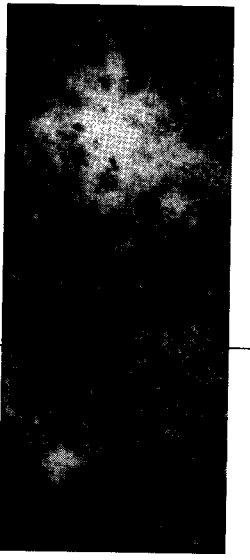
# 10

# القـمر



**تخافتُ النجوم حول القمر البهي بضوئها وتلزم خدرها عندما ينثر القمر نوره على الأرض بدراً تام الرُّواء.**

سافو (نحو 612 قبل الميلاد) المقطع 4

**الأهداف:**

- تفسير مظهر القمر وحركاته الظاهرية في السماء.
- مقارنة القمر بالأرض من حيث القطرُ، والكتلةُ، ومعدَّل الكثافة، والثقالة السطحية.
- وصف المعالم العامة لسطح القمر.
- بيان أوجه التشابه والتغايُر بين القمر والأرض من حيث النشاط الجيولوجي وعوامل التعرية السطحية.
- عرضٌ مجمَلٌ لفرضيةٍ حول منشأ القمر، بما يتفق والأرصاد العلمية.
- تفسير المنشأ المحتمل للفوَّهات والبحور القمرية.
- وصف أحوال سطح القمر في مواقع هبوط مركبة أبولو عليه.

- عرض النموذج الحالي لِبنية القمر الداخلية.
- طرح تساؤلات وقضايا حول القمر لَمّا تُحسم بعد.
- تحديد المواقع النسبية للأرض، والقمر، والشمس، في أثناء حوادث كسوفٍ وخسوف.

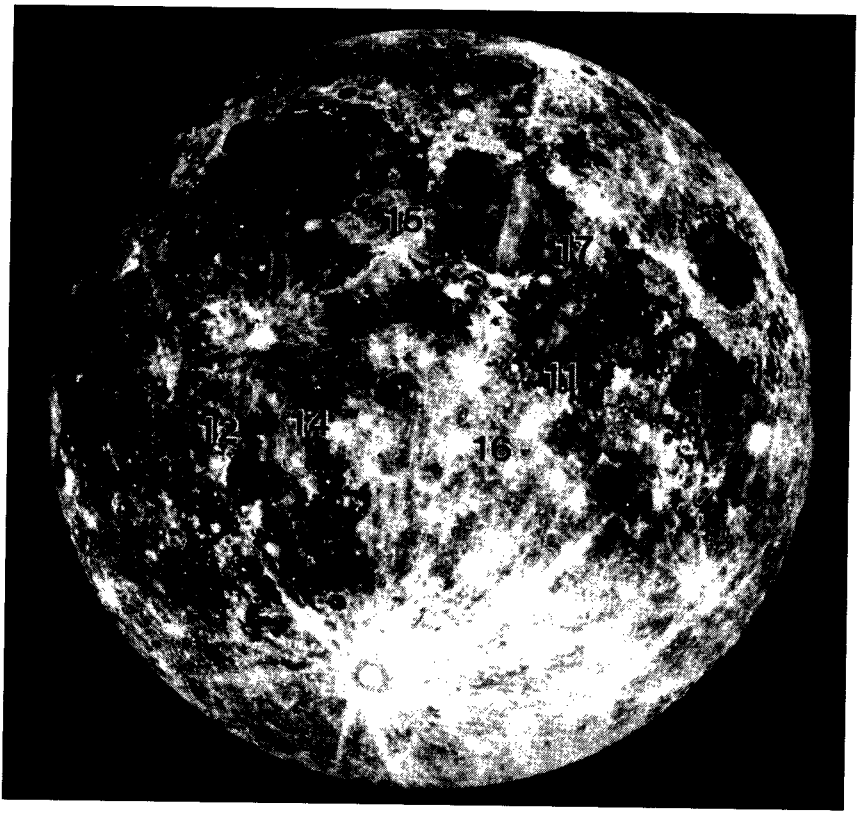
## 10.1 جارُ الجَنْب

لطالما استهوى القمرُ بسحره قرائحَ الشعراء وقلوبَ المحبِّين. فعند القَدْر -12,5 يكون القمرُ البدر أسطعَ من نجوم القَدْر الأول قرابةَ 25،000 مرة (الشكل 10.1).

ارتبط اعتقادُ الناس في الماضي بالتأثير المباشر للقمر الساطع في السلوك الشخصي للأفراد؛ فراحوا يمارسون طقوساً خاصةً عندما يكون القمرُ بدراً، وأطلقوا أسماءً على آلهة القمر من قبيل: دايانا ولونا وسيليني وسينثيا. حتى إن كلماتٍ مشتقةً من «القمر» من مثل: «moonstruck» (= مختلط العقل)، و«lunacy» (= جنون) كانت تشير في الأصل إلى جنونٍ يتبدَّل مع تبدُّل أطوار القمر.

ونحن نعرف اليوم عن القمر - بحكم قربه منّا - أكثر مما نعرف عن أيٍّ من أجرام السماء؛ فهو يقع على بُعد 384،400 كم (240،000 ميل) عن الأرض. وقد وصلت مركباتٌ فضائيةٌ ربوطيَّةٌ ومأهولة إلى القمر وحطَّتْ عليه، وبثَّتْ آلافَ الصُّوَر والمعطيات العلمية والعيِّنات من سطحه.

من ذلك رحلاتُ أبولو القمرية Apollo Moon Missions الأمريكية الستّ (1969 - 1972) التي أَنزلتْ رجالاً على سطحه، مزوَّدين بمصوِّرات وأجهزة لإجراء تجارب علمية هناك، وعادت بكميات من صخور القمر تزن 380 كيلوغراماً (837 رطلاً إنكليزياً) للدراسة المخبرية. استمرَّت تجهيزات أبولو بإرسال معطيات حتى سنة 1977 عندما أوقفت لأسباب مالية.




**الشكل 1.10 القمر بدراً. المواقعُ الستَّةُ، حيث هَبَطَ روَّادُ مركبة أبولو الفضائية الأمريكية، معلَّمةٌ بالأرقام 11 ـ 17. اطلبْ أسماءَ أبرز البحور والفوَّهات والسلاسل الجبلية من خريطة القمر.**

ينشر القمرُ نورَه بانعكاس ضياء الشمس عليه[1]. فإذا علمنا أن متوسط النصوع albedo المرئي ـ وهو نسبة ضوء الشمس الواردة التي يعكسها القمرُ في الفضاء ـ لا يتجاوز 11 في المئة فقط، أدركنا أن معظمَ ضوء الشمس الذي يَرِد على سطح القمر العديمِ الهواء يجري امتصاصه.

(1) تنسب العربُ «الضوءَ» إلى الشمس، و«النورَ» إلى القمر. قال الله تعالى في القرآن الكريم: (هو الذي جَعلَ الشمسَ ضياءً والقمرَ نوراً وقدَّره منازلَ لتعلموا عدد السنينَ والحسابَ( [يونس 5]. (المعرِّب)

لماذا تعتقد أن القمرَ البدرَ هو أسطع الأضواء في سماء الليل؟ .....

.....

.....

**الجواب**: لأنه أقربُ إلى الأرض من سائر الأجرام السماوية الأخرى.

## 2.10 القمر في السماء

إذا رعيتَ القمرَ بانتظام، لاحظتَ حركتَيْه الظاهريَّتَيْن في السماء، إضافةً إلى أطواره (الفقرة 4.8).

ستلاحظ أن القمر يبزغ من جهة الشرق، ويتحرك غرباً عبر السماء، ويأفل كلَّ يوم، لأن الأرض تدور حول نفسها يومياً.

وستلاحظ أيضاً أن القمر يغيِّر موقعَه بالنسبة إلى النجوم بمقدار 13° شرقاً في كلِّ يوم، لأن القمر يتحرَّك بالنسبة إلى الشمس يومياً، في حين تطوف منظومةُ الأرض ـ القمر حول الشمس كلَّ سنة (الشكل 2.10).

