـ بـقـوـةـ نـاهـزـتـ 12 مـيـغـاطـنـ،ـ عـلـىـ اـرـتـفـاعـ نـحـوـ 8 كـمـ عـنـ الـأـرـضـ،ـ سـوـىـ الـأـشـجـارـ بـالـأـرـضـ خـارـجـ نـقـطـةـ الـانـفـجـارـ لـمـسـاحـةـ بـلـغـتـ نـحـوـ 1000 كـيـلـوـمـةـ مـرـبـعـ مـنـ الـغـابـاتـ قـرـبـ نـهـرـ تنـغـوسـكاـ Tunguska Riverـ،ـ وـتـسـبـبـ فـيـ نـفـوقـ عـدـ مـرـبـعـ مـنـ أـيـاثـلـ الرـنـةـ ضـمـنـ قـطـيعـ عـلـىـ بـعـدـ 40 كـيـلـوـمـترـ (ـ25 مـيـلـاـ).ـ وـيـعـتـقـدـ أـدـ

حجرًا نيزكياً ضخماً، أو مذئباً قد انفجر وأحدث ذلك الدمار⁽¹⁾.

كذلك يعتقد أنَّ جرماً سماوياً صدم الأرض وهزَّها شديداً منذ نحو 65 مليون سنة، فتسبَّبَ في انقراضِ واسعٍ فاجعٍ للديناصورات ولكثيرٍ من الأنواع النباتية والحيوانية الأخرى. وقد وجَدَ الباحثون ترسُباتٍ غنيةً من عنصر الإيريديوم في الحدّ K-T، وهو الطبقة الجيولوجية المولفة للتربُّرات الحاصلة ما بين نهاية الحقبة الطباشيرية Cretaceous Era وبداية الحقبة الثالثة Tertiary ما بين نهاية الحقبة الطباشيرية Cretaceous Era وبداية الحقبة الثالثة Tertiary. ومعلوم للمختصين أنَّ الإيريديوم يتواجد أكثر في المذئبات والأحجار النيزكية والكويكبات، منه في قشرة الأرض. وعُثر أيضًا في الحدّ K-T على سُنَاج soot وكراتِ معدنية صَهَرَتها الصدمة. ويُفترض اليوم أنَّ موقع الصدم كان فوَّهةً عظيمةً دُفنت تحت شبه جزيرة يوكاتان Peninsula Yucatan في المكسيك⁽²⁾.

هل من المحتمل أن تعرَّض الأرض لصدم نوَّاءً مذئِبَ أو حجرٍ نيزكِيٍّ كبيرٍ في المستقبل القريب؟

الجواب: لا.

(1) من المثير في حادثة تنغوسكا هذه أنَّ الأشجار في مركز المنطقة المصابة بقيت قائمةً على أصولها، لكنها مجردة الأغصان. وقد يدلُّ هذا على أن الانفجار حدث في الجو، دون وجود دليل قاطع بالسبب الذي أدى إلى وقوعه على وجه اليقين. انظر كتاب Explorations: an Introduction to Astronomy Thomas T. Arny, Mosby, 1994 - 279 .

(2) المعرب 280

(2) انظر إن شئت تفصيلاً حول هذا الموضوع ص 280 - 281 من المرجع السابق Explorations: an Introduction to Astronomy (المعرب)

اخبار ذاتی

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل الحادي عشر وتمثّلها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهد استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

١٠. لماذا يستعمل علماء الفلك اليوم أجهزة متقدمةً لدراسة المذنبات؟

- . 2. مَمْ تَأْلَفُ نَوَاهُ مَذَنِبٍ؟

3. اذكر اثنين من المكتشفات الهامة التي تصل بنواة مذنب هالي، التي عُرفت في أثناء مرور المذنب في نقطة الرأس (الأوج) سنة 1986.

(1)

(2)

4. بين خمسة من التغييرات التي تطرأ على مظهر مذنب دوري في أثناء طواقه في مداره حول الشمس
5. عين على رسم تخطيطي للأقسام الرئيسية لمذنب ساطع نموذجي .
 ؛ (أ) ؛ (ب) ؛ (ج) ؛ (د)
6. تحدث عن منشأ المذنبات الدورية ومصيرها
7. قابل كلَّ وصف مما يلي بالجملة الصحيح .
 --
 (1) شهاب . (أ) نجم ساقط أو هاو .
 --
 (2) حجر نيزكى . (ب) جسيمات صغيرة تطوف
 --
 (3) نيزك . بالشمس .
 --
 (ج) جرم ضلُّب يصل إلى
 --
 الأرض .

- 8. بينَ علَاقَةَ المَذَيَّبَاتِ بِوَابَلَاتِ الشُّهُبِ

..... 9. اذْكُرْ تَرْكِيبَ الْأَحْجَارِ النَّيْزِكِيَّةِ، وَمَنْشَأَهَا الْمَحْتَمَلُ

..... 10. رَتِّبْ الْأَجْرَامَ التَّالِيَّةَ بِحَسْبِ بُعْدِهَا عَنِ الشَّمْسِ بَدْءًا مِنَ الْأَقْرَبِ: الطَّوقِيَّ
..... الكُويكِيَّيِّ، الْأَرْضِ، سَحَابَةُ أُورَتِ، پلوتو

..... 11. اشْرُحْ سَبَبَ اهْتِمَامِ الْعُلَمَاءِ بِالْأَحْجَارِ النَّيْزِكِيَّةِ

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدها صحيحةً كلّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأت في بعضها فعدُّ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعددت أخطاؤك.

- . بالنظر إلى أهميتها الخاصة؛ فهي تُعدُّ أكثر الأجرام ثباتاً من حيث احتفاظها بما ذتها الأصلية التي تكون كلُّ ما في المنظومة الشمسية.

(الفقرة 2.11)

- . تتألف نواة المذنب في معظمها من جليدٍ مائيٍ وغازاتٍ متجمدةٍ أخرى ممزوجةٍ بموادٍ صلبة، ذلك بحسب نموذج كرة الثلج الملوثة.

(الفقرة 4.11)

- . (1) النواة سوداء قاتمة، لها شكل حبة البطاطا، وبطول 15 كيلومتراً (9 أميال) تقريباً.

- (2) وجود شقوقٍ وفلقٍ وفوَهاتٍ محتملة على السطح، وطبقة غبارية عازلة سوداء قاتمة، وتسرب نفاثات غباريةٍ وغازيةٍ قرب نقطة الرأس.

(الفقرة 4.11)

- . (1) بعيداً عن الشمس يتألف المذنب من نواة من غازاتٍ متجمدةٍ وغبار.

- (2) تكون الذؤابة باقتراب المذنب من الشمس.

- (3) تكون الزيول قريباً من الشمس.

(الفقرات 3.11 إلى 7.11 و 9.11 و 10.11)

. 5. في الشكل 2(أ) النواة؛ (ب) الذئبة؛ (ج) الذيل؛ (د) السحابة الهيدروجينية.

(الفقرة 3.11)

. 6. يتراجّح نشوء المذنيات الدّورية في سحابة أورت الهائلة، قريباً من حافة المنظومة الشمسيّة. تعمل الثقالةُ القوية للكوكب المشتري على إعادة توجيه تلك المذنيات المارة في الجوار ونقلها من مداراً طويلاً الدّور إلى أخرى قصيرة الدّور حول الشمس. وبعد مرور المذنيات في نقطة الأوح عدة مرات، تفقد في نهاية الأمر كاملَ مادتها الطيارة، ولا يبقى منها سوى شظايا صلبة تبقى طوافَة حول الشمس.

(الفقرات 8.11 إلى 10.11)

. 7. (أ) 1؛ (ب) 3؛ (ج) 2.

(الفقرات 11.12 و 11.13 و 16.11)

. 8. تحدث وابلات الشهب عندما تعبّر الأرض - الطوافَة في مدارها حول الشمس - حشداً من النيازك التي خلفها مذنبٌ نشطٌ في الفضاء.

(الفقرة 14.11)

. 9. الأحجار النيزكية الحديدية . معظم تركيبها من الحديد (زهاء 90 في المئة) والنيكل؛ الأحجار النيزكية الصخرية - الحديدية . تتركب من الحديد والنيكل والسيليكالات؛ الأحجار النيزكية الصخرية . محتوى عالي من السيлиكالات، ولا تتجاوز نسبة الحديد والنيكل فيها 10 في المئة من الكتلة .

المنشأ المحتمل: الطوق الكويكبي .

(الفقرة 17.11)

10. الأرض، الطوق الكويكبي، بلوتو، سحابة أورت.
(الفقرتان 8.11 و 17.11)
11. لأنها مادةٌ أوليةٌ يُكَرِّنُ نشأتُ في الفضاء الخارجي، وتساعدنا - بدراستها عن قرب - على فهم تاريخ وتركيب كوكبنا الأرضي وسائر المنظومة الشمسية.
(الفقرتان 16.11 و 17.11)

12

هل ثمة حياة في عوالم أخرى؟



إننا نسعى إلى تجاوز زماننا لعلنا نعيش زمانكم. ونطلع بعين الأمل إلى إدراك ركب الحضارات المجرية يوماً ما، بعد أن تكون قد ذلّلنا ما يواجهنا من صعوبات. وما هذا السجل إلا رمز أملنا وعزمنا وصادق استعدادنا للتعامل مع كونٍ فسيح ومثير.

الرئيس الأمريكي جيمي كارتر، 1977
من قيد السجل الخاص بمركتي ڤوياجر الفضائيتين

الأهداف:

- وصف الأساس الجزيئي للحياة الأرضية.
- إيراد الدليل على أن حيَاً ما قد نشأت تلقائياً على الأرض من جزيئات لا حيَّة.
- عرْض نظرية علمية عن منشأ الحياة الذكِيَّة على الأرض، وتطورها التدريعي.
- استقراء البحث عن الحياة على كوكب المريخ.

- إيراد الدليل على وجود منظومات كوكبية غير منظومتنا.
- ذكر العوامل المتصلة بالاحتمالات الإحصائية لوجود حياة ذكية خارج كوكبنا الأرضي.
- استعراض جهود البحث والاستكشاف الإنساني في الفضاء في الماضي والحاضر.
- تقديم الرؤية العلمية السائدة حالياً حول الرحلات البينجمية والأجسام الطائرة المجهولة.
- استعراض مشروعات نفذها العلماء، أو يخططون لتنفيذها، بحثاً عن ذكاء خارج الأرض.

1.12 مكتشفات واعدة:

هل ثمة حياة خارج حدود الأرض extraterrestrial life ؟ الله أعلم ! فقد تكون الحياة على الأرض ظاهرة كونية فريدة، وقد لا تكون بالنظر إلى وجود دلائل مقنعة تشير إلى أنها لستنا وحيدين.

ومن المعلوم للمختصين في الكيمياء الحيوية أن وجود كل الكائنات الحية على الأرض يعتمد على عدد قليل من جزيئات عضوية أساسية، أو جزيئات تحتوي على الكربون، بالإمكان تصنيعها في المختبرات من ذرات غازية.

وقد رَصَدَ علماء الفلك ذرات وجزيئات الحياة الأساسية في منظومتنا الشمسية، وفي النجوم، وفي سُحب الغبار البينجمي، ووجدوا أيضاً أحجاراً نيزكية تحوي حموضاً أمينيّة amino acids ومواد كيميائية شحمية lipidlike وماء.

ويفترض علماء الفيزياء أن القوانين الطبيعية التي تحكم الظواهر الفيزيائية والكيميائية على الأرض صحيحة كذلك في كل مكان في الكون.

فإذا كان للحياة على الأرض أن تنشأ من جزيئات لاحيَّة، بفعل سلسلة من العمليات الفيزيائية والكيميائية، فمن المحتمل كذلك أن تكون هناك حياة في أماكن أخرى من بين ما يزيد على 200 مليار نجم في مجرتنا درب التبانة، أو في غيرها من مجرات الكون الأخرى التي يนาهز عددها 100 مليار مجرَّة.

لقد بدأ البحث فعلاً!

وعلم الأحياء الفلكية astrobiology هو المبحث الذي يدرس منشأ الحياة في الكون، وتوزُّعها وتطورها ومستقبلها. وقد يتمكن هذا العلم عما قريب من الإجابة عن تساؤلاتٍ من قبيل: كيف بدأت الحياة على الأرض؟ وكيف تطورت؟ وهل توجد أنماط حياة أخرى مغایرة؟ وما المآل الذي يتظارنا نحن البشر على الأرض وفي الفضاء؟

ما الذي يحمل العلماء على الاعتقاد بإمكان وجود حياة خارج نطاق الأرض؟ ..

الجواب: وُجدت جزيئات الحياة الأساسية في الفضاء، وصُنعت في المختبرات. فإذا جاز لكتائن حيَّة أن تنشأ عن جزيئات لاحيَّة بفعل سلسلة من التفاعلات الفيزيائية والكيميائية، وإذا لم تكن تلك الكائنات الحيَّة نتيجة ظاهرة كونيةٍ فريدة، صح لنا القول بإمكان وجود حياة في عالم آخر.

2.12 البدايات الكونية

في مقدمة الصفات التي تميَّز كائناً حيَّاً عن آخر غير حيَّ القدرة على

التكاثر وخاصية الاستقلاب (الأيض) metabolism. لكن ما الذي قدَّح شرارة الحياة الأولى؟ لا أحد يعلم؛ غير أن نظرية التطور الكوني cosmic evolution تربط ظهور الكائنات الحية بقوى كونية وفقاً لما يلي:

انبعث الكون إلى الوجود في حادثة الانفجار العظيم منذ 10 - 20 مليار سنة خلت، وكان الهيدروجين والهليوم أول العناصر. ثم تمدد الكون وتبرد، وتكونت المجرات والنجوم، وبدأت العناصر الثقيلة تتولَّد ببطء بعملية التخليق النووي nucleosynthesis في باطن النجوم الكبيرة الكتلة. وراحت المستعرات الفائقة تنشر مادة غنية في الفضاء من جديد، حيث تكررت الدورة. ومنذ نحو خمسة مليارات سنة تكثفت الشمس من سحابة بينجمية غنية تحمل عناصر حيوية وحبسيات غبارية. واتخذت الأرض - وسائر أجرام المنظومة الشمسية - شكلها ضمن قرص مرتَّصٌ ومتبرِّدٌ من المادة، طواف حول الشمس الوليدة.

في بداية الأمر كان سطح الأرض مضطرباً ونارياً؛ فالبراكيُن الشَّشطة تقذف بحممها وغازاتها الحارة باستمرار، والأحجار النيزكية والمذنبات تهوي وترتطم، مضيفة بذلك مزيداً من العناصر الحيوية إلى الأرض الفتية.

تلا ذلك مiliار سنة تبردت فيها الأرض. وبفعل انتزاع الغازات تكون غلاف جوي outgassing.

قام العلماء بتفعيل مزيج من مركبات الهيدروجين والكربون والأكسجين وغازات آزوتية شبيهة بغازات الغلاف الجوي الأول، واستطاعوا توليد جزيئات عضوية تضمُّ الحموض الأمينية، التي هي بمثابة الجزيئات الأساسية للحياة. واجتمعت مصادر الطاقة المتاحة: كأشعة الشمس فوق البنفسجية، والأشعة الكونية، وومضات الإنارة، وموجات الصَّدم الناشئة عن الفعالية الجيولوجية، اجتمعت كلُّها - منذ أربعة مليارات سنة - للبقاء على الغازات الجوية متماسكة في جزيئات عضوية أكثر تعقيداً.

وهناك احتمال آخر يقول إنَّ منافذ حراريةٌ في قاع المحيط كانت مهدَّةً للحياة، بالنظر إلى أنَّ الأحوال هناك تبدو مساعدةً لتكوين الجزيئات العضوية. وشيئاً فشيئاً تراكمت الجزيئات العضوية في بحار الأرض. ومع تزايد تركيزها أدى تلاطمُها في الماء إلى اندماج صغارها بكتابتها. وكان للماء دورٌ مهمٌ في تلك العملية، من حيث تسريع التفاعلات الكيميائية عن طريق تسهيل عمليات التصادم في ما بين الجزيئات.

وربما انقضى مiliyar عام تكونَ في أثناءه مزيدٌ من الجزيئات المعقّدة، إلى أن تكونَت في آخر الأمر جزيئات الحمض الريبي النووي ribonucleic acid (RNA) والحمض الريبي النووي المنقوص الأكسجين deoxyribonucleic acid (DNA)، التي حملت التعليمات (الشفرات) الوراثية للتناسخ. وبذلك تمَّ الانتقال من المادة اللاحيَّة إلى المادة الحيَّة.

لماذا كان الماء مهماً في عملية التطور الكيميائي للجزيئات العضوية الأساسية للحياة؟.....

الجواب: يسرع الماء التفاعلات الكيميائية بتمكين الجزيئات من التصادم في ما بينها.

12.3 الدليل العلمي

يدلُّ الفيروسُ الاعتيادي على أنَّ الكائنات الحيَّة يمكن أن تتطور من جزيئات لا حيَّة، لأنَّه يحمل صفات مشتركةً منها معاً.

يتَّألف الفيروس - وهو كائن دقيق جداً لا يُرى إلا تحت المجهر الإلكتروني - أساساً من جديلة DNA أو RNA. ويتعذر على الفيروس توفير طاقته الذاتية أو استنساخ نفسه خارج الخلايا الحية، ويبقى ناشطاً مادامت

الخلايا التي يصيبها تمدد بالطاقة اللازمة لنموه، وتهيء له أسباب تكاثره.

وإذا كان الحد الواضح الفاصل بين المادة الحية واللاحيّة مصطنعاً ووُجِدتَ الـقُـيــرـوـسـاتـ ضمن سلسلة متصلة، اقتضى ذلك أن تكون هذه الـقـيــرـوـسـاتـ في مكان ما قرب الوسط. ولعل خليّة أوليّة قدّيمّة مشابهة هي التي آذنت ببداية الحياة على الأرض.

ما الدليل على إمكان تطوير كائنات حيّة من جزيئات لاـحـيـّة؟

الجواب: يحمل الـقـيــرـوـسـ صفات من الكائنات الحية والجزيئات اللاـحـيـّة في آنٍ معاً.

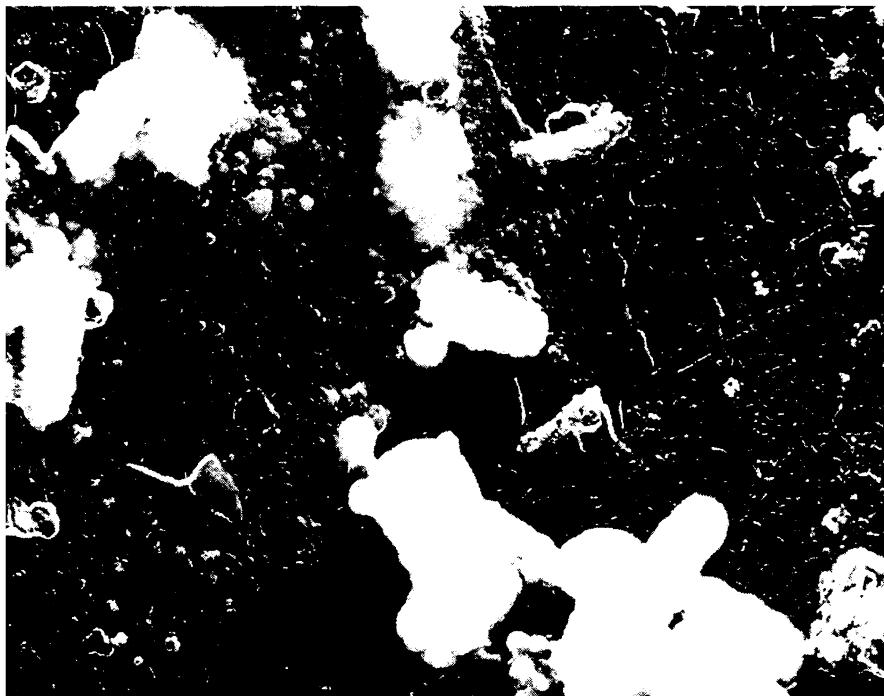
12. التطور

يؤكّد مبدأ الاصطفاء الطبيعي، أو بقاء الأصلع، على أن الكائنات الحية على الأرض تطورت بلا استثناء من كائنات بسيطة وحيدة الخلية.

وتدلُّ المستحاثات المجهرية الدقيقة *microfossils* في الصخور الأرضية التي تزيد أعمارها على ثلاثة مليارات سنة على أن الحياة وُجدت على الأرض - عندما تكونت تلك الصخور - على مستوى نباتات بسيطة وحيدة الخلية سُميت بالطحالب *algae*، وكائنات من قبيل البكتيريا (الشكل 1.12).

تكاثر النوع الأول من الأحياء، إلا أن الأنسال لا يمكن أن تكون نسخاً طبق الأصل عن الوالدين؛ بل لا بدّ دوماً من ظهور تباين ما في الصفات في كلّ مرة تحدث فيها عملية التكاثر.

وُجد أن أصلح العناصر كان تلك الحاملة للتغيرات المرغوبة التي ساعدت العناصر على البقاء. تلك العناصر الصالحة متاحة لها الحظ الأوفر لبلوغ سن النضج وأداء وظيفة التكاثر. وهكذا انتقلت الصفات المرغوبة، في



شكل ١.١٢ بكتيريا مستحاثية عمرها عدة مليارات السنين.

حين تلاشت الصفات غير المرغوبة، عن طريق الاصطفاء الطبيعي. وببطء على مدى زمن طويل، نشأت أنماط جديدةً عن النمط الأصلي.

ثم عملت الكائنات المتعددةُ الخلايا، التي ظهرت منذ نحو مليار سنة كذلك التكاثر الجنسي، على تسريع التنوع التطوري /revolutionary diversification .

يشير السجلُ المستحاثي لـ 600 مليون سنة الماضية إلى أنه في أحيا نثيرة وقعت حوادث انقراض كامل لبعض الأنماط الحية، أعقبها ظهور نمط جديدة متنوعة. فقد وُجدت أولُ الأسماك في البحار منذ نحو 325 مليون سنة، في حين ظهرت الزواحفُ منذ زهاء 65 مليون سنة تكاثرت ضروبُ من الثدييات نقراض динозавров منذ 65 مليون سنة.

الصغيرة. وأخيراً ظهر الإنسان بذكائه المعرفي منذ قرابة 40,000 سنة خلت. بهذه الطريقة، وفي ظل الأحوال البيئية الدائبة التغير التي تناوبت الأرض على امتداد مليارات من السنين، يمكن القول إن الكائنات الحية، ومنها الإنسان الحديث، قد تكون تطوراً من خلايا بسيطة.

اقتصر تغييراً بيئياً من شأنه أن يولّد ظاهرة تطورية حرجة.....

الجواب: تبدل جذري شامل في المناخ مثلاً. (ولعلك تسوق مقتراحات أخرى).

12. الكواكب القريبة

من المحتمل أيضاً أن تكون الحياة قد وُجدت على كوكب مجاور. فالمنطقة الصالحة للعيش habitable zone (ecosphere) حول الشمس تقع على وجه التقريب بين مداري الزهرة والمريخ.

ولا يبدو الزهرة ملائماً للحياة، بسبب جفافه وارتفاع درجة حرارته السطحية ارتفاعاً قد يصل إلى 480 ° مئوية (900 ° فارنهایتیة).

ذلك خلافاً للمريخ، الذي يبدو أكثر ملاءمة؛ إذ يظهر وكأن كميات كبيرة من المياه - التي لا غنى عنها للحياة على الأرض - قد جرت فيما مضى على سطحه. يؤيد ذلك ما تبيّنه الصور الفوتوغرافية من قنوات متفرعة تبدو أحواضاً نهرية وروافد مألاًوفةً ربما كانت من قبل أنهاراً تتدفق (الشكل 18.9)، علمًا بأن الماء موجود اليوم في قلنسوتي المريخ القطبيتين الجليديتين، وفي صقيعه وضبابه وسُحبه الرقيقة.

وقد أظهرت التجارب على الأرض أن بعض النباتات والميکروبات القدرة على البقاء حيّة في أحوال بيئية شبيهة بتلك السائدة على المريخ اليوم.

وهذا يبرر القول بأن الحياة لو وُجِدت هناك، فمن المحتمل أنها مازالت مستمرة.

قامت مركبة فايكنغ الفضائية الأمريكية بتجارب خاصة للكشف عن ميكروبات كربونية التركيب تعيش في التربة المريخية. لم تكن النتائج حاسمة، واكتشف نشاط محير ردّه العلماء إما إلى وجود كائنات حية، وإما - وهذا هو الغالب - إلى خصيصة كيميائية غير اعتيادية تنفرد بها التربة المريخية.

وقد يحتوي كوكب المشتري والتابع تيتان على ميكروبات بسيطة، فالسحب التي تكتنفهما تحوي الغازات ذاتها التي ربما نشأت عنها الحياة على الأرض. وقد توجد بحاجز من الهيدروجين السائل على المشتري، أو الآزوت السائل على تيتان حيث يتحمل وجود أنماط ما من الحياة هناك. أما التابع أوروبا فلربما عَرَفَ الحياة في بحر محيط تحت سطحه.

ومع ذلك فلما يصل العلماء إلى قرارٍ قاطعٍ بوجود الحياة أو عدم وجودها في المريخ والمشتري وأوروبا وتيتان. وما علينا إلا انتظار ما ستسفر عنه المسابير الكوكبية من نتائج في مقبلات الأيام.

أعطِ ثلاثة دلائل توحّي بأن الحياة قد وُجِدت في كوكب المريخ من جزيئات لا حيّة.....

الجواب: (1) الدليل المُشير إلى أن ماءً غزيراً قد تدفق في الماضي على سطح الكوكب. (2) وجود المريخ داخل المنطقة الصالحة للعيش حول الشمس. (3) أن بعض النباتات والميكروبات قادرٌ على البقاء حتّى في الأحوال البيئية المريخية.

12. الاحتمالات

قد نكون - نحن البشر - الحضارة الوحيدة الذكية (كما ندعى لأنفسنا فخورين) في الكون كله، وقد توجد حضارات أخرى كثيرة.

وسمسنا ليست إلا واحداً من 200 مليار نجم في مجرتنا درب التبانة. وإن ما يقرب من مليار مجرّة تقع ضمن المدى الممجدي لمقاربينا الكبيرة، ومن الممكن أن يكون لكثيرٍ من نجوم هذه المجرات كواكب تطوف بها، ربما حمل بعضها حضارات ذكية.

في هذا السياق، اقترح عالما الفلك الأميركيان: كارل ساغان Carl Sagan (1934 - 1996) وفرانك دريك Frank Drake، وعالم الفلك الروسي شكلوفسكي I. S. Shklovsky (1916 - 1985) اقترحوا طريقةً لتقدير عدد الحضارات الذكية في مجرّة درب التبانة . وهي الحضارات الوحيدة التي نأمل التواصل معها في الوقت الحاضر. تقوم هذه الطريقة على تطبيق ما يلي : قدر بشيء من الثقة (1) العدد الإجمالي للنجوم في المجرّة ، (2) ومن بينها عدد النجوم التي لها كواكب تدور حولها ، (3) ومتوسط عدد الكواكب الصالحة للحياة فيها.

وبدرجة أقلً من الثقة ، قدر (4) ذلك الجزء من الكواكب الملائمة التي شهدت حياة على سطحها فعلاً، (5) وذلك الجزء الذي يمثل بدايات الحياة التي نشأت في كائنات ذكية ، (6) وذلك الجزء الذي يمثل الأنواع الذكية التي حاولت التواصل.

ثم احدهس حداً (7) العمر الوسطي لحضارة ذكية.

فإذا أخذت كلُّ هذه العوامل في الحسبان ، وُجد أنَّ عدد الحضارات الذكية اليوم يقع بين حضارة واحدة (هي حضارتنا نحن) و مليون حضارة في سنتي أرجاء مجرّة درب التبانة.

لماذا تعتقد أن (7) العمر الوسطي لحضارة ذكية هو أبعد الأرقام عن اليقين؟

الجواب: ما كان ليشِر أن يعلم ما يحدث عندما تبلغ حضارةً كحضارتنا - إذا كانت نموذجيةً فعلاً - مرحلةً من التطور التقني يؤهّلها للتواصل مع حضاراتٍ أخرى في مجرتنا. تُرى هل ستستمر تلك الحضارة بما يكفي لإجراء حوارٍ معها، أم أنها ستُدمر بأسلحةٍ نووية، أو بالتلوث، أو بتزايد عدد السكان زيادةً مفرطة؟

12. منظومات كوكبية خارج نطاق المنظومة الشمسية

تؤكّد النظرية السديمية لتكون النجوم أن نجوماً كثيرةً لا بدَّ من أن تكون مثابةً لكواكب دائبة التطوف حولها (الفقرة 3.4).

