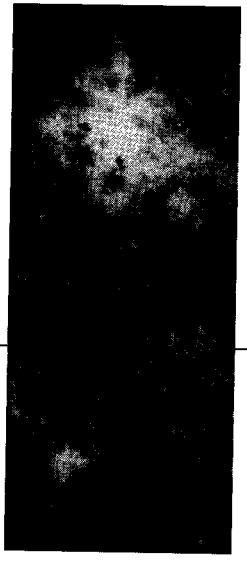
9

الكواكب



الأرض مهد البشر، لكن الإنسان لا يمكن أن يحيا في المهد إلى الأبد.

كونستانتين تسيولكوفسكي (1857 ـ 1935)

الأهداف:

- بيان أوجه التشابه والاختلاف في الخصائص العامة والأحوال السطحية لعطارد والزُّهَرة والأرض والمرّيخ.
- تفسير ما يُقصد بـ «نجم الصباح» و «نجم المساء».
- دراسة الغُلُف الجويّة لكلٍّ من عطارد والزُّهرة والأرض والمرّيخ والمشتري وزُحَل وأورانوس ونبتون وبلوتو.
- وصف أحوال المرّيخ في مواقع هبوط مركبتَي الفضاء فايكنغ 1 و2.
- عرض مشاهدتَيْن تشيران إلى احتمال تدفُّق الماء على المرّيخ فيما مضى من الزمان.
- مقارنة البِنْية الداخلية للأرض بالبِنْية الداخلية للمشتري.

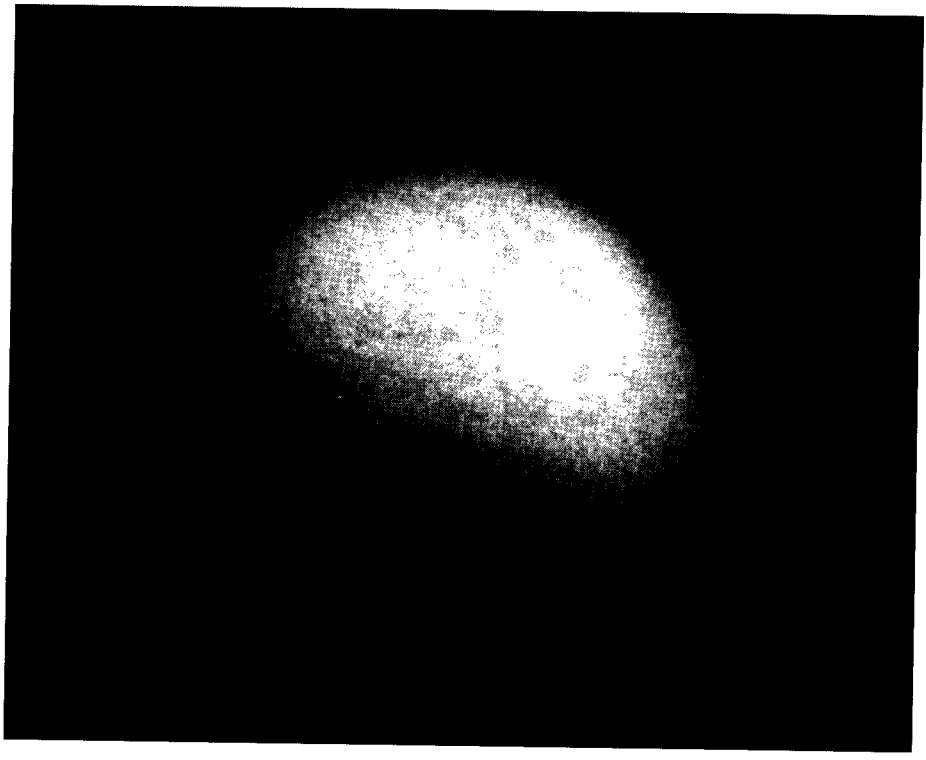
- عرض نظرية تكتونيّات الصفائح أو الألواح (الانجراف القارّي)، وصِلَتها بالنشاط الجيولوجي على الأرض.
- إيراد اثنين من مصادر القلق البيئيّة المتعلّقة بجوِّ الأرض.
- ذِكْر سِمَةٍ شهيرةٍ للزُّهَرة والمريّخ والمشتري وزُحَل، يمكن رصدها بمقرابٍ صغير، وتفسيرها وفقاً للمعطيات الحالية.
- بيان أوجه التشابه والاختلاف في الخصائص العامة للمشتري وزُحَل وأورانوس ونپتون.
- عرض ما عُرِف عن توابع المريخ والمشتري وزُحَل وأورانوس ونپتون وپلوتو.
- وصف الخصائص المعروفة لكوكب پلوتو.