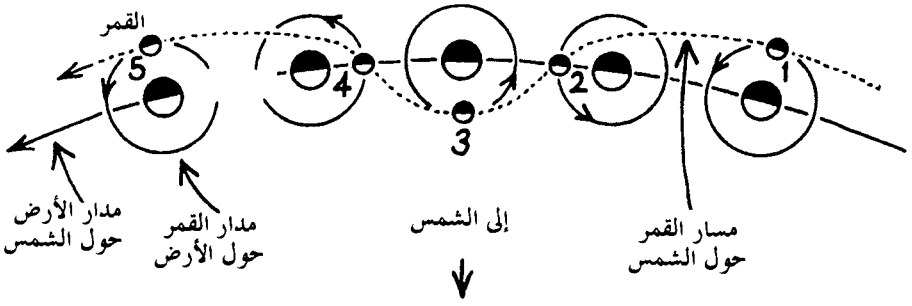
علِّلْ تأخُّرَ بزوغ القمر بنحو 50 دقيقة يومياً عن اليوم السابق .....

.....

.....

.....

**الجواب**: يقع القمرُ عند بزوغه في برجٍ نجميٍّ معيَّن. وبمرور نحو 24 ساعة، عندما تكون الأرضُ قد أتمَّت دورتها حول الشمس، تبزغ هذه النجوم نفسُها من جديد، لكنَّ القمرَ يكون في هذه الأثناء قد تحرَّك زهاء 13° شرقاً بالنسبة إلى النجوم، ومن ثم لا يبزغ إلا متأخراً.




**الشكل 10.2 دورانُ منظومةِ الأرض ـ القمر حول الشمس. ثمة مبالغةٌ في إبراز تموُّج مدار القمر، زيادةً في الإيضاح.**

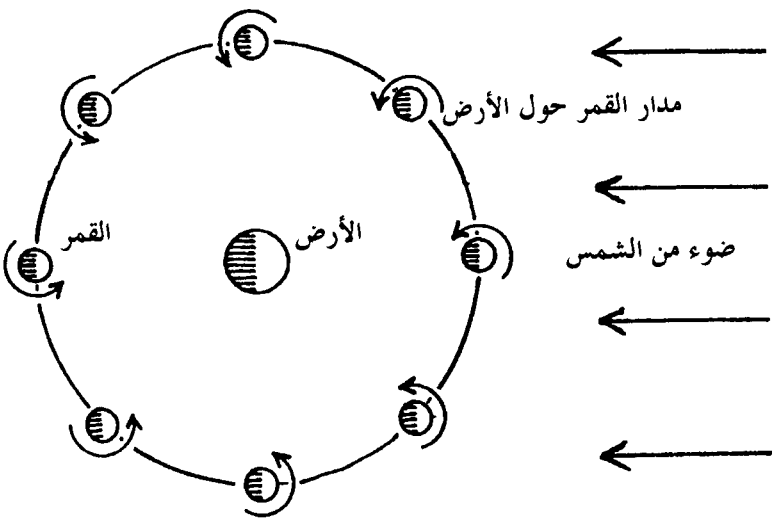
## 10.3 دوران القمر

إن ثقالة الأرض تبعث القمر على التزام نمطٍ من الدوران يسمّى الدوران المتزامن synchronous rotation؛ ذلك أن القمر يدور على محوره مرةً كل 27,3 يوماً، ويستغرق الزمنَ نفسه تماماً للطواف مرة حول الأرض. وهذا ما يجعل وجهاً واحداً منه في مواجهة الأرض في كل الأوقات (الشكل 10.3).

لاحِظْ أنك ترى السِّماتِ نفسَها لد «إنسان في القمر» طوال الشهر، دون أن ترى قافيةَ رأسه أبداً. (يبدو أن القرصَ المرئيَّ للقمر يَنْزاح في ظاهرة تسمّى المَيَسان أو التأرجُح libration، ناشئةٍ عن تغيُّرات طفيفة في حركات القمر، وإذن بإمكانك أن ترصد فعلاً نسبةَ 59 في المئة من إجماليّ سطحه طوال الوقت).

وأغلب الظن أن تساوي الدَّورَيْن المحوريّ والمداريّ للقمر ليس محضَ صدفة، بل ثمرة دهورٍ من الاحتكاك المدّي tidal friction.

لماذا اقتصرت قدرةُ الإنسان على رؤية وجهٍ واحدٍ من القمر فحسب




**الشكل 10.3 الدوران المتزامن للقمر. إنَّ وجهاً واحداً من القمر يقابل الأرضَ دوماً.**

قبل بلوغ مَرْكَباتِ الفضاء وجهَه القصيّ؟ .....

.....

**الجواب:** لأن دَوْرَه المحوريَّ مساوٍ لدَوْره المداريِّ حول الأرض، ومن ثم فإن وجهاً واحداً للقمر يظلُّ مقابلاً للأرض أبداً.

## 4.10 ظواهر خاصة

بإمكانك أن ترصد تغيُّراتٍ مثيرةً أخرى في مظهر القمر.

فالهالة القمرية lunar halo، أو الحلقةُ المطيفةُ بالقمر ليست في واقع الأمر قريبةً منه على الإطلاق، بل إن بلورات جليديةً في أعالي الغلاف الجوّي الأرضيّ تَكسِر أشعةَ نور القمر لدى اختراقها البلورات، مولِّدةً هذه الظاهرة الهالية.

وعندما يكون القمرُ قريباً من الأفق قد يبدو أحمر اللون. ومن ذاك الموقع ينتقل نورُ القمر مسافةً أطولَ عبر الغلاف الجوّي ليصل إلى عيوننا، منه عندما يكون القمرُ في كبد السماء. ويتألف نورُ القمر (انعكاس ضوء الشمس) كلُّه من ألوانٍ مرئية. تتبعثر أشعةُ القمر القصيرةُ (الزرقاء)، في حين تنبري أشعتُه الطويلةُ (الحمراء) ـ التي تخترق الغلافَ الجوّي بسرعة ويسر ـ لتُسبغ على القمر اللونَ الأحمر.

كذلك يبدو القمرُ البدرُ أكبرَ حجماً عندما يكون قريباً من الأفق، منه عندما يكون في كبد السماء. هذا الإحساس الخاطئ، الذي يُعرَف بظاهرة الانخداع القمري Moon illusion مازال غير مفهوم تماماً حتى الآن، فنحن نعلم بالبداهة أن حجم القمر واحدٌ لا يتغيَّر. ولَعلَّ هذا الانخداعَ البصريَّ النفسي ناشئ عن مقارنة الراصد للقمر بما يجاوره من أجرام قياساً على النجوم النائية.

يسمّى بدرَ الحصاد harvest Moon الوقتُ الذي يكون فيه القمرُ بدراً قرب موعد الاعتدال الخريفيّ. عندئذٍ يبزغ القمرُ في المساء قبل وقته المعتاد، ناشراً أنواره في أرجاء السماء، ومتيحاً للمزارعين ساعاتٍ إضافيةً لحصد مزروعاتهم. يحدث قمرُ الحصاد عندما تكون الزاويةُ بين فلك البروج والأفق أصغريةً تقريباً.

هل تعتقد أن روّادَ مركبةِ أپولو الفضائية عاينوا «حلقةً تطيف بالأرض» وهم على سطح القمر؟ وضّح ذلك .....

.....

.....

**الجواب**: لا. فالحلقة حول القمر وهمٌ تسبِّبه جُسَيْماتٌ جليديةٌ في الغلاف الجوّي للأرض. أما القمر فليس لَه غلافٌ جوّي أو ماء لإحداث هذا الشعور الخادع بوجود حلقةٍ في الفضاء تحدق بالأرض.

## 5.10 حجم القمر

يُعَدُّ القمرُ تابعاً كبيراً جداً، مقارنةً بحجم كوكبه الأم. يمكن معرفة حجم القمر من القياسات المتعلقة بقطره الزاويّ وبُعده عن الأرض.

يُذكَر أن بُعدَ القمر قد قيسَ بدقة مدهشة بلغت جزءاً من عشرة مليارات (أي بارتياب بضعة سنتيمترات فقط)، وذلك بحساب الزمن الذي يستغرقه شعاعُ ضوء ليزري للوصول إلى مقاريب عاكسة متمركزة على القمر، ثم الإياب.

وُجد أن القطر الاستوائي للقمر هو 3476 كيلومتراً (2160 ميلاً)، مقارنةً بالقطر الاستوائي للأرض، الذي يبلغ 12،756 كيلومتراً (8000 ميل تقريباً).

قارن حجمَ القمر بحجم الأرض .....

**الجواب**: قطر القمر يقارب ربع قطر الأرض.

طريقة الحل: قطر القمر ÷ قطر الأرض ≅ 3500 كم ÷ 13،000 كم

≅ (2000 ميل ÷ 8000 ميل) = 1/4

## 6.10 كثافة القمر

تبلغ كتلةُ القمر، المقيسةُ من تغيُّرات السرعة التي يولِّدها القمرُ في المركبات الفضائية، $7{,}35 \times 10^{22}$ كغ، أي $\frac{1}{81}$ كتلة الأرض.