رُصدت الأقراص حول النجميَّة (المطيفة بالنجوم)، circumstellar disks وهي كتلٌ عظيمةٌ من الغازات والجسيمات الدوارة حول النجوم، أول ما رُصدت عند الأطوال الموجيَّة تحت الحمراء سنة 1983 (الشكل 2.12). وجاء التأكيد الفوتوغرافي المباشر أولاً من نجمٍ مجاور هو كرسٌ المصوَّر Beta Pictoris الذي يبعد زهاء 50 سنة ضوئية. ويحتمل أن تكون الأقراص الأكثر سُماكاً المحاطة بنجوم فتيةً منظوماتٍ كوكبيةً مازالت في مراحل تكوُّنها الأولى؛ وأن تكون أكثر الأقراص رقةً حول نجوم هرميَّة موادٌ متخلفةٌ عن كواكب كانت قد تكونت من قبل.



2. قرص غباري حول النجم HD141569 الواقع على بعد نحو 320 سنة كوكبة الميزان.

لذا وتعذر رؤية الكواكب التي تنتمي إلى نجوم أخرى - ما أصلاً ، وذلك بسبب تواريها في وهج نجومها. ويبحث عن كواكب رفقة غير مرئية باستعمال ثلاث تقنيات غير مباشر

. رصد الحركة الحقيقية للنجم المرئي المرصود :

لدي سبب الشد التثاقلي للكواكب الكبيرة ترثيا wobble ط الحقيقة. فنجم بارنارد (الحوا والحوية) Ophiuchus مثلاً . و النجوم إلينا - يتميز بأكبر حركة حقيقة معروفة ، وقد جرى رافياً على مدى سنوات. وفي سنة 1943 رُصد ترثي في ح 0,01 من حجم صورة النجم ، كُشف عنه بصعوبة بالغة. لكن د وجوده على وجه اليقين.

2. رَصْدُ السرعة الشعاعية للنجم المرئي المرصود:

قد يسبّب الشدُّ التثاقليُّ للكواكب الكبيرة تغييرًا صغيراً، لكنه قابلٌ للقياس، في السرعة الشعاعية. فلدي مراقبة نجم الفرس الأعظم Pegasi 51 الشبيه بالشمس والذي يبعد 50 سنة ضوئية، رُصِدَ سنة 1995 ازياخ دوبليٌّ ضئيلٌ في خطوطه الطيفية، مشيرًا إلى حدوث تغييرات في سرعته الشعاعية. تعزى هذه التغييرات إلى أول كوكب مؤكّد خارج حدود المنظومة الشمسية يطوف بنجم نظامي؛ وهو كوكب حارٌ بحجم كوكب المشتري، دان من نجمه.

يواصل علماء الفلك عاكفين على دراسة أطياف مئات النجوم القريبة، واكتشاف كواكب غير مرئية. ففي سنة 1999 أعلنوا عن اكتشاف أول منظومة كوكبية تقع خارج حدود المنظومة الشمسية extrasolar planetary system، وهي مجموعة مؤلفة من ثلاثة كواكب كبيرة تطوف حول نجم أبسيلون أندرورميда (المرأة المسلسلة) Upsilon Andromedae . نجم من النوع F يبعد 44 سنة ضوئية.

3. رَصْدُ تردد النبضات الراديوية من نباضات الميلي ثانية millisecond pulsars (الزمن بين النبضات المتعاقبة يقدّر بأجزاء من ألف من الثانية).

رُصِدَ نباض الميلي ثانية المعروف للفلكيين باسم 12 + PSR1257 (وهو من أقرب نباضات الميلي ثانية، يقع على بعد 1500 سنة ضوئية في كوكبة العذراء) باستعمال مقراب آريسيبو Arecibo الراديوي في بورتو ريكو. وكشف عن تبدلات دورية طفيفة في تردد الأمواج الراديوية المستقبلة. في سنة 1992 عُزِّيزَت هذه التبدلات إلى الشدُّ التثاقلي الذي يخضع له النجم النباض بتأثير كوكبين أو ثلاثة كواكب طوافة.

على أنَّ آراء العلماء تختلف في هذه المسألة، لأنها تقتضي سلفاً

ـ جوَد منظومة كوكبية منسقة حول نجم نَبَاض تولَّد وسط إشعاعات الانفجارات العنيفة واحتلاط الأحوال السائدة (الفقرة 5.16)، في حين يبحث أنصارُها عن ضطرابات أخرى ناشئة عن ارتكاسات تناقلية متبادلة في ما بين الكواكب لمفترضة نفسها.

ما زال يدلُ الترُّجُح في حركة نجم مرئي؟

لـجواب: يدلُ ترُجُح النجم على وجود كواكب رفيقة غير مرئية.



لـشكل 12.3. الرحلات الفضائية الأمريكية المأهولة منذ سنة 1961 حتى الآن. مركبات/صواريخ إطلاق، من اليسار إلى اليمين: ميركوري/أطلس؛ جيميني/تيتان 2؛ أبولو ساتيرن 5؛ سكاي لاب/ساتيرن 5؛ أبولو/ساتيرن 1-سوبيوز؛ مكوك الفضاء أوربتر/خزان وقود خارجي ومعزّزات دفع صاروخية بوقود صلب.

12.8 ارتياح الفضاء

لا شك في أن الرحلات البينجمية (إلى نجوم أخرى) interstellar travel ستكون أكثر الوسائل إثارةً للبحث عن وجود حضارات أخرى في الكون. إلا أننا غير مهيئين بعد لقيام برحالة تضرب في أعماق الفضاء الكوني.

فحتى أقرب النجوم إلينا يبعد عدة سنوات ضوئية. وليس في قدرة أيٌ من مركباتنا الفضائية الانتقال بما يقارب سرعة الضوء على كل الأحوال. ومن ثم فإن القيام برحالة إلى نجم حَضَار؟ مثلاً (وهو أقرب نجم ساطع إلى الشمس) بالسرعة التي انتقل بها رواد مركبة أبولو إلى القمر، سيتطلب آلاف السنين!

كان رواد الفضاء الروس أولَ من غزا الفضاء من البشر؛ فقد قام يوري غاغارين Yuri Gagarin (1934 - 1968) بالدوران حول الأرض مرة واحدة في مركبة فوستوك 1 Vostok 1 بتاريخ 12 نيسان (أبريل) 1961، ثم هَبَطَ بعد ساعة واحدة و48 دقيقة. ثم طافت فالنتينا تيريشكوفا Valentina V. Tereshkova حول الأرض 48 مرة بتاريخ 16 - 19 حزيران (يونيو) 1963، لتكون بذلك أولَ امرأة تفعل ذلك.

وفي غضون السنوات العشرين التالية، ابتكرت كلُّ من روسيا والولايات المتحدة مركبات فضائيةً مطردة التطوير، حلَّقت كلُّ منهامرة واحدة، ويعرض أغلبُها اليوم في متحف فضائي (الشكل 12.3).

وتُجرى اليوم تجارب علميةٌ على متن محطات فضائية space stations (وهي أقمارٌ صناعيةٌ تُطلق إلى مدارات ثابتةٍ حول الأرض، وتديرها طوافٌ طوافٌ معها)، ومركبات فضائية مكوكية space shuttles (مركبات معدة للاستعمال مرات كثيرة، وتقوم بمهامات قد تدوم أسبوعاً أو نحوه في مدار الأرض). يُلحق بالمكوك الفضائي - في حُجَّيرات خاصة فيه - عادةً وحدة

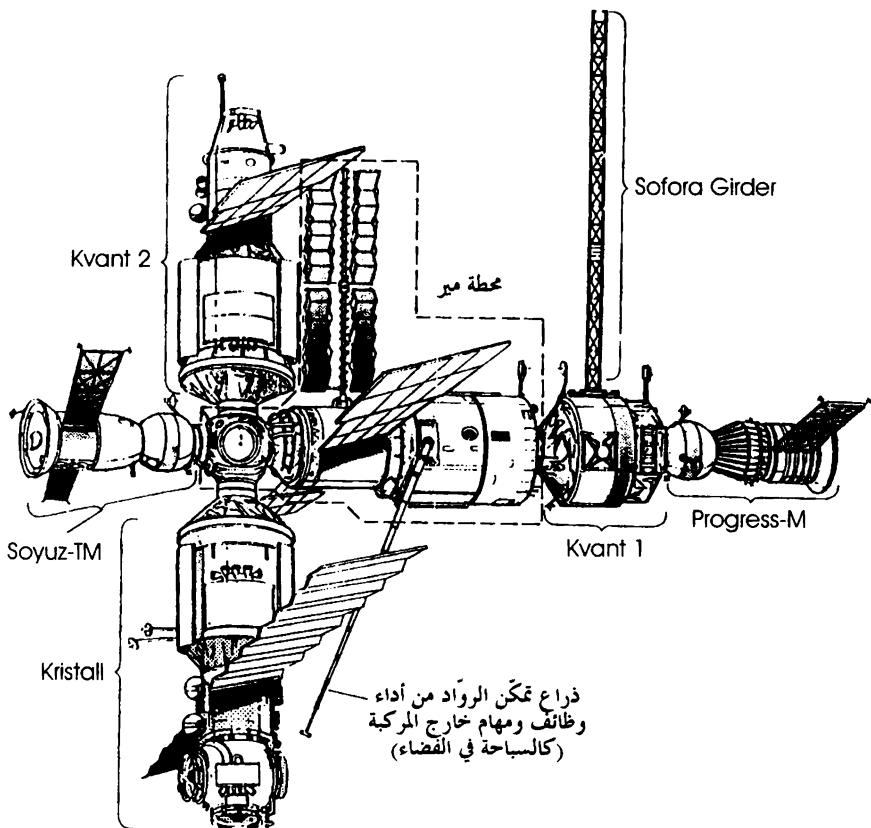
مخبرية مهيئة لإجراء تجارب تتصل بالثقالة الصغرية microgravity⁽¹⁾ (الشكل .4.12).



الشكل 4.12 وقت تناول الطعام تحت وطأة الثقالة الصغرية لرائدَيِّ مكوك الفضاء أتلانتيس، الأمريكتين: إيلين س. بيكر ومايكلا ج. ماكولي.

ينصبُ اهتمامُ البحوث الحالية على دراسة الآثار الطبيعية الحيوية biomedical effects للثقالة الصغرية، وعلى استقصاء الوسائل الكفيلة بمساعدة البشر على التكيف معها، وكذلك على استكشاف الفضاء واستغلاله الاستغلال الأمثل.

(1) الثقالة الصغرية مصطلح يدل على الثقالة التي تقارب الصفر، كالتي يعانيها رائدُ فضاءٍ في مركبة طوافة في الفضاء الخارجي. (المعرّب)



الشكل 12. استضافت محطة الفضاء الروسية مير أطول رحلات القرن العشرين الفضائية، واستعملت فيها وحدات مستقلة لإقامة الرواد وإجراء التجارب العلمية وأعمال معالجة المواد. في حين قامت محطة الفضاء سويوز TM بنقل الطاقم الفضائي ومؤونة المركبة الروبوطية بروغريز M.

هذا وقد سجل رواد الفضاء الروس أطول الرحلات الفضائية على متن محطة الفضاء مير Mir؛ فقد ضرب الدكتور فاليري بولياكوف Valery Polyakov رقمًا قياسياً عالمياً في المكوث في الفضاء بلغ 438 يوماً و18 ساعة في سنة 1995، علماً بأن الرواد يعتريهم تغيراً ملحوظاً يؤثر في وظائف أعضائهم وكيمياء أجسادهم وصحتهم العقلية، نتيجةً لطول المقام في حالة انعدام الوزن.

متى دخلَ أولُ إنسان الفضاء؟

الجواب: بتاريخ 12 نيسان (أبريل) 1961 (يوري غاغارين).

9.12 مسابير النجوم

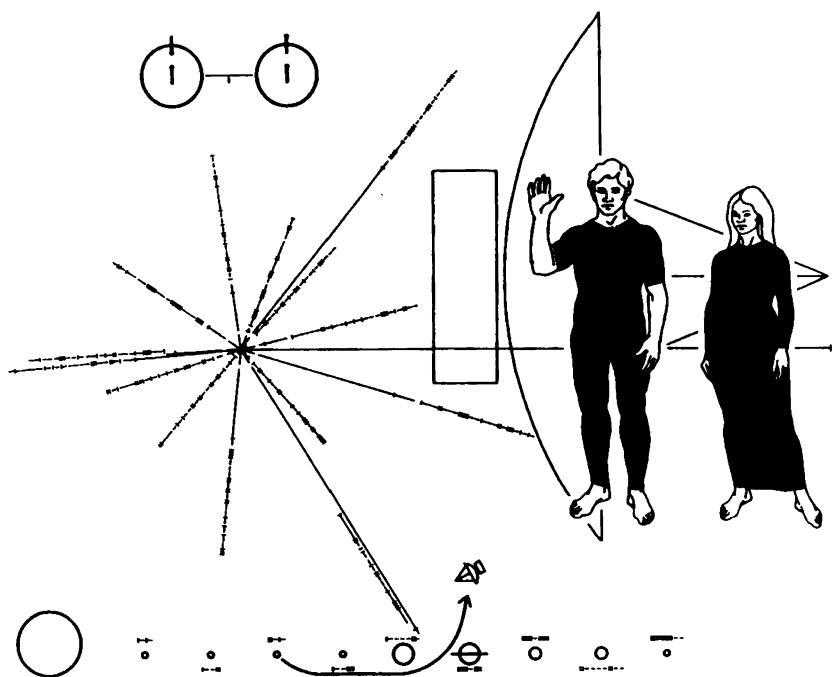
ما زال إطلاق مسابير ربوطية عالية السرعة إلى النجوم في الوقت الحاضر أمراً باهظ الكلفة إلى حدّ بعيد.

ثمة أربع مركبات فضائية أمريكية تجوس الفضاء البيئجمي الآن، بعد أن أتمّت مهمّاً رحلاتها إلى الكواكب العملاقة. وهي تحمل رسائل رمزية لأيّ كائنات ذكّيّة قد تصادفها بعيداً وراء منظومتنا الشمسيّة.

كانت پيونير 10 أولَ مركبة فضائية تتجاوز حدود منظومتنا الشمسيّة سنة 1983، وهي ذاتها التي كانت من قبل أولَ مركبة تخترق الطّوق الكويكبيّ سنة 1973 وتثبت صوراً لكوكب المشتري ملقطةً عن قرب. ثم تلتها صيّوُها پيونير 11 سنة 1990. وقد حملت كلُّ من المركبتين رسالةً رمزيةً على شكل لوحة معدنية (پلاك) يقصد منها بيان زمان إطلاق المركبتين ومكانه والجهة التي نَفَّدَته (الشكل 12.6).

وتحمل مركبتا فوياجر Voyager 1 و 2 (الفقرة 8.12) سجلًا فريداً من معلومات وأصوات وصور مرمزة إلكترونياً لأفضل ما على الأرض ولخيرة أهلها. ضمّن ذلك في حافظة cartridge زُوّدت بتعليمات التشغيل؛ فالحضارات المحتملة في الفضاء يمكنها أن تسمع تسجيلاتِ أصوات الرياح والأمواج، والطيور وسائر الحيوان، والموسيقى، ورَجْع القُبَيل وبكاء الطفل والتحية بستين لساناً.

ومركبتا فوياجر هاتان مبرمجتان لدراسة المتابع فوق البنفسجية في ما بين النجوم؛ إذ تبحث أجهزتهما الخاصة بالحقول والجسيمات عما سمّيـناه



الشكل 12.6 أول رسالة من الأرض (وهي لوبيحة معدنية تذكارية (بلاك) على متن مركبة الفضاء بيونير 10 و 11) تشير إلى زمان إطلاق كلّ منهما، ومكانيه، والجهة المسؤولة عنه.

الانقطاع الشمسي heliopause، حيث ينتهي تأثير الشمس ويبدا الفضاء البيئجمي. ويُتَّسِّرُ أن تستمر المركبات بثّ معطيات عالية القيمة حتى سنة 2015، عندما تعود منابع قدرتهما النووية غير قادرة على توفير الطاقة الكهربائية اللازمة لذلك.

ويتساءل الناس أحياناً عن مخلوقات غريبة من المحتمل أنها تَفُدُ إلى الأرض من عوالم أخرى، ولاسيما عن طريق روایات يتناقلها العامة حول أجسام طائرة مجهولة المنشأ (أو ما يسمى بالأطباقي الطائرة UFOs).

على أن سواد العلماء يعتقدون أن دعوى مشاهدات الأجسام الطائرة المجهولة على أنها كائنات غريبة هي أبعد الروايات احتمالاً. وهم يطلبون

دليلًا ماديًّا من قبيل قطعة من مركبة فضائية دخيلة يُخضعونها للدراسة المخبرية^(١). غير أن شيئاً من هذا لم يتَسَّن حتى الآن.

لماذا كان من غير المرجح أن تغزِّي الأرض من الفضاء بكتائب معادية، كما زعم بعض المُزَجِّفين؟

الجواب: إن قطع مسافات شاسعة بين النجوم يستغرق أزمانًا متزاولةً جداً تُستَنزَفُ معها مصادر طاقة كثيرة، بحيث لا تسْوَغُ العملية مهما كانت غايتها. هذا إذا وُجدت حضاراتٌ أُخْرَى على مستوى من الرقي يضاهي مستوى حضارتنا.

12. التواصل

إن لدينا القدرة على التواصل بسرعة الضوء مع حضارات أخرى، باستعمال الأمواج الراديوية.

فيمكننا، باستعمال أجهزة الإرسال والاستقبال التي بين أيدينا، أن نبث رسالة راديوية من الأرض، يمكن أن تكشفها حضاراتٌ أخرى كحضارتنا عبر مجرة درب التبانة. وبمقدورنا - بالمقابل - أن نتبين رسائل راديوية من مقارب راديوية تقع على بعد آلاف السنين الضوئية، على ألا تكون أقوى من مقاربنا.

(١) وخذار من الاعتقاد بأن الصور الفوتوفغرافية هي برهان قاطع لا جدال فيها، إذ بالإمكان الحصول على صور فلمية رائعة عن طريق عدم ضبط بؤرة العدسة، أو بسبب وجود سديم جوي أو انعكاسات في العدسة، أو عدم ثبات آلة التصوير، أو أخطاء في التقطير والطباعة وغير ذلك. وانظر:

في سنة 1974 بُثت إلى الفضاء راديوياً رسالة مرمزة من الأرض، كان الهدف منها في المقام الأول عرض قدرات المقراب الراديوي العملاق في آريسيبيو، بورتو ريكو. وجّهت تلك الإشارة تلقاء الحشد الكربوني M13 في كوكبة هرقل (الجاثي) الذي يبعد 24,000 سنة ضوئية. وقد أظهرت الحسابات أن أقصر زمن يلزم للحصول على جواب الرسالة من الحشد الكربوني M13 بسرعة الضوء هو 48 سنة!

وتنصّب البحوث الحالية على محاولة تلقي إشارات راديوية ذكية صادرة عن حضارات أخرى تقع خارج منظومتنا الشمسيّة، فذلك أرخص وأيسّر وأمنٌ من تعمّد الاستمرار في إرسال الإشارات إلى حين معرفة مكان وجود الحضارات الأخرى ودرجة ائتلافها مع الإنسان.

يُذكَر أن باكورة المساعي لاستقبال إشارات ذكية، جاءت من مشروع أوزما Project Ozma التابع للمصدر الوطني للفلك الراديوي (NRAO) في منطقة غرين بانك غرب فيرجينيا؛ حيث قام الفلكيُّ فرانك دريك بالإصغاء إلى نجميْن مجاوريْن هما: تاو قيطس Tau Ceti، وإيسيلون النهر Epsilon Eridani. لكن أيّ إشارات ذكية لم تُكَشفْ لا في حينه ولا فيما بعد.

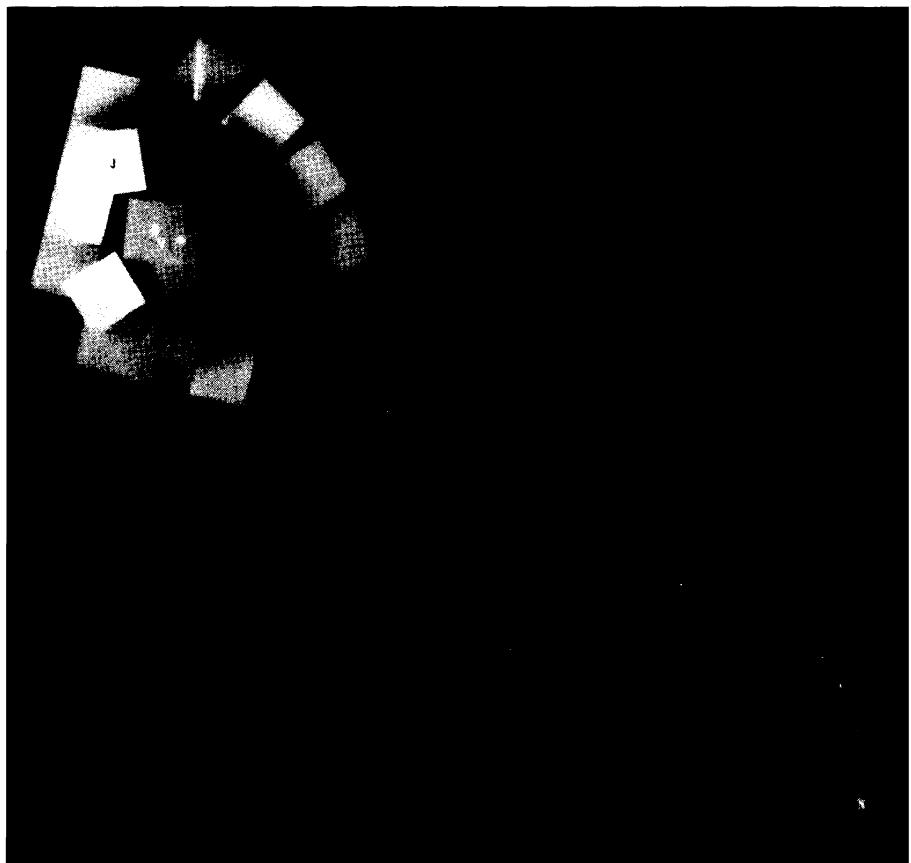
وغنيٌ عن القول إن الإخفاق في مسعي كهذا ليس أمراً مستغرباً؛ فحتى لو أن ثمة حضارات أخرى تحاول الكشف عن نفسها لنا فعلاً، فيحتمل كثيراً الآلاً نكون قد اتخذنا الاتجاه الصحيح في الوقت المناسب، أو ضبطنا تماماً على التردد الصحيح. فالعملية إذن أشبه بمحاولة للعثور على إبرة في كومة قشّ، عن طريق النظر فحسب حيناً بعد حين، وحتى دون إدراك معنى «الإبرة» المنشودة.

كم - على وجه التقرير - يستغرق وصول رسالة بالأمواج الراديوية من الأرض إلى أقرب منظومة نجمية إلى الشمس، وهي ألفا قنططوس (نجم حضار ألفا)، علمًا بأنها تبعد 4,3 سنوات ضوئية؟

الجواب: 4,3 سنوات (لأنَّ الأَمْوَاجِ الرَّادِيوِيَّةِ تَنْتَقُلُ بِسُرْعَةِ الضَّوءِ)

11.12 بحث دُؤوب

بات بإمكان العلماء البحث عن ذكاء خارج حدود الأرض، مستعينين بما في حوزتهم من المقاريب الراديوية وأجهزة الكمبيوتر.



الشكل 7.12 أول «صورة» لمنظومتنا الشمسية كما بذلت من الخارج. اتجهت مصوّراتُ مركبة فوياجر 1 نحو الخلف والتقطت سلسلةً من الصور الفوتوغرافية للشمس والكواكب من بُعد يقارب 6 مليارات كيلو متر (4 مليارات ميل)، وعند الدرجة 32° فوق مستوى فلك البروج، بتاريخ 14 شباط (فبراير) 1990.

أهم ما في الأمر هو البحث عن إشارة راديوية ضعيفة غير محددة، صادرة عن اتجاه غير معروف؛ إذ لا يمكن بحال تحديدُ بُعد جهة البث عنا على وجه الدقة، ولا معرفة الترددات التي تستعملها.

تقع الترددات المرجوة لنجاح اتصالنا الأول ما بين 1400 و 1700 ميغاهرتز. وغالباً ما يسمى هذا المجال «الثقب المائي» المجري galactic waterhole الذي سنتقى عنده جميماً، علماً بأن أي إشارة مضمونة (معدلة) modulated في منطقة الأمواج الصغرية هذه ستبرز واضحة لأن الأجرام السماوية تُصدر إشعاعاً كهرومغناطيسياً طبيعياً عند الترددات العالية والمنخفضة. كذلك يتطلب جهاز الإرسال أدنى طاقة متاحة لتوليد إشارة قابلة للكشف فوق ضجيج الخلفية الطبيعية.

والآمال معقودة اليوم على المنظومات المؤتمنة المتيسرة، التي تؤدي فيها أجهزة الكمبيوتر دور محللات طيفية متعددة القنوات multichannel spectrum analyzers (MCSA)، أو مستقبلات راديوية ل نطاق أعرض من الترددات التي تمسح ملايين القنوات الراديوية دفعة واحدة.

وهكذا فإن البحوث الحالية لتعرف حضارات أخرى خارج الأرض جادةً وحيثية، وهي تستغرق نوعين متتاليين من الاستراتيجية :

1. مسح مجلل السماء all-sky survey، على امتداد مجال ترددٍ واسع بغية كشف إشارات قوية. وفي هذا الإطار تقوم المقاريب ذات الـ 34 متراً، التابعة لشبكة أعمق الفضاء (DSN) في نصف الكرة الشمالي والجنوبي بمسح ترددات تقع بين 1000 و 10،000 ميغاهرتز، فضلاً على بعض الترددات الميسورة حتى 25،000 ميغاهرتز.

2. البحث الموجّه targeted search العالي الحساسية الذي يتولّي التقاط إشارات ضعيفة تولّد بجوار نجوم قريبة كالشمس. يستهدف هذا البحث 1000

نجم حتى مسافة 100 سنة ضوئية عن الأرض، ضمن المجال الترددية 1000 إلى 3000 ميجا赫رتز، إضافة إلى أي ترددات ميسورة حتى 10,000 ميجا赫رتز.

وإذا صح العزم على إنجاز بحوث أكثر شمولاً في المستقبل، فلربما كان من المناسب استعمال محللات متعددة القنوات أكثر حساسية، وهوائيات (أو صفيقات من الهوائيات) أكبر حجماً وأعلى كفاءة، مع الأخذ ببعض الخيارات البديلة المحتملة، كنشر هوائيات دائمة في الفضاء أو على سطح القمر أو...

تخيّل أنك دعيت - بصفتك مواطناً - للإدلاء بصوتك، مؤيداً أو معارضًا، للانضمام إلى حملة دولية جادة بحثاً عن حضارات آخر. كيف نصوت؟ ولماذا؟.....

الجواب: تصوّيتك يعبر عن رأيك الخاص. أنا شخصياً أصوّت تأييداً لحملة بحث دولية مجديّة؛ فإذا عثرنا على حضارات أخرى ذكية، فقد نتعلّم منها كيف نذلل المشكلات التي تهدّد بقاءنا على كوكب الأرض اليوم. وإذا لم نعثر، فحسبنا أننا أنفقنا أموالاً في غaiات صالحة، إذ كان من الممكن أن تتوّقع بالمقابل مكاسب كبيرة في التعايش السلمي والمعرفي لخير الإنسانية، انطلاقاً من التزام دولي بدعم مساعٍ فكرية وعلمية على هذا المستوى⁽¹⁾.

(1) من شاء الاستزادة من موضوع هذا الفصل فلينظر مثلاً: Life in the Universe في كتاب: Explorations: an Introduction to Astronomy, Essay 5. Thomas Arny, Mosby, 1994, pp.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكّنك من المادة الواردة في الفصل الثاني عشر وتمثّلها لها. حاول الإجابة عن كل سؤال جهداً استطاعتك، ثم انظر في الأجبوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

- 1 . اذكر ملاحظتين رصدتَين تدعمان النظريَّة القائلة بأن طلائع الكائنات الحية على الأرض قد تكون تطوراً تلقائياً لموادٍ كيميائية لا حيَّة.
- 2 . لُخص النظريَّة العلميَّة التي تتصل بنشوء الحياة الذكيَّة على الأرض من كائنات حيَّة بسيطة وحيدة الخلية

- 3 . بَيِّنْ لِمَاذَا أُجْرِيَتْ عَلَى كُوكِبِ الْمَرِيخِ بِالذَّاتِ بِوَاكِيرُ الْبَحْثِ عَنِ الْحَيَاةِ عَلَى كُواكبِ أُخْرَى
- 4 . اشْرِحْ نَوْعَيْنِ مِنَ الْأَرْصَادِ التِّي قَدْ تَدَلَّلَ عَلَى كُواكبِ تَطْوُفِ حَوْلِ نَجُومِ غَيْرِ الشَّمْسِ .
..... (1)
- (2)
- 5 . مَا أَبْعَدُ الْعَوَامِلِ عَنِ الْيَقِينِ فِي تَقْدِيرَاتِ الْإِحْصَائِيَّةِ لِوُجُودِ حَيَاةٍ ذَكِيَّةٍ خَارِجَ الْأَرْضِ؟

6 . ما هي الرؤية العلمية السائدة اليوم عن الأجسام الطائرة المجهولة؟

7 . انسُب كلاً من السوابق التالية إلى المركبة الفضائية المناسبة :

- (أ) أول إنسان في الفضاء --
(1) مكوك فضائي.
(2) يورى غاغارين.
- (ب) مركبة فضائية معدّة --
(3) فايكنغ 1 و 2.
(4) فوستوك 1.
- (ج) مركبة فضائية تغادر --
المنظومة الشمسية حاملة
رسالة من الأرض.
- (د) بحث عن الحياة على سطح --
كوكب آخر.