1.9 عطارد

عطارد Mercury أقربُ الكواكب إلى الشمس، وغالباً ما يكون متوارياً في وهجها (الشكل 1.9). وتسميته نسبةً إلى رسول الآلهة الرومانية الرشيق الحركة تسميةٌ موفَّقة؛ فهو يسعى حول الشمس أسرع من سائر الكواكب، بمعدَّل سرعة يبلغ 172،000 كم/ساعة (107،000 ميل/ساعة).

وأول المَشاهد القريبة لعطارد كان مما بثَّتْه مركبةُ الفضاء الرَّبوطيَّة الأمريكية مارينر 10، التي تمكَّنت من تصوير نصف الكوكب فوتوغرافياً بين سنتي 1974 ـ 1975 باقترابها ثلاث مرات منه (الشكل 2.9).

يبدو عطارد شبيهاً بقمرنا؛ فسطحه قديمٌ ومثقَلٌ بالفوَّهات التي توحي بتعرُّض الكواكب الداخلية كلِّها إلى وابلٍ من الأحجار النيزكية في المراحل الأخيرة من تكوُّنها. تسمّى أكبرُ فوَّهة على عطارد حوضَ كالوريس Caloris Basin، ويبلغ قطرها 1300 كيلومتر (800 ميل). وتدلّ المساحاتُ الكبيرةُ الملساءُ من سطحه، الشبيهةُ ببحار القمر، على أن الكوكبَ قد شهدَ تدفُّق حُمَمٍ بركانية على نطاق واسع في الماضي السحيق.