ويبلغ متوسطُ كثافة القمر 3,34 طن/م3، أو قرابة $\frac{3}{5}$ متوسط كثافة الأرض.

ولا تزيد ثقالةُ القمر السطحيةُ على نحو 1/6 الثقالة السطحية للأرض، بسبب صغر كتلته وحجمه. ويعني ذلك أن رائدَ فضاءٍ وزنُه على الأرض 84 كغ (180 رطلاً إنكليزياً) مثلاً، لا يزيد على سطح القمر أكثر من 14 كغ (30 رطلاً إنكليزياً).

اقترحْ سبباً لكون متوسط كثافة القمر أقل من متوسط كثافة الأرض .....

.....

.....

**الجواب**: من المؤكَّد أن القمرَ مؤلَّفٌ ـ بكامله تقريباً ـ من صخورٍ سيليكاتيةٍ شبيهةٍ بصخورِ قشرةِ الأرض ومعطفِها، وأنه فقيرٌ بالحديد والمعادن الأخرى. (تبيَّنَ من تحليل صخور القمر حتى الآن أنها تتركَّب من العناصر الكيميائية عينِها التي تتركَّب منها صخور الأرض، مع اختلافٍ في النِّسَب).

## 7.10 معطيات عن القمر

استعرضْ ما عرفتَ حتى الآن من خصائص القمر، باستكمال الجدول 1.10 التالي. قد تحتاج إلى مراجعة الفقرتين 4.8 و 10.8.

**الجدول 1.10 خصائص القمر**

| الكمية | قيمتها |
|---|---|
| (أ) متوسط البُعد عن الأرض | ..... |
| (ب) القطر | ..... |
| (ج) الدَّور المداري النجمي (نجوم ثابتة) | ..... |
| (د) الدَّور المداري الاقتراني (أطوار) | ..... |
| (هـ) الدَّور المحوري | ..... |
| (و) الكتلة | ..... |
| (ز) متوسط الكثافة | ..... |
| (ح) الثقالة السطحية | ..... |
| (ط) النصوع | ..... |
| (ي) القَدْر الظاهري للقمر البدر | ..... |
| (ك) متوسط السرعة المدارية | ..... |

الجواب: (أ) 400، 384 كم (000، 240 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) $7,35 \times 10^{22}$ كغ، أو 1/ 81 كتلة الأرض؛ (ز) 3,34 طن/م3، أو 3/ 5 متوسط كثافة الأرض؛ (ح) 1/ 6 الثقالة السطحية للأرض؛ (ط) 0,11؛ (ي) -12,5؛ (ك) 1,02 كم/ثا (2295 ميل/ساعة).

## 10.8 رصد القمر

لطالما كان القمرُ هدفاً أثيراً للمناظير العادية والمقاريب البسيطة، بسبب قربه من الأرض بدرجة تسمح برصده رصداً مستفيضاً.

وقد وُضعَتْ خريطةُ القمر في نهاية هذا الكتاب خِصِّيصى لتيسير الأمر عليك في تعرُّف أبرز معالم السطح. وهي تعرض القمرَ كما يظهر في وسط السماء في نصف الكرة الشمالي، وعلى نحوٍ تتوافق فيه اتجاهاتُ البوصلة على خريطتك القمرية مع الاتجاهات السماوية، فالخريطة موجَّهةٌ بحيث يكون الشَّمالُ في الأعلى، أي كما نرى القمرَ بأعيننا المجرَّدة أو من خلال المناظير.

(يبدو القمرُ - من خلال كثيرٍ من المقاريب - مقلوباً، بحيث يكون الشَّمالُ في الأسفل. وفي حالة روّادٍ على سطح القمر أو في خرائط السطح الطبوغرافية يُقلَب موضعا الشرق والغرب فيقع كلٌّ منهما موقعَ الآخر، كما في الخرائط الأرضية؛ في حين يبقى الشمالُ والجنوبُ بلا تغيير).

عندما وجَّه غاليليو مقرابَه أوَّلَ مرةٍ نحو القمر، توهَّمَ خطأً أن المساحاتِ الدكناء الشاسعة والمسطَّحة نسبياً هي محيطةٌ على القمر، فأطلق عليها اسم البحار maria (مفردها mare).

لم تقعِ الرحلاتُ الفضائيةُ القمريّة على أثرٍ لمياهٍ جاريةٍ على القمر. وما

ظُنَّ وهماً أنه «بحار» تأكَّدَ يقيناً أنه أحواض حممٍ جافّة تحتوي على البازلت basalt، وهو ضربٌ من الصخر يتولَّد بتبرُّد حُممٍ بركانية مصهورة. وعلى سبيل المثال، يبلغ قطرُ بحر الوابلات Mare Imbrium، وهو أكبر بحار الوجه المرئي للقمر، نحواً من 1100 كم (700 ميل).

يُطلَق على المساحات التي هي أكثر إشراقاً اسمَ النجود القمرية highlands. وهي مناطق أقدم عُمراً وأكثر ارتفاعاً ووعورةً من مناطق البحار. تحتوي النجودُ في المقام الأول على صخورٍ ناريّةٍ زاهية الألوان، وتغطّي زهاء 80 في المئة من سطح القمر.

ما هي البحار التي تؤلِّف معالم «الإنسان في القمر»؟ .....

.....

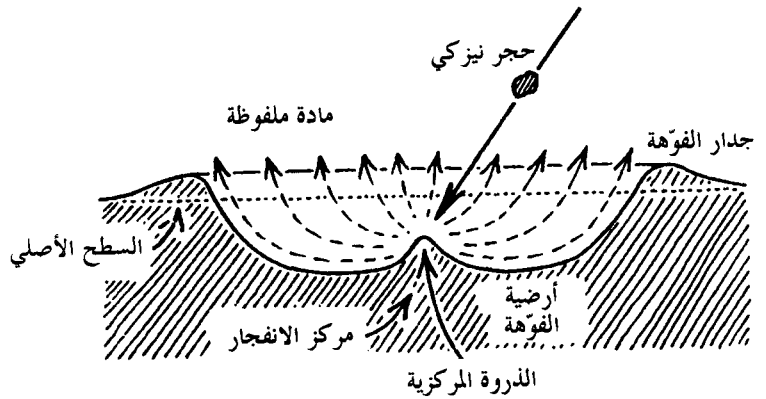
**الجواب**: أحواض حممٍ جافة ومتصلِّبة.

## 10.9 فوَّهات القمر

يلاحَظ أن القمر منقوبٌ بفوَّهات craters في سطحه.

جرت العادة على تسمية الفوّهات بأسماء علماء وفلاسفةٍ لامعين أمثال كوپرنيكوس وأفلاطون. أكبر هذه الفوَّهات ـ من قبيل فوَّهة كلافيوس ـ مسطَّحة القيعان، ويقارب قطرُها 240 كيلومتراً (150 ميلاً)، وتسمى السهولَ المسوَّرة ذاتَ الجُدُر walled plains. ويُعرَف أصغرها باسم الفويهات craterlets.

تتخذ الفوَّهاتُ النموذجيةُ شكلاً دائرياً، وتتفاوت في حجمها ما بين حفرٍ صغيرة بسيطة وأحواضٍ دائريةٍ هائلة بقطر مئات الأمتار، ذات جُدُر قد يصل ارتفاعُها إلى 3000 متر (10،000 قدم). ويرجَّح أن معظمها قد أحدثتْه أحجارٌ نيزكيةٌ ضَرَبَت القمر (الشكل 10.4).




**الشكل 10.4 تكوُّن فوَّهة صدمٍ نموذجية.**

يولِّد الصَّدمُ حرارةً عالية تبخِّر الحجرَ النيزكيَّ نفسَه وبعضَ المساحات التي يخترقها. تتمدَّد المادَّةُ الحارَّةُ المتبخِّرة تمدُّداً عنيفاً وتنفجر مكوِّنةً فوَّهةً دائريةً ذاتَ حافَة عالية وذروة مركزية. تسقط المادةُ الملفوظة بالانفجار حول الفوَّهة وفي جوارها مُحْدِثةً في الغالب فوَّهاتٍ ثانوية أصغر منها.

تنطلق من الفوَّهات خطوطٌ طويلةٌ ساطعة تسمى أشعةً بيضاء[1] bright rays، تمتد مئات الكيلومترات من الفوَّهات البارزة الفتيَّة. وهي في ما يبدو نماذج لتطايُر المادة المقذوفة من الانفجار الناجم عن الصَّدم.