8 . لماذا يركّز العلماء على استقبال إشارات راديوية ذكية في بحثهم عن حياة محتملة على كواكب تدور حول نجوم أخرى وراء الشمس؟

9 . اذكر استراتيجيّي بحثٍ متكاملَيْن وشائعَيْن حالياً.

..... (1)

..... (2)

الأجوبة

قارن أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن أخطأت في بعضها فنُعد إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقة أكبر إذا تعددت أخطاؤك.

. 1. (1) يقر علماء البيولوجيا أن وجود كل الكائنات الحية على الأرض يعتمد على عدد قليل من جزيئات عضوية أساسية يمكن تصنيعها في المختبرات بتفعيل ذرات غازية.

(2) يحمل الفيروس الاعتيادي صفات من الكائنات الحية والجزيئات اللاحية في آن معاً.

(الفقرات 1.12 و 3.12).

2. يؤكّد مبدأ الاصطفاء الطبيعي - أو بقاء الأصلح - ظهورَ تغييراتٍ في صفات الأنماط الحية من جراء تكاثرها. وقد وُجد أنّ أصلح العناصر كان تلك التي تحمل التغييرات المرغوبة التي ساعدت العناصر على البقاء. تلك العناصر الصالحةُ أتيحت لها الحظُ الأوفر للنجاح وأداء وظيفة التكاثر. وهكذا انتقلت الصفات المرغوبة واحتفت الصفات غير المرغوبة بطريق الاصطفاء الطبيعي. ولما كان الذكاء صفةً مرغوبةً، فقد نشأت كائناتٌ ذكيةٌ من خلايا بسيطةٍ بدائية، على مدى ملايين السنين، في ظلّ الظروف البيئية المتباينة التي كانت قائمةً على الأرض.

(الفقرة 4.12)

3. يقع المريخ ضمن المنطقة الشميسية الصالحة للعيش. وثمة دلائل على أن الماء قد جرت في ماضي الزمان على سطحه. كذلك وُجد أنَّ بإمكان نباتات ومتربوبات أرضية معينة البقاء حيَّةً في ظروف بيئية شبيهة بتلك السائدة على المريخ. يضاف إلى هذا أنَّ قُربَ الكوكب من

الأرض يجعل الرحلة إليه مجديّة اقتصاديًّا.

(الفرات: 5.12 و 8.12 و 9.12)

4. (1) بالرصد المباشر: وجود قرص حول نجمي قد يكون منظومة كوكبية في مرحلة تكونها الأولى.

(2) بالرصد غير المباشر: وجود اضطراب قد يكون ناشئًا عن الشد التناهيلي للكواكب الكبيرة الكتلة؛ مثل: ترُّجح في الحركة الحقيقية لنجم، أو انزياح دوپلري في خطوطه الطيفيَّة يدل على تغييرات في السرعة الشعاعية، أو تغييرات دوريَّة طفيفة في تردد الأمواج الراديوية المستقبلة من تباضن ملي ثانية.

(الفقرة 7.12)

5. العُمر الوسطي لحضارة ذكية.

(الفقرة 6.12)

6. لا يعتقد معظم العلماء أن كائنات قد وفدت إلينا من عوالم أخرى. وهم يطلبون دليلاً ملموساً من قبيل قطعة من مركبة فضائية دخلة يخضعونها للدراسة المخبرية. غير أن شيئاً من هذا لم يتسم حتى الآن.

(الفقرة 9.12)

7. (أ) 4؛ (ب) 1؛ (ج) 2؛ (د) 3

(الفرات: 1.12 و 8.12 و 9.12)

8. إن أقرب النجوم إلينا يقع على بُعد عدة سنوات ضوئية، ومن ثم يتعرَّ علينا الوصول إليها. إلا أننا نمتلك القدرة على التواصل مع حضارات أخرى بسرعة الضوء باستعمال الأمواج الراديوية. والتركيز على استقبال إشارات ذكية هو أرخص وأيسَرْ وآمنُ من الاستمرار في إرسالها إلى حين معرفة مكان وجود الحضارات الأخرى ودرجة ائتلافها مع الإنسان.

(الفقرات : 10 . 12 إلى 8 . 12)

- 9 . (1) مسح مجمل السماء، على امتداد مجال ترددٍ واسع بغية الكشف عن إشارات قوية.
- (2) البحث العالي الحساسية الموجّه إلى نجوم قريبة كالشمس، ضمن مجال تردد أضيق.

(الفقرة 11 . 12)

الخاتمة

علم الفلك يبعث النفس على النظر إلى الأعلى، والانطلاق
من هذا العالم إلى عالم آخر.

أفلاطون (نحو 428 - 348 قبل الميلاد)

The Republic

قطع علم الفلك شوطاً بعيداً من التقدُّم منذ أن بدأ الأقدمون بالتفكير في أسرار الكون ونوماميسه. ومع ذلك فإن ما اكتُشف حتى اليوم ما هو إلا غيضٌ من فيضٍ من مكتشفاتٍ مثيرةً مازالت تنتظر. يجدر بك - وقد سلَكْتَ بدايةً الطريق وتمكَنتَ من المفاهيم الأساسية - أن ترعى السماء متأنِّلاً في عجيب صنعة الكون، وأن تجد متعةً وفائدةً في رصد المكتشفات الحالية أكثر من أي وقت مضى!

مصادر مفيدة

منشورات دورية

Air & Space-Smithsonian, Smithsonian Institution, 901 D Street, S.W., 10th Floor, Washington, D.C. 20024. www.airspacemag.com

Astronomy, Kalmbach Publishing Co., Box 1612, Waukesha, WI 53187. www.astronomy.com

The Griffith Observer, Griffith Observatory, 2800 East Observatory Road, Los Angeles, CA 90027. www.griffithobs.org/observer.html

Mercury, Astronomical Society of the Pacific, 390 Ashton Avenue, San Francisco, CA 94112. www.aspsky.org/subpages/Mercury.html

National Geographic, 17th and M Streets, NW, Washington, DC 20036. www.nationalgeographic.com

Natural History, Membership Services, Box 6000, Des Moines, IA 50340. www.amnh.org/naturalhistory

Science News, 1719 N Street, NW, Washington, DC 20036.

Scientific American, 415 Madison Avenue, New York, NY 10017. www.scientificamerican.com

Sky and Telescope, Sky Publishing Corp., 49 Bay State Road, Cambridge, MA 02138. www.skypub.com

أدلة في الشبكة

Sky and Telescope's Astronomical Directory.

دليل القباب الفلكية، والمراصد، والمتاحف، والنوادي الفلكية، والجمعيات، والتجار، والمصنعين، والمؤسسات في الولايات المتحدة، وكندا، والمكسيك، وأوروبا، وأستراليا، ونيوزيلندا.

www.skypub.com/resources/directory/directory.shtml

Astronomy's Activity Guide.

دليل النوادي الفلكية، والأحداث، والأماكن، والمؤسسات في الولايات المتحدة، وكندا.

www2.astronomy.com/astro

American Astronomical Society Membership Directory.

دليل سنوي للشركات، والناشرين، والأفراد، والمؤسسات الدولية، وفي أمريكا الشمالية.

<http://directory.aas.org>

كتب للمؤلفة دينا ل. موشيه www.spacelady.com

AMAZING ROCKETS, Golden Books, New York, NY

AMAZING SPACE FACTS, 2nd edition, Golden Books, New York, NY

ASTRONOMY, 5th edition, John Wiley & Sons, New York, NY

ASTRONOMY TODAY, 2nd edition, updated regularly, Random House, New York, NY

THE ASTRONAUTS, Random House, New York, NY

THE GOLDEN BOOK OF SPACE EXPLORATION, Golden Books, New York, NY

IF YOU WERE AN ASTRONAUT, 2nd edition, Golden Books, New York, NY

LABORATORY MANUAL FOR INTRODUCTORY ASTRONOMY -editor and co-author

LIFE IN SPACE, Ridge Press/A & W Publishers, New York, NY

MAGIC SCIENCE TRICKS, Scholastic Book Services, New York, NY
MARS, Franklin Watts, New York, NY
MORE MAGIC SCIENCE TRICKS, Scholastic Book Services, New York, NY
MY FIRST BOOK ABOUT SPACE, Golden Books, New York, NY
RADIATION, Franklin Watts, New York, NY
SEARCH FOR LIFE BEYOND EARTH, Franklin Watts, New York, NY
WHAT'S UP THERE? QUESTIONS AND ANSWERS ABOUT STARS AND SPACE, updated regularly, Scholastic Book Services, New York, NY
WHAT'S DOWN THERE? QUESTIONS AND ANSWERS ABOUT THE OCEAN, Scholastic Book Services, New York, NY
WE'RE TAKING AN AIRPLANE TRIP, Golden Books, New York, NY

معلومات عن الحياة المهنية

A Career in Astronomy, The American Astronomical Society, Education Officer, Bruce Partridge, Haverford College, Haverford, PA 19041. bpartrid@haverford.edu.

Degree Programs in Physics and Astronomy in U.S. Colleges and Universities, American Institute of Physics, www.aip.org

(a) Physics in Your Future, and (b) Women in Science by Dinah L. Moché, Ph. D., American Association of Physics Teachers, One Physics Ellipse, College Park, MD 20740.

تقاويم وأدلة رصد وكتب مصوّرات نجمية

A Field Guide to the Stars and Planets, 4th edition, by Donald H. Menzel and Jay M. Pasachoff (Boston: Houghton Mifflin Co., 1999).

All About Telescopes by Sam Brown (Barrington, NJ: Edmund Scientific Co.).

The Astronomical Almanac, issued annually by the U.S. Naval Observatory (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, yearly). Current information about Sun, Moon, planets, eclipses, and occultations.

Burnham's Celestial Handbook, Volumes 1, 2, and 3, Revised edition (New

York: Dover Publications, Inc., 1980). Observer's guide to space beyond the solar system.

Norton's Star Atlas and Reference Handbook, edited by Ian Ridpath (White Plains, NY: Longman Publishing Group, 1998).

Observer's Handbook, edited by Roy L. Bishop, issued annually by the Royal Astronomical Society of Canada, 136 Dupont Street, Toronto, Ontario M5R1V2. Information and tables on the Sun, Moon, planets, asteroids, meteor showers, and other celestial phenomena.

Sky Atlas 2000.0, 2nd edition, by Wil Tirion (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1999).

Sky Calendar (East Lansing, MI: Abrams Planetarium, Michigan State University, yearly).

مؤسسات وجمعيات فلكية

American Association of Variable Star Observer

25 Birch Street
Cambridge, MA 02138
(617) 354-0484

www.aavso.org

American Association of Physics Teachers

One Physics Ellipse
College Park, MD 20740
(301) 209-3333

www.aapt.org

American Astronomical Society

2000 Florida Avenue, NW, Suite 300
Washington, DC 20009

www.aas.org

Astronomical League and Astronomy Day

5675 Real del Norte

www.astroleague.com

Las Cruces, NM 88012

(505) 382-9131

Astronomical Society of the Pacific

390 Ashton Avenue

www.aspsky.org

San Francisco, CA 94112

(415) 337-1100

British Astronomical Association

Burlington House, Piccadilly

www.ast.cam.ac.uk/~baa/

London W1V ONL, England

International Planetarium Society

c/o Taylor Planetarium

www.ips-planetarium.org

Museum of the Rockies

Montana State University

600 Kagy Blvd., Bozeman, MT 59717

National Science Teachers Association

1840 Wilson Blvd.

www.nsta.org

Arlington, VA 22201

(703) 243-7100

National Space Society

600 Pennsylvania Avenue, SE

www.nss.org

Washington, DC 20003

(202) 543-1900

Royal Astronomical Society

Burlington House, Piccadilly

www.ras.org.uk/ras

London W1V ONL, England

Royal Astronomical Society of Canada

136 Dupont Street www.rasc.ca

Toronto, Ontario, Canada, M5R 1V2

(416) 924-7973

Society of Amateur Radio Astronomers

247 North Linden Street www.bambi.net/sara.html

Massapequa, NY 11758

(516) 798-8459

The Planetary Society

65 North Catalina Avenue http://planetary.org

Pasadena, CA 91106

(818) 793-5100

علم الفلك واستكشاف الفضاء على شبكة الإنترن特

تزايد على الشبكة كمية المعلومات الحديثة والصور الكونية المثيرة المتعلقة بعلم الفلك واستكشاف الفضاء تزايداً يومياً. وتحتفظ لك مواقع وبالتالي نفاذـاً سريعاً إلى أفضل الموقع الفلكية والفضائية على الشبكة، عن طريق توفير وصلات ترابطية مختارة، إلى موقع كثيرة دقيقة وبارزة، مرتبة بحسب الموضوعات:

صور فلكية مثيرة

Anglo-Australian Observatory Image Collection

صور فوتوغرافية جديدة للنجوم، والمجرات، والسدُّم، من أستراليا.
www.aao.gov.au/images.html

Astronomy Picture of the Day

صورة جديدة كل يوم، مع شروح، ووصلات، وأرشيف.

antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html

Hubble Heritage Photos

أعظم اللقطات من مقراب هبل الفضائي، تضاف شهرياً وتدخل الأرشيف.

heritage.stsci.edu/

NASA Image Exchange

قاعدة معلومات من الصور للعرض والبحث، مجموعة من عشرة من مراكز وكالة أبحاث الفضاء الأمريكية (ناسا).

nix.nasa.gov

NASA's Planetary Photo Journal

صور متاحة للعموم من برامج استكشاف المنظومة الشمسية.

photojournal.jpl.nasa.gov/

National Optical Astronomy Observatories Image Gallery

صور من مقاريب Gemini، Kitt Peak، و NSO/Sac Peak.

www.noao.edu/

Space Telescope Science Institute

مقراب هبل الفضائي: صور ونشاطات.

www.stsci.edu

استكشافات فضائية وفلكلية عامة

Astronomy Magazine's Selected Astronomy Web Sites

معلومات وفهارس، مواقع ومقاريب للمبتدئين والأطفال.

www2.astronomy.com/Astro/HotLinks/hotlinks.html

Griffith Observatory Star Awards

موقع فلكية تعرض معلومات مفيدة ودقيقة بأسلوب منظم وجذاب.

www.griffithobs.org/star/award.html

National Aeronautics and Space Administration (NASA) Homepage

جولة في وكالة أبحاث الفضاء الأمريكية (ناسا): فعالياتها، أخبارها، مراكزها، برامجها، استكشافاتها الإنسانية والربوطية، علم الأرض والفضاء، وبرامج من (ناسا) موجهة للأطفال.

www.nasa.gov

Sky and Telescope Resources Links

فهارس عن موقع وب، أبحاث للمحترفين والهواة، مقاريب، رصد، خرائط نجمية، رحلات فضائية محمولة جوًأ وربوئية و Mahmول، معطيات وأدلة مباشرة في الشبكة، برمجيات مجانية ومشاركة للعموم.

www.skypub.com/resources/links/links.shtml

مواد تعليمية

American Astronomical Society Education Office

مصادر لأساتذة الطلبة الجامعيين وطلبة الدراسات العليا، وال العامة.

www.aas.org/education/index1.html

NASA Core Central Operation of Resources for Educators

نشر منتجات ناسا التعليمية المتعددة الوسائط في جميع أنحاء العالم بأدنى كلفة.

core.nasa.gov/

NASA Education Program

مصادر وبرامج وتقاويم من وكالة ناسا للمعلمين، والطلاب، وجمهور العامة.

<http://education.nasa.gov>

National Optical Observatories Educational Outreach Program

معلومات وبرامج ومواد لليافعين وطلاب الكليات من وضع علماء من

المرادفات الفلكية البصرية الوطنية .NOAO

www.noao.edu/education/noaoeo.html

Spacelink

مصادر ومواد تعليمية وخدمات ومكتبة للمعلمين من وكالة ناسا.

spacelink.nasa.gov/.index.html

Sky Publishing Astronomy Education Links

منظمات ووسائل وبرامج فلكية عامة، والمنظومة الشمسية، ومصادر تعليمية

دورات ومخيمات.

www.skypub.com/resources/links/astroeducation.html

الملحق 1

البروج (الكواكب)

الاسم	المختصر	المعنى	المرجع	
			الارتفاع النجمي	الميل
Andromeda	And	المرأة المسلسلة	1 ^h	+40°
Antlia	Ant	مضحة الماء	10 ^h	-35°
Apus	Aps	طائر الفردوس	16 ^h	-75°
Aquarius	Aqr	الدلو	23 ^h	-10°
Aquila	Aql	السر	19 ^h 30 ^m	+5°
Ara	Ara	الخربة	17 ^h 30 ^m	-55°
Aries	Ari	الحمل	2 ^h	+20°
Auriga	Aur	ذو الأعنة	5 ^h 30 ^m	+40°
Bootes	Boo	المواء	14 ^h 30 ^m	+30°
Caelum	Cae	آلة النقاش	4 ^h 30 ^m	-40°
Camelopardalis	Cam	الزرافه	6 ^h	+70°
Cancer	Cnc	السرطان	8 ^h 30 ^m	+20°
Canes Venatici	CVn	كلاب الصيد	12 ^h 30 ^m	+40°
Canis Major	CMa	الكلب الأكبر	7 ^h	-20°
Canis Minor	CMi	الكلب الأصغر	7 ^h 30 ^m	+5°
Capricornus	Cap	الحمل	21 ^h	-20°
Carina	Car	البلوزون	9 ^h	-60°
Cassiopeia	Cas	ذات الكروسي	1 ^h	+60°
Centaurus	Cen	قططورس	13 ^h	-50°
Cepheus	Cep	فيقاوس	22 ^h	+65°
Cetus	Cet	قيطس	2 ^h	-10°
Chamaeleon	Cha	الخرباء	10 ^h	-80°
Circinus	Cir	الفر حار	15 ^h	-60°
Columba	Col	الحمام	6 ^h	-35°
Coma Berenices	Com	ذؤابة بربنكي	13 ^h	+25°
Corona Australis	CrA	الاكليل الجنوبي	19 ^h	-40°
Corona Borealis	CrB	الاكليل الشمالي	15 ^h 30 ^m	+30°
Corvus	Crv	الغراب	12 ^h 30 ^m	-20°

الاسم	المختصر	المعنى	الارتفاع المنسوب	المراجع
Crater	Crt	النافورة	11 ^h 30 ^m	-15°
Crux	Cru	الصلب الجنوبي	12 ^h 30 ^m	-60°
Cygnus	Cyg	الدجاجة	20 ^h	+40°
Delphinus	Del	الدلفين	20 ^h 30 ^m	+15°
Dorado	Dor	سياف البحر	5 ^h	-60°
Draco	Dra	التنين	18 ^h	+70°
Equuleus	Equ	قطعة الغرس	21 ^h	+10°
Eridanus	Eri	النهر	3 ^h 30 ^m	-20°
Fornax	For	الفرن، الكور	3 ^h	-30°
Gemini	Gem	الجوزاء	7 ^h	+25°
Grus	Gru	الكراكي	22 ^h	-40°
Hercules	Her	هرقل، البليانى	17 ^h	+35°
Horologium	Hor	الساعة	3 ^h	-50°
Hydra	Hya	حية الماء	11 ^h	-20°
Hydrus	Hyi	ثعبان الماء	2 ^h	-70°
Indus	Ind	الهندي	21 ^h	-50°
Lacerta	Lac	البطاعة	22 ^h 30 ^m	+50°
Leo	Leo	الأسد	10 ^h 30 ^m	+20°
Leo Minor	LMi	الأسد الأصغر	10 ^h 30 ^m	+35°
Lepus	Lep	فواع	5 ^h 30 ^m	-20°
Libra	Lib	الميزان	15 ^h	-15°
Lupus	Lup	الذئب	15 ^h 30 ^m	-40°
Lynx	Lyn	الوشق	8 ^h	+50°
Lyra	Lyr	الشنيلان	18 ^h 30 ^m	+35°
Mensa	Men	الجبل	5 ^h 30 ^m	-75°
Microscopium	Mic	النجم	21 ^h	-35°
Monoceros	Mon	وحيد القرن	7 ^h	-5°
Musca	Mus	الذبابية	12 ^h	-70°
Norma	Nor	المربع	16 ^h	-50°
Octans	Oct	الثمن	0 ^h -25 ^h	-90°
Ophiuchus	Oph	الخروأ والحوية	17 ^h	0°
Orion	Ori	الجيار	5 ^h 30 ^m	0°
Pavo	Pav	الطاووس	20 ^h	-65°
Pegasus	Peg	الغرس المجنح	23 ^h 30 ^m	+20°
Perseus	Per	فرساؤس	3 ^h 30 ^m	+45°
Phoenix	Phe	العنقاء	1 ^h	-50°
Pictor	Pic	كرسي المصوّر	6 ^h	-55°

المرجع

الاسم	المختصر	المعنى	الارقام المنسقة	الأمثل
Pisces	Psc	الحوت	23 ^h 30 ^m	+5°
Piscis Austrinus	PsA	الحوت الجنوبي	23 ^h	-30°
Puppis	Pup	الكرتل	8 ^h	-40°
Pyxis	Pyx	البواصلة	9 ^h	-30°
Reticulum	Ret	الشبكة	4 ^h	-60°
Sagitta	Sge	السهم	20 ^h	+20°
Sagittarius	Sgr	القوس	18 ^h 30 ^m	-30°
Scorpius	Sco	العنقر	17 ^h	-30°
Sculptor	Scl	الحائط	0 ^h	-30°
Scutum	Sct	الدرع	18 ^h 30 ^m	-10°
Serpens	Ser	الحية	16 ^h	0°
Sextans	Sex	الستس	10 ^h	-5°
Taurus	Tau	الثور	4 ^h 30 ^m	+15°
Telescopium	Tel	المقراب	19 ^h	-50°
Triangulum	Tri	المثلث	2 ^h	+30°
Triangulum Australe	TrA	المثلث الجنوبي	16 ^h	-65°
Tucana	Tuc	الطرقان	23 ^h 30 ^m	-65°
Ursa Major	UMa	الدب الأكبر	11 ^h	+60°
Ursa Minor	UMi	الدب الأصغر	15 ^h	+70°
Vela	Vel	الشراع	9 ^h	-50°
Virgo	Vir	العذراء	13 ^h	-10°
Volans	Vol	السمك الطائر	8 ^h	-70°
Vulpecula	Vul	الثعلب	19 ^h 30 ^m	+25°

الملحق 2

ثوابت فيزيائية وفلكلية

$c = 299,792,458$ meter per second	سرعة الضوء
$G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ Kg}^{-2}$	ثابت الجاذبية
$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$	ثابت ستيفان-بولتزمان
$m_e = 9.1094 \times 10^{-31} \text{ Kg}$	كتلة الإلكترون
$m_H = 1.67352 \times 10^{-24} \text{ gram}$	كتلة ذرة الهيدروجين
$m_p = 1.67262 \times 10^{-27} \text{ Kg}$	كتلة البروتون
$AU = 1.49597870 \times 10^{11} \text{ m}$	الوحدة الفلكية
$pc = 3.085678 \times 10^{16} \text{ m}$ $= 3.261631 \text{ light-years}$	الgréssus الفلكي
$LY = 9.460536 \times 10^{15} \text{ m}$	السنة الضوئية
$M_\odot = 1.9891 \times 10^{30} \text{ Kg}$	كتلة الشمس
$R_\odot = 696,265 \text{ Km}$	نصف قطر الشمس
$L_\odot = 3.85 \times 10^{26} \text{ W}$	الإشعاع الشمسي
$M_\oplus = 5.974 \times 10^{24} \text{ Kg}$	كتلة الأرض
$R_\oplus = 6,378.140 \text{ Km}$	نصف قطر الأرض الاستوائي
$RA = 17^\text{h} 45.7^\text{m}, Dec -29^\circ 00' (2000)$	اتجاه مركز المجرة
$d_E = 86,400 \text{ seconds}$ $= 365.2422 \text{ ephemeris days}$ $= 365.2564 \text{ ephemeris days}$	يوم التقويم الفلكي السنة المدارية (من الاعتدال إلى الاعتدال) السنة الجميلة (الفلكية)

الملحق 3

رموز ووحدات قياس

وحدات القياس المترية والأمريكية

التحويل التقريري إلى الوحدات الأمريكية

الطول

1 سم - 0.39 إنش

1 سم = 0.03 قدم

1 متر = 1.1 ياردة

1 كم = 0.6 ميل

المساحة

1 سم² - 0.16 إنش مربع

1 م² - 11 قدم مربع

1 م² - 1.2 ياردة مربعة

1 كم² - 0.4 ميل مربع

الكتلة (الوزن)

1 غ - 0.03 أونصة

1 كغ - 2.2 باوند

1 طن - 1.1 طن أمريكي

الحجم

1 ليتر = 0.26 غالون

1 م³ = 35 قدم³

1 م³ = 1.3 يارد³

درجة الحرارة

(F) = فارغائية، (C) = متربة ${}^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} {}^{\circ}\text{C} + 32$

(K) = كلفن ${}^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} {}^{\circ}\text{K} - 460$

واحدات القياس الزاوية

تتألف الدائرة من 360 درجة أو 360°

والدرجة من 60 دقيقة قوسية أو $60'$

والدقيقة من 60 ثانية قوسية أو $60''$.