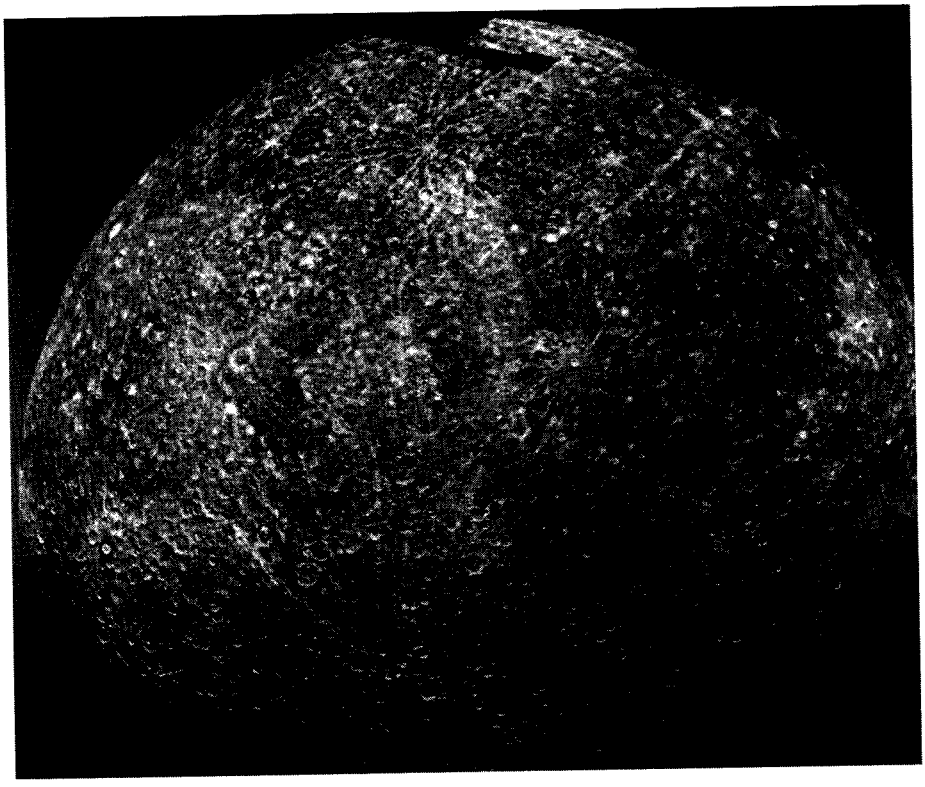


الشكل 1.9 من أجود الصُوَر التي يمكن التقاطها لكوكب عطارد باستعمال مقرابٍ أرضي.

تنتشر في جميع أنحاء الكوكب أجرافٌ scarps يصل ارتفاعُها إلى 2 كم (1,2 ميل) وطولها إلى 1500 كم (930 ميلاً)، يبدو أنها تكوَّنت لدى تبرُّد باطن عطارد وتقلّصه، وانضغاط قشرته نتيجةً لذلك.

ومحور دوران عطارد شاقولي (وليس مائلاً كمحور دوران الأرض)، وهذا يستوجب أن تكون الشمسُ عموديةً دوماً على خطِّ استوائه. كذلك فليس ثمة فصولٌ تتعاقب على الكوكب. ويلاحَظ بعضُ ضوء الشمس على قطبَيْه باستمرار.

تتفاوت درجاتُ الحرارة من يحموم بالغِ الحرارة في ضوء الشمس المباشر يبلغ 700 كلڤن (430° مئوية أو 800° فارنهايتية)، إلى قارسٍ لا يتعدّى



الشكل 2.9 كوكب عطارد. «توليفة» من أكثر من 200 صورة التقطتها مركبةُ الفضاء مارينر 10. يقارب قطرُ أكبر فوَّهاته 170 كم (100 ميل). لاحِظْ أيضاً الأشعةَ النيّرةَ المنبعثة من فوَّهاتٍ خلَّفها صدمٌ حديثُ العهد، والسهولَ الملساءَ الدكناء، والأجرافَ الكبيرة.

90 كلڤن (180° ـ مئوية أو 300° ـ فارنهايتية) على الجانب المظلم من الكوكب.

تحرِّر درجاتُ الحرارة المفرطة الارتفاع موادَّ سريعة التطاير من سطح الكوكب، فيتكوَّن من ذلك غلافٌ جوّيٌّ واهٍ جداً اكتُشِفَ فيه الهليوم والصوديوم والهيدروجين، وربما الأكسجين. أما ضغط الهواء السطحي فلا يكاد يصل إلى جزءين من تريليون من ضغط الهواء على الأرض عند مستوى سطح البحر (أي أقل من 2×10^{-9} ملّيبار). تتسرَّب معظمُ الغازات، ومنها بخار الماء المحتمل، من الكوكب، إلا أن بعضها قد ينحبس بجوار المناطق الباردة عند القطبين، ويترسَّب كنوعٍ من الثلج.

تجدر الإشارة إلى أن نصف الكرة العطاردية التي لم يسبق أن صُوِّرت من قبلُ تصويراً فوتوغرافياً، قد جرى رصدها أوَّلَ مرةٍ سنة 1991 برادارٍ أرضيٍّ التمركز. ويُظهِر التفاوتُ في درجة العاكسية السطحية للإشارات الرادارية تفاصيلَ السمات التضاريسية السطحية. فتشير النتائج إلى وجود رواسب جليدية عند قطبَيْ عطارد. ويبدو أن درجة الحرارة في المناطق القطبية منخفضةٌ إلى حدِّ الإبقاء على الجليد متجمِّداً عند الدرجة 125 كلڤن (148° ـ مئوية أو 235° ـ فارنهايتية). يتميز عطارد بحقل مغنطيسيٍّ ضعيف جداً يؤثِّر في حركة الجُسَيْمات المشحونة في الريح الشمسية، وقد يؤثِّر كذلك في الوفرة المتغيِّرة للصوديوم المرصود في غلافه الجوّي الواهي.