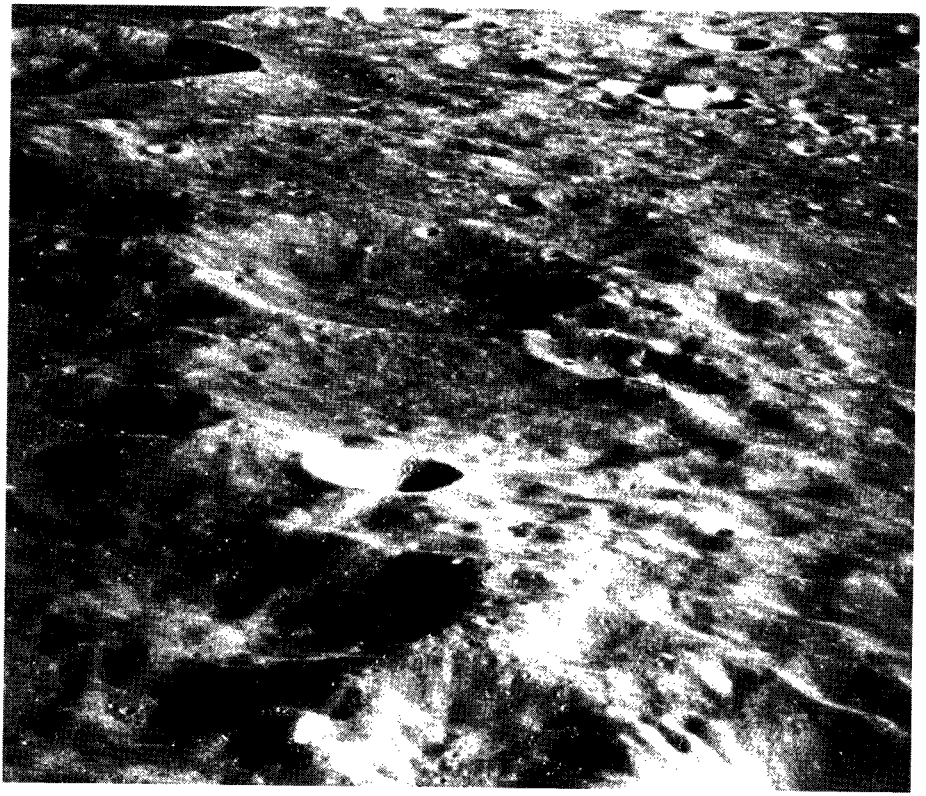
ولعلَّ أنسبَ الأوقات لرصد الفوَّهات والجبال القمرية هو عند وقوعها بجوار خطِّ شروق الشمس أو خطِّ غروبها الذي يسمّى الخطَّ الفاصل terminator. عندئذ يولِّد الارتفاعُ المحدودُ للشمس فوق الأرض ظلالاً تُبرِز تضاريس السطح.

يتحرك خطُّ شروق الشمس الفاصلُ sunrise terminator من اليمين إلى اليسار فوق سطح القمر بين أطواره من الغرَّة إلى البدر. ويفعل خطُّ غروب

(1) تسمّى أيضاً أشعة قمرية lunar rays. (المعرِّب)

الشمس الفاصلُ sunset terminator الشيءَ نفسَه بين القمر البدر والغرَّة. وفي الوقت الذي يكون فيه القمرُ بدراً تبرز البحارُ القمريةُ جليَّةً، إلا أن انعدامَ الظلال السطحية يجعل من العسير تمييز تضاريس السطح.

تُظهِر الصُّوَرُ الفوتوغرافيةُ التي وفَّرتها مركباتُ الفضاء احتواءَ الوجه البعيد للقمر على فوَّهات ونجود، وعدم احتوائها على بحارٍ كبيرة يبدو وجودُها واضحاً تماماً على الوجه القريب. ومازال سببُ هذه الفوارق المرصودةِ بين وجهَي القمر: القريب والبعيد مستغلقاً على إدراك العلماء (الشكل 5.10).



**الشكل 5.10 الوجه البعيد من القمر كما صوَّرته أوَّلَ مرة المركبة الرَّبوطيةُ الروسية لونا 3 بتاريخ 4 تشرين الأول (أكتوبر) 1959.**

ما العامل الذي يُحتمَل أنه أحدثَ معظمَ الفوَّهات على القمر .....

.....

**الجواب**: أحجارٌ نيزكيةٌ هَوَتْ وارتطمت في سطحه.

## 10.10 استكشاف القمر

ما إن وطئ رائد الفضاء الأمريكي نيل آرمسترونغ Neil Armstrong سطحَ القمر أوَّلَ مرة بتاريخ 20 تموز (يوليو) 1969، حتى دخَلَ عالَماً غريباً موحشاً.

تغطّي كاملَ سطح القمر تربةٌ ذروريّةٌ ناعمة تسمى الغلافَ الحتاتي regolith، الذي تولَّد نتيجةً لتعرُّض سطح القمر مدةً طويلةً لحوادث تصادُم متعاقبة بأحجارٍ نيزكية هشَّمتْ سطحَه إلى صخورٍ متخلخلة تتفاوت في الحجم ما بين حصباء صغيرة وجلاميد عظيمة.

ليس ثمة مياه تجري ولا زروع تنمو. ولم توفِّر الدراساتُ التحليليةُ المعملية لصخور القمر وتربته دليلاً واحداً على وجود ماء أو مستحاثات أو كائنات من أيّ نوع. وفي ظلّ غياب الدليل على الحياة هناك، يخلص العلماءُ إلى أن القمرَ غيرُ ذي حياة، ولم يكن يوماً خلاف ذلك.

ولا تجد فوق القمر سماءً زرقاء أو سُحُباً بيضاء أو أحوالاً جوّيةً ما، بسبب انعدام وجود غلاف جوّيٍّ محسوس. لذلك يسود صمتٌ مُطْبِقٌ في غياب الهواء الذي ينقل الأصوات.

يطول على القمر ليلُه ونهارُه. فكلٌّ منهما يبلغ 14 يوماً أرضياً. وتقع درجةُ الحرارة السطحية عند خط الاستواء بين 120° مئوية (250° فارنهايتية) عندما تكون الشمسُ في أعلى نقطة لها من السماء، و-150° مئوية (-240° فارنهايتية) ليلاً.

هذا وقد دلَّل روّادُ مركبة أپولو على أن القمر قابلٌ لأن يكون مسرحاً للنشاط الإنساني (الشكل 6.10). وفي غضون القرن الحادي والعشرين، قد

**الشكل 6.10 أمضى فريقُ مَرْكبة أپولو الأمريكية، المؤلَّف من اثني عشر رائداً، مدةً بلغت في مجموعها 300 ساعة على سطح القمر. ونجح آخِرُ ثلاثة أزواجٍ منهم في قيادة عرباتٍ استكشافيةٍ خاصة لاستطلاع معالم السطح حول مواقع الهبوط.**

يتمكن روّادُ فضاءٍ يتمركزون في قاعدةٍ قمرية من إجراء بحوث فلكية وعلمية أخرى، وكذلك من استنباط موارد كالأكسجين والمعادن لرفد عهدٍ جديد من استكشاف الفضاء.

لماذا كان من المجدي إقامةُ مقرابٍ بصريٍّ كبير على القمر؟.....

.....

.....

**الجواب:** في غياب الهواء وأيّ مظاهر جوّيةٍ على القمر يكون جلاءُ الصورة (الفقرة 21.2) عالياً دوماً.

## 11.10 حوادث الصَّدم

يتمثَّل أكبرُ عوامل حَتِّ سطح القمر في الرُّجُم الدقيقة micrometeorites، وهي حبيباتٌ صغيرةٌ من الصخر والمعدن، تهوي عليه بسرعات قد تصل إلى 113،000 كم/سا (70،000 ميل/سا)، علماً بأن رُجُماً كبيرةً أيضاً تصطدم بالقمر بين حين وآخر.

يشار هنا إلى أن الرُّجُمَ الدقيقة أقلُّ فاعليةً 10،000 مرة، في تغيير معالم سطح القمر، من فاعلية الهواء والماء كعاملَيْ حتٍّ وتعريةٍ على الأرض. فهي لا تزيل أكثرَ من ميليمترٍ واحد من السطح القمري في غضون مليون سنة كاملة.

بيِّنْ لماذا يترجَّح أن يبقى أثرُ قَدم نيل آرمسترونغ على سطح القمر محافظاً على هيئته التي كان عليها سنة 1969 لملايين السنين من الآن (الشكل 10.7) .....