حروف اللغة اليونانية

ν	N	نيو	α	A	ألفا
ξ	Ξ	ساي	β	B	بيتا
ο	O	أوميكرون	γ	Γ	غاما
π	Π	باي	δ	Δ	دلتا
ρ	P	رو	ε	E	إيسيلون
σ	Σ	سيجما	ζ	Z	زيتا
τ	T	تاو	η	H	إيتا
υ	Y	أبسilon	θ	Θ	ثيتا
φ	Φ	فاي	ι	I	أيota
χ	X	كاي	κ	K	كابا
ψ	Ψ	سي	λ	Λ	لامدا
ω	Ω	أوميغا	μ	M	مير

رموز الشمس والقمر والنجوم

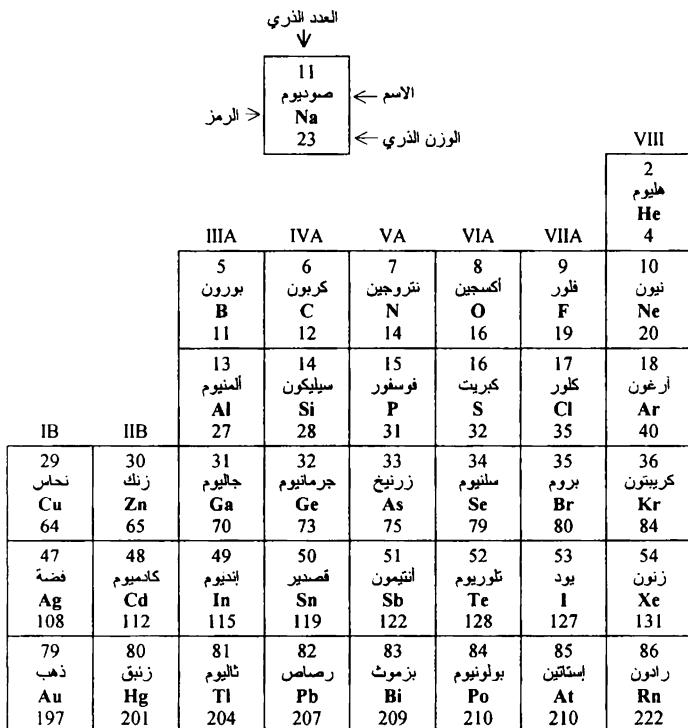
⊙	الشمس	⊕	المريخ	⊕	بلوتو
☽	القمر	☽	المشتري	●	قمر جديد
☽	عطارد	☽	زحل	»	التربع الأول
☽	الزهرة	☽	أورانوس	○	قمر بدر
⊕	الأرض	⊕	نبتون	»	التربع الأخير

علامات دائرة البروج

٠	الحمل	٦٨	الأسد	٢٤٠	هم القوس
٣٠	الثور	١٥٠	العنقاء	٢٧٠	هم الجدي
٦٠	الجوزاء	١٨٠	الميزان	٣٠٠	هم الدلو
٩٠	السرطان	٢١٠	العقرب	٣٣٠	هم الحوت

الملحق 4

جدول التصنيف الدوري للعناصر



65	تربيوم	66	ديسيروبيوم	67	هولميوم	68	أريبيوم	69	تولبيوم	70	بنزربيوم	71	لوتيوم
Tb	Dy			Ho			Er		Tm		Yb		Lu
159		163		165			167		169		173		175
97	بركلوبوم	98	كاليفورنيوم	99	لينشتيتنيوم	100	فرميوم	101	مندلبيوم	102	نوبليوم	103	لورنسيوم
Bk	Cf			Es			Fm		Md		No		Lr
247		251		254			253		256		254		257

Group IA										
1	هيدروجين H 1	IIA								
2	لithium Li 7	Be 9								
3	صوديوم Na 23	Mg 24								
4	بوتاسيوم K 39	كالسيوم Ca 40	سكالديوم Sc 45	تيتانيوم Ti 48	فاناديوم V 51	كروم Cr 52	منقنز Mn 55	حديد Fe 56	كوبالت Co 59	
5	ريبيوم Rb 85	سترتيوم Sr 88	برتيروم Y 89	زركونيوم Zr 91	نيوربيوم Nb 93	موليبديوم Mo 96	تكنيتنيوم Tc 99	روشبيوم Ru 101	روبيوم Rh 103	
6	سيزيوم Cs 133	باريوم Ba 137	لنثيوم La 139	هفنيوم Hf 178	تنتاليوم Ta 181	وولفريان W 184	رنبيوم Re 186	أزيبيوم Os 190	أربديوم Ir 192	
7	فرانسيوم Fr 223	راديوم Ra 226	اكتيفيوم Ac 227	رانفوريبيوم Rf 261	دوبيبيوم Db 262	سيبورجيوم Sg 266	بوربيبيوم Bh 262	هاسبيوم Hs 265	ميتربيوم Mt 266	
IIIIB	19 بوتسايموم K 39	20 كالسيوم Ca 40	21 سكالديوم Sc 45	22 تيتانيوم Ti 48	23 فاناديوم V 51	24 كروم Cr 52	25 منقنز Mn 55	26 حديد Fe 56	27 كوبالت Co 59	28 نيكل Ni 59
IVB	37 ريبديوم Rb 85	38 ستريتنيوم Sr 88	39 برتنيروم Y 89	40 زركونيوم Zr 91	41 نيوبيوم Nb 93	42 موليبديوم Mo 96	43 تكنكتنيوم Tc 99	44 روشيبيوم Ru 101	45 روبيوم Rh 103	46 بلابيوم Pd 106
V	55 سيزيوم Cs 133	56 باربيوم Ba 137	57 لنثليوم La 139	72 هفنيوم Hf 178	73 تنتاليوم Ta 181	74 وولفريان W 184	75 رنبيوم Re 186	76 أزيبيوم Os 190	77 أربديوم Ir 192	78 بلاتين Pt 195
VIIB	87 فرانسيوم Fr 223	88 راديوم Ra 226	89 اكتيفيوم Ac 227	104 رانفوريبيوم Rf 261	105 دوبيبيوم Db 262	106 سيبورجيوم Sg 266	107 بوربيبيوم Bh 262	108 هاسبيوم Hs 265	109 ميتربيوم Mt 266	
VIII										

6	58 سيربيوم Ce 140	59 براسوديميوم Pr 141	60 نوديميوم Nd 144	61 بروميثيوم Pm 147	62 ساماراريوم Sm 150	63 يوربيوم Eu 152	64 جادوليبيوم Gd 157
7	90 ثوريوم Th 232	91 بروتاكتنيوم Pa 231	92 يورانيوم U 238	93 بيتونيوم Np 237	94 بلوتونيوم Pu 242	95 أمريكيوم Am 243	96 كوربيوم Cm 247

الملحق 5

أقرب النجوم

القدر المطلق	الاختلاف المظري (بالنسبة لفسي)	الصنف الطيفي	القدر الظاهري	أليل	الارتفاع المسقى $h \text{ m}$	البعد (سنة ضوئية)	النجم
4.8		G	-26.72	—	— a		الشمس
15.5	722	M	11.01	-62 41	14 30	4.2	قطورس القريب
4.3 5.7	742 742	G K	-0.01 1.35	-60 50	14 40	4.4 4.4	خصار α B
13.2	549	M	9.54	+04 41	17 58	5.9	نجم بارنارد
16.6	419	M	13.46	+07 01	10 56	7.8	ورنف 359
10.5	392	M	7.49	+35 58	11 03	8.3	BD + 36° 2147
1.5 11.3	379 DA	A 8.44	-1.44 8.44	-16 43	06 45	8.6	الشّماليّة A B
15.4 15.8	373 M	M	12.56 12.96	-17 56	01 39	8.7	لابن 726-8A B
13.0	337	M	10.37	-23 50	18 50	9.7	روس 154
14.8	316	M	12.27	+44 09	23 42	10.3	روس 248
6.2	311	K	3.72	-09 27	03 33	10.5	النهر 6
9.8	304	M	7.35	-35 51	23 06	10.7	CD - 36° 15693
13.5	300	M	11.12	+00 48	11 48	10.9	روس 128
14.6	290	M	12.32	-15 17	22 39	11.2	لابن 789-6ABC
7.5 8.3	287 285	K K	5.20 6.05	+38 45 +38 45	21 07 21 07	11.4 11.4	A 61 الدجاجة B
2.7 13.0	286 DF	F 10.7	0.40	+05 13	07 39 3	11.4	الشّماليّة A B
12.0 11.2	285 280	M M	8.90 9.70	+59 38	18 43	11.5 11.6	BD + 59° 1915B A

ملاحظات: 1. إذا كان النجم ثانية مرتين (كالشعرى اليمانية مثلاً) دلـ الحرف A على المكون الذي هو أسطع، دلـ الحرف B على المكون الآخر.

2. أسماء النجوم: تسمى النجوم الساطعة بأسمائها (مثل: الشعرى اليمانية)، وتستعمل حروف بابر Bayer اليونانية مع أسماء البروج عادة وفق درجات سطوعها (حضرت a)، في حين تستعمل أرقام فلامستيد Flamsteed مع أسماء البروج بحسب ارتفاعها المسقى (الدجاجة). وتسمى النجوم الخافتة وفق أرقام ضمن دليل، من مثل: Bonner Durchmusterung-CD، Durchmusterung-BD بنظام ترقيم خاص به.

3. إذا كان النجم قـماً لـابن (الشعرى اليمانية B مثلاً)، ثبت صنفه الطيفي مسبوقاً بالحرف D.

المختصرات: $h =$ ساعة، $m =$ دقيقة زمانية، $^{\circ} =$ دقيقة قوسية، $' =$ درجة.

الملحق 6

أجرام ميسيّيه

الوصف	الكوكبة	أليل	الارتفاع المسقّم			الرقم في الدليل العام الجديد	رقم ميسيّه (M)
			°	'	h		
مخلفات مستعر فائق	Tau	+22 01	5	34.5	1952	1	
حشد كرتبي	Aqr	-0 49	21	33.5	7089	2	
حشد كرتبي	CVn	+28 23	13	42.2	5272	3	
حشد كرتبي	Sco	-26 32	16	23.6	6121	4	
حشد كرتبي	Ser	+2 05	15	18.6	5904	5	
حشد مفتوح	Sco	-32 13	17	40.1	6405	6	
حشد مفتوح	Sco	-34 49	17	53.9	6475	7	
سلم منتشر	Sgr	-24 23	18	03.8	6523	8	
حشد كرتبي	Oph	-18 31	17	19.2	6333	9	
حشد كرتبي	Oph	-4 06	16	57.1	6254	10	
حشد مفتوح	Sct	-6 16	18	51.1	6705	11	
حشد كرتبي	Oph	-1 57	16	47.2	6218	12	
حشد كرتبي	Her	+36 28	16	41.7	6205	13	
حشد كرتبي	Oph	-3 15	17	37.6	6402	14	
حشد كرتبي	Peg	+12 10	21	30.0	7078	15	
حشد مفتوح	Ser	-13 47	18	18.8	6611	16	
سلم منتشر	Sgr	-16 11	18	20.8	6618	17	
حشد مفتوح	Sgr	-17 08	18	19.9	6613	18	
حشد كرتبي	Oph	-26 16	17	02.6	6273	19	
سلم منتشر	Sgr	-23 02	18	02.6	6514	20	
حشد مفتوح	Sgr	-22 30	18	04.6	6531	21	
حشد كرتبي	Sgr	-23 54	18	36.4	6656	22	
حشد مفتوح	Sgr	-19 01	17	56.8	6494	23	
(انظر الملاحظات)	Sgr	-18 29	18	16.9		24	
حشد مفتوح	Sgr	-19 15	18	31.6	IC4725	25	
حشد مفتوح	Sct	-9 24	18	45.2	6694	26	
سلم كوكبي	Vul	+22 43	19	59.6	6853	27	

رقم مسي	العام الجديد	الرقم في الدليل	الارقام المستقيمة	الميل	الكوكبة	الوصف
	(M)		m	°	'	◦
28	6626	6626	18 24.5	52	Sgr	حشد كرتبي
29	6913	6913	20 23.9	32	Cyg	حشد مفتوح
30	7099	7099	21 40.4	23	Cap	حشد كرتبي
31	224	224	0 42.7	16	And	مجرة لولبية
32	221	221	0 42.7	52	And	مجرة اهليجية
33	598	598	1 33.9	39	Tri	مجرة نوبية
34	1039	1039	2 42.0	47	Per	حشد مفتوح
35	2168	2168	6 08.9	20	Gem	حشد مفتوح
36	1960	1960	5 36.1	08	Aur	حشد مفتوح
37	2099	2099	5 52.4	33	Aur	حشد مفتوح
38	1912	1912	5 28.7	50	Aur	حشد مفتوح
39	7092	7092	21 32.2	26	Cyg	حشد. مفتوح
40			12 22.4	05	UMa	(انظر الملحوظات)
41	2287	2287	6 47.0	44	CMa	حشد مفتوح
42	1976	1976	5 35.4	27	Ori	سلمي منتشر
43	1982	1982	5 35.6	16	Ori	سلمي منتشر
44	2632	2632	8 40.1	59	Cnc	حشد مفتوح
45			3 47.0	07	Tau	حشد مفتوح
46	2437	2437	7 41.8	49	Pup	حشد مفتوح
47	2422	2422	7 36.6	30	Pup	حشد مفتوح
48	2548	2548	8 13.8	48	Hya	حشد مفتوح
49	4472	4472	12 29.8	00	Vir	مجرة إهليلجية
50	2323	2323	7 03.2	20	Mon	حشد مفتوح
51	5194-5	5194-5	13 29.9	12	CVn	مجرة نوبية
52	7654	7654	23 24.2	35	Cas	حشد مفتوح
53	5024	5024	13 12.9	10	Com	حشد كرتبي
54	6715	6715	18 55.1	29	Sgr	حشد كرتبي
55	6809	6809	19 40.0	58	Sgr	حشد كرتبي
56	6779	6779	19 16.6	11	Lyr	حشد كرتبي
57	6720	6720	18 53.6	02	Lyr	سلمي كوكبي
58	4579	4579	12 37.7	49	Vir	مجرة لولبية
59	4621	4621	12 42.0	39	Vir	مجرة إهليلجية
60	4649	4649	12 43.7	33	Vir	مجرة إهليلجية
61	4303	4303	12 21.9	28	Vir	مجرة لولبية
62	6266	6266	17 01.2	07	Oph	حشد كرتبي
63	5055	5055	13 15.8	02	CVn	مجرة نوبية
64	4826	4826	12 56.7	41	Com	مجرة نوبية

رقم ميسي	العام الجديد	الرقم في الدليل	الارتفاع المستقيم			الليل	الوصف	الكوكبة
			°	'	h			
					m			(M)
65		3623	11	18.9			مجرة لولية	Leo
66		3627	11	20.2			مجرة لولية	Leo
67		2682	8	50.4			حشد مفتوح	Cnc
68		4590	12	39.5			حشد كربني	Hya
69		6637	18	31.4			حشد كربني	Sgr
70		6681	18	43.2			حشد كربني	Sgr
71		6838	19	53.8			حشد كربني	Sge
72		6981	20	53.5			حشد كربني	Aqr
73		6994	20	58.9			(انظر الملاحظات)	Aqr
74		628	1	36.7			مجرة لولية	Psc
75		6864	20	06.1			حشد كربني	Sgr
76		650-1	1	42.4			سدم كوكبي	Per
77		1068	2	42.7			مجرة لولية	Cet
78		2068	5	46.7			سلم منتشر	Ori
79		1904	5	24.5			حشد كربني	Lep
80		6093	16	17.0			حشد كربني	Sco
81		3031	9	55.6			مجرة لولية	UMa
82		3034	9	55.8			مجرة غير منتظمة	UMa
83		5236	13	37.0			مجرة لولية	Hya
84		4374	12	25.1			مجرة إهليلجية	Vir
85		4382	12	25.4			مجرة إهليلجية	Com
86		4406	12	26.2			مجرة إهليلجية	Vir
87		4486	12	30.8			مجرة إهليلجية	Vir
88		4501	12	32.0			مجرة لولية	Com
89		4552	12	35.7			مجرة إهليلجية	Vir
90		4569	12	36.8			مجرة لولية	Vir
91		4548	12	35.4			مجرة لولية	Com
92		6341	17	17.1			حشد كربني	Her
93		2447	7	44.6			حشد مفتوح	Pup
94		4736	12	50.9			مجرة لولية	CVn
95		3351	10	44.0			مجرة لولية	Leo
96		3368	10	46.8			مجرة لولية	Leo
97		3587	11	14.8			سدم كوكبي	UMa
98		4192	12	13.8			مجرة لولية	Com
99		4254	12	18.8			مجرة لولية	Com
100		4321	12	22.9			مجرة لولية	Com

رقم ميسييه	الرقم في الدليل العام الجديد	الارتفاع المستقيم	الآليل	النوكبة	الوصف	
					°	'
					h	m
101	5457	14	03.2	UMa	+54	21
102				(انظر الملاحظات)		
103	581	1	33.2	Cas	+60	42
104	4594	12	40.0	Vir	-11	37
105	3379	10	47.8	Leo	+12	35
106	4258	12	19.0	CVn	+47	18
107	6171	16	32.5	Oph	-13	03
108	3556	11	11.5	UMa	+55	40
109	3992	11	57.6	UMa	+53	23
110	205	0	40.4	And	+41	41

ملاحظات حول أجرام أكثر شيوعاً

سم سلطان	M1
سم لاغون	M8
حشد البطة البرية	M11
يكتنفه سم العقاب	M16
سم أوبيدا	M17
سم ثلادي الشعب	M20
حقل نجمي في كوكبة القوس، يضم الحشد المفتوح NGC 6603	M24
سم متفتح الطرفين	M27
مجرة المرأة المسلسلة	M31
النجم المردوج الخافت المسمى وينيك 4 Winnecke 4، قدره 9.0 و 9.6	M40
سم المحيار	M42
سم المحيار	M43
حشد الثريا أو القفير	M44
حشد الثريا، ليس له رقم في الدليل العام الجديد NGC، ولا في فهرس الدليل IC	M45
المجرة الدوامة	M51
السم الخافق	M57
مجرة العين السوداء	M64
مجموععة صغيرة من أربعة نجوم خافتة	M73
سم أول Owl	M97
مكرر عن 101	M102
مجرة سومبريلو Sombrero	M104

المصدر:

خريطة القمر

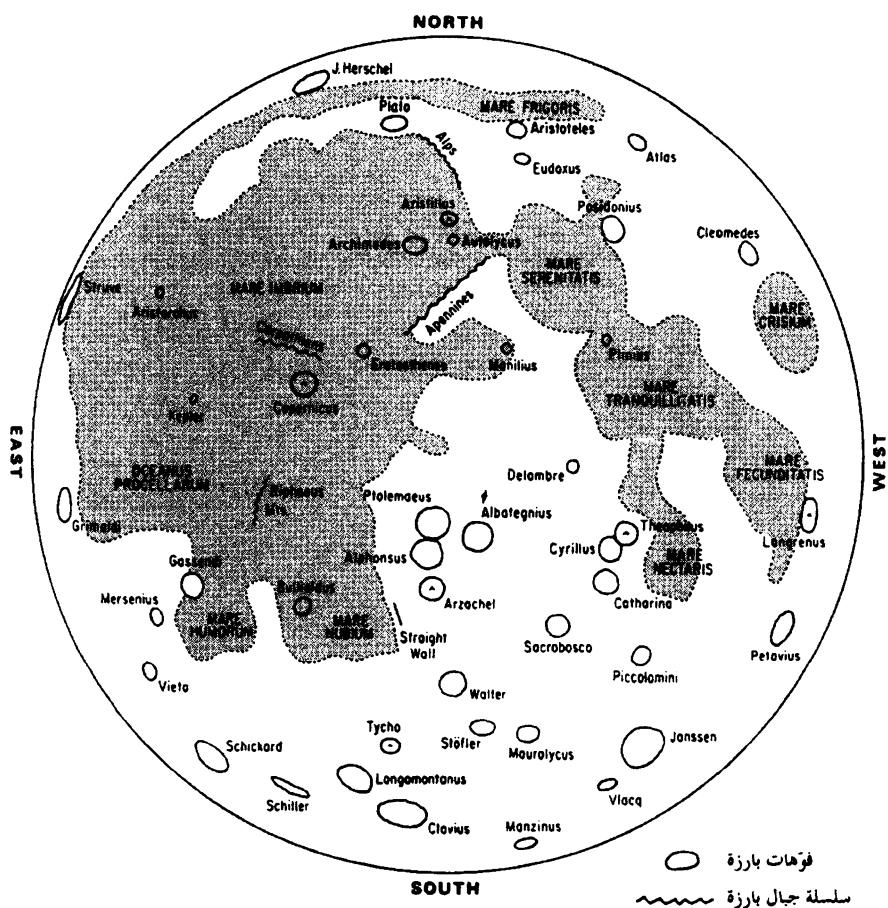


Chart by George Lovi

السماء في الربيع

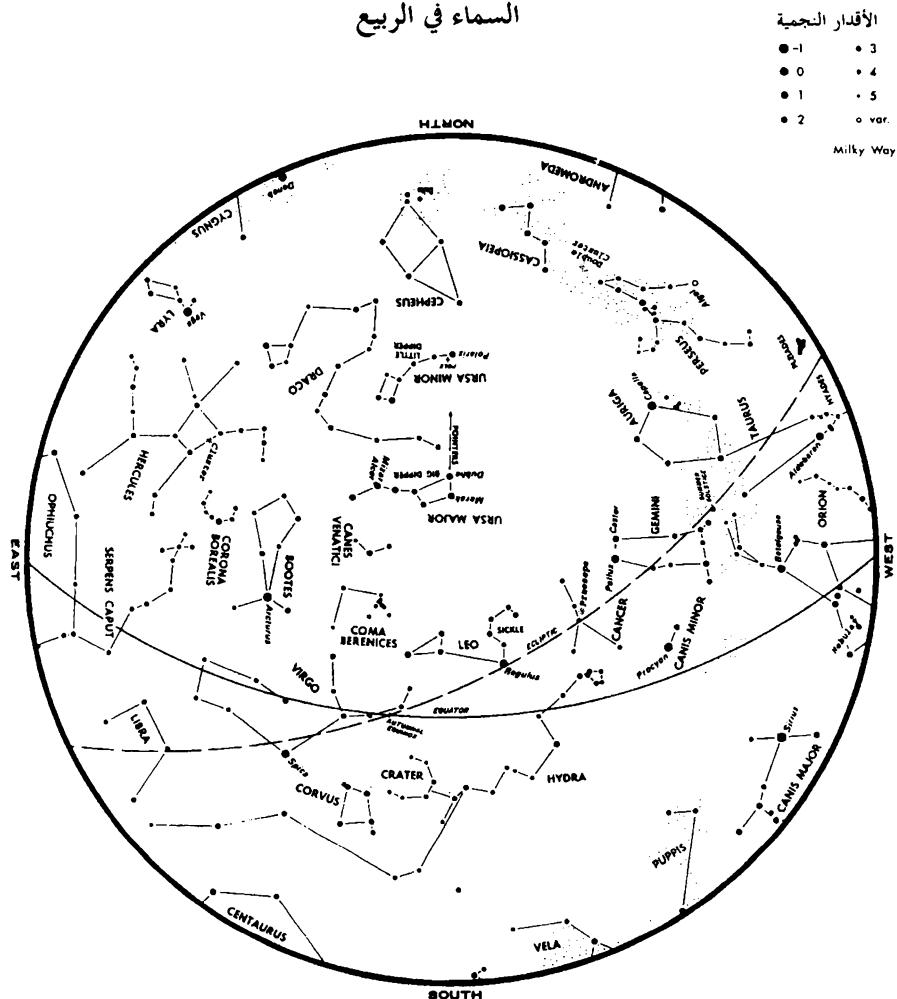


Chart by George Lovi

الجدول الزمني

- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| أواخر آذار (مارس) 11 مساء | أول أيام (مايو) 8 مساء |
| أواخر نيسان (أبريل) 10 مساء | أواخر أيام (مايو) 7 مساء |
| أواخر حزيران (يونيو) 9 مساء | أول جيزران (يونيو) 6 مساء |

السماء في الصيف

الأقدار التجمبية

- -1
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- var.

Milky Way

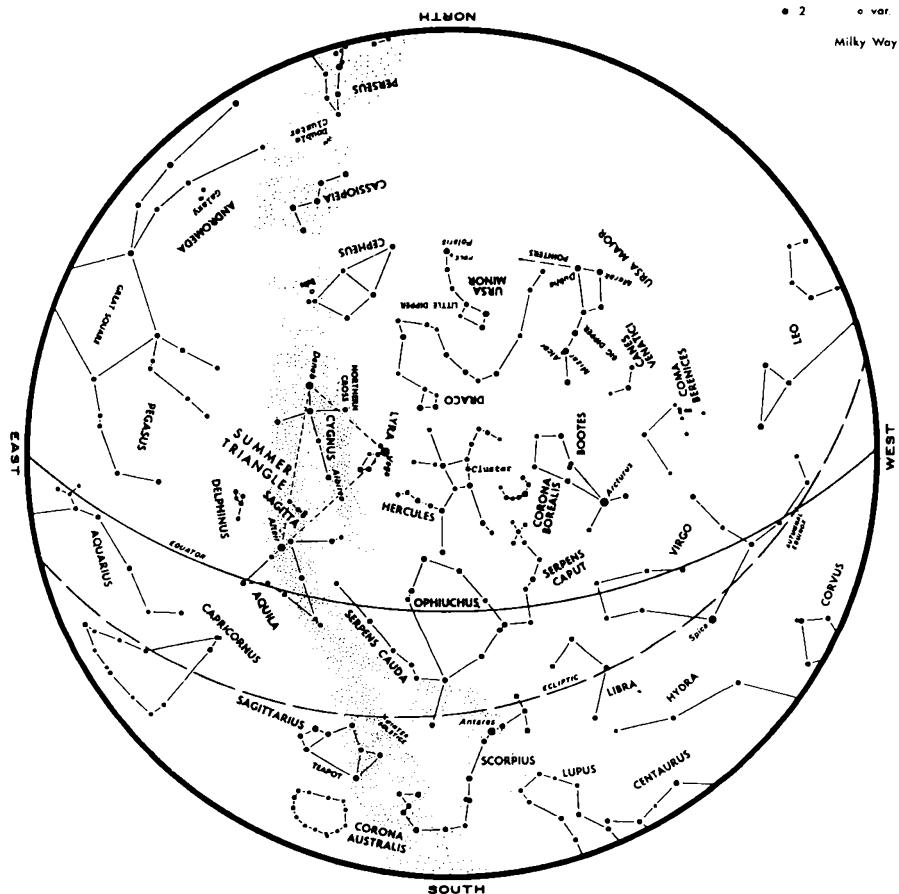


Chart by George Lovi

الجدول الزمني

أوائل آب (أغسطس)	8 مساء	أواخر حزيران (يونيو)	11 مساء
أواخر آب (أغسطس)	7 مساء	أوائل تموز (يوليو)	10 مساء
أوائل أيلول (سبتمبر)	6 مساء	أواخر تموز (يوليو)	9 مساء

السماء في الخريف

الأقدار النجفية

● -1	• 3
● 0	• 4
● 1	• 5
● 2	• var.

Milky Way

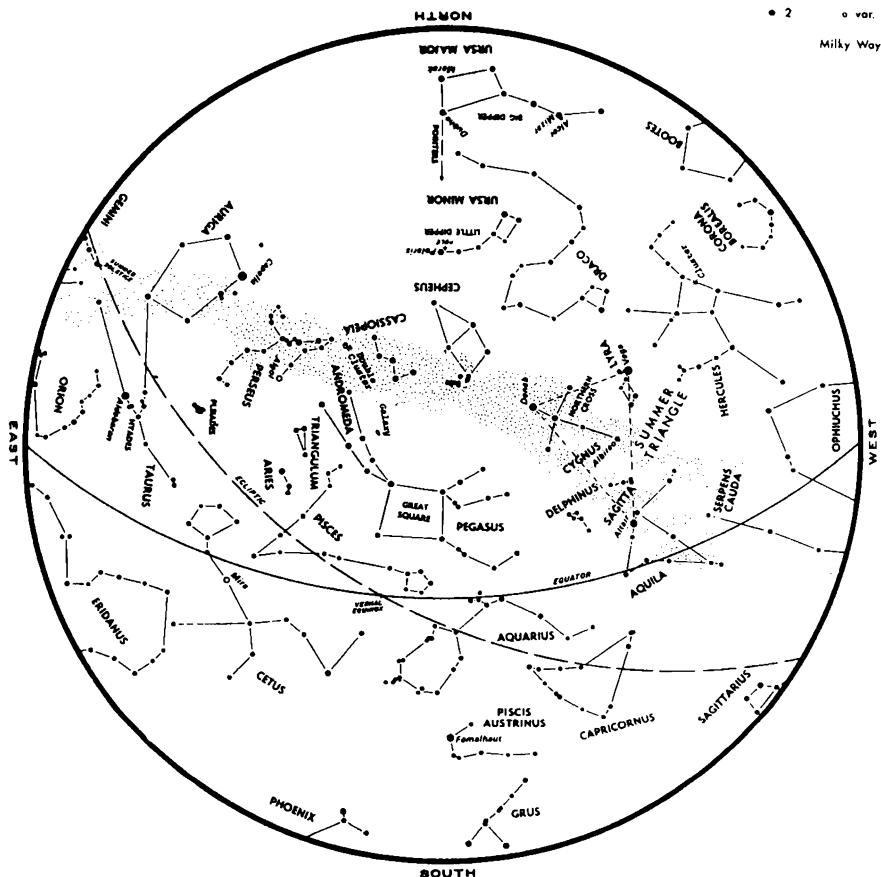


Chart by George Lovi

الجدول الزمني

أوائل أيلول (سبتمبر)	8 مساء	أواخر أيلول (سبتمبر)	11 مساء
أواخر تشرين الثاني (نوفمبر)		أواخر تشرين الأول (أكتوبر)	10 مساء
أوائل كانون الأول (ديسمبر)	7 مساء	أواخر تشرين الأول (أكتوبر)	9 مساء

السماء في الشتاء

الأقدار النجمية

- -1 • 3
- 0 • 4
- 1 • 5
- 2 • var.