إذا كان لعطارد قشرةٌ من صخرٍ سيليكاتي خفيف (متوسط كثافته يقارب ثلاثة أضعاف كثافة الماء)، فكيف تفسِّر متوسط كثافة الكوكب التي تقارب 5,5 مرات كثافة الماء؟ .....

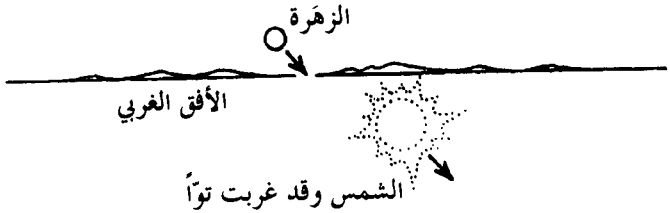
.....

الجواب: يترجَّح أن لعطارد لبّاً شديد الكثافة. (يقدِّر العلماءُ أنَّ لعطارد لبّاً حديدياً كثيفاً يناهز حجمَ قمرنا، تحيط به قشرةٌ صخرية).

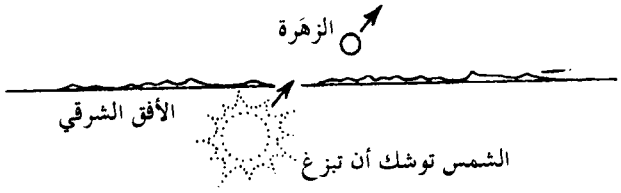
2.9 الزُّهَرة: رصده

سُمِّيَ كوكبُ الزُّهَرة Venus الساطعُ نسبةً إلى آلهة الحب والجمال عند الرومان. وفي الليل يفوق سطوعُه سطوعَ سائر نجوم السماء. وهو على درجة من الوضوح الصارخ بحيث يخطئه الناسُ في كثير من الأحيان، فيحسبونه جسماً طائراً مجهول المنشأ UFO = unidentified flying object (الشكلان 3.9 و 4.9).

يطوف الزُّهرة ـ شأنَ عطارد ـ حول الشمس داخل مدار الأرض. ونتيجةً لذلك يبدو كلا الكوكبَيْن دانياً من الشمس، ويسطعان في الجهة



الشكل 3.9 الزُّهَرةُ نجم المساء في السماء الغربيَّة بُعَيد غروب الشمس.



الشكل 4.9 الزُّهَرةُ نجمُ الصباح في السماء الشرقية قُبَيل بزوغ الشمس.

الغربية من السماء بُعَيْد غروب الشمس قرب مطالهما الشرقي، ثم يتبعان الشمسَ عبر السماء. وكثيراً ما يُطلَق عليهما عندئذٍ اسم نجمَي المساء evening stars.

وهما يُسمَّيان نجمَي الصباح morning stars في الجهة الشرقية من السماء قُبَيْل بزوغ الشمس قرب مطالهما الغربي، ثم يسبقان الشمسَ عبر السماء.

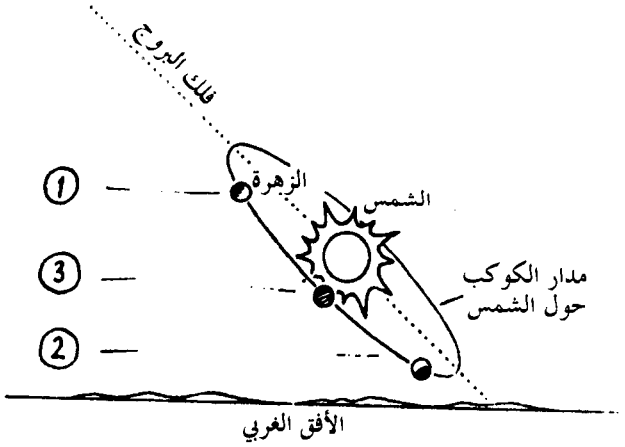
يُذكَر أن للزُّهرة وعطارد دورةَ أطوار cycle of phases (الشكل 7.8) يمكنك رصدها باستعمال مقراب صغير. يلاحَظ أيضاً أن الزُّهَرة يدور من الشرق إلى الغرب، أي إنه يتحرك تراجعياً retrograde.