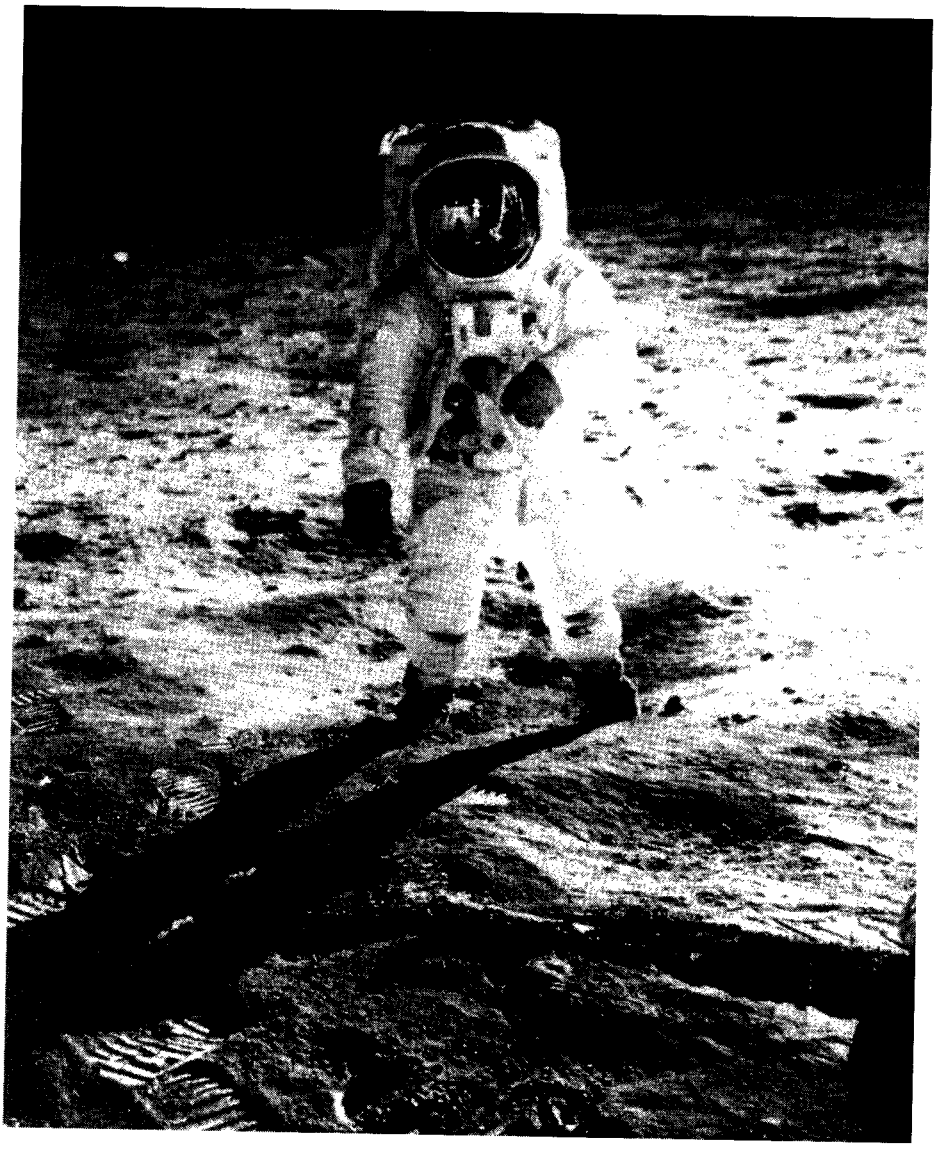
.....

.....

**الجواب:** إن الحتَّ على القمر ناجمٌ في المقام الأول عن صَدْم رُجُم صغيرة، وهو يحدث هناك بدرجة أبطأ بما لا يقاس من الحتِّ الناجم عنْ الهواء والماء على الأرض.

## 12.10 جبال القمر

سُمِّيت جبالُ القمر بأسماء السلاسل الجبلية العظيمة على الأرض، مثل



**الشكل 7.10 الرحلةُ القمرية التاريخية للمركبة أبولو .11 صورةٌ لإدوين آلدرين على سطح القمر، التقطها له زميلُه نيل آرمسترونغ الذي يلاحَظ خيالُه منعكساً في مقدَّم الخوذة المغطّي للوجه.**

جبال الألب. وهي تختلف عن جبالنا من حيث التركيب والمظهر العام، لأنها تولَّدت وصيغت بفعل قوىً ذات طبيعة مختلفة.

تسمق أعلى ذُرى جبالِ القمر الوعرة على ارتفاع يتجاوز 8000 متر (29،000 قدم)، بما يقارب ارتفاعَ قمة إڤرست، أعلى جبال الأرض.

ما هما العاملان الرئيسيان اللذان لا يبرحان يعملان في تغيير شكل جبال الأرض، ولا يفعلان ذلك في جبال القمر؟ وكيف؟ .....

.....

**الجواب**: الماء والجوّ. إذ ليس في القمر سيولٌ مائية تنحدر على السلاسل الجبلية، كما تغيب عنه العواصفُ الجوّية التي من شأنها أن تحتَّ السطحَ وتبليه.

## 13.10 تاريخ القمر

أعاد علماءُ القمر صوغَ قصة حياة القمر، في ضوء ما وفَّرته رحلات أپولو الأمريكية، ولونا الروسية إليه من معطيات.

فقد وجدوا أنَّ أقدمَ الصخور القمرية، مما جُمِعَ من نجوده، يرقى إلى نحو 4,3 مليارات سنة، وأنَّ عُمر بعض الشظايا الصخرية الخضراء الصغيرة يناهز 4,6 مليارات سنة، في حين تَكوَّن أحدثها - وهي صخور البحار القمرية - منذ قرابة 3,1 مليارات سنة خلت.

أما مكان ولادة القمر وطريقة نشأته، فذانك سرّان يحار فيهما العِلم والعلماء حتى اليوم.

على أن صخور القمر أغنى بالسيليكات وأفقر بالمعادن والعناصر الطيّارة من صخور الأرض. لذلك يُستبعَد أن يكون القمرُ فيما مضى جزءاً من الأرض ثم انفتق عنها، كما ليس ثمة ما يدلُّ على أنه تكوَّن من تنامي جُسَيْمات صغيرة كثيرة في السديم الشمسي.

تقضي فرضيةُ الصَّدْم - اللفظ impact-ejection hypothesis الشائعة بأن

جِرماً بحجم كوكبٍ صَدَمَ الأرضَ بُعَيْد تكوُّنها، ونَجَمَ عن الصدم كتلةٌ عملاقةٌ من المادة انفصلت عن الأرض واتَّسعت مؤلِّفة حلقةً حول كوكبنا. تجمَّعت مادةُ الحلقة فيما بعدُ فكوَّنت القمر.

ثم إن القمر الفتيَّ تعرَّض في غضون المليار السنة الأولى من نشأته إلى قصف عنيف من رُجُم نيزكية متباينة الأحجام، أحدثتْ فيه فوَّهاتٍ كبيرةً وصَهَرت سطحَه فاستحال إلى القشرة القمرية الحالية.

وبعد نحو مليار سنة من نشوئه تسخَّنَ باطنُه تسخيناً شديداً بفعل عناصر ذات نشاط إشعاعي. وهَمَرت البراكينُ فيضاً غامراً من الحمم البازلتية الحارّة على السطح وفي الفوَّهات، ثم تصلَّبت الحممُ المصهورةُ وكوَّنت البحورَ القمرية.

تبرَّد القمرُ منذ زهاء ثلاثة مليارات سنة بدرجة كبيرة، وتوقَّف النشاطُ البركاني في معظمه أو كاد. وفي ما عدا بعض دفقاتِ حممٍ ثانوية، وعددٍ محدود نسبياً من فوَّهات الصَّدم الكبيرة، من قبيل فوَّهة كوپرنيكوس الفتيَّة (عمرها مليار سنة تقريباً)، لم يطرأ على القمر أي تغييرٍ يُذكر منذئذ. ولم تسجِّل راسماتُ الزلازل التي أودعها روّادُ مركبة أپولو القمرَ إلا مستوىً منخفضاً جداً من الهزّات القمرية.

يحتفظ سطحُ القمر الجافُّ المستقرُّ العديمُ الهواء برقمٍ تاريخيٍّ قياسيٍّ من الصدمات النيزكية التي حاقت به في سالف الدهور، والّتي لا بدَّ من أن شطراً كبيراً منها حاقَ بالكواكب الأرضية كافة.

كيف يختلف تاريخُ الفعالية الجيولوجية للقمر عنه للأرض؟ .....

.....