Milky Way

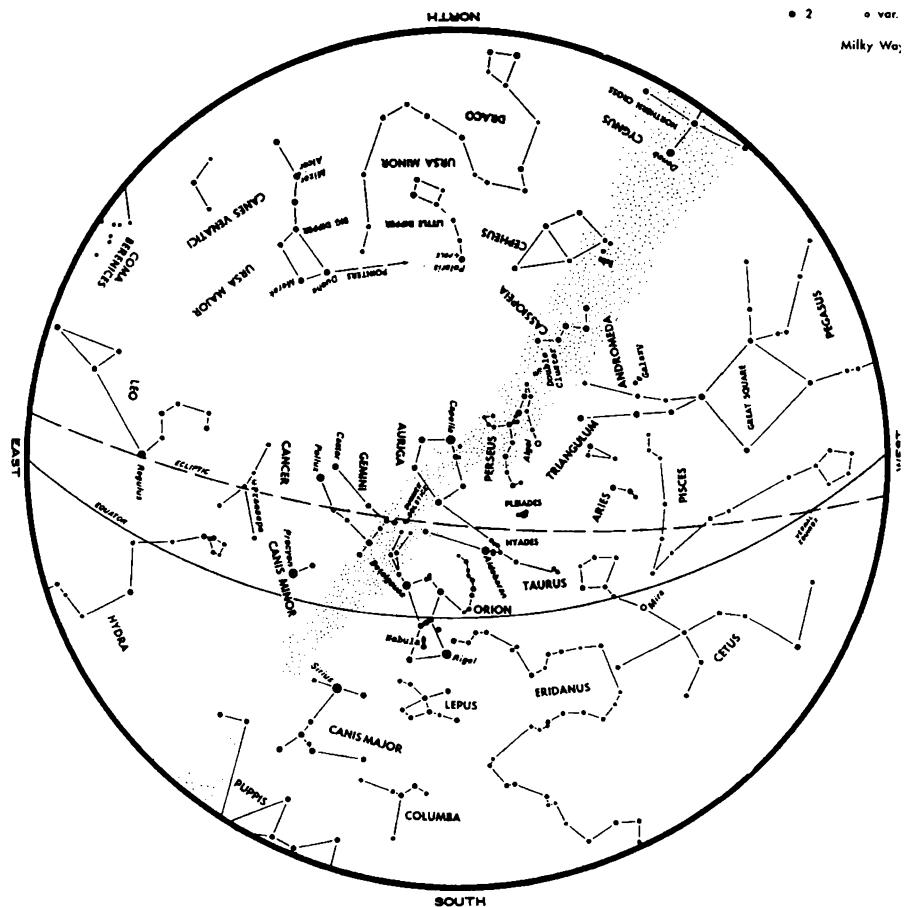


Chart by George Lovell

الجدول الزمني

أوائل شباط (فبراير)	8 مساء	أواخر كانون الأول (ديسمبر)	11 مساء
أواخر شباط (فبراير)	7 مساء	أواخر كانون الثاني (يناير)	10 مساء
أوائل آذار (مارس)	6 مساء	أواخر كانون الثاني (يناير)	9 مساء

شكر

إنني أقدم شكري إلى عدد لا يحصى من الطلاب والمحاضرين والقراء والمستمعين الذين شكّلت أستلتهم وتعليقاتهم نص هذه الطبعة الخامسة.

وإنني أخص بشكري للذين شاركوني بحماس عجائب هذا الكون، وهم:

My home galaxy of stars Mollie and Bertram A. Levine; Elizabeth, Stephen, Lucy, Benjamin, and Robert Schwartz; and Rebecca, Rick, Cindy, Jessica, and Caroline Kahlenberg.

My counselor Ernest Holzberg, Esq. and friend Bonnie Brown.

The National Science Foundation Faculty Fellowship in Science awarded to me made possible advanced studies in astronomy.

Many luminaries have encouraged, influenced, and supported my work. I thank:

Stephen Kippur, Gerard Helferich, Kitt Allan, and Barbara Mele at John Wiley & Sons, Inc.

I appreciate the continued encouragement and support of those who contributed to earlier editions.

Thanks for the Fifth Edition go to: Joseph F. Veverka, Cornell University; Robert Garrison, David Dunlap Observatory; Alan Batten, Dominion Astrophysical Observatory; Peter Michaud, Gemini Observatory; Francois Spite, IAU; Christopher Jackson and Diana C. Madrigal, John Wiley & Sons; Michael Arida, Fred Espenak, Stephen P. Maran, Wayne Warren (GSFC), Alan Chamberlain, Mary Beth Murrill, Jane Platt (JPL), and Cheryl Gundy (STScI), NASA; David G. Finley, National Radio Astronomy Observatory; Roy L. Bishop, Royal Astronomical Society of Canada; Brian Marsden, Smithsonian Astrophysical Observatory; Geoff Chester, U.S. Naval Observatory; Harry Shipman, University of Delaware; and Helene Dickel, University of Illinois.

Fourth Edition: Steve Maran, American Astronomical Society; Maria Pallante, Authors Guild; Bob Finn, California Institute of Technology; Richard Dannay, Esq.; Pat Peterson, de Grummond Collection, University of Southern

Mississippi; Carol R. Leven, Freelance Administrator; Laurence A. Marschall, Gettysburg College; Nicholas L. Johnson, Kaman Sciences Corporation; Mary Beth Murrill, W. M. Keck Observatory; Keith Mordoff, Lockheed Missiles & Space Company, Inc.; Richard Jackson, Bill Santoro, Joe Schank, Mamaroneck Post Office; Constance Moore, Althea Washington (Headquarters), Alan S. Wood, Kimberly Lievense, Sharon Miller, Mary Hardin, Ed McNevin, Jurrie van der Woude, Gil Yanow (JPL), Charles Borland, Billie A. Deason, Lisa Vazquez (JSC), Allen Kenitzer (MSFC), Ray Villard (STSI) of the National Aeronautics and Space Administration; Emma Hardesty, Karie Myers, National Optical Astronomy Observatories; Director Paul A. Vanden Bout, Patrick C. Crane (VLA), Pat Smiley, National Radio Astronomy Observatory; Array; Roy Bishop, *Observer's Handbook*; Gloria Lubkin, *Physics Today*; Jacqueline Mitton, Royal Astronomical Society (U.K.); David Okerson, Science Applications International Corporation; George Lovi, Sky and Telescope columnist; Preston J. Campbell, TRW Federal Systems Division; John Percy, University of Toronto; Jay Pasachoff, Williams College.

Third Edition: I. Robert, Victor and Esther Rozen; Jack Flynn, Andrew Fraknoi, Juliana Ver Steeg, Astronomical Society of the Pacific; Director Sidney Wolff, Carl A. Posey, and Jeff Stoner, Kitt Peak National Observatory; Elyse Murray, Bernard Oliver, and Charles Seeger (Ames), Donald K. Yeomans (JPL), NASA; Ronald Ekers, Arnold H. Rots, and Don L. Swann, NRAO/VLA; Tobias Owen, SUNY/Stony Brook; Larry Esposito, University of Colorado; and Paul W. Hodge, University of Washington.

Second Edition: Lloyd Motz and Chien Shiung Wu, Columbia University; Harry L. Shipman, University of Delaware; Frank E. Bristow (JPL), Les Gaver, David W. Garrett, Curtis M. Graves, William D. Nixon (Headquarters), Peter W. Waller (Ames), and Terry White (JPL), NASA; Janet K. Wolfe, National Air and Space Museum; Richard W. West, NSF; Henry D. Berney, Thomas Como, Donald Cotten, Julius Feit, Sheldon E. Kaufman, Valdar Oinas, Robert Taylor, and Kurt R. Schmeller, Queensborough Community College of CUNY; and Arnold A. Sterassenburg, SUNY/Stony Brook.

بيان مصادر الصور والمعلومات

إننا نشكر جمعية الفلكيين الأمريكيين لتوفيرها عشرات من التحقيقات الصحفية وبيانات بواقع وصور كونية. لقد مكّنتنا هذه الخدمات من تحقيق الدقة وتتجديد المعلومات في نصوص هذا الكتاب. وإن المؤسسات والأفراد التالية أسماؤهم هم أصحاب الصور:

California Association for Research in Astronomy: 2.15

C.S.I.R.O: 2.17

Hale Observatories: 6.4; 6.9; 6.16; 7.2; 9.28; 11.5; 11.7

Kitt Peak National Observatory: 4.7a; 5.1

Leiden Observatory: 6.10

Lowell Observatory: 9.22

NASA: I.1; 2.12; 2.19; 2.20; 4.1; 4.5; 4.12; 4.13; 5.1a; 5.14; 6.3; 6.13; 6.14; 6.23; 7.8; 8.2; 8.14; 8.16; 9.1; 9.2; 9.6; 9.8; 9.9; 9.10; 9.18; 9.19; 9.20; 9.21; 9.23; 9.24; 9.25; 9.26; 9.27; 10.1; 10.5; 10.6; 10.7; 11.1; 11.4; 12.3; 12.4; 12.7

NASA, Brad Smith (University of Hawaii), Glenn Schneider (University of Arizona): 12.2

NASA, Chandra X-ray Observatory Center, Smithsonian Astrophysical Observatory: 6.19a

NASA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA): 5.9

NASA, Jet Propulsion Laboratory: 9.17

NASA, R. Williams and HDF-N Team (Space Telescope Science Institute): I.4

NASA, Steve Lee (University of Colorado), Jim Bell (Cornell University), Mike Wolff (Space Science Institute): 9.16

National Optical Astronomy Observatories: 1.3; 2.6; 2.18; 4.7b; 4.8; 4.11; 5.11; 5.12; 6.1; 6.2; 6.5; 6.17; 6.20; 6.21; 6.22a

National Radio Astronomy Observatory/AUI, J. O. Burns, E. J. Schrier, and E. D.

Feigelson: 6.11; 6.18; 6.19c

Princeton University Project Stratoscope: 4.9

Dr. Martin Schwartzchild, Princeton University: 4.10

J. William Schopf, Elso S. Barghoorn, Morton D. Masser, and Robert O. Gordon:
12.1

Tass/Sovfoto: 9.7

United States Air Force: 11.10

Tables and illustrations are adapted, redrawn, or used by permission of the following authors and publishers:

Table 1.1: Robert Garrison and Brian Beattie, *Observer's Handbook 2000*, with permission of the Royal Astronomical Society of Canada.

Table 2.1: *Astronomy: Fundamentals and Frontiers*, 3rd edition, by Robert Jastrow and Malcolm H. Thompson. Copyright © 1972, 1974, 1977 by Robert Jastrow (John Wiley & Sons, New York).

Figure 2.13: Lockheed Missiles and Space Company.

Table 3.1 (adapted); 11.2 (selected): *Astrophysical Quantities*, 3rd edition. Copyright © 1973 by C. W. Allen (Athlone Press, London).

Table 6.2 (adapted): *Realm of the Universe*, by George O. Abell. Copyright © 1964, 1969, 1973, 1980, by Holt, Rinehart and Winston, Inc. Copyright © 1976 by George O. Abell. Used by permission of Holt, Rinehart and Winston, Inc.

Tables 8.2 and 8.3: National Aeronautics and Space Administration public information. Updates by JPL's Solar System Dynamics Group, URL:
http://ssd.jpl.nasa.gov/sat_elem.html

Figure 9.14: © 2000 by Tina Cash-Walsh.

Tables 10.2 and 10.3: with permission from *Solar Eclipses: 1996–2020* and *Lunar Eclipses: 1996–2020*, by Fred Espenak, NASA/Goddard Space Flight Center.

Table 11.1: Brian G. Marsden, Smithsonian Astrophysical Observatory.

Appendix 2: Data reprinted from *Observer's Handbook 2000*, with permission of the Royal Astronomical Society of Canada.

Appendix 5: Alan Batten, *Observer's Handbook 2000*, with permission of the Royal Astronomical Society of Canada.

الفهرس

- آتون 154
 آثار السنة اللهب الشمسية في بيئة الأرض 180
 الآثار الملحوظة لحركات الأرض 47
 آدمز (جون) 405
 آرمستروونغ (تيل) 435, 434, 432
 آرسبيبو 505
 آربيل 404, 344
 آربيل ساطع كثير الصدوع 404
 الآزوت 215, 216, 298, 459, 458
 آسيا 443
 آلدريبل (إدوين) 435
 آلهة الحب 363
 آلهة القمر 420
 آيفيتو (غرينلاند) 473
 آيو (15) 391, 346, 343
 آيو / المشترى 415
 آيسيلون (النهر) 505
 أبواب 154, 150
 إيميثيون 343
 الاتحاد الفلكي الدولي 363, 466
 اتساع الخطوط التصادمي 125
 اتساع الخطوط الدوراني 125
 آخر الضبابية الجوية على المizar 82
 الاثنين القمر 314
 الأجرام الجلدية الصغيرة 342
 أجرام صخرية غير منتظمة الاشكال 352
 أجرام متراصة ضخمة (ماخوصات) 296
 أجسام طائرة مجهولة (المتشا) 511, 486, 503
 إجمال طريقة استعمال مخططات (H-R)... 229
 أجهزة التبريد والتكييف 374
 أجهزة متقدمة لدراسة المذنبات 479
 أجهزة المدى الليزرى 370
 أحادي أكسير الكربون 459
 الاحتجاج (occultation) هو استثار جرم سماوي خلف آخر 447
 احتراق الفحم والنفط 374
 الاحتاك المدى 423
 الاحتمالات 494
 الأحجار المريخية 475
 الأحجار النيزكية (الصخرية) - (الحديدية) 453, 432
 الأحجار النيزكية القمرية 475
 الأحد الشمسي 314
 الإحداثيات السماوية 30
 أحوال السطح 439
 أحوال غير مؤاتية لحدث الخسوف والكسوف 446
 اختبار ذاتي 51, 101
 اختبارات حدية 292
 اختفاء المذنب 462
 اختلاف المنظر المثلثي 207
 اختلاف المنظر (Parallax) لقياس المسافات... 108
 اختلاف المنظر النجمي 108, 109
 اختلاف المنظر النجمي يتناقض مع بعد النجم 110
 آخراتون 153
 أخيراً ستضيع الشمس نفسها في مركز الكون 309
 أخيراً ظهر الإنسان بذكائه الفكري منذ قرابة (40,000) سنة خلت 492
 الأخيلة 77

- استهلال عصر الفضاء 331
 الأسد = برج الأسد
 الأمر المجري 265
 أسطع نجم ليلي 28
 أسطع النجوم 33, 27
 أسماء أيام الأسبوع 313
 أسماء البروج الاثني عشر 23
 أسماء النجوم 27
 إشعاع الـ 21 سنتيمتراً 244
 إشعاع الأمواج الصخرية 308
 الإشعاع تحت الأحمر 104, 65
 إشعاع الخلفية الكوني 296
 الإشعاع السينكروتروني 263
 الإشعاع فوق البنفسجي 104, 65
 الإشعاع الكهرومغناطيسي 62, 63, 69
 الإشعاع الكوني 296
 أشعة بيضاء 430
 الأشعة تحت الحمراء 97, 61, 246
 الأشعة السينية 61, 65, 104, 178
 الأشعة السينية وفوق البنفسجية 178
 أشعة غالما 61, 104, 178
 الأشعة فوق البنفسجية والسينية والغامية 100
 الأصناف السبعة الرئيسية للألياف النجمية 119
 الأصناف الطيفية 118
 أضحي القمر - بعد مiliاري سنة من ولادته - في حكم الميت... 438
 الأضطرابات الجوية 81
 الأطباق الطائرة 503
 اطلس 343
 أطوار القمر 314, 316
 أطوار كوكب الزهرة 322
 الأطوال الموجية تحت الحمراء (وفوق البنفسجية) 495, 246
 أدرامايتا 343
 إدراك حقيقة السماء المرصّعة بالنجوم 19
 أدلة في الشبكة 519
 أندر حلزونية 234
 الأذرع اللولبية 245, 235
 الأربعاء عطارد 314
 أربعة نجوم حارة وباردة 67
 أربعة نجوم قريبة 134
 ارتبط اختفاء الشمس عند بعض الشعوب... 441
 الارتفاع = عملية الارتفاع
 ارتفاع الشمس 46
 ارتفاع في درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي 198
 ارتفاع دوران القمر 499
 أرسنبو 444
 الأرصاد الفلكية 69
 الأرض تدور حول الشمس دورة كل عام 41
 الأرض تدور حول نفسها يومياً 422
 الأرض تدور حول محورها (axis) يومياً (rotate) 20
 الأرض، الطوق الكويكبي 484
 الأرض عادت لا تعد مركز الكون بكامله 321
 الأرض كروية لا منبسطة 444
 الأرض كما رصدها من القمر رواد مركبة أبوابلو 366
 الأرض كوكب الأرض 369
 الأرض متنزلنا وموانا وهي كرة صخرية يبلغ قطرها... 14
 الأرض مهد البشر، لكن الإنسان... 353
 الأرض وزحل كليهما يدوران حول الشمس 393
 أقرب القمر يومياً مدة شهر إن استطعت 317
 الإريديوم 478
 أزواج الكواكب 412
 إسبانيا 95
 أستراليا 520, 443
 استكشاف الفضاء واستقلاله الاستغلال الأمثل 500
 استكشاف القمر 432
 استكشاف المنظومة الشمسيّة 309
 استكشافات فضائية فلكية عامة 525

- الأكاليل البركانية 365
- أكبر المقارب البصرية في العالم 88
- أكبر مقراب راديوسي 93
- اكتشاف أول منظومة كوكبية... 497
- اكتشاف نبتون 407
- اكتشف مذنبًا وسيحمل اسمك إلى الأبد 468
- اكتشفت بواسطة المركبة ثوياجر 2 عشرة أقمار صغيرة... 404
- أكثر من 700 متغير قيفاري... 208
- الاكتسجين 206، 225، 356، 359
- أكسيد التيتانيوم 122
- الإكليل الشمسي 161
- الإكليلي الشامل 177
- إلرا 343
- الالسنة الشمسية 180
- السنة اللهب (والشواط) 184، 176
- الفا قنطروس 505
- الألمنيوم 206
- أمالثيا (الصغير) 390، 343
- أميريل 344
- أمريكا الجنوبية 443، 416
- أمريكا الشمالية 445، 520
- أنضى فريق مركبة أبولو الأمريكية... 433
- إمكان وجود حياة خارج نطاق الأرض 487
- الأمواج الراديوية 61، 64، 65، 92، 104، 278
- الأمواجزلالية الأرضية 183
- الأمواج الطويلة 65
- الأمواج القصيرة تكون أعلى ترددًا 65
- الأمواج الكهرومغناطيسية 63، 65، 66، 101، 104
- إن لكل شيءً أواناً ولكل مرام تحت السماء وقتاً مقدراً... 193
- أنانكي 343
- انبعث الكون إلى الوجود في حادثة الانفجار العظيم
- منذ 10 - 20 مليار سنة خلت 488
- انتشار الضوء 127
- انتشار الموجات (الحركة الموجية) 65
- الافتتاح الاستوائي للأرض 49
- انتفاخات مدّية 392
- أطول النجوم عمرًا 203
- الأطياف 112
- أطيف النجم 115
- الاعتدال الخريفي 46
- الاعتدال الربيعي 30، 45، 46، 49، 52
- الاعتدال والمنقلبات 45
- الأحوجبة 209
- أعظم اللقطات من عقرب هيل الفضائي 525
- أعمار النجوم 198
- الاغريق 444
- أفروادي 364
- أفريقيا 364، 443
- أفضل العروض الشهابية 471
- أفق الحدث 221
- الافق السماوي 34
- الافق كأس فوتنا مقلوبة... 19
- أنفاطون 429
- إفيلزبيرغ بألمانيا 93
- الاقتران السفلي 322
- الاقتران العلوي 322
- اقتفاء المذنبات 467
- الاقدار 28
- الاقراص حول النجمية 97
- أقرب النجوم إلينا يقع على بعد عدة سنوات ضوئية 514، 499
- أقزام (البيض) بيضاء 137، 141، 146، 212
- الاقزام الحمر الباردة 140
- الاقزام (الحمر) الحمراء 136، 146، 203
- أقسام المذنب الرئيسية 457
- أقصر النجوم عمرًا... 202
- القمars أحجام تدور حول الكواكب 310
- أقمار أورانوس = كوكب أورانوس
- أقمار زحل 398
- أقمار غاليليو (الرابعة) 390، 391
- أقمار الكواكب الأرضية 346
- أقمار المشتري 346، 390
- أقمار نبتون 407

- أورانوس (uranus) أول كوكب جرى تعرفه بوساطة
مقراب 400
- أورت (جان) 462
- اوروبا 182، 386، 343، 390، 392، 393، 397، 520
- أوزما = مشروع أوزما
الأوزون 374
- أوفيليا 344
- أوقات الخسوف والكسوف 446
- أول أكسيد الكربون 246
- أول إنسان في الفضاء يوري غاغارين 511
- أول رسالة من الأرض 503
- أول صورة لمنظومتنا الشمسية كما بدت من الخارج 506
- أول قمر صناعي أطلق... 331
- أوميغا 295
- أبياتوس 344
- أيام الأسبوع 314
- أيام وسنوات 337
- إيراتو سثينيز 444
- أينشتاين (البرت) 13، 201، 221، 296
- أيون 114
- الأيونات الجوية 179
- أيونات الهيدروجين 461
- باده (وولتر) 247
- باراغولد (آركنسو) 473
- بارنارد 343
- بارزالت 429
- پاساديينا بكاليفورنيا 96
- پايك / ڤوياجر (1) 344
- باسيفي 343
- باطن الشمس 162
- باطن القمر 438
- پالومار 89
- البالون المتنفس يمثل نموذجاً منطقياً لمفهوم الكون
المتوسع 287
- بان 343
- بانجيا 369
- الانخداع القرمي 425
- اندثار النجوم 209
- الاندفاعات الشمسية العنيفة 169
- الاندماج النووي 198، 227، 310، 388
- اندماج الهيدروجين 203، 205
- اندماج الهليوم 205
- انزياخ أحمر تناقلٍ 269
- انزياخ الأحمر الكوني 281
- انزياخ أزرق 123
- انزياخ (انزيياحات الحمراء) أحمر 123، 281
- انزياخ (انزيياحات) ووبلر 122، 123، 183، 268
- الانزيياحات الحمراء والسرعات المقابلة لها... 283
- إنسان في القمر 423، 429
- إيسيلادوس 398، 344
- انظر إلى النجوم! أرجع البصر في السماء... 107
- انتعاج الضوء 82
- الانتعاج (نموذج الانتعاج) 79، 78
- أنغستروم (أندرز) 59
- الأنفلو - سكستونيون 313
- الانفجار العظيم = نظرية الانفجار العظيم 477
- انفجار عملاق غامض 503
- الانقطاع الشمسي 181، 478
- انقراض الديناصورات منذ (65) مليون سنة 491
- انقراض كامل لبعض الانماط الحية 491
- الإنكماش العظيم 289
- انكمash المادة من جديد 291
- الانماط الثلاثة للمجرات 259
- إتنا لسنا وحيدٍ 486
- إتنا نسعى إلى تجاوز زماننا نعيش زمانكم... 485
- أنواع الأطياف 111
- أنواع الطيف الثلاثة الأساسية 112
- الأهداف 57
- الإهليجية 278
- أهم وابلات الشهب السنوية 472
- أهمية المذنبات 455
- أوبيرون 404، 344
- أوجه التشابه والتغاير بين القمر والأرض... 419
- أورانوس = كوكب أورانوس

- البعد الزاوي 30
بعد الشمس وحجمها 156
بعد النجم (بالفراستن الفلكي) 109
بعض المذنبات الدورية 465
بعض النجوم أشد حرارة من بعضها... 67
بقاء الأصلح 490
البَقْعَ الشَّمْسِيَّةُ (الكَلَفُ)¹ 171
البَقْعَ النَّجْمِيَّةُ 183
البَقْعَةُ الْإِهْلِيلِيجِيَّةُ الْبَيْضَاءُ الْعَظِيمَةُ 396
البَقْعَةُ الْحَمْرَاءُ الْكَبْرِيَّةُ 412
البَقْعَةُ الْفَاقِتَةُ الْكَبْرِيَّةُ 406
پك 344
البكتيريا 490
بكتيريا مستحاثية عمرها عدة مليارات السنين 491
بل (جوسلين) 219
پلوتو 310، 312، 332، 336، 337، 345، 350، 350، 410، 411، 481، 484
پلوتو (Pluto) أبعد الكواكب المعروفة عن الشمس 409
پلوتوريوس نجماً 410
پينزیاس (آرنو) 297
بنية الأرض (بطبقاتها الثلاث الرئيسية) 369
بنية الشمس 160
بنية القمر 438
البنية اللولبية النظامية 246
بنية مجرة درب التبانة 249
بنية المذنب 456
بنية نجم ذي لب داخلي يتزايد فيه الكربون باطراد 210
بنية نجم علائق أحمر 206
باواكير البحث عن الحياة على كواكب أخرى 510
باواكير المعطيات المقرابية 321
بور (تيلس) 113
پورتوريكو 93
پورشيا 404، 344
البؤرة الأولى 74
پولاريس 50
پولياكوف (فاليري) 501
بوند، لاسيل 344
پاندورا 343، 349
البحار 428، 429
بحار الأرض 489
بحار القمر 354
بحث دُوّوب 506
بحث عن الحياة على سطح كوكب آخر 511
البحث الموجّه 507
البحر المتوسط 15
البحر المحيط 58
بحر الوابلات 429
بخار الماء 97
البدائيات الكونية 487
البدار 315، 351
بدر الحصاد 425
بدران في شهر واحد 315
البراكيكن البازلتية 364
براهة (تيخون) 348، 323
برج الأسد 22، 23، 26، 27
برج التنين 24
برج الجبار 26، 67
برج الحوت 50
برج الدب الأكبر 24
برج العذراء 27
برج العَوَاء 27
الپروتونات 113
پروتنيوس 345، 408
بروج 22
البروج الاثنى عشر 22
البروج الثمانية والثمانون 22
البروج حول القطبين 24
البروج حول - القطبية الثلاثة 24
البروج الكوكبيات 21
پروميثيون 343
البصريات الفاعلة أو النشطة 90
البصريات المطوية 86
البصريات المعدلة 90
بطليموس 319، 309، 348
البعد الرابع 287

- تجربة تخيلية تظهر لماذا تضيء النجوم 201
 تجري الشمس عبر فضاء الكون بسرعة كبيرة 184
 التحبيب 170
 تحت الحمراء 69
 تحدث أعنى الرياح ... 396
 تحدث وابلات الشهب عندما تعبر الأرض... 483
 تحديد الزمن الفلكي 49
 تحديد الواقع على الأرض 29
 تحديد الواقع على الكورة السماوية 32
 تتحقق صحة النظريات 237
 تخافت النجوم حول القمر البهي ... 419
 تخلق العناصر الثقيلة 205
 التداخل 82
 التداخل الراديوي 106
 تدور الكورة السماوية حول القطبين السماويين 41
 تراجع العقطتين 446
 تراقب دورة البقاء الشمسية بدقة... 190
 التراكم المتزايد لثانوي أكسيد الكربون 374
 ترامي (انحسار) المجرات 282
 ترايتون أكبر أقمار نبتون 407
 ترايتون / نبتون 407, 415
 التربع الأول 351
 ترتيب الألوان ... 61
 ترتيب مدارات الكواكب حول الشمس 313
 التردد 62
 التردد (F) 66
 التردد الموجي 64
 تُرسّل المركبات الفضائية الربوطة... 331
 تركيب الأحجار النيزكية 481, 474
 تركيب الشمس 159
 التركيب الكيميائي 117
 تركيب الهواء 375
 تركيزات كثالية مغمورة في البحار الدائرية 438
 الترفع في حركة نجم مرئي 498
 ترتيتون 345
 تزايد الإشعاع الخطر 190
 تزايد ضيائية القيفاويات... 208
 تسامت كوكبي 333
- بياري (غيوسيبي) 339
 بيانكا 344
 بيرين 343
 بيكر (إيلين س.) 500
 بيكرينغ 344
 بيلندا 344
 بيونير (10) (مركبة فضائية) 511, 502
 بيونير (11) سنة 502
 التأرجح 423
 تاريخ القرم 436
 تاريخ الانفجارات العظيم المتمدد
 انفجاريًّا 300
 تاوقيطس 505
 الثنائي 122
 تبدو النجوم القريبة... 108
 تبرد القمر منذ زهاء ثلاثة مليارات سنة... 437
 تبعد الشمس عن مركز المجرة... 233
 تبلغ سرعة الشمس قرابة (250) كيلومترًا في الثانية
 185
 تبلغ كثافة الأرض زهاء... 366
 تبلغ كثافة القمر 426
 تبلغ كثافة (density) الشمس الوسطية ... 141
 تتأثر الأيونات والجسيمات المشحونة... 460
 تتحالف الثنائي النجمية من نجمين A وB ... 142
 تتحالف منظومتنا الشمسية من ... 310
 تتحالف نواة المذنب ... 479, 482
 تتحرك النجوم بسرعة فضائية 122
 تتعرّض الأرض لصدم نواة مذنب 478
 تتغير مواقع الشمس والقمر... 32
 تتفاوت الأطوال الموجية من... 63
 تتفاوت المقارب العاكسة... 75
 تكون المؤلبة باقتراب المذنب من الشمس 466
 تكون الذيفول قريباً من الشمس 482
 تكون النجوم من... 195
 تَتَلَّ 472
 تتميز الأمواج الصوئية بآطوالها 59
 تجارب النيوترينوات الشمسية 182