يمرُّ كوكبا الزُّهرة وعطارد عادةً من فوق الشمس ومن تحتها عند نقاط اقتران. ويحدث أن عطارد يَعْبر transit الشمسَ، أي يمرّ من أمامها مباشرةً

في وضع اقتران. يحدث ذلك لعطارد نحواً من 13 مرةً في مدة قرن، وأقلّ من ذلك بكثير للزُّهرة. وعند حدوث هذه الظاهرة يعاين الراصدون نقطةً صغيرةً تتحرك عابرةً وجهَ الشمس الساطع. وتشير الأرصادُ إلى أن عطارد سيَعْبُر بتاريخ 7 أيار (مايو) سنة 2003 و 8 تشرين الثاني (نوفمبر) سنة 2006، وأن الزُّهرة سيَعْبُر بتاريخ 8 حزيران (يونيو) سنة 2004 و 5 حزيران (يونيو) سنة 2012.

يكون الزُّهرةُ في وضعِ اقترانٍ سفلي كلَّ 584 يوماً، ثم يقترب من الأرض حتى يصير على بُعد نحو 40 مليون كيلومتر (25 مليون ميل) عنها، أي أقرب إلى الأرض من أي كوكب آخر.

استعِنْ بالشكل 5.9 في تعيين موقع كوكب الزُّهرة عندما يكون:



الشكل 5.9 كوكب الزُّهَرة في مداره.

(أ) نجمَ مساء .....؛

(ب) نجمَ صباح .....؛

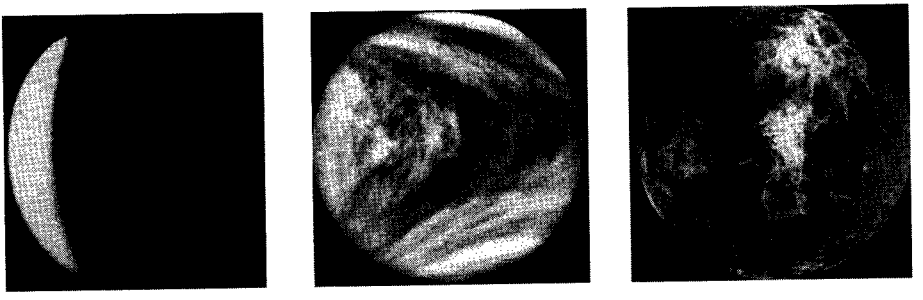
(ج) في وضع اقتران .....

الجواب: (أ) 1؛ (ب) 2؛ (ج) 3.

3.9 الزُّهَرة: الكوكب

يضيء كوكب الزُّهرة بسطوعٍ شديد بسبب السُّحُب الكثيفة الدائمة التي تلفُّه فتعكس فيضاً من ضوء الشمس، وتحول دون رؤية سطحه.

وقد أنجزت مركباتٌ فضائيةٌ ربوطيَّة، أمريكيةٌ وروسية، زادت عِدَّتها على العشرين، مهمّات علميةً ناجحةً للكوكب، وبثَّت إلى الأرض معطيات نفيسةً لتحليلها ومعالجة الصُّوَر. من أوائل المركبات التي أُرسلت باتجاه الزُّهرة: مارينر 2/ محاذاة ـ سنة 1962، وڤينيرا 3/ صدم ـ سنة 1965، وڤينيرا 7/ حَطٌّ رفيق ـ سنة 1970، وڤينيرا 9/ مدار ـ سنة 1975 (الشكل 6.9).



الشكل 6.9 الزُّهرة كما يُرى بواسطة (أ) مقراب أرضي. (ب) المركبة الأمريكية الرائدة الطوّافة حول الزهرة، المسماة بيونير ڤينوس أوربيتر. (ج) خريطة حاسوبية من معطيات مَرْكبة ماجلان للتصوير الراداريّ وقياس الارتفاعات.