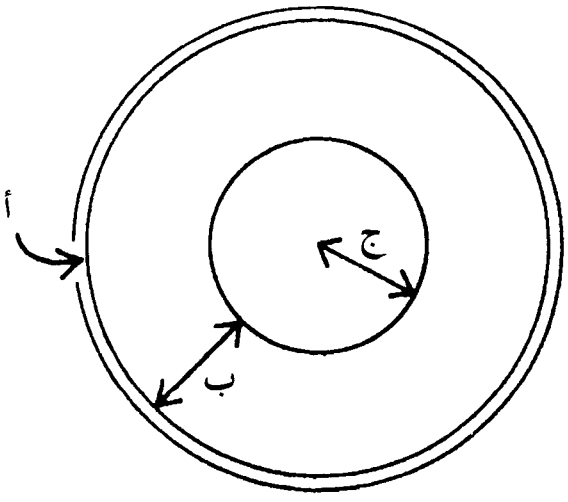
.....

.....

**الجواب**: أضحى القمر - بعد مليارَيْ سنة من ولادته - في حكم الميت من الناحية الجيولوجية، مقارنةً بالأرض التي مازالت تمور بالحياة من حيث نشاط البراكين وانتصاب الجبال وانجراف القارّات.

## 14.10 باطن القمر

يرسم علماءُ الجيولوجيا الصورةَ الحاضرةَ لباطن القمر استناداً إلى المعطيات التي توفّرها الرحلات الفضائية. وقد كشَفَتْ قياساتُ حقل الثقالة عن وجود تركيزات كتليّة mascons مغمورة في البحار الدائرية، يدلُّ وجودُها - إضافةً إلى غياب أيِّ نشاط زلزاليٍّ ذي بال - إلى أن للقمر طبقةً خارجيةً، أو قشرةً crust، صُلبةً وسميكةً وباردة. وقد عُلِمَ أن سُمْك هذه القشرة يناهز 60 كيلومتراً (40 ميلاً) على الطرف القريب من الأرض، وأنها أكبر سُمكاً عند طرفه البعيد عنها.




**الشكل 10.8** بنية القمر.

تلي القشرةَ طبقةٌ تمتد حتى عُمق 1000 كم (600 ميل) تقريباً تسمى المعطف mantle، ثم اللبّ 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 كلڤن.

ليس للقمر حقلٌ مغنطيسيٌّ حالياً[1]، غير أن دراسةَ صخورٍ قمرية قديمة تشير إلى وجوده في الماضي.

عيِّن على الشكل 8.10 كلاًّ من القشرة، والمعطف، واللب، واذكر العُمق التقريبيَّ لكل طبقة.

(أ) .....

(ب) .....

(ج) .....

**الجواب**: (أ) القشرة: 60 كم (40 ميلاً) على الطرف القريب، وأثخن من ذلك على الطرف البعيد؛ (ب) المعطف: 1000 كم (600 ميل)؛ (ج) اللبّ: 700 كم (400 ميل).

## 15.10 أحوال السطح

مازالت التساؤلاتُ عن القمر كثيرة. وتشير المعطياتُ التي أتاحتها الرحلةُ القمريةُ الأمريكية كليمانتين Clementine (1998) إلى وجود صقيع في أعماق الفوَّهات عند القطبَيْن. ويُنتظَر إجراءُ بحوثٍ معمَّقة واستكشافاتٍ تتناول سطحَ القمر، وكذلك تحليل مزيد من مادته في المستقبل القريب.

لخِّص ما تعلَّمتَه حتى الآن حول سطح القمر .....

(1) يستتبع ذلك أن رائد فضاءٍ تائهاً على سطح القمر لن يستفيد من بوصلةٍ يحملها! (المعرِّب)

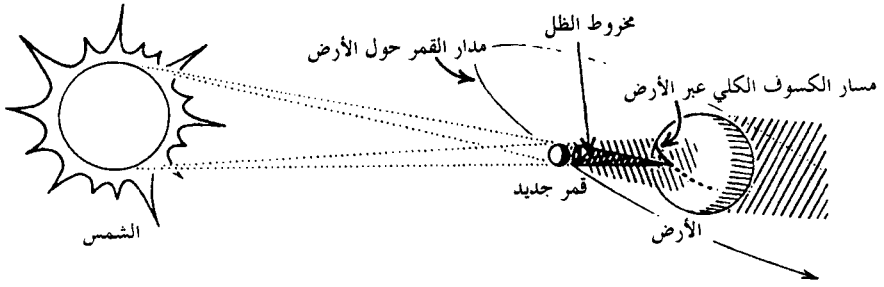
.....

.....

**الجواب**: ضَمِّنْ فقرتك وصفَ بحار القمر، وفوَّهاتِه، وسلاسله الجبلية، وغياب الهواء والماء فيه، وطول نهاره وليله، ودرجاتِ حرارته السطحية.

## 16.10 كسوف الشمس

يحدث الكسوفُ الشمسيُّ solar eclipse عندما تقع الأرضُ والقمرُ الجديد والشمسُ طردياً على استقامة واحدة (الشكل 9.10).



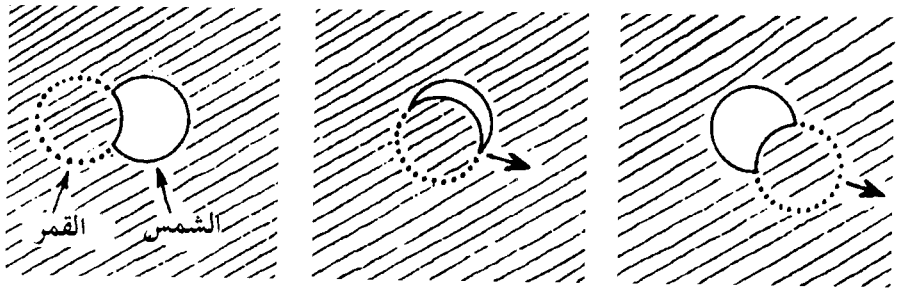

**الشكل 9.10 الكسوف الشمسي (دون التقيُّد بمقياس رسمٍ معيَّن).**

يوصَف الكسوفُ بأنه كلّي total عندما يكون القمرُ أقربَ إلى الأرض من طول مخروط ظلِّه. عندئذ يبدو القمرُ أكبرَ من الشمس، ويحجب قرصَها عن الرؤية تماماً.

لا يدوم الكسوفُ الكلّي أكثر من بضع دقائق (7,5 دقائق كحدٍّ أقصى)، ولا يمكن رصده إلا من أماكن متعاقبةٍ على طول مسارٍ منحنٍ ضيِّقٍ (لا يزيد عرضُه على بضع مئات الكيلومترات) يقع ضمن ظلِّ القمر على الأرض.

ووفقاً للحسابات الفلكية، يُتوقَّع حدوثُ كسوف شمسيٍّ كلّي آخر بتاريخ 16 تموز (يوليو) من سنة 2186.

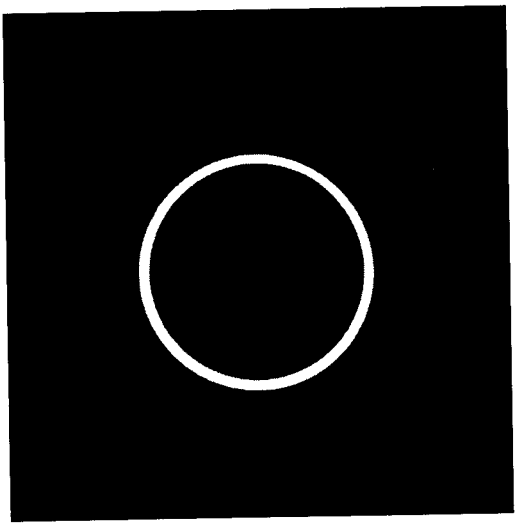
وعلى مساحةٍ أوسع تحاذي جانبَيْ مسار الكسوف الكلّي، يُرى كسوفٌ جزئي partial eclipse. وقد يُرى هذا النوع من الكسوف أيضاً عندما لا يقع القمرُ على مقربة كافية من خطّ الشمس ـ الأرض كيما يتمكن من حجب كاملِ قرص الشمس (الشكل 10.10).




**الشكل 10.10** رسمٌ تمثيليٌّ للكسوف الجزئي.

ويحدث الكسوفُ الحلقي annular eclipse عندما يكون القمرُ أبعدَ عن الأرض من طول مخروط ظلّه، فيبدو القمرُ أصغر من الشمس، ويحجب قرصَها الساطعَ كلَّه إلا حلقةً خارجيّةً من ضوئها (الشكل 10.11).