- تعطيل منظومات الاتصال الراديوي 180
 تعطيل منظومات الطاقة الكهربائية 180
 التعليمات (الشفرات) الوراثية 489
 تغطي كامل سطح القرى تربة ذرورية ناعمة... 432
 التغطية الزاوي 124
 تفاعلات الاندماج النووي (في اللب) 201, 227
 التفاعلات النووية 215
 تفكك طيف نجم 126
 تقاويم وأدلة رصد وكتب مصورات نجمية 521
 تقدير عمر الكون وحدوده 280
 تقع الشمس وكواكبها داخل مجرة درب التبانة 184
 التقلص الثنائي 203, 205
 التقلص الثنائي ضمن سحابة غاز وغبار 198, 227
 التكاثر الجنسي 491
 التكبير المجندي الأعظمي 81
 تكساس 22
 تكسون بولاية أريزونا الأمريكية 70
 تكون الشمس في فاعلية عظمى في... 174
 تكون فوهة صدم نموذجية 430
 تكون الكواكب 197
 تكونت مجرتنا في ما يبدو منذ (10 - 20) مليار سنة 248
 خلت 311
 تكونت المنظومة الشمسية... 311
 تلاشي الغابات المطرية 374
 تتمهل - تبتل 472
 تعمد الكرة المغناطيسية 372
 تمثيل للمبادرة 50
 تمدد المكان - الزمان 281
 التمدد المنظور 289
 تنتشر في جميع أنحاء الكوكب أجراف 355
 تنتهي سمسنا وكل النجوم... 230
 تنجم الحركة الظاهرية السنوية للشمس... 43
 التجيم 50
 تنعكس قطبية (Polarity) الحقل المغناطيسي للشمس
 كل 11 سنة تقريباً 175
 التنوع التطوري 491
 توابع المنظومة الشمسية 343
 التوازن الهيدروستاتي (السكنوني السائل) 197
 تساؤلات تتعلق بالانفجار العظيم 298
 تساؤلات لا تنتهي 280
 تستجيب العين البشرية للأمواج... 59, 64
 التسطيح 298
 تسكب الشمس ضياءها على الأرض من زوايا مختلفة... 44
 تسلسل الأصناف الطيفية 119
 التسلسل الرئيسي 136, 146, 147
 تسيولوكوف斯基 (كونستانتين) 353
 تُشبّه البقع الشمسية بمغانط هائلة 175
 التشوش 82
 تشيلي 82
 تصادم الذرات في النجوم 125
 تصادم كارثي مدمر 341
 تصاحل درجات الحرارة السطحية 755 كلفن... 361
 تصميم المقاريب والاختيار منها 85
 تصنيف الكويكبات في ثلاثة أنواع... 341
 تصنيف المجرات 253
 تصنيف هل لل مجرات تبعاً لأشكالها 254
 تصور الشمس بالمرشحات اللونية 166
 تصوير إكليل الشمس فوتografياً 168
 تضيء البقع الشمسية بدرجة... 172
 تطلق النجوم طاقة تقارب... 67
 التطور 490
 تطور كائنات حية من جزيئات لا حية 490
 التطوير المجري 257
 التطوير النجمي 193, 194
 تطوف الكواكب 317
 طوطف (revolve) الكواكب جميعها حول الشمس (في اتجاه واحد...) 312, 351
 تطوف منظومة الأرض - القمر حول الشمس كل سنة 422
 تعاقب الفصول 44
 التعابير السلمي 508
 التعريف الزمني 72
 تعريف الثابت الشمسي 153
 تعريف علم الكون 279
 تعريف المجرة 229

- التواصل 504
 توافق الدين والعلم 323
 التوسيع الخارجي 288
 التوسيع اللانهائي 289
 تؤكد أرصاد حديثة لاحتجاب نجمي... 409
 تومباو (كلابيد) 409
 تيارات الحمل... 370
 تيتان ((Titan) أكبـر أقمار) زحل 398، 399، 415
 تيتان = القمر تيتان 398
 تيتانيا 344، 403، 404
 تيثيس 344
 تيخو براهه 309
 تيريسكوفا (فالنتينا) 499
 تيريل / فوياجر (1) 345، 343
 تيريل فوياجر (2) 344
 تيليشو 344
 الثابت الشمسي 154، 188، 190، 191
 الثابت الكوني 296
 ثابت هبل (4) 307، 302، 285، 279
 ثابت هبل المقلب 294
 ثالاسا 345
 ثبات الحاضن (mount) 85
 ثخانة الانتفاح النووي المركزي 233
 الثبييات الصغيرة 491
 الثقب 135، 134
 الثقبة الصفرية 500
 الثقالة القوية لوكب المشتري 464
 ثقب أسود كما تصوره فنان 222
 ثقب أسود محتمل 228
 الثقب الأسود المركزي الافتراضي 263
 الثقب (الثقوب الإيكيلية) الإيكيلي 181، 188
 الثقب (الثقوب السوداء) الأسود 221، 223، 226، 278
 الثقب المائي المجري 507
 الثلاثاء المريخ 314
 الثلث 458
 ثنائي أكسيد الكربون 97، 373، 459
 الثنائي (الثنائية الطيفية) الطيفي 143، 148
 الثنائي المرئي 148
 الثنائية الكسوفة 143
 الثنائية النجمية 141
 الثنائي القوسية 109
 الثنائي الكبيرة 338
 الثور 23
 ثيبي 343، 390
 جار الجنوب 420
 جاكسوتفيل 52
 جامعة نيومكسيكو 473
 جانسكي (كارل) 92
 جانوس 343
 الجبار = برج الجبار 436
 جبال الأرض 436
 جبال الألب 435
 جبال القمر 436، 434
 جبل أولميروس 381
 جبل باستاخوف 89
 جبل پالومار، كاليفورنيا 89
 جبل ماكسويل مونت 364
 الجدول الزمني لمشروع فوياجر 333
 الجدي 23
 جذب الثالثة الداخلية 288
 الجرم الصحيح 480
 جزر بيرجين آيلاندز 96
 جزيرة قن 323
 جزيئات الحمض الريبي النووي 489
 جزيئات لا حية 485
 جسم أسود 67، 68
 جسيمات كبيرة ضعيفة التأثر (ومبات) 296
 جل أنواع النجوم لها أكاليل متشابهة 183
 جلاء الصورة (الرؤبة) 81
 الجمد الدائم 382
 الجمعة الزهرة 314
 جمهرتا النجوم 247
 جنوب الأطلسي 443
 جنوب أفريقيا 443

- الحركة الحقيقة لنجم الشعري اليمانية 145
 الحركة الخلفية الظاهرية 317
 الحركة الطردية 312
 الحركة الظاهرية لكوكب المريخ 321
 الحركة الظاهرية اليومية للشمس 47
 الحركة الظاهرية السنوية للشمس 43
 الحركة الظاهرية السنوية للنجم 41
 حركة القمر المدارية 327
 الحركة الكوكبية 324، 327، 349
 الحركة الموجية 123
 الحركة والثقالة 326
 الحركة اليومية الظاهرية للنجم 37
 حزام كويبر 342
 حُرُم قان آلن 373
 حساب المسافات من الأقدار 133
 الحساسية النسبية للعين البشرية... 60
 الحشد 3 هرم نسبياً 239
 حشد الثريا المفتوح 239
 الحشد (الخشود الْكُرَيَّة) الكريبي 235، 239، 256
 حشد العذراء 261
 حشد العذراء الذي يضمآلاف المجرات 260
 الحشد الفائق 261
 الحشد الفائق الموضعى 261
 حشد مفتوح 277
 الحشد النجمي المسمى 47 طوقان 236
 الحشد النجمي المفتوح المسمى بالثريا في كوكبة الثور 235
 الحشود غير المنتظمة 261
 حشود المجرات 260
 الحشود المجرية المفتوحة 237
 الحشود المنتظمة 261
 حشود تجمية 234، 133
 الحشود النجمية المفتوحة والكريبي 237
 حَضَار 135، 134، 54
 الحضارات الذكية في مجرة درب التبانة 494
 حضيض الكَلَف 174
 الحضيضة 113
 الحقبة الثالثة 478
 جنوب غرب أفريقيا 473
 جنوب المحيط الهادئ 443
 جو سديمي 172
 جو المشتري 390
 جوانب نجاح نموذج الانفجار العظيم 297
 جوبيتر 386
 جورج الثالث 400
 الجوزاء 140
 الجوزاء التوأمان 23
 جولييت 344
 جونسون (صموئيل) 57
 جوبيت دانييلسون 343
 الجيروسكوبات 98
 حادثة صدم بنواة مذنب... 476
 الحامض النموي 475
 حب الاستطلاع ... 57
 الحبيبات 170
 الحبيبات الشمسية 170
 الحبيبات الفائقة 171
 الحجر النيزكى 480، 473
 الحجر النيزكى البيندى 475
 حجر هوباريسٍ 473
 حجم القمر 426
 الحجوم النسبية للكواكب 311
 حد سرعة الكون 64
 حدوث الأحجار النيزكية بأنواعها 476
 حدوث الانفجار العظيم 291
 حدود الكون 302
 حذار أن تنظر إلى الشمس بصورة مباشرة 157
 الحرارة السطحية (القمر) 432
 حرارة النجم السطحية (كَلَف) 146
 الحركات 122
 الحركات في الفضاء 184
 حركة الأرض... 49
 الحركة التراجعية 317
 الحركة الحقيقة 122، 124
 الحركة الحقيقة لمجموعة الدب الأكبر النجمية... 124

- الخرج الإجمالي لطاقة الشمس هائل حقاً 154
 خريطة راديوية تظهر البنية اللولبية لمجرتنا 245
 خريطة راديوية كافية 264
 خريطة القمر 14
 خريطة الأرض كما قد تبدو منذ نحو 200 مليون سنة 371
 خريطة مسطحة للسماء 45
 الخسوف القمري 442، 444، 445
 خصائص الشمس 165
 خصائص القمر 427
 خصائص الكواكب 334
 خصائص المجرية 256
 خط الاستواء (السماوي) 29، 30، 40، 46، 51
 خط الزوال السماوي 35، 34
 خط (خطوط) الطول 51، 29
 خط (خطوط) العرض 29، 51
 الخط الطيفي المتسع 125
 خط العرض (23,5°) شمالاً 46
 خط العرض (40°) شمالاً 21، 24، 37
 الخط الفاصل 430
 خطوط الامتصاص (K3H) للكالسيوم المتأين 282
 الخطوط الساحلية (القارية) 416، 372
 الخطوط الساحلية لأمريكا الجنوبية وغرب أفريقيا 370
 الخطوط الطيفية (نجم) 113، 123، 125
 خطوط العرض المتrossطة 46
 خطوط فراونهوفر 117
 خطوط المرجع الموضعية لراصد 34
 خطوط من الهليوم المتأين 121
 خطوط الهيدروجين 118
 خلايا حمل 171
 الخميس المشتري 314
 الخواء 66، 63
 خيال الشمس بإسقاطه على شاشة... 157
 داياانا 420
 دائرة البروج 52، 42
 دائرة الطول الأساسية 29
 دائرة الطول السماوية 34
 الحقيقة الطباشيرية 478
 حقل ثانوي القطب 390
 الحقل المغناطيسي 125، 145، 175، 176، 390، 401
 الحقل المغناطيسي للأرض 372
 الحقل المغناطيسي لنيتون 406
 الحلقات 412
 حلقات زحل 395، 397
 الحلقات (A,B,C) 393
 الحلقاتان (E,D) 395
 الحلقة (F0) 399
 الحلقة (G) 395
 حلقة تطيف بالأرض 425
 الحلقة حول القمر 425
 حلقة عنكبوتية واهية 388
 الحلقة المطيفة بالقمر 424
 الحمض الريبي النووي المنقوص الأكسجين 489
 الحمل 23
 حملة دولية لرصد مذنب هالي 455
 الموضوع الأمينية 475
 حوادث تصادم بالأرض 476
 حوادث الخسوف الكلي 445
 حوادث سقوط صخري (الأحجار النيزكية) 473
 حوادث الصدم 434
 حوادث الكسوف الكلي 443
 الحوت 23
 حوض كالوريس 354
 حوض مجموعة الدب الأكبر 37
 حياتنا في كون متسع 291
 الحياة الأرضية 485
 الحياة الذكية 485
 حياة ذكية خارج (كوكبنا) الأرض(ي) 510، 486
 الحياة على الأرض ظاهرة كونية فريدة 486
 الحياة على كوكب المريخ 485
 الحياة قد وُجدت في كوكب المريخ من... 493
 الحياة المهنية 521
 خاصية الاستقلاب (الأبيض) 488
 الخرائط النجمية 14، 50

- الدوران المحوري، 125، 145 398
 دوران منظومة الأرض... 423 24
 دورة حياة النجوم 194 223
 دورة حياة نجوم كالشمس 213 دراسة أطياف مئات النجوم القريبة 497
 دورة الفعالية الشمسية 174 دراسة الشمس 186
 دورة الكَلْف الشمسي 173 دراير (يوهان) 250
 دولفوس 343 درب التبانة 15، 184، 208، 261، 264، 286
 ديدمونة 344 درجات الحرارة في لب الكوكب (30,000) كلفن 389
 ديسپينا 345 درجة حرارة النجم 120
 ديموس (الفرع) 385 دريير (هنري) 116
 الديناصورات 491 دريك (فرانك) 494
 الديوتريوم 288 دلتا قيفادس 207
 الذبذبات الشمسية 183 الدلو 23
 الذرة، 113 دليل سنوي للشركات 520
 ذرة الهيدروجين 460 الدليل العام الجديد (NGC) 251
 ذروة الكَلْف 174 الدليل العلمي 489
 الذنب 324 الدليل الفهرست 250
 ذنب الدجاجة = نجم ذنب الدجاجة الدليل الفهرست الثاني 250
 ذو الشعر الطويل 456 دليل التوادي الفلكية 520
 الذؤابة، 456، 466 دليل هيباركروس النجمي 110
 ذؤابة المذنب 459 دنفر بولاية كولورادو الأميركية 37
 الذيل 483 دوائر بطليموس 319
 الذيل الخاري 461 دوائر الزوال 29
 الذيل الغباري 461 دوبيلر (كريستيان) 122
 الذيل المغناطيسي 372 الدور المحوري 163
 ذيل مغناطيسي أسطواني 401 الدور المحوري الاقترани 338
 الذبoli، 460، 456 الدور المحوري النجمي 338
 الراديوية 69 دور مداري 337
 راديوية قصيرة 297 الدور المداري الاقتراني للكوكب 338
 رأس الغول 143 دور مداري نجمي أو فلكي 338
 رأس الفرس 278 دورات الفعالية الشمسية 173
 راسل (هنري) 135 دوران الأرض حول الشمس 54
 راسم الإكليل الشمسي 186 دوران الأرض حول نفسها 47
 راسم الطيف، 91 دوران الشمس 163
 راسم المغناطيسي 175 دوران القمر 423
 رايتسما / ثوياجر 345 الدوران المتزامن 451
 الدوران المتزامن للقمر... 424

- رباعيات عمر الخيام 19
 الريبوت الأمريكي 100
 رجل الجبار 202
 رجم أو حجر نيزكى 473
 رحلات أبولو القمرية (الأمريكية) 436
 رحلات بينجمية 486
 رحلات غليفر 385
 الرحلات (الفضاء) الفضائية 332
 الرحلات الفضائية الأمريكية المأهولة ... 498
 الرحلة القمرية الأمريكية كليمانتين 439
 الرحلة القمرية التاريخية للمركبة أبولو (11) 435
 رداء الرؤية 82
 رسم تخطيطي للشمس 187
 رسم تمثيلي لمقراب كيك في هاواي 87
 رسم تمثيلي لكسوف الجزئي 441
 رسم تمثيلي لمقراب كاسيفيرين العاكس 76
 رسم تمثيلي لموجة ضوء 59
 رسم لمقراب نيوتن العاكس 75
 رصد تردد النبضات الراديوية... 497
 رصد الحركة الحقيقة للنجم المرئي المرصود 496
 رصد السرعة الشعاعية للنجم المرئي الموصود 497
 رصد الشمس 166
 الرصد غير المباشر 514
 رصد القمر 428
 رصد الكواكب 317
 الرصد المباشر 514
 رصد موقع متعاقبة لكوكب المريخ... 318
 رصد نباض الميلـي ثانية... 497
 رصدت مرکبة فوياجر أربع حلقات تطوق نبتون 406
 رصد للشمس مباشرة... 157
 الرصف 330
 رواد الفضاء الروس 501
 رواد الفضاء الروس أول من غزا الفضاء من البشر 499
 رواد مرکبة أبولو (الفضائية) 425
 روزليند، 344
 روسيا 182، 183، 443، 499
 رؤوس المثلث الصيفي 27
- رؤبة راديوية 92
 ربيا، 44، 398
 الرياح (الرياح) النجمية 210
 الرياح الشمسية 181، 460
 زحل 312، 313، 317، 333، 343، 350، 393، 395، 412، 415، 416
 زحل أحد الكواكب الساطعة 393
 الزمن الفلكي هو (6) ساعات و(1) دقيقة 49
 زمن هبل 301، 302
 الزهرة = كوكب الزهرة
 الزهرة أكثر الكواكب شبهاً بالأرض... 365
 الزهرة: رصده 357
 الزهرة سيعبر بتاريخ 8 حزيران (يونيو) سنة (2004)... 359
 الزهرة كما يرى بواسطة (1) مقراب أرضي 360
 الزهرة كوكباً غير صالح لارتياده 412
 الزهرة نجم الصباح في السماء الشرقية قُبْلَ بزوغ الشمس 358
 الزهرة يدور من الشرق إلى الغرب 358
 الزواحف 491
 الثقب 338
 الزيغ الكروي 84
 الزيغ اللوني 84
 الزيغ المقاربى 84
 السائل 331
 سائل حساب اختلاف المنظر العالى الدقة 110
 السائل الربوطى الأمريكى 169، 177، 299
 ساتورن آلهة الزراعة عند الرومان 393
 ساعة الصفر (0h) من المطلع المستقيم 45
 ساغان (كارل) 494
 سافو 419
 ساكرامنتو 52
 سانت كروا 96
 سايفرت (كارل) 266
 السبت زحل 314
 سبـر باطن الشمس 182

- السطوح الكروية 84
 السطوط 28
 السطوط الظاهري لنجم 126
 سفر التكويرن 279
 سفينة الفضاء فوياجر 181
 سفاكت الكاراميلا 368
 سكاي لاب (الأمريكية) 161، 169، 179
 سُلُم القدر الحديث 129
 السماء كما تبدو من خط العرض 39
 السمك الرامح 54
 السمعت 34
 سمعت الرأس 36
 سمي كوكب الزهرة (Venus) الساطع نسبة إلى ... 357
 سمي الكوكب المشتري (Jupiter) نسبة إلى جوبيتر 386
 سميث / فوياجر (!) 344
 السنبلة 146
 سهوب التندرا 369
 سهول الذهب 379
 سهول الطوبى 379
 السهول المسورة ذات الجدر 429
 سُهُّيل 39، 40، 53، 55
 سوجرنز 379
 سوف تغادر الشمس التسلسل الرئيسي عند... 227
 سول 154
 سويفت - ثيل 472
 سويفت (جوناثان) 385
 سيبيريا 477
 سيريو تولولو إنتر أمريكان 89
 سيريو تولولو، تشيلي 89
 سيريز 339
 السيزريوم 338
 سيف الجبار 196
 سيكوراكس 345
 السيليكات 459، 436
 سيليني 420
 سينثيا 420
 سينوفبي 343
 سبوتنيك 331
 ستة أقمار صغيرة دكتاء اكتشفتها مركبة فوياجر الثانية 408
 ستينكي 385
 السجل المستحاثي للـ (600) مليون سنة الماضية... 491
 سحابة أورت 484، 481، 463
 السحابة الجزيئية (سديم الامتصاص القاتم) 243
 سحابة دواررة 197
 سحابة ماجلان الصغرى 251
 سحابة ماجلان الكبيرة 251
 سحابة هائلة من المذنبات قرب حافة المنظومة الشمسية 464
 السحابة الهيدروجينية 456، 460، 463
 السحب البنجمية 195
 سحب جوى ناشئ عن إكليل هيدروجيني 402
 سحب عظيمة 243
 سحب الغبار البنجمى 486
 سديم الإصدار الساطع = منطقة H 11
 سديم الامتصاص القاتم = السحابة الجزيئية 243
 سديم الجبار (في كوكبة الجبار) 195، 196، 243
 السديم الحلقي المعروف في كوكبة الشلياق 211
 سديم حول القطب الجنوبي المضاء بالشمس 401
 سديم رأس الحصان 243، 244
 سديم السرطان (في كوكبة الثور) 218، 220
 السديم الشمسي 159
 سديم قاتم 278
 السديم الكوكبى 210، 211، 214
 السرطان 23
 السرعة (2) 66
 السرعة الشاعاعية 122
 سرعة الضوء 63
 سطح أمبريل 404
 سطح أوبيرون 404
 سطح الزهرة 361
 سطح القرم (الجاف المستقر) 437، 439
 سطح متاجج 170
 سطح المريخ 378، 380

- الشمس وكواكبها قد تكونت معاً... 159
 شمسنا دينامية ومتّاجة 155
 شمسنا ليس إلا واحداً من (200) مليار نجم في مجرتنا درب التبانة 494
 شمسنا هي النجم الوحيد الذي يقع على مقربة... 140
 الشمعة العيارية 256
 الشهاب 470
 الشهاب الوهاج 470
 الشهـب 453, 468, 471
 شهر الأسد 472
 شهر الثور 472
 شهر الجبار 472
 شهر الجوزاء 472
 شهر سعر الأخبة 472
 شهر الشلياقية 472
 شهر العوّاء 472
 شهر فرساووس 472
 شهر أطوار القمر 330
 الشهر الاقتراني 316, 330
 الشواط الشمسي 177
 شولتر / ثوياجر (2) 343
 شباباري (جوفاني) 377
 شيخوخة النجوم 202
 شيرون 342
 الصخور الأرضية 490
 الصخور القمرية 436
 صدم عنيف 382
 الصدمة القوسية 461
 صفات مشتركة 183
 الصفات المميزة للأصناف الطيفية 120
 الصفائف الشمسية الكهرباء 98
 صفيف الخط القاعدي الطويل جداً (VLBA) 103, 96
 الصفيفية الضخمة جداً (VLA) 94, 95
 الصنف الطيفي 146
 الصواريـخ تُطلق أقماراً صنـعـية في... 331
 الصوديوم 356
 صور فلكية مثيرة 524
 سينوت / ثوياجر 345
 سينوت / ثوياجر (1) 343
 سينوت / ثوياجر (2) 344
 شبكة أعماق الفضاء (DSN) 507, 95
 شبكة متسامـة لمخطط السرعة مقابل البعد 284
 شبكة محـزـون 91
 شـبه جـزـيرـة يـوكـاتـانـ فـي المـكـسيـك 478
 الشـدـ التـاثـالـيـ لـلـكـواـكـبـ الـكـبـيرـة 497
 شـرامـ (ـديـشـيدـ) 301
 شـعـاعـ شـفـارـتـزـ شـيلـدـ 222
 شـعـاعـ هـبـ 302, 303
 الشـعـريـ الشـامـيـ (ـالـغـيـصـاءـ) 146, 150
 الشـعـريـ الـيـمانـيـ 146, 146, 132, 67, 54, 150
 الشـفـقـقطـبـيـ الجنـوبـيـ 179
 الشـفـقـقطـبـيـ الشـمـالـيـ 179
 شـكـسـبـيرـ (ـوليـامـ) 453, 229
 شـكـلـفـوـسـكـيـ 494
 شمال شـرقـ كـنـداـ 372
 شمال الصين 470
 شمال المـكـسيـكـ 475
 الشمس 14, 117, 131, 140, 138, 153
 الشمس أبعد عن الأرض من القمر (400) مرة 157
 الشمس أقرب النجوم إلى الأرض 154
 الشمس البدائية 311
 الشمس دائـةـ الدـورـانـ حـولـ محـورـهاـ فـيـ الفـضـاءـ 163
 الشمس العملاقة الحمراء 205
 الشمس كـرةـ غـازـيـةـ لـاـ كـلـتـةـ صـلـبـةـ مـصـمـتـةـ كـالـأـرـضـ 164
 الشمس كـرةـ غـازـيـةـ هـائـلـةـ 156
 الشمس مـاـلـوـفـةـ لـنـاـ أـكـثـرـ مـنـ سـائـرـ النـجـومـ 127
 الشمس مصدر لا يـكـادـ يـنـضـبـ لـلـطاـقـةـ الـحـالـيـةـ والـمـسـتـقـبـلـةـ الـكـامـنـةـ 156
 الشمس مصدر مجاني مرسل... 189
 الشمس نـجـمـ مـتوـسـطـ الـحـجـمـ 202
 الشمس هو النـجـمـ الـوحـيدـ الـقـرـيبـ مـنـاـ 156
 الشمس والأـرـضـ 154
 الشمس والـقـمـرـ وـالـكـواـكـبـ تـحـرـكـ عـلـىـ دـوـاـئـرـ صـغـيـرـةـ 319

- طريقة رسم قطع ناقص 326
 طلاب علم الفلك 118
 طلائع الكائنات الحية على الأرض قد... 509
 طور القمر 314
 الطوق الكويكبي 483، 481، 339
 الطول البؤري للجسمية 74
 طول الموجة 59، 62، 66
 طول الموجة، مقيساً بين ذروتين أو بين قرارين 60
 الطول (الموجي) الموجة (بالأنغستروم) 68
 الطول الموجي والتردد 65
 طيف الإصدار 107، 112
 طيف الامتصاص 107، 113، 116
 طيف الخطوط الساطعة 112
 طيف الخطوط القائمة 113
 طيف الشمس 117، 118
 الطيف الكهربائي 61، 63، 65
 الطيف المستمر 107، 112، 116
 الظل 172
 الظلُّ والظليل في بقعة شمسية 173
 الظليل 172
 ظهر الدب 37
 ظهر المستعر الفائق (A) 216 (1987)
 ظواهر خاصة (القمر) 424
 ظواهر شمسية 187
 ظواهر الشواطئ 184
 عاصفة جوية عملاقة 389
 العاكسة 71
 العالم السفلي 409
 عالم المريخ 382
 عجلة هوائية لولبية 232
 العدد البؤري (F number) (أو عدد F) 77
 العدسة التثاقلية 269، 270
 عدسة تسديد 91
 العدسة الجسمية 73، 74
 العدسة العينية 71، 73، 74، 105
 العدسة الالوانية 84
 صور فوتografية جديدة للنجوم 524
 صور للمريخ 378
 صور متاحة للعلوم من برامج استكشاف المنظومة الشمسية 525
 صور من مقاريب (Kitt Peak)
 صورة راديوية في اتجاه مركز مجرة درب التبانة 247
 صورة لسان لهب شمسي 177
 صورة للشمس 168
 صورة للمريخ من مركبة فايكنغ الطوافة 383
 صورة للمشتري بالضوء المرئي 38
 الصياد الصياد 22
 الصين 443، 172
 ضبط الزمن 338
 ضحايا الذرى الشمسية 179
 ضغط الإشعاع 461
 ضغط جوي 375
 ضغط الغاز نحو الخارج يوازن الثقالة عند كل مستوى في النجم 197
 الضوء المرئي 59، 69، 104
 الضوء المرئي أطوال موجية... 61
 الضوء والمقاريب 57
 الضيائية 126، 257
 ضيائية الشمس (LO) 127، 154
 الضيائية المطلقة (الشمس = 1) 146
 الطاقة تحت الحمراء 197
 الطاقة الدنيا 101
 الطاقة الشمسية 182
 الطاقة العليا 101
 الطاقة الكلية (E) 68
 الطالع 23
 طائرة على ارتفاع شاهق 165
 طبقة الأوزون 374
 الطحالب 490
 طرح تساؤلات وقضايا حول القمر لم تحسن بعد 420
 الطريق اللبناني 230

- عمر الخيم 19
عمر الكون 301
العمروسطي لحضارة ذكية 494، 514
عملية الارتصاص 215
عملية التخلق الضوئي 373
عملية التخلق النموي 488
عملية توحيد الفتحة 94
عندما تنظر إلى النجوم تخيل نفسك داخل الكمة السماوية تنظر نحو الخارج 20
عندما وجَّه غاليليو مقرابه أَوَّل مرَّة نحو القمر... 428
عندما يموت الفقراء المعدمون... 453
عنصر الحديد في الشمس 117
عنصر القرن الشحني 90
العنكبوتيات التي ينفرد بها كوكب الزهرة 362
العواصف الجوية 190
عواصف غبارية 377
العواصف المغناطيسية 179، 190
عين ثور عملاقة 400
عين الذيل الغازى (الأيوني) 461
العينية = العدسة العينية
العيوق 39، 40
- غاپوشکین (سیسیلیا پین) 119
غاز البارد 97
غاز البنجمي البارد 92
غاز الميتان 409
غاز الهيدروجين 278، 272
غازبرا 340
غاغارين (بورى) 499، 502، 511
غالاتيا 345
غاليليه (غاليليو) 73، 172، 309، 321، 322، 323، 340، 343، 345
غانيميد أكبر قمر معروف في المنظومة الشمسية 392
غانيميد / المشتري 415
الغبار البنجمي المرئي 15، 98، 242، 243، 257
الغبار والغاز البيكربكي 310
- عدم وجود صخور في قاع المحيط الأطلسي 417
العدراء (السنبلة) 23
عرف حتى اليوم (١٦) قمراً... 390
عشترار 364
عطارد = كوكب عطارد
عطارد Mercury أقرب الكواكب إلى الشمس 354
عطارد سيعبر بتاريخ 7 أيار (مايو) سنة (٢٠٠٣) ... 359
عطارد شبيهاً بقمرنا 354
عطارد والزهرة والأرض والمريخ تشترك بخصائص فيزيائية ومدارية متباينة 337
عطارد يعبر transit الشمس 358
العقدتان 446
العقدة التراجعية 317
العقب 23
العقيدة الكربونية 475
علاقة خطوط العرض بالرصد 35
علاقة الدور بالضيائية 208
علاقة السرعة بالمسافة 283
علاقة الكثلة بالضيائية 138
علاقة المذنبات ببابلات الشهب 481
علم الأحياء الفلكية 487
علم الأطياف 112
علم التنجيم 50
علم الزلال الشمسي 183
علم الزلال الفلكية 183
علم الفلك 5
علم الفلك تحت الأحمر 97
علم الفلك الراديوي 92
علم الفلك فوق البنفسجي والسيني والعامي 98
علم الفلك الكوكبى 333
علم الفلك واستكشاف الفضاء على شبكة الإنترنت 524
علم الفلك يبعث النفس على النظر إلى الأعلى... 517
علم الكواكب المقارن 336
علم الكون (أو) الكوزمولوجيا 307
العمالقة الزرق - البيض 140
العمالقة (زرقاء) الزرق 146، 203
العمالقة (عملاق أحمر) الحمر 146، 203، 206، 207، 214، 228