يتركَّب نحو 97 في المئة من الغلاف الجوّي لكوكب الزُّهرة من ثنائي أكسيد الكربون و 1 ـ 3 في المئة من الآزوت، إضافةً إلى آثارٍ من بخار الماء والهليوم والنيون والآرغون ومركَّبات الكبريت، والأكسجين. وهو يدور

بحركات كروية واسعة. وتبلغ درجةُ الحرارة عند ذُرى سُحُبِه زهاء 250 كلڤن (9- فارنهايتية). وتقع الطبقاتُ السَّحابيّةُ التي يناهز سُمكُها (جملةً) 19 كيلومتراً (12 ميلاً) على ارتفاع يقارب 50 ـ 70 كيلومتراً (40 ميلاً) فوق سطحه. وتبدو السُّحُبُ بلون أصفَر بتأثير حمض الكبريت الأكّال.

التُقطت أولُ الصُّوَر لسطح الكوكب سنة 1975 بواسطة مَرْكبات ڤينيرا الفضائية التي حَطَّتْ عليه Venera landers. ويلاحَظ أن الصخورَ والتربة تبدو برتقاليةَ اللون تحت السُّحُب الغليظة؛ أما من الأرض فتبدو رماديةً في ضوء الشمس المباشر. وقد وَجَدَت المركباتُ الفضائية على سطح الكوكب بيئةً كالحةً لامضيافة، ثم ما لبثت أن تحطَّمتْ في غضون ساعتين فقط، بسبب الأحوال الجوّية الجهنَّمية هناك (الشكل 7.9)[1].

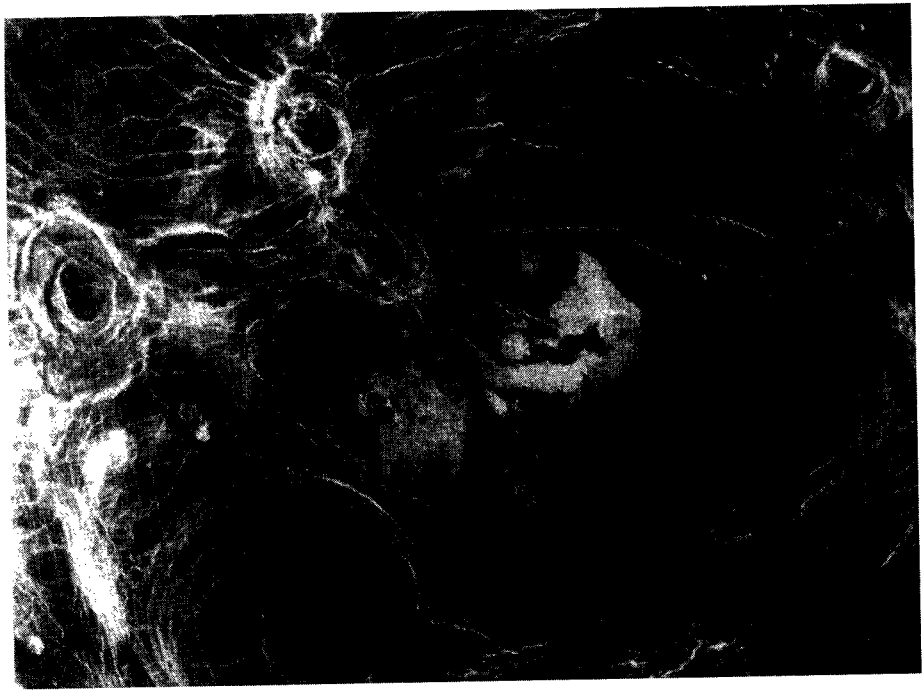
الشكل 7.9 من الصُّوَر الأولى لسطح الزُّهَرة، التقطتها المركبةُ الفضائية ڤينيرا القصيرة الأجل.