ولا ريب في أنَّ لمشهد الكسوف الكلّي سحراً أخّاذاً مشوباً بالجلال! فعند مرور القمر أمام الشمس الساطعة تنتشر ظلمةٌ غير اعتيادية في أرجاء السماء، وتنخفض درجةُ الحرارة، وتلاحَظ النجومُ والكواكبُ ساطعةً في رائعة النهار. وقد ارتبط اختفاءُ الشمس عند بعض الشعوب فيما مضى بحوادث شؤمٍ وطِيَرة تنذر بالويل والثبور. أما اليوم فيحرص الفلكيون ـ محترفين وشدّاةً ـ على ألا يفوّتوا على أنفسهم الفرصة، ولو اقتضى الأمرُ انتقالَهم مسافاتٍ بعيدةً حول العالم، بغية رصد هذا الحدث النادر واستقصاء معطياتٍ فلكية مهمة منه.



**الشكل 11.10 الكسوف الحلقي.**

وطبيعيٌّ أن تكون فُرَصُك لرصد كسوفٍ كلّي وأنت في بلدتك نادرةً جداً، ذلك لأن احتمال حصوله في موقعٍ معيَّنٍ على الأرض لا يعدو مرةً واحدة كل 360 سنة، وهذا ضئيل كما ترى. فلعلَّ من المجدي لك ـ إن كنتَ من المهتمين ـ أن تنظر في الانضمام إلى حملةٍ تستكشف حوادث الكسوف زماناً ومكاناً، لتحظى بشهود هذه الظاهرة الطبيعية المثيرة. ويدرج الجدولُ 2.10 أهمَّ حوادث الكسوف الكلّي المقبلة، ومواعيدها المتوقَّعة.

ما الطَّور الذي يجب أن يكون فيه القمرُ لكي يحصل كسوفٌ شمسي؟

.....

**الجواب**: قمر جديد.

## 17.10 خسوف القمر

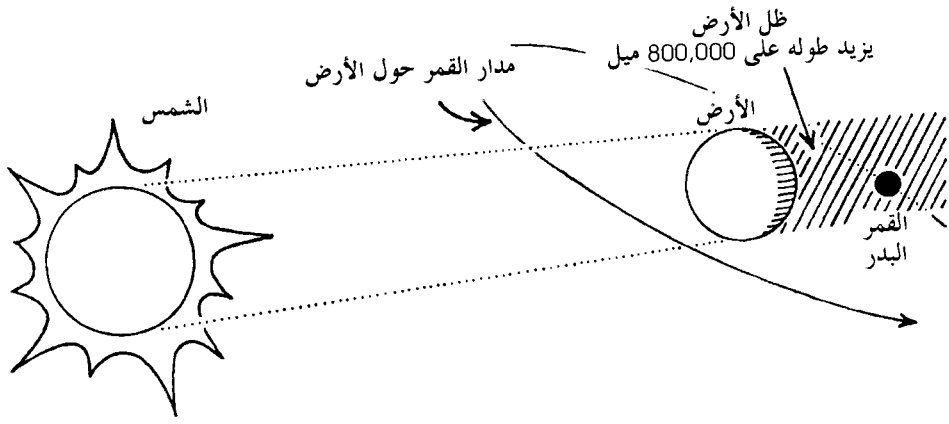
يحدث الخسوفُ القمريُّ lunar eclipse عندما تقع الشمسُ والأرضُ والقمرُ البدر طردياً على استقامة واحدة (الشكل 12.10).

**الجدول 10 . 2 حوادث الكسوف الكلّي**

| التاريخ | مدة الكسوف الكلّي (ثوانٍ: دقائق) | المكان المتوقع لرصده |
|---|---|---|
| 2001 21 حزيران (يونيو) | 4:57 | جنوب الأطلسي، أفريقيا |
| 2002 4 كانون الأول (ديسمبر) | 2:04 | جنوب أفريقيا، أستراليا |
| 2003 23 ـ 24 تشرين الثاني (نوفمبر) | 1:57 | القارة القطبية الجنوبية |
| 2005 8 نيسان (أبريل)[1] | 0:42 | جنوب المحيط الهادئ |
| 2006 29 آذار (مارس) | 4:07 | أفريقيا، آسيا |
| 2008 1 آب (أغسطس) | 2:27 | القارة القطبية الشمالية، روسيا، الصين |
| 2009 22 تموز (يوليو) | 6:39 | الهند، الصين، جنوب المحيط الهادئ |
| 2010 11 تموز (يوليو) | 5:20 | جنوب المحيط الهادئ، أمريكا الجنوبية |
| 2012 13 تشرين الثاني (نوفمبر) | 4:02 | أستراليا، جنوب المحيط الهادئ |
| 2013 3 تشرين الثاني (نوفمبر)[1] | 1:40 | المحيط الأطلسي، أفريقيا |

يُظلِم القمرُ عندما يدخل في ظلِّ الأرض، إلا أنه مع ذلك يَمضي في إصابة شيءٍ من ضوء الشمس الذي ينكسر حول الأرض بتأثير غلافها الجوّي. تؤثِّر السُّحُب والغبارُ والتلوُّث في لون مظهر القمر ودرجة سطوعه، فتجعله ذا لونٍ أحمر كامد.

(1) كسوف هجين hybrid eclipse، أو كسوف حلقي/كلّي. يتغيَّر الكسوفُ من كلّيٍّ إلى حلقيّ، والعكس بالعكس، عند أجزاء مختلفة من المسار عندما يُحدِث تقوُّسُ سطح الأرض تغيُّراً كبيراً في بُعد القمر.




**الشكل 10.12 الخسوف القمري (دون التقيُّد بمقياس رسمٍ معيَّن).**

ومنذ ما يزيد على ألفَيْ سنة، لاحظَ الإغريقُ أن ظلَّ الأرض يبدو - في أثناء خسوف قمري - دائرياً على القمر. وقد ساقَ الفيلسوف أرسطو Aristotle (384-322 قبل الميلاد)[1] هذا الدليل تعزيزاً لنظريته القائلة بأن الأرض كرويةٌ لا منبسطة. كذلك عَرَضَ الفلكيُّ إيراتوسثينيز Eratosthenes (نحو 276 - 194 قبل الميلاد) أولَ قياسٍ لقطر الأرض تميَّز بدرجة معقولة من الدقّة.

إن فُرَصَ رصْد خسوفٍ قمريٍّ كلّي أكبرُ بكثير من فُرَص رصْد كسوفٍ شمسيٍّ كلّي (الجدول 10.3). فالخسوف - عندما يحدث - يمكن رؤيته من أيِّ مكان على الأرض ينير فيه القمر. وتدوم حوادث الخسوف مدةً أطولَ بكثير من حوادث الكسوف؛ إذ ستبلغ أطول مدةٍ لخسوفٍ كلّيٍّ مرتقَب ساعةً

(1) كَتَبَ أرسطو في رسالته «حول السماوات» On the Heavens متنوعةٌ هي الأشكال التي يبدو عليها القمر كلَّ شهر: فقد يبدو مستقيماً أو محدوباً أو منقعراً. أما في أحوال الخسوف فمقوَّسٌ دوماً. ولما كان توسُّط الأرض [بين الشمس والقمر] هو الذي يُحدِث الخسوف، فإن شكل هذا الخط [المقوَّس] يحدِّده شكلُ سطح الأرض، فهي إذاً كروية.» (المعرِّب)

كاملة و 47 دقيقة بتاريخ 16 تموز (يوليو) 2000[1].

ما الطَّور الذي يجب أن يكون فيه القمرُ لكي يحصل خسوفٌ قمري؟

.....

**الجواب**: قمرٌ بدر.

**الجدول 10. 3 حوادث الخسوف الكلّي**

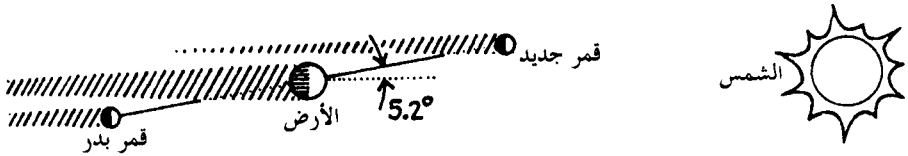
| التاريخ | مدة الخسوف الكلّي (بالدقائق) | مرئي من أمريكا الشمالية |
|---|---|---|
| 16 2000 تموز (يوليو) | 107 | لا |
| 9 2001 كانون الثاني (يناير) | 60 | لا |
| 16 2003 أيار (مايو) | 52 | نعم |
| 8 ـ 9 2003 تشرين الثاني (نوفمبر) | 22 | نعم |
| 4 2004 أيار (مايو) | 76 | لا |
| 28 2004 تشرين الأول (أكتوبر) | 80 | نعم |
| 3 2007 آذار (مارس) | 74 | لا |
| 28 2007 آب (أغسطس) | 90 | لا |
| 21 2008 شباط (فبراير) | 50 | نعم |
| 21 2010 كانون الأول (ديسمبر) | 74 | نعم |
| 15 2011 حزيران (يونيو) | 101 | لا |
| 10 2011 كانون الأول (ديسمبر) | 52 | نعم |

(1) حدث فعلاً. (المعرّب)

## 18.10 أوقات الخسوف والكسوف

إن أكبر عددٍ لحوادث كسوفٍ وخسوف قد تحدث في عامٍ واحد هو سبعة.