- الفوهات والبحور القمرية 419
 فوهة كلافيوس 429
 فوهة كوبرنيكوس 437
 فوهة ميتيلور كريتر في أريزونا بالولايات المتحدة 477
 فوهة يوتى 382
 ڤوياجر = المركبة ڤوياجر
 الفريهات 429
 في البدء خلق الله السماوات والأرض... 279
 في بداية الأمر كان سطح الأرض مضطرباً ونارياً 488
 في سنة 1910 ذَعَرَ الناس عندما... 470
 في كتاب الطبيعة اللانهائي الغامض... 229
 فيبي 344, 298
 فيرناس كاونتي (فبراسكا) 473
 الفيروس 490
 الفيروس الاعتيادي 489
 الفيزياء الفلكية العالية الطاقة 98
 فيكتور بلانكو 89
 فيكتوريا بأستراليا 475
 قارن حجم القمر بحجم الأرض 426
 القارة القطبية الجنوبية 443
 القارة القطبية الشمالية 443
 قاع حوض هيلاس بلانيشيا الدائري 382
 قاع المحيط الأطلسي 417, 371
 قانون التربيع العكسي 128
 قانون الثقالة 327
 قانون ستيفان - بولتزمان في الإشعاع 140, 68
 قانون فين في الإشعاع 104
 قانون كلر الثالث 324
 قانون نيوتن (في الفحالة) 406, 327, 326
 قانون هَبْل 279, 285, 28
 القباب القرصية المسطحة 364
 قبضة الدب الأكبر 143
 قد توجد حضارات أخرى كثيرة 494
 قد تكون - نحن البشر - الحضارة الوحيدة الذكية... 494
 القدر الظاهري 28, 129
 القدر المطلق (والقدر الظاهري) 146, 132, 131
 غرب إفريقيا 416
 غرين باوث غرب فيرجينيا 505
 غرينتش / إنكلترا 29, 30, 51
 غلامدان 345
 الغلاف الجوي الأرضي 373
 غلاف جوي رقيق جداً... 408
 الغلاف الجوي للمريخ... 384
 الغلاف الجوي للمشتري 390
 الغلاف الحتائي 432
 الغلاف الضوئي... 116, 160, 172
 الغلاف اللوني 160, 171
 الغلاف المغناطيسي لزحل 397
 غليفر 385
 الغني 260
 غوث (آن) 298
 غور ماريانا 366
 غياب الهواء وأي مظاهر جوية على القمر 434
 ڤانكوفر 39
 ڤايكنغ 511
 فراونهوفر (جنوب ڤون) 117
 ڤرجينيا الغربية 93
 فرساووس 472
 فرسخ ملكي 109
 فروق القدر ونسب السطوع 130
 فريق مرکبة آپلو الأمريكية 433
 الفصول على الأرض 44
 الفضاء البيئي 503
 الفعالية الشمسية 155, 174
 فقدان الكتلة 209
 فكرة التوسيع الانفجاري 298
 فلك البروج 45, 43, 42
 فهارس عن موقع وب... 526
 فوبوس (الخوف) 385, 375, 343
 فوبوس وديموس قمرا المريخ 386
 الفوتوны 114
 ڤوستوك 511
 فوهات القمر 429

- القمر قابل لأن يكون مسرحاً للنشاط الإنساني 433
 القمر كاربون 345، 409، 410
 القمر ليس له غلاف جوي أو ماء 425
 القمر المحدودب المتنامي 315
 القمر منقوب بفوهات (crater) في سطحه 429
 القمر هو التابع الطبيعي الوحيد للأرض 314
 (القمر) يأكل كل يوم 422
 القمر يبزغ من جهة الشرق... 422
 القمر يتحرك بالنسبة إلى الشمس يومياً 422
 قمراً المريخ 385
 قمة إفرست 3,654
 قمة البركان الهاجع ماوناكيا 75
 قمة جبل غراهام، أريزونا 88
 قمة ماوناكيا في هواي 97
 القنابل الهيدروجينية 201
 القنوات 377
 قوانين الإشعاع 67
 قوانين الحركة الثلاثة 327
 قوانين الحركة الكوكبية 323
القوانين الطبيعية التي تحكم الطواهر الفيزيائية والكيميائية... 486
 قوانين كيبلر 323، 326
قوانين نيوتن (في الحركة) 326، 328، 331
 القوس (الرامي) 23
 قوة التكبير 80
 قوة التقالة 277
 القرة النهائية (F) 326
 قياس انشطار خط زيمان الطيفي 175
 قياس التداخل 95
 قياس الخيال 77
 قياس قطر الأرض 444
 قياس العدسة أو العدسة الرئيسية ونوعيتها 105
 قياسات النجوم وكثافاتها 140
 قيفاوس 24
 قيم تقريبية لمعطيات مجرية 257
 الكابي 142
 كارتر (جيبي) 485
 قرص أسبرين 80
 قرص غباري حول النجم 496
القزم الأبيض = النجم القزم الأبيض
 قزم أسود (منذر) 214، 228
القزم البني 138
القشرة (crust) وهي الطبقة الخارجية الرقيقة... 368
 451، 439
القطب الجنوبي 24، 30، 36، 51
القطب السماوي 36
القطب السماوي الجنوبي 24
القطب السماوي الشمالي 54
القطب الشمالي 30، 40، 51
القطب المغناطيسي الجنوبي 372
القطب المغناطيسي الشمالي 372
 قطباً عظار 357
 القطر 257
القطر الاستوائي للقمر هو... 426
القطر الزاوي للقمر (البدر) 80، 329
قطع الناقص الإهليج 325
 قطعة من غبار مذنب 469
القلانس الجليدية 382
 قلب الأسد 23
 قلب العقرب 53، 55، 67، 205
القلنسوتان الجليديتان القطبيتان 412
القلنسوتان الجليدية الدائمة عند القطب الشمالي 383
القلنسوتان الجليدية عند القطب الجنوبي 383
قلنسوة قطبية بيضاء 376
 القر 419، 343، 131
القمر الأزرق 315
القمر البدر 315، 421، 422
القمر البدر الثاني 315
القمر تيتان 346، 347، 397، 400، 415، 493
قمر رُحل 346
القمر عديم الهواء والماء والحقن المغناطيسي 451
القمر غير ذي حياة 432
القمر الفتى تعرض في غضون المليار السنة الأولى..
 437
القمر في السماء 422

- كرة النار أو الشهاب الوهاج 470
 كرة النار البدائية 287
 كريستي (جيمز) 409، 345
 كريسيدا 344
 الكسوف 446
 كسوف جزئي 441
 الكسوف الحلقي 442، 441
 كسوف زائف 168
 الكسوف الكلّي للشمس 160، 161، 180، 440
 الكسوف الكلّي (يحدث مرة واحدة كل 360 سنة) 442
 الكشاف الطيفي فوق البنفسجي البعيد 100
 الكشف عن مظهر الكون 293
 كلافيوس 429
 الكلب الأكبر 67
 الكلف الشمسي 184
 كليماتين 439
 كم عمر أقدم صخور القمر ... 449
 كم كيلومتراً (ميلاً) تمثل السنة الضوئية الواحدة؟ 64
 الكمدة 403
 كانالي 377
 كندا 52
 الكنيسة الرومانية الكاثوليكية 323، 340
 الكهرباسكتة 393
 الكهربطيسي (الكهربطيسي) 58، 61، 364
 الكوازار QOO 51 - 279 (QOO) بعيد جداً 268
 الكوازار (الكوازرات) 92، 259، 271، 276
 كوازرات غامضة 267
 الكواكب 336، 317، 353
 الكواكب أحجام تدور حول النجوم مباشرةً 310
 الكواكب الأرضية 337
 الكواكب التسعة السيارة 336
 كواكب تطوف حول نجوم غير الشمس 510
 الكواكب الثانية 310
 الكواكب السفلية 312
 الكواكب الطوافة 160
 الكواكب العلوية 312، 375
 الكواكب العملاقة 346، 337
 كواكب غير مرئية 497
 كاركوشَا / ثُوياجر (2) 345
 كارمي 343
 كارون = القمر كارون
 الكاسرة 71
 كاسيبي 344، 397
 كاشف الطيف 91
 كافيلارز 345
 الكالسيوم 206
 كالبيان 345
 كالبيسو 344
 كالبستو 392، 343، 386
 كاليفورنيا 95
 كانت (عمانويل) 159
 كانتا 179
 كانون (آني) 118
 الكائنات الحية 380، 492
 كائنات ذكية 494
 الكائنات المتعددة الخلايا 491
 كائنات من قبيل البكتيريا 490
 كپلار (يوهان) 309، 348
 كت بيـك 167
 كتب للمؤلفة دينال. موشيـه 520
 كتل بعض نجوم التسلسل الرئيسي النموذجية 139
 الكتل الذهبية 138
 الكلة (mass) 138، 239، 257
 كلة زحل تفوق كلة الأرض 95 مـرة... 396
 كلة الشمس (أو MO اختصاراً) 138
 كلة القمر 426
 الكثافة الحرجة 295
 كثافة الغاز 125
 كثافة القمر 426
 الكربون 486، 225، 206
 الكرسي 24
 كرسـي المصـور بـيتـا 495
 الكرة السـماـوية 20
 الكرة الضـوـئـية 116
 كرة اللـون 160
 الكرة المـغـنـطـيسـية 372، 373

- الكواكب القريبة 492
كوال 343
كولومبيا البريطانية 89
كوليذر / فوياجر (1) 343
الكون 14، 279
الكون لن يتتوسع لا نهايةً كما أنه لن ينكش 294
الكون متجانس ومتناهٍ 286، 308
الكون المتسوٰع 281
الكون المرصود كما يبدو اليوم 302
الكون مستمر في التوسيع إلى ما لا نهاية 288
الكون مغلق 289
الكون واحد لا يتغير في كل مكان وزمان 291
كوبير 344
كويكب 1 سيرين 342
الكويكب (951) غاسپرا 340
كويكب قيثرون 472
كويكب (4) فيستا 341
الكويكبات 339
كويكبات آتيٌ 341
كويكبات أمرٌ 341
كويكبات أبولو 341
الكويكبات (asteroids) أو الكواكب الثانوية 339
الكويكبات الساطعة 341
كويكبات النوع (C) 341
كويكبات النوع (M) 341
كويكبات النوع (S) 341
كيدين 470
كيف بدأ العالم؟ وهل سينتهي؟ 302
كيف بدأ الكون؟ وكيفما يتغير بمرور الزمن؟ وماذا سيحل به في المستقبل؟ 280
كيف تتعرف البروج 26
كيف تستعمل الخرائط النجمية 24
كيف تؤثر السنة اللهب الشمسية في الأرض 177
كيف تؤثر الشمس في الأرض 155
كيف نشا القمر؟ 452
كيف يتغير التركيب الكيميائي لل مجرة 258
كيفية بداية الكون وعن مآلها 280
لا يبدو الزهرة ملائماً للحياة 492
- الكواكب القريبة 492
كوال 343
كوبيرنيكوس (نيكولاوس) 309، 320، 323، 348، 429
كورديليا 344
الكوكب أخفض كثافة وحرارة من النجم 311
كوكب الأرض 210، 334، 335، 343، 365، 414، 413، 481
كوكب أورانوس 312، 336، 333، 345، 350، 400، 403، 405، 409، 412، 414، 415
كوكب أورانوس لا يتبع المسار الذي... 406
كوكب بلوتون 175
كوكب زحل - شان المشتري - كرة غازية هائلة... 396
كوكب زحل كما يبدو من الأرض 394
كوكب الزهرة 131، 210، 312، 313، 319، 322، 334، 350، 357، 359، 394
كوكب عطارد 210، 312، 313، 317، 334، 350، 354، 355، 412، 413، 414، 415، 416، 417، 418، 419، 420، 421، 422، 423، 424، 425، 426، 427، 428، 429، 430، 431، 432، 433، 434، 435، 436، 437، 438، 439، 440، 441، 442، 443، 444، 445، 446، 447، 448، 449، 450، 451، 452، 453، 454، 455، 456، 457، 458، 459، 460، 461، 462، 463، 464، 465، 466، 467، 468، 469، 470، 471، 472، 473، 474، 475، 476، 477، 478، 479، 480، 481، 482، 483، 484، 485، 486، 487، 488، 489، 490، 491، 492، 493، 494، 495، 496، 497، 498، 499، 500، 501، 502، 503، 504، 505، 506، 507، 508، 509، 510، 511، 512، 513، 514، 515، 516، 517، 518، 519، 520، 521، 522، 523، 524، 525، 526، 527، 528، 529، 530، 531، 532، 533، 534، 535، 536، 537، 538، 539، 540، 541، 542، 543، 544، 545، 546، 547، 548، 549، 550، 551، 552، 553، 554، 555، 556، 557، 558، 559، 560، 561، 562، 563، 564، 565، 566، 567، 568، 569، 570، 571، 572، 573، 574، 575، 576، 577، 578، 579، 580، 581، 582، 583، 584، 585، 586، 587، 588، 589، 590، 591، 592، 593، 594، 595، 596، 597، 598، 599، 600، 601، 602، 603، 604، 605، 606، 607، 608، 609، 610، 611، 612، 613، 614، 615، 616، 617، 618، 619، 620، 621، 622، 623، 624، 625، 626، 627، 628، 629، 630، 631، 632، 633، 634، 635، 636، 637، 638، 639، 640، 641، 642، 643، 644، 645، 646، 647، 648، 649، 650، 651، 652، 653، 654، 655، 656، 657، 658، 659، 660، 661، 662، 663، 664، 665، 666، 667، 668، 669، 670، 671، 672، 673، 674، 675، 676، 677، 678، 679، 680، 681، 682، 683، 684، 685، 686، 687، 688، 689، 690، 691، 692، 693، 694، 695، 696، 697، 698، 699، 700، 701، 702، 703، 704، 705، 706، 707، 708، 709، 710، 711، 712، 713، 714، 715، 716، 717، 718، 719، 720، 721، 722، 723، 724، 725، 726، 727، 728، 729، 730، 731، 732، 733، 734، 735، 736، 737، 738، 739، 740، 741، 742، 743، 744، 745، 746، 747، 748، 749، 750، 751، 752، 753، 754، 755، 756، 757، 758، 759، 760، 761، 762، 763، 764، 765، 766، 767، 768، 769، 770، 771، 772، 773، 774، 775، 776، 777، 778، 779، 780، 781، 782، 783، 784، 785، 786، 787، 788، 789، 790، 791، 792، 793، 794، 795، 796، 797، 798، 799، 800، 801، 802، 803، 804، 805، 806، 807، 808، 809، 810، 811، 812، 813، 814، 815، 816، 817، 818، 819، 820، 821، 822، 823، 824، 825، 826، 827، 828، 829، 830، 831، 832، 833، 834، 835، 836، 837، 838، 839، 840، 841، 842، 843، 844، 845، 846، 847، 848، 849، 850، 851، 852، 853، 854، 855، 856، 857، 858، 859، 860، 861، 862، 863، 864، 865، 866، 867، 868، 869، 870، 871، 872، 873، 874، 875، 876، 877، 878، 879، 880، 881، 882، 883، 884، 885، 886، 887، 888، 889، 8810، 8811، 8812، 8813، 8814، 8815، 8816، 8817، 8818، 8819، 8820، 8821، 8822، 8823، 8824، 8825، 8826، 8827، 8828، 8829، 8830، 8831، 8832، 8833، 8834، 8835، 8836، 8837، 8838، 8839، 8840، 8841، 8842، 8843، 8844، 8845، 8846، 8847، 8848، 8849، 8850، 8851، 8852، 8853، 8854، 8855، 8856، 8857، 8858، 8859، 8860، 8861، 8862، 8863، 8864، 8865، 8866، 8867، 8868، 8869، 8870، 8871، 8872، 8873، 8874، 8875، 8876، 8877، 8878، 8879، 8880، 8881، 8882، 8883، 8884، 8885، 8886، 8887، 8888، 8889، 88810، 88811، 88812، 88813، 88814، 88815، 88816، 88817، 88818، 88819، 88820، 88821، 88822، 88823، 88824، 88825، 88826، 88827، 88828، 88829، 88830، 88831، 88832، 88833، 88834، 88835، 88836، 88837، 88838، 88839، 88840، 88841، 88842، 88843، 88844، 88845، 88846، 88847، 88848، 88849، 88850، 88851، 88852، 88853، 88854، 88855، 88856، 88857، 88858، 88859، 88860، 88861، 88862، 88863، 88864، 88865، 88866، 88867، 88868، 88869، 88870، 88871، 88872، 88873، 88874، 88875، 88876، 88877، 88878، 88879، 88880، 88881، 88882، 88883، 88884، 88885، 88886، 88887، 88888، 88889، 888810، 888811، 888812، 888813، 888814، 888815، 888816، 888817، 888818، 888819، 888820، 888821، 888822، 888823، 888824، 888825، 888826، 888827، 888828، 888829، 888830، 888831، 888832، 888833، 888834، 888835، 888836، 888837، 888838، 888839، 888840، 888841، 888842، 888843، 888844، 888845، 888846، 888847، 888848، 888849، 888850، 888851، 888852، 888853، 888854، 888855، 888856، 888857، 888858، 888859، 888860، 888861، 888862، 888863، 888864، 888865، 888866، 888867، 888868، 888869، 888870، 888871، 888872، 888873، 888874، 888875، 888876، 888877، 888878، 888879، 888880، 888881، 888882، 888883، 888884، 888885، 888886، 888887، 888888، 888889، 8888810، 8888811، 8888812، 8888813، 8888814، 8888815، 8888816، 8888817، 8888818، 8888819، 8888820، 8888821، 8888822، 8888823، 8888824، 8888825، 8888826، 8888827، 8888828، 8888829، 8888830، 8888831، 8888832، 8888833، 8888834، 8888835، 8888836، 8888837، 8888838، 8888839، 8888840، 8888841، 8888842، 8888843، 8888844، 8888845، 8888846، 8888847، 8888848، 8888849، 8888850، 8888851، 8888852، 8888853، 8888854، 8888855، 8888856، 8888857، 8888858، 8888859، 8888860، 8888861، 8888862، 8888863، 8888864، 8888865، 8888866، 8888867، 8888868، 8888869، 8888870، 8888871، 8888872، 8888873، 8888874، 8888875، 8888876، 8888877، 8888878، 8888879، 8888880، 8888881، 8888882، 8888883، 8888884، 8888885، 8888886، 8888887، 8888888، 8888889، 88888810، 88888811، 88888812، 88888813، 88888814، 88888815، 88888816، 88888817، 88888818، 88888819، 88888820، 88888821، 88888822، 88888823، 88888824، 88888825، 88888826، 88888827، 88888828، 88888829، 88888830، 88888831، 88888832، 88888833، 88888834، 88888835، 88888836، 88888837، 88888838، 88888839، 88888840، 88888841، 88888842، 88888843، 88888844، 88888845، 88888846، 88888847، 88888848، 88888849، 88888850، 88888851، 88888852، 88888853، 88888854، 88888855، 88888856، 88888857، 88888858، 88888859، 88888860، 88888861، 88888862، 88888863، 88888864، 88888865، 88888866، 88888867، 88888868، 88888869، 88888870، 88888871، 88888872، 88888873، 88888874، 88888875، 88888876، 88888877، 88888878، 88888879، 88888880، 88888881، 88888882، 88888883، 88888884، 88888885، 88888886، 88888887، 88888888، 88888889، 888888810، 888888811، 888888812، 888888813، 888888814، 888888815، 888888816، 888888817، 888888818، 888888819، 888888820، 888888821، 888888822، 888888823، 888888824، 888888825، 888888826، 888888827، 888888828، 888888829، 888888830، 888888831، 888888832، 888888833، 888888834، 888888835، 888888836، 888888837، 888888838، 888888839، 888888840، 888888841، 888888842، 888888843، 888888844، 888888845، 888888846، 888888847، 888888848، 888888849، 888888850، 888888851، 888888852، 888888853، 888888854، 888888855، 888888856، 888888857، 888888858، 888888859، 888888860، 888888861، 888888862، 888888863، 888888864، 888888865، 888888866، 888888867، 888888868، 888888869، 888888870، 888888871، 888888872، 888888873، 888888874، 888888875، 888888876، 888888877، 888888878، 888888879، 888888880، 888888881، 888888882، 888888883، 888888884، 888888885، 888888886، 888888887، 888888888، 888888889، 8888888810، 8888888811، 8888888812، 8888888813، 8888888814، 8888888815، 8888888816، 8888888817، 8888888818، 8888888819، 8888888820، 8888888821، 8888888822، 8888888823، 8888888824، 8888888825، 8888888826، 8888888827، 8888888828، 8888888829، 8888888830، 8888888831، 8888888832، 8888888833، 8888888834، 8888888835، 8888888836، 8888888837، 8888888838، 8888888839، 8888888840، 8888888841، 8888888842، 8888888843، 8888888844، 8888888845، 8888888846، 8888888847، 8888888848، 8888888849، 8888888850، 8888888851، 8888888852، 8888888853، 8888888854، 8888888855، 8888888856، 8888888857، 8888888858، 8888888859، 8888888860، 8888888861، 8888888862، 8888888863، 8888888864، 8888888865، 8888888866، 8888888867، 8888888868، 8888888869، 8888888870، 8888888871، 8888888872، 8888888873، 8888888874، 8888888875، 8888888876، 8888888877، 8888888878، 8888888879، 8888888880، 8888888881، 8888888882، 8888888883، 8888888884، 8888888885، 8888888886، 8888888887، 8888888888، 8888888889، 88888888810، 88888888811، 88888888812، 88888888813، 88888888814، 88888888815، 88888888816، 88888888817، 88888888818، 88888888819، 88888888820، 88888888821، 88888888822، 88888888823، 88888888824، 88888888825، 88888888826، 88888888827، 88888888828، 88888888829، 88888888830، 88888888831، 88888888832، 88888888833، 88888888834، 88888888835، 88888888836، 88888888837، 88888888838، 88888888839، 88888888840، 88888888841، 88888888842، 88888888843، 88888888844، 88888888845، 88888888846، 88888888847، 88888888848، 88888888849، 88888888850، 88888888851، 88888888852، 88888888853، 88888888854، 88888888855، 88888888856، 88888888857، 88888888858، 88888888859، 88888888860، 88888888861، 88888888862، 88888888863، 88888888864، 88888888865، 88888888866، 88888888867، 88888888868، 88888888869، 88888888870، 88888888871، 88888888872، 88888888873، 88888888874، 88888888875، 88888888876، 88888888877، 88888888878، 88888888879، 88888888880، 88888888881، 88888888882، 88888888883، 88888888884، 88888888885، 88888888886، 88888888887، 88888888888، 88888888889، 888888888810، 888888888811، 888888888812، 888888888813، 888888888814، 888888888815، 888888888816، 888888888817، 888888888818، 888888888819، 888888888820، 888888888821، 888888888822، 888888888823، 888888888824، 888888888825، 888888888826، 888888888827، 888888888828، 888888888829، 888888888830، 888888888831، 888888888832، 888888888833، 888888888834، 888888888835، 888888888836، 888888888837، 888888888838، 888888888839، 888888888840، 888888888841، 888888888842، 888888888843، 888888888844، 888888888845، 888888888846، 888888888847، 888888888848، 888888888849، 888888888850، 888888888851، 888888888852، 888888888853، 888888888854، 888888888855، 888888888856، 888888888857، 888888888858، 888888888859، 888888888860، 888888888861، 888888888862، 888888888863، 888888888864، 888888888865، 888888888866، 888888888867، 888888888868، 888888888869، 888888888870، 888888888871، 888888888872، 888888888873، 888888888874، 888888888875، 888888888876، 888888888877، 888888888878، 888888888879، 888888888880، 888888888881، 888888888882، 888888888883، 888888888884، 888888888885، 888888888886، 888888888887، 888888888888، 888888888889، 8888888888810، 8888888888811، 8888888888812، 8888888888813، 8888888888814، 8888888888815، 8888888888816، 8888888888817، 8888888888818، 8888888888819، 8888888888820، 8888888888821، 8888888888822، 8888888888823، 8888888888824، 8888888888825، 8888888888826، 8888888888827، 8888888888828، 8888888888829، 8888888888830، 8888888888831، 8888888888832، 8888888888833، 8888888888834، 8888888888835، 8888888888836، 8888888888837، 8888888888838، 8888888888839، 8888888888840، 8888888888841، 8888888888842، 8888888888843، 8888888888844، 8888888888845، 8888888888846، 8888888888847، 8888888888848، 8888888888849، 8888888888850، 8888888888851، 8888888888852، 8888888888853، 8888888888854، 8888888888855، 8888888888856، 8888888888857، 8888888888858، 8888888888859، 8888888888860، 8888888888861، 8888888888862، 8888888888863، 8888888888864، 8888888888865، 8888888888866، 8888888888867، 8888888888868، 8888888888869، 8888888888870، 8888888888871، 8888888888872، 8888888888873، 8888888888874، 8888888888875، 8888888888876، 8888888888877، 8888888888878، 8888888888879، 8888888888880، 8888888888881، 8888888888882، 8888888888883، 8888888888884، 8888888888885، 8888888888886، 8888888888887، 8888888888888، 8888888888889، 88888888888810، 88888888888811، 88888888888812، 88888888888813، 88888888888814، 88888888888815، 88888888888816، 88888888888817، 88888888888818، 88888888888819، 88888888888820، 88888888888821، 88888888888822، 88888888888823، 88888888888824، 88888888888825، 88888888888826، 88888888888827، 88888888888828، 88888888888829، 88888888888830، 88888888888831، 88888888888832، 88888888888833، 88888888888834، 88888888888835، 88888888888836، 88888888888837، 88888888888838، 88888888888839، 88888888888840، 88888888888841، 88888888888842، 88888888888843، 88888888888844، 88888888888845، 8888888

- لو (فرانك) 97
اللولبية (اللولبيات) 278, 257, 232
لوفيربيه (أوربان) 406
لونا (الروسية) 420, 436
لوويل (بيرسيفال) 377
الليثيوم 288
ليدا 343
ليس ثمة مياه تجري ولا زروع تنمو... 432
ليس ثمة نجم يبقى مضيناً إلى الأبد 194
ليس للقمر حقل مغناطيسي حالياً 439
لسيثيا 343
ليفيت (هنريتا) 208
ما الذي يسبب التحبب؟ 171
ما براحت المذنبات الساطعة ترعد الناس بسحرها 454
ما بين النجوم 324
ما هو التغيير الذي كان الناس بحاجة إليه 320
ما هو الشهاب؟ 470
ما هو الضوء؟ 58
ما هو مصدر الطاقة الذي يحمل نجوم التسلسل الرئيسي على الإضاءة؟ 202
ما هو النيزك 468
ما هي دائرة البروج؟ 42
ما هي الرياح الشمسية 188
ما هي الموجة؟ 59
ما وراء مجرة درب التبانة 249
ماء إمامه 342
ماجلان (فرديناند) 251
ماخوهات = أحرام هالية متراصنة ضخمة المادة البنجمية (المضيئة) 278, 243, 257, 242
المادة القاتمة الخفية 239
مادة الكتلة المفقودة 296
مادة الكون المرصودة تتالف من... 288
المادة والطاقة 295
ماذا تعني السماء المرصعة بالنجوم؟ 13
مارس 375
مارينز 2 / محاذة 360
مارينز (10) = مركبة الفضاء مارينز 10
لا تجد فوق القمر سماء زرقاء أو... 432
لا تزيد ثقالة القمر السطحية على... 426
لا يستطيع علماء الفلك التنبو بقرب حدوث فعالية شمسية 174
لا يمكن التنبو بمصير المذنب... 462
اللاتجانس 298
اللاتنامي 298
لاريسا 345
لاس كامپاناس، تشيلي 88
لاسيل 345, 344
اللاهوتيون 323
لائحة بالجدول 11
اللب 451, 172, 439
لب الشمس 182, 163
لب النجم 211
اللب (Core) وهو الطبقة المركزية... 368
اللوبوك الكثيفة 198
لحساب بُعد أي نجم... 109
لزلح 18 قمراً مؤكداً وعدة أقمار مظنونة 398
لسان لهب 188
لسان اللهب الشمسي 176, 178
اللسنيات الشمسية 171
لطالما استهوي القر بسحره قرائح الشعراء وقلوب المحبين 420
لعطارد قشرة من صخر سيليكاتي خفيف 357
لقط السديم الكوكبي 228
لكوكبنا حقاً مغناطيسيًّا 372
للسرعة الفضائية مركتبان 122
للقمر طبقة خارجية 438
لم تقع الرحلات الفضائية القمرية على أثر لمياه جارية على القمر 428
لماذا تبدو النجوم متحركة... 52
لماذا تضيء النجوم 199
لماذا تعود المذنبات إلى الفضاء الخارجي 462
لماذا سيتغير نجم القطب... 53
لماذا كان الماء مهمًا في... 489
لمجرتنا بنية لولبية عصوية 246
لنلتون ثمانية أقمار مؤكدة 407