تصل درجاتُ الحرارة السطحية 755 كلڤن (482° مئوية أو 900° فارنهايتية)، ذلك لأن ثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء في السُّحُب يسمحان بدخول الضوء المرئي الوارد من الشمس، لكنهما لا يسمحان بخروج

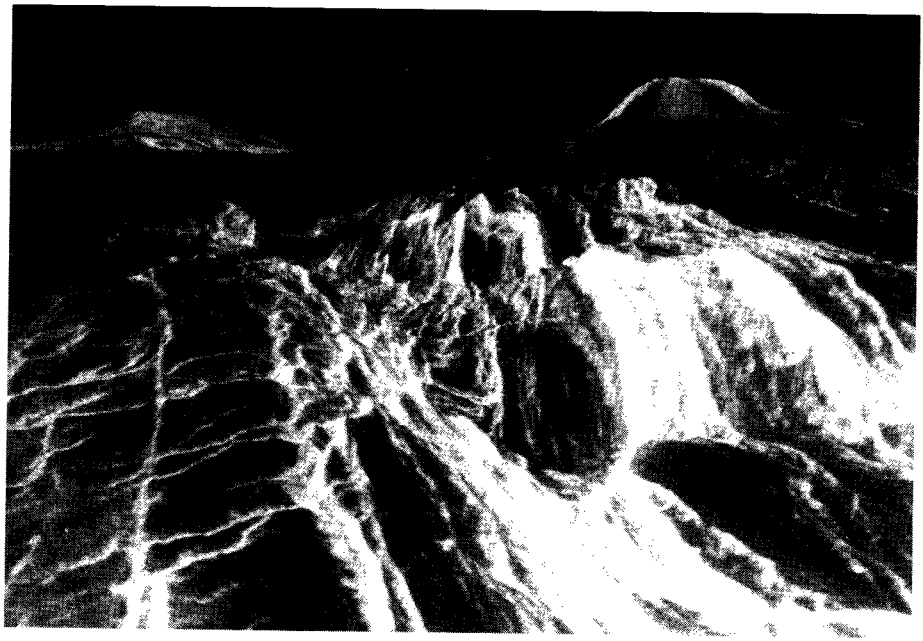
(1) فدرجة الحرارة هي من الشدّة بحيث تذيب الرصاص المستعمَل في صناعة أجهزتها الإلكترونية. انظر ص 205 من كتاب: Explorations: an Introduction to Astronomy by Thomas T. Arny, Mosby, 1994: (المعرّب)

الحرارة تحت الحمراء التي يطلقها السطحُ الصخري المتّقد. تسمّى هذه الظاهرةُ مفعولَ الدفيئة greenhouse effect، ومن شأنها أن تجعل الزُّهرة أشدَّ حرارة [نتيجةً لهذا الانحباس الحراري]. ويزيد الضغطُ الجوّيُّ على الكوكب 90 ضعفاً على الضغط الجوّي الأرضي (أي بأكثر من 90 واحدة ضغط، أو 1330 رطلاً إنكليزياً لكل بوصة مربعة)، مع وجود صواعق برقٍ ورعدٍ كثيرة.

ولمسح سطح الزُّهرة يُطلِق العلماءُ إشاراتٍ راداريةً من الأرض أو من مركبةٍ ربوطيةٍ تطوف حول الزُّهرة، ويحلِّلون الرَّجْع. وقد وُجِدَ أن أفضل مردود من معطيات التصوير الراداري جاء من المركبة الأمريكية ماجلاّن التي طافت حول الكوكب ما بين سنتي 1989 و 1994، ومَسَحَت 99 في المئة من سطحه (الشكلان 8.9 و 9.9)، واختبرت باطنَه وغلافَه الجوّي.



الشكل 8.9 العنكبوتيات arachnoids التي ينفرد بها كوكب الزُّهَرة، يقع قطرُها بين 50 و 230 كيلومتراً تقريباً، على سهوله.



الشكل 9.9 مشهد لمنطقةِ غرب آيستلا ريجيو مستنبَط من معطياتِ مَرْكبة ماجلان للتصوير الراداري وقياس الارتفاعات. يمتد الفالقُ الخَسْفي، الذي يظهر في أماميَّة الصورة، إلى قاعدة بركان غولا مونْز Gula Mons الذي يبلغ ارتفاعه 3 كم (إلى اليمين). لاحظْ أيضاً بركان سِيف مونْز Sif Mons الذي يبلغ امتداده 300 كم وارتفاعه 2 كم إلى اليسار.