لا يحدث الكسوفُ والخسوف بالضرورة كلما كان القمرُ جديداً أو بدراً، لأن مدار القمر يميل على مستوي مدار الأرض بمقدار 5,2°. وإذ يقعُ القمرُ معظمَ الشهور فوقَ خط الشمس ـ الأرض أو تحته في طورَي القمر الجديد والقمر البدر، فلا يمكن أن يحدث أيّ كسوف أو خسوف لهذا السبب (الشكل 10.13).



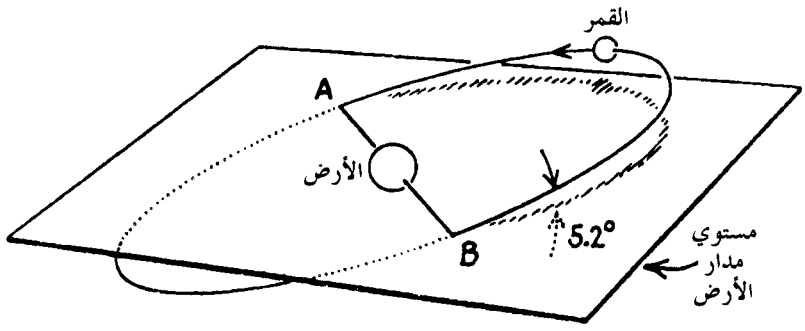

**الشكل 10.13 أحوال غير مؤاتية لحدوث الخسوف والكسوف.**

يعبر مدارُ القمر مستوي مدار الأرض عند نقطتين تسمَّيان العقدتَيْن nodes. تتحرك هاتان العقدتان ببطءٍ غرباً، في ما يسمّى تراجُع العقدتَيْن regression of the nodes، بسبب الجذب التثاقلي للشمس.

أَنعِم النظرَ في الشكل 10.14، وعلِّل لماذا لا يحدث الخسوف إلا عندما يكون القمرُ عند النقطة A أو النقطة B .....

.....

**الجواب**: عندئذ تكون الشمسُ والأرضُ والقمر واقعةً طردياً على استقامة واحدة.




**الشكل 10 . 14** يميل مستوي مدار القمر بمقدار 5,2° على مستوي مدار الأرض.

## 10 . 19 الاحتجاب

الاحتجاب occultation هو استتار جِرمٍ سماوي خلف آخر.

والاحتجاب بواسطة القمر هو أكثر هذه الحوادث وقوعاً وأيسرها رصداً؛ فكثيراً ما يمرُّ القمرُ بين الأرض ونجمٍ أو كوكب، مسبِّباً اختفاءَه فجأةً ثم ظهوره من جديد بعد مرور القمر. هذا مع العلم بأن توقُّعات الاحتجاب القمري متوفرةٌ في المنشورات الفلكية الحالية (انظر «المصادر المفيدة» في نهاية الكتاب).

إذا كان كوكبُ المشتري أكبرَ من القمر أربعين مرةً أو يزيد، فكيف يمكن أن يحتجب المشتري بالقمر؟ .....

.....

**الجواب**: يبدو المشتري أصغر من القمر، لأنه أبعد عنّا منه بكثير.

## اختبار ذاتي

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

1. لماذا يرى الراصدون على الأرض وجهاً واحداً من القمر دوماً؟ .....

.....

2. كم ـ على وجه التقريب ـ تبلغ نسبة القمر إلى الأرض من حيث .....
(أ) قطره؟ .....؛ (ب) كتلته؟ .....؛
(ج) معدَّل كثافته .....؛ (د) ثقالته السطحية؟
.....

3. قابِل المعالمَ القمريةَ التالية بأسمائها:

-- (أ) أحواض حممٍ جافّة.
-- (ب) ثقوب في السطح.
-- (ج) مناطق زاهية مرتفعة ووعرة وقديمة.
-- (د) كُتَل مغمورة من المادة.

(1) فوَّهات.
(2) نجود.
(3) بحار.
(4) تركيزات كتلية.

4. هَبْ أنك على رأس حملةٍ علميةٍ ترود سطحَ القمر. أيُّ الأدوات التالية قد يكون مفيداً؟ (أ) خزانات أكسجين إضافية؛ (ب) مسدس ناريّ وشعلات حرارية؛ (ج) مصباح كشّاف؛ (د) بوصلة مغنطيسية؛ (هـ) عيدان ثقاب؛ (و) خريطة نجميَّة؛ (ز) مظلَّة؛ (ح) ساعة يد؛ وضِّح إجابتك .....

.....

.....

5. ما هو المنشأ المرجَّح لمعظم الفوَّهات على سطح القمر؟ .....

.....

6. لماذا كان تغيُّر معالم السطح أبطأَ بكثيرٍ جداً على القمر منه على الأرض؟ .....

.....

.....

.....

7. كم عُمر أقدم صخور القمر ممّا جُمِعَ من سطحه؟ وكم عُمر أحدثها؟

(أ) .....

(ب) .....

8. مثِّلْ برسمٍ تخطيطيٍّ باطنَ القمر، وعيِّن طبقاتِه الثلاث الرئيسية.

(أ) .....

(ب) .....

(ج) .....

9. اذكر ثلاثَ مسائل تتَّصل بالقمر لَمّا تُحسَم بعد.

(1) .....

.....

(2) .....

.....

(3) .....

.....

10. ما الطَّور الذي يجب أن يكون فيه القمر لكي يحصل (أ) الكسوف؟ .....؛ (ب) الخسوف؟ .....

## الأجوبة

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

1. لتساوي دورَي القمر: المحوري (حول نفسه) والمداري (حول الأرض)، وهذا ما يسمى بالدوران المتزامن. (الفقرة 10.3)

2. (أ) 4/1 قطرها؛ (ب) 81/1 كتلتها؛ (ج) 5/3 كثافتها؛ (د) 6/1 ثقالتها السطحية.

(الفقرات 10.5 إلى 10.7).

3. (أ) 3 ؛ (ب) 1؛ (ج) 2 ؛ (د) 4. (الفقرات 10.8 و 10.9 و10.14)

4. (أ)؛ (ج)؛ (و)؛ (ح). لما كان القمرُ عديمَ الهواءِ والماءِ والحقلِ المغنطيسي، فإن شيئاً مما يتطلَّب ذلك لن يكون مفيداً. (الفقرات 10.8 و 10.10 و 10.14)

5. أحجارٌ نيزكيةٌ صَدَمَتْ سطحَ القمر. (الفقرة: 10.9)

6. ليس ثَمَّ هواءٌ ولا ماء يُحدِث حتّاً أو تآكلاً على القمر كما هو الحال على الأرض، كما لا يوجد نشاطٌ جيولوجيٌّ في القمر مشابهٌ لما هو عليه في الأرض. وتُعدُّ الرُّجُم النيزكيةُ الصغيرة التي تهوي على القمر أهمَّ عوامل الحتّ على سطحه. (الفقرات 10.11 إلى 10.13)

7. (أ) نحو 4,6 مليار سنة؛ (ب) 3,1 مليار سنة. (الفقرة 10.13)

8. على الشكل 10.8: (أ) القشرة؛ (ب) المعطف؛ (ج) اللبّ. (الفقرة

14.10 والشكل 8.10)

9. (1) ما هو التركيب الكيميائي للسطح في أماكن بعيدةٍ عن مواقع هبوط مركبتَيْ أپولو ولونا؟

(2) هل توجد مياه أو أيّ موادّ طيّارة أخرى (ربما أوجدتها الأحجارُ النيزكية أو المذنَّبات) متجمِّدةٌ في المنطقة القطبية؟

(3) كيف نشأ القمر؟ (لعلك فكَّرتَ بمسائل أخرى).

(الفقرات 6.10 و 13.10 إلى 15.10)

10. (أ) قمر جديد؛ (ب) قمر بدر. (الفقرتان 16.10 و 17.10)