- ماضي الكون وحاضره ومستقبله واحدٌ إلى الأبد 291
 ماكسويل (جيمز كلارك) 364
 ماكسويل مونت 364
 ماكولي (مايكل ج.) 500
 ماوناكيا (هاواي) 8, 76, 209
 مايرا 49
 المبادرة 49
 المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية 326
 مبدأ الاصطفاء الطبيعي 513
 المبدأ الكوني (الكامل) 285
 متاحف فضائية 499
 المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي (مدينة نيويورك) 473
 المتظولات الزرق 236
 متغيرات أوجوية قييس الطويلة الدور 208
 متغيرات الشلياق 208
 المتغيرات الفيقولية 207
 المقفردة 223
 متواسطة كثافة القر 427
 متى دخل أول إنسان الفضاء؟ 502
 متى يبدأ نجم بالتحول من نجم تسلسل... 205
 ميتس 390
 المثلث الصيفي 27
 مجال الأطوال الموجية 63
 المجرات 229, 283
 المجرات الإلهيليجية 253
 المجرات الراديوبو 263
 مجرات سايفرت (المسمامة برساوس N) 266, 267
 المجرات العدسية 255
 المجرات غير المنتظمة 254
 مجرات قريبة 252
 المجرات القزمة 255
 المجرات اللولبية (العصوية) 254, 266
 المجرات اللولبية الناظمية 254
 المجرات اللولبية والإلهيليجية 257
- مجرات متصادمة 276
 المجرات النائية 92
 المجرات النشطة 275
 المجرتان المتصادمتان (الفأرتان) 265
 المجرة 272
 المجرة أم بُرْتُري ثري (M33) 261
 مجرة أندروميدا 252, 261
 المجرة الإلهيليجية النشطة قنطورس (A) 264
 المجرة galaxy تجمع عظيم من ملايين بل مليارات النجوم... 230
 مجرة درب التبانة 230, 231, 233, 249, 250, 277
 مجرة راديوية 276
 مجرة سايفرت 276
 مجرة قنطورس (A) 263
 مجرة القرص 264
 المجرة اللولبية في كوكبة الدب الأكبر 232
 مجرة المرأة المسلسلة (أندروميدا) 131, 251, 253, 278
 مجرة القرص 293
 المجرية النشطة (AGN) 262
 مجرة نظامية 276
 المجرسي 319
 المجموعات المجرية 259
 مجموعة الدب الأصغر 26
 مجموعة الدب الأكبر 26
 المجموعة الموضعية 261
 المجموعة الشمسية 97
 محاكم التقفيش 323
 محاربة حول نظامي الكون الرئيسيين 323
 محظى المجرة من النجوم 257
 محطات فضائية 499
 محطة الفضاء الأمريكية سكاي لاب 169
 محطة الفضاء سويوز (TM) 501
 محطة الفضاء مير (Mir) 501
 محللات طيفية متعددة القنوات 507
 المحيط الأطلسي 370, 371, 372, 443
 المحيط الهادئ 366
 مختبر الفضاء الأمريكي (سكاي لاب) 161
 مختبر ناسا للدفع النفاث 96

- المرأة أو العدسة الرئيسية 105
- المرأة الثانية 75
- المرأة المكافئة القطع 85
- مراحل تطور الكون 292
- مراحل حياة نجم كالشمس 213
- مراحل الكون المغلق (المتأرجح) 290
- مراحل الكون المفتوح (نظرية الانفجار العظيم) 289
- المارصد الفلكية البصرية الوطنية (NO AO) 527
- العراق 37
- مراقبة الحقل المغناطيسي للشمس 180
- مربع الفتحة 71
- mirzat الهباء المعلق 374
- مرصد برلين 406
- مرصد تشاندرا السيني 100
- المرصد الجوي الطيفي... 97
- مرصد سميشون للفيرياه الفلكية 88
- المرصد الشمسي الوطني 70
- المرصد الفلكي 69
- مرصد كومپتون (العامل باشعة غاما) 6, 99, 100
- مرصد كونابران الأنفلو - أسترالي 89
- مرصد كيت بيك (الوطني) 25, 70
- مرصد اليابان الفلكي الوطني 88
- مرصد بيركيز 73
- مركبات فضائية 360
- المركبات الفضائية تنقل المقاريب إلى... 106
- المركبات الفضائية الربوطة 332
- مركبات فضائية مكوكية 499
- مركبات فينيرا الفضائية 361
- مركبتا السرعة الفضائية: السرعة الشعاعية والحركة
- الحقيقة 123
- مركبة أبولو 419
- المركبة الاستطلعية (MGS) 381
- المركبة الأمريكية الربوطة بيونيرا (11) الحلقة (2) 395
- المركبة الأمريكية المستكشفة للمريخ (بان فايندر) 379
- المركبة الربوطة بروغريس (M) 501
- مركبة غاليليو 390
- مخيط هيل لخمس مجرات 284
- مخيط (مخيطات) هرتز سپرونغ - راسل (H - R) 135, 136, 137, 140, 146, 147, 194, 199, 237
- مخيط هرتز سپرونغ - راسل (R - H) غيرتام (النجوم مختاراة) 147, 137
- مخيط هرتز سپرونغ - راسل (R - H) لحسد الثريا (المجري) المفتوح 240
- مخيط هرتز سپرونغ - راسل (R - H) للحسد الكروبي 241
- أم ثري (M3) 241
- مخيط هرتز سپرونغ - راسل (R - H) للحسد وان (1 تو 2) 275, 274
- مخيط هرتز سپرونغ - راسل (R - H) يمثل عدداً كبيراً من النجوم 136
- مخلفات بيوكوبية 468
- مخلفات المستعرات الفائقة 216
- مخلوقات غربية 503
- مخلوقات مريخية ذكية 377
- مدار الجدي 46
- مدار السرطان 46
- مدار القمر حول الأرض 329
- المدة بين قمررين جديدين هي... 330
- مذنب إنكي 465
- مذنب تيمبل - تتل 465
- مذنب ساطع نموذجي 480
- مذنب طويل الدور 464
- المذنب القصير الدور 468
- المذنب (المذنبات) الدوري 465, 466, 480
- مذنب مركوس بذيلين نموذجين 461
- مذنب هالي (الشهرير) 454, 455, 479
- مذنب هالي في سبعة أيام مختلفة 467
- مذنب هالي نسبة إلى إدموند هالي 467
- مذنب وولف 465
- مذنب يعقوببني 465
- المذنبات 454, 453, 310, 97
- المذنبات القصيرة الدور 465
- المذنبات والشهب والأحجار النيزكية 453
- المرأة 71

- المشهد كما يراه الراصد 20
 المشهد الكوني 13
 مشهد لمنطقة غرب آيستلا ريجيو 363
 مصادر مفيدة 519
 مصادر وموقع وب (Web) 7
 مصائد نيوترونات في أعماق الأرض 182
 مصباح كهربائي باستطاعة (155) واط 131
 مصدر المذنبات 466
 مضة الهليوم 205
 المطال الأعظمي 317
 مطال 65
 المطلع المستقيم 54
 مظاهر كوكبي الزهرة والمريخ من الأرض 413
 مظهاًر (display) قوة الحقل المغناطيسي 175
 مظهر القمر 419
 مظهران مهمان للمريخ من الأرض 376
 المعادلة الموجية 66
 معالم مسافات 208
 معاير (عامل) المسافة 133
 معاينة الحقل المغناطيسي 176
 المعنطر (الغالاف) 368, 439, 451
 معطيات 164
 معطيات عن القمر 427
 معطيات لمناذج أقدار منتخبة 131
 معظم النجوم تتحول من... 207
 معلومات عامة عن الكواكب 336
 معلومات عن الحياة المهنية 521
 مغناطيسيّة (الأرض) 175, 372
 مفعول الحافة القائمة 160
 مفعول الدفيئة 362
 مفعول زيمان 125
 مقارنة القمر بالأرض 419
 المقارب 72
 مقارب أشعة غاما 98, 166
 مقارب الأشعة فوق البنفسجية ultraviolet والسينية 98
 المقارب البصرية 71
 المقارب تحت الحمراء 97, 98, 166
- مركبة فايكنغ الفضائية الأمريكية 493
 مركبة الفضاء الريبوطية الأوروبيّة الأمريكية
 المشتركة يوليسيز 169
 مركبة الفضاء غيوتو 458
 مركبة الفضاء فايكنغ لاندر (1) (2) 379, 378
 مركبة الفضاء فوياجر 332
 مركبة الفضاء مارينر (10) 354, 356
 مركبة فوستوك (1) 499
 مركبة فوياجر وان وتو (1, 2) 395, 387, 344, 332, 393, 333
 مركز كيت بيك الوطني 89
 المريخ: رصده 375
 المريخ = كوكب المريخ
 مسابر النجوم 502
 مسار مذنب عند نقطة الرأس 463
 مسار المعطيات التي يبثها مقراب هبل (Hubble)
 الفضائي 83
 المسارات النظرية للتطور... 194, 200
 مسارات غبارية عابرة 402
 المسافات إلى النجوم القريبة 108
 مسبار جوي 387
 المستعر (المستعرات) القائق (A) 1987 (1987 A) 216, 212, 215, 216, 217
 مستوى فلك البروج 312
 مسح مجرتنا 244
 مسح مجلل السماء 507, 515
 مسيبيه (شارل) 250
 المشاعل الصغيرة 171
 مشاهد غير اعتيادية 40
 المشاهد فوق البنفسجية 99
 المشتروية 337
 المشتري أصغر من القمر... 447
 المشتري أكبر من القمر أربعين مرة... 447
 المشتري: رصده 386
 المشتري = كوكب المشتري
 المشتري وحل 412
 مشروع أوز ما 505
 مشروع فوياجر الأمريكي 332

- مقارب كاسيغرين 75
- مقارب كيك (Keck في هاواي) 75، 87
- مقارب كيك ا وكيك II 88
- مقارب ماجلان ا وмагلان II 88
- مقارب ماونت بالومار 77
- مقارب ماونت ويلسون 255
- المقارب المتعدد المرايا (MMT) 88
- المقارب المنظاري الكبير 88
- مقارب نيكولاس ميوول 89
- مقارب نيوتن 74، 75
- مقارب هيل الفضائي 83، 525
- مقارب هوبي - إبيرلي 88
- مقارب ويليام هيرشل 89
- مقاييس الضوء 28
- مقاييس طيف حساس 125
- مكتشفات واحدة 486
- مكonalد، قمة جبل فوكينز، تكساس 88
- المكسيك 520
- مكوك الغضاء أتلانتيس 500
- مكوك فضائي 511
- الملييار 375
- من المحتمل أيضاً أن تكون الحياة قد وجدت على كوكب مجاور 492
- منابع أشعة غاما 246
- المنابع السينية (المتجرة) 246، 103
- المنابع المرئية الباردة نسبياً 103
- مناطق التجمعات الفازية الكثيفة 246
- مناطق التكون النجمي 97
- مناطق الشمس 162
- المناظير 72
- منبثق الشهب 471
- المتبع (المنابع) الراديوي 92، 96، 267
- منتجات ناسا 526
- منحنى إشعاع الشمس 68
- منحنى الضوء 207
- منشاً للسمات المميزة للأصناف الطيفية 121
- منشاً خطوط الامتصاص القاتمة المقابلة لخطوط... 115
- المقارب الراديوي (العملاقة) 92، 93، 94، 166
- المقارب السينية 166
- مقاريب شمسية بصرية 166
- مقاريب شميدت - كاسيغرين 85
- المقارب الصغيرة الخاصة بالهواء 85
- المقارب العاكسة (مقابل المقارب الكاسرة) 74، 76
- المقارب العملاقة 102
- المقارب فوق البنفسجية (والسينية والغامية) 100، 166
- المقارب الكاسرة 73
- المقارب المركبة 86
- المقارب مكستوف - كاسيغرين 85
- مقاييس (في الأكمام) 346
- مقاييس الحشود 229
- المقتفيات الفلكية 98
- مقدمة تجميع الضوء 71
- مقدمة الفصل (الميز) 78
- المقدمة المنطقية 285
- مقارب آريسيبو (Arecibo) الراديوي 497
- المقارب الأنجلو - أسترالي 89
- مقارب بولشووي السمعي الارتفاعي 89
- المقارب جسمته 71
- مقارب جوجي إيليري هيل 89
- مقارب جيميني نورث وجيميني ساوث 88
- مقارب دوبسون 85
- مقارب راديوي (VLA) 103، 95، 93
- المقارب الراديوي العملاق في آريسيبو بورتوريكو 505
- مقارب السماء الكبيرة 89
- مقارب سوبارو 88
- مقارب الشمسي البصري (R.R.Mc Math - Pierce) 167
- مقارب شميدت - كاسيغرين 75
- المقارب العاكس - الكاسر 85
- المقارب العملاق... 86، 88
- مقارب غرين بانك 93
- مقارب - فك ثنائية نجمية مرئية 142
- مقارب كاسر (بعدسة جسمية...) 76، 74

- ميراندا أحد أقمار أورانوس 403
 ميراندا - أصغر الخمسة 403
 ميراندا / أورانوس 415
 ميرتشسن 475
 الميزان 23
 الميزاتيات الذرية 338
 ميكروبات كربونية التركيب 493
 الميل 54
 ميل كوكب بلوتو 312
 ميلان كوكب أورانوس 403
 ميلان محور الأرض... 44
 مليوني 343
 ميماس 398
 ناسا = وكالة ناسا
 نياض السرطان 220
 نياضات الملي ثانية 497
 نپتون = كوكب نپتون
 نپتون أسرارايتون في حقبة ما 409
 نپتون أصغر الكواكب الغازية العملاقة 406
 نبذة تاريخية 319
 نترونات 219
 نجم أيسيلون أندروميدا (المرأة السلسلة) 497
 نجم الإزار 142، 143
 نجم البيريو 142
 نجم أولي وليد 228
 نجم إيه (a) (حَضَار) 131
 نجم بارنارد 134، 135
 نجم بارنارد الحمراء والحوية 496
 النجم الثنائي 141
 النجم الثنائي القياسي 148
 النجم الثنائي الكسوف 148
 نجم ذنب الدجاجة 27، 28، 132 - 133
 النجم ذو اللون المائل إلى الزرقة أشد حرارة 104
 منشأ القمر 419
 منشأ الكواكب 311
 منشأ المجموعة الفريدة من خطوط الإصدار... 114
 المنشأ المحتمل للمذنبات 464
 منشأ المذنبات 462
 منشأ النجوم 195
 منشورات دورية 519
 المنطقة الاستوائية 396
 منطقة الإشعاع المترادفة 163
 منطقة الحمل 163
 منطقة 11 (سديم الإصدار الساطع) 243، 242
 المنطة الصالحة للعيش حول الشمس تقع على وجه التقريب بين مداري الزهرة والمريخ 492
 المنظار ثنائي العينية 72
 منظمات ووسائل وبرامج فلكية عامة 527
 منظومات كوكبية خارج نطاق المنظومة الشمسية 495
 المنظومات النجمية (مزدوجة) 230، 141
 المنظومة الشمسية 14، 16، 277، 309
 منظومة المقاريب تحت الحرارة القضائية 97
 المقلوب الشتوي 52، 46
 المقلوب الصيفي 52، 46
 منكب الجوزاء 67، 138، 150، 146، 204
 موقع الكواكب 323
 موقع النجوم 234
 موقع وب (web) 32
 الموجة 59، 58 (Wave)
 موجة صدم 196
 موجة الضوء 58 ... (Light wave)
 المؤرخون 323
 مؤسسات وجمعيات فلكية 522
 موشور 91
 موشيه (ديتال) 520
 موقع كيت بيك 70
 موقع المنظومة الشمسية في مجرة درب التبانة 16
 مياه جارية على القمر 428
 الميتا 459، 405
 ميتيس 343
 ميتيلور كريتر 476
 نجم الشعري اليماني (الساطع) 49، 111، 131، 142
 نجم شبيه بالشمس 204

- النجم الصغيرة 209
 النجوم صنفين (جمهرتين) 247
 النجوم الضيائية 127
 النجوم العمالقة الحمر باردة نسبياً لكنها مضيئة 151
 النجوم المعلقة الزرق الكبيرة الكلة 202
 نجوم عملاقة زرقاء 136
 النجوم الفاتحة الكثافة 219
 نجوم فوق علاقة 146، 204
 نجوم قزمة حمراء 136
 النجوم الكبيرة 209
 النجوم كرات غازية عظيمة متقدة 149
 النجوم كرات غازية عظيمة مضطربة 116
 نجوم كشمستنا 199
 النجوم لها أكاليل متشابهة 183
 النجوم المتغيرة 206
 النجوم المتماثلة التركيب الكيميائي... 199
 النجوم المرئية، 47 119
 النجوم المنفجرة 215
 النجوم النباضة أو النباضات 92، 219
 النجوم الواقعية ضمن 38
 النجوم والغازات الحارة جداً 103
 نجمي الصباح 358
 نجمي المساء 358
 النجمية في كوكبة الدب الأكبر 37
 النجمية القياسية 142
 النجود القمرية 429
 نساء خالدات... 363
 النسر الطائر 135، 134، 27
 النسر الواقع = vega = نجم النسر الواقع
 النشادر 459
 نشاط الأرض الجيولوجي 368
 النشاط العنيف للشمس 184
 نشاط غير اعتيادي في المجرات 262
 نشأة مجرتنا 248
 نشوء الحياة الذكية على الأرض... 509
 نشوء المذنبات الدورية 483
 نشوء النزابة 460
 النظام البطليموسى 322
- نجم الصباح 353
 نجم الفرس الأعظم 497
 نجم قريب 110
 النجم القزم الأبيض 212، 214
 نجم القطب 28، 36، 38، 49، 52، 53، 118، 119
 نجم القطب ليس من سوابع النجوم 37
 نجم قلب الأسد 27
 نجم قططورس القربي 110
 النجم مايرا (أي الأعجوبة) 208
 نجم متغير 214
 النجم المتغير (RR) في كوكبة الشلياق 208
 النجم المزدوج البصري 143، 148
 نجم المساء 353
 النجم النابض 220
 النجم النابض أو النجم التتروني 220
 نجم تتروني 219
 نجم النسر الواقع 28، 39، 40، 50، 52، 53، 54، 137، 132، 118، 67، 55
 نجم هار 468
 النجم الوليد 16
 النجمان الدليلان 37، 38
 نجمان ساطعان 133
 النجوم 67، 107
 نجم أكبر كتلة من الشمس بكثير 199
 النجوم التي تبدأ حياتها بكل متقاربة... 199
 نجوم (M) 122، 119
 النجوم الباردة 68، 97
 نجم بارنارد 138
 نجوم التسلسل الرئيسي 199، 202
 نجوم الجمهرة 247، 248
 النجم (G) 68
 النجوم الحارة 68
 النجوم الحمراء الباردة (من الصنف M) 121
 النجوم حول - القطبية الجنوبية 38
 نجوم الخلفية 42
 النجوم الخمسة (5) 51، 119، 122
 النجوم الراديوية 219
 النجوم الزرقاء الحارة (من الصنف 5) 258

- نهر الجحيم 409
 النوافذ البصرية 69
 النوافذ الثلاث 102
 نواميس الكون 48
 نواة 113، 457، 456، 483، 288، 289، 290، 296، 298
 نواة سايفرت 266
 النواة سوداء قائمة 482
 نواة المذنب 459
 النوعي 409
 نور الربع الأول 315
 نوعي الهيدروجين 287
 نياو 345
 النيازك 468
 نيريد 345
 نيزك 480
 نيكولسون 343
 النيوتريونات (الشمسية) 182، 188، 216
 نيوتن (إسحاق) 309، 326، 327، 348
 نيوزيلندا 520
 نيومكسيكو الأمريكية 94، 96
 نيويورك 51
 ها إنك تبرغين بدبيعة وضاءة... 153
 الهالة القمرية 422
 حالة مجرية 241
 هالي (إدموند) 467
 هاواي 96
 هابيبرون 398
 هايدرداد الشجاع 293
 هايغنز 344، 397
 هبات عنيفة من الريح الشمسية 181
 هبل (إدوين) 250، 283
 هرتز (هاينريش) 65
 هرتزسپرونغ (إجتار) 135
 الهرطقة 323
 هل ثمة حياة خارج حدود الأرض؟ الله أعلم! 485، 486
 هل هناك نجوم جديدة ما زالت تولد اليوم؟ أين؟ 196
 هليوس 154
 نظام كوبيرنيكوس 323
 النظام الكوبرنيكي 320
 نظريات التطور النجمي 237
 نظرية الانجراف القاري 370
 نظرية الانفجار العظيم 280، 287، 288، 289، 290، 296، 298
 نظرية آينشتاين النسبية 221، 269
 نظرية التطور الكوني 488
 نظرية التطور النجمي (الحديثة) 194، 243
 نظرية تكتونيات الصفائح أو الألواح 369
 نظرية الحالة المستقرة 292، 299
 نظرية السديم الشمسي 159
 النظرية السديمية 159، 160
 نظرية كوبيرنيكوس 321، 320
 نظرية النسبية العامة 296
 نقطة الأوج 329
 نقطة الحضيض 329
 نقطة الرأس (الأوج) 479، 341
 نماذج الكون المفتوح والمنبسط والمغلق 280
 النماذج الكونية الثلاثة 305
 نماذج المجرات القياسية 256
 نماذج من مجريات مختلفة الأصناف 255
 نموذج آينشتاين - دوسيتر 299
 النموذج الأرضي المركز للكون 319
 نموذج الانبعاج = الانبعاج 280
 نموذج الانفجار العظيم 280
 نموذج بور الذري 113
 النموذج التطوري 280
 نموذج الحالة المستقرة 280
 نموذج الكرة الأرضية 30
 نموذج الكرة السماوية 31
 نموذج كرة الريح الملوثة 458، 457
 نموذج الكرة السماوية 31
 نموذج الكون الانفجاري التوسع 298
 نموذج الكون المتأرجح 289
 نموذج الكون المغلق 289
 نموذج الكون المفتوح 288
 نموذج الكون المنبسط 294
 نهر تنغوفوسكا 477

- الهليوم (المتأين) 119، 122، 145، 202، 216، 218، 225، 458
 الوسط البنجمي 242
 وصف أحوال سطح القمر في موقع هبوط مركبة
 أبولو عليه 419
 وصف عام 310
 وصف المعالم العامة لسطح القمر 419
 وضع الاقتران 376
 وضع التقابل 375
 وضع التقابل الذاتي 376
 وضع تقابل مؤات 377
 وقود الهليوم 209
 وكالة الفضاء الأوروبية 458
 وكالة ناسا 526
 ولادة القمر وطريقة نشأته 436
 ولادة نجم 196
 الولايات المتحدة 95، 96، 182، 364، 397، 499، 520
 وبمات = جسيمات كبيرة ضعيفة التأثير 315
 الوهج الأرضي 401
 وهج النهار 457
 وياميت (أوريغون) 473
 ويلسون (روبرت) 297
 ويليامزبي 73
 وينسلو شمالي ولاية أريزونا الأمريكية 476
 اليابان 182
 يبلغ حجم أكبر قمرین: تيتانيا وأوبيرون... 404
 يبلغ حجم البقعة الشمسية الاعتيادية حجم الأرض 172
 يبلغ الحد العملي للتكبير المجدى... 81
 يبلغ طول اليوم الشمسي... 48
 يبلغ طول اليوم النجمي... 47
 يبلغ عمر أقدم النجوم نحو 13 – 18 مليار سنة 248
 يبلغ الغلاف المغناطيسي لزحل زهاء... 397
 يبلغ قطر بحر الوابلات 429
 يبلغ قطر الشمس... 140
 يبلغ متوسط القطر الزاوي للقمر... 329
 يتالف غاينميد وكاليستو من... 392
- هناك حياة في أماكن أخرى 487
 الهند 443
 الهراء 373
 هوبلتز (جييرارد مانلي) 107
 هول (أساف) 343
 هوندا - مركوس - باجيريوكاكوغا 468
 هيبارخوس 28، 110
 الهيدروجين 119، 122، 202، 216، 218، 225، 248، 488، 459، 405، 388، 338
 الهيدروجين الثقيل 288
 الهيدروجين الجزيئي 246
 هيدروجين ذي محайд 242
 الهيدروجين المعدني السائل 389
 هيرشل (ويليام) 400
 هيلين 344
 هيمالايا 343
 هيوزتن 22
 الهيئة الدولية لمراقبة دوران الأرض 338
 هيبيرتون 344
 وابل الجبار 471
 وابل الدب الأصفر 472
 وابل الدلو 472
 وابل شهُب (فرساوس) 471، 470
 واحدة الأنفستروم 59
 الواحدة الفلكية (AU) هو... 189
 واحدة التانومتر 59
 وبُ (Ewb) = موقع وبُ (Ewb)
 وجدت أول الأسماك في البحار منذ نحو (425) مليون سنة 491
 وجدت جزيئات الحياة الأساسية في القضاء 487
 الوجه البعيد من القمر... 431
 الوجه المحلي لكرة السماء عند خط العرض شمالاً 36
 وجود حياة في عالم آخر 487
 وسائل معززة للمقرب 90

يطوف الظاهرة - شأن عطارد - حول الشمس... 357	يتآلف الفيروس... 489
يطول على القمر ليلاً ونهاره 432	يتآلف المذنب من... 466
يُعدُّ القمر تابعاً كبيراً جداً... 426	يتحرك خط شروق الشمس الفاصل من... 430
يقع (القمر) على بعد 384,400 كم 420	يتربك الهواء اليوم من... 373
يقع القمر عند بزوغه في برج نجمي معين 422	يتعذر على الفيروس توفير طاقته الذاتية أو استنساخ نفسه خارج الخلايا الحية 489
يقع المريخ ضمن المنطقة الشمسية الصالحة للعيش 513	يتغير مظهر القمر بانتظام كل شهر 314
يكشف المنابع الراديوية 105	يتغير نجم القطب بمرور الزمان 50
يكون المريخ أقرب إلى الأرض... 376	يتوقع لشمسنا - شأن سائر النجوم - أن... 205
يكون مسار الشمس عبر السماء في دورته صيفاً... 44	يحدث الخسوف القمري عندما تقع الشمس والأرض... 442
يمكنك توليد طيف من ضوء الشمس... 91	يحدث وأبل الشهب عند... 471
يمكنك عد نجوم التسلسل الرئيسي 199	يحيط بالأرض غلاف جوي... 373
يميل مستوى مدار القمر 447	يخشي كثير من الناس حدوث تصادم كارثي مدمر 341
ينتشر ضوء النجوم... 104	يُرى أكبر البقع الشمسية عند بزوغ الشمس 172
يتتمي كوكب الأرض إلى المنظومة الشمسية 14	يزن أكبر حجر نيزكي... 473
ينتشر انفجار المستعر الفائق كل... 216	يزيد طول اليوم الشمسي على اليوم النجمي... 48
ينزاح اتجاه محور الأرض... 49	يستبعد أن يكون القمر فيما مضى جزءاً من الأرض... 436
ينشر القمر نوره بانعكاس ضياء الشمس عليه 421	يستمد نجم التسلسل الرئيسي طاقته من... 159
ينطلق ضوء النجم الذي... 116	يستمر اندماج الهيدروجين... 203
ينفرد بلوتو بأغرب مدار... 410	يسرع الماء التفاعلات الكيميائية... 489
يوليسيز 169	يضيء كوكب الزهرة بسطوع شديد... 360
اليوم 47	يضيء كوكبنا الأرض... 365
اليوم الشمسي 20، 47	
اليوم الفلكي النجمي 47	
اليوم النجمي 48	

علم الفلك