تُظهِر الصُّور الرادارية سطحاً صخرياً جافّاً، ما يقارب 80 في المئة منه سهولٌ منبسطةٌ نسبياً تكتنفها الصدوعُ والفوَّهاتُ الناجمةُ 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 الاتحادُ الفلكيُّ الدّولي International Astronomical Union على إعطاء اسمَيْن لكلِّ مَظهر من مظاهر سطح أجرام المنظومة الشمسية؛ أحدهما وصفيٌّ يُستعمل للمظاهر الجغرافية السائدة على كلِّ الأجرام، والآخر للتعريف. وفي حالة الزُّهرة تُنسَب أسماء المعالم التضاريسية إلى آلهة الحب أو إلى نساء خالدات رَحَلْنَ عن دنيانا منذ ثلاث سنوات على الأقل، لا

يُستثنى من ذلك إلا جبل ماكسويل مونت Maxwell Montes (أكبر جبال الزُّهرة) فهو يُنسَب إلى الفيزيائي الاسكتلندي جيمز كلارك ماكسويل James Clerk Maxwel (1831 ـ 1879) الذي مَهَّدت نظرياتُه في الكهرطيسية الطريقَ لاختراع الرادار.

تبدو الفوّهاتُ الناجمة عن الصدم على كوكب الزُّهرة مختلفةً عنها في عوالم أخرى. وما يحدث هنا هو أن كتلاً صخريةً آتية من الفضاء تحترق في خضمّ الجوّ الكثيف. تهوي كتلُ صَدْمٍ ضخمةٌ على الزهرة بسرعة تقارب 20 كم/ثا (12 ميل/ثا)، محرِّرةً كميةً هائلةً من الطاقة تكفي لتبخير الجسم المتردّي وما حوله من سطح. تُلْفَظ المقذوفات ejecta ـ التي هي مواد سطحية ـ وتبقى مصهورةً بسبب الحرارة السطحية العالية جداً، وتتدفَّق من الفوَّهة بأشكال ذات مَظهر يشبه بتلات الأزهار.

ترتفع النجودُ highlands كقارّاتٍ فوق السهول الجافّة. وأكبرُ نجود الزُّهرة نَجْدُ أفرودايت Terra Aphrodite الذي تبلغ مساحتُه زهاء نصف مساحة أفريقيا. ثمَّ نَجْدٌ أصغرُ يسمّى نَجْدَ عشتار Ishtar Terra، وهو بمساحة الولايات المتحدة القارّية. وترتفع هنا ماكسويل مونت ـ وهي كتلةٌ جبلية ـ إلى نحو 11 كيلومتراً (7 أميال) فوق متوسط نصف القطر. يلاحَظ أيضاً وجود مناطق تكثر فيها الصدوع.

تلاحَظ كذلك معالمُ بركانيةٌ غريبةٌ منثورةٌ في أرجاء السهول، منها:

1 ـ البراكين البازلتية shield volcanoes، وهي قِبابٌ مسطَّحةٌ صغيرة بقطر 2 ـ 3 كم (1 ـ 2 ميل) وارتفاع بضعة مئات الأمتار، وُجدت بفعل دفقات حممٍ بركانية ضعيفة تراكمت فكوَّنت جبلاً بركانياً عريضاً.

2 ـ القباب القرصيَّة المسطَّحة pancake domes، التي يبلغ عرضُها عادةً 25 كيلومتراً (15 ميلاً) ولا يزيد ارتفاعُها على ميلٍ واحد، وهي مرتبطةٌ

بصُهارةٍ magma غليظةٍ لزجة تتجاوز في تركيبها المحتوى المعتاد من السيليكا (ثنائي أكسيد السيليكون).

3 ـ الأكاليل البركانية coronae، وهي حلقاتٌ مستديرة الشكل ذات طيّات ضئيلة البروز، يترجَّح أنها تكوَّنت من دفقات حمميَّة تراكمت إلى شكلٍ قبّي، غاصَ فيما بعدُ وارتصّ. ويُعتَقَد أن بعض البراكين مازال نشطاً.

الزُّهَرة أكثر الكواكب شبهاً بالأرض من حيث حجمه وكتلته وكثافته وبُعده عن الشمس؛ غير أنك لا تستطيع العيش هناك. اذكر ثلاثة أسبابٍ لذلك.

(1) .....

(2) .....

(3) .....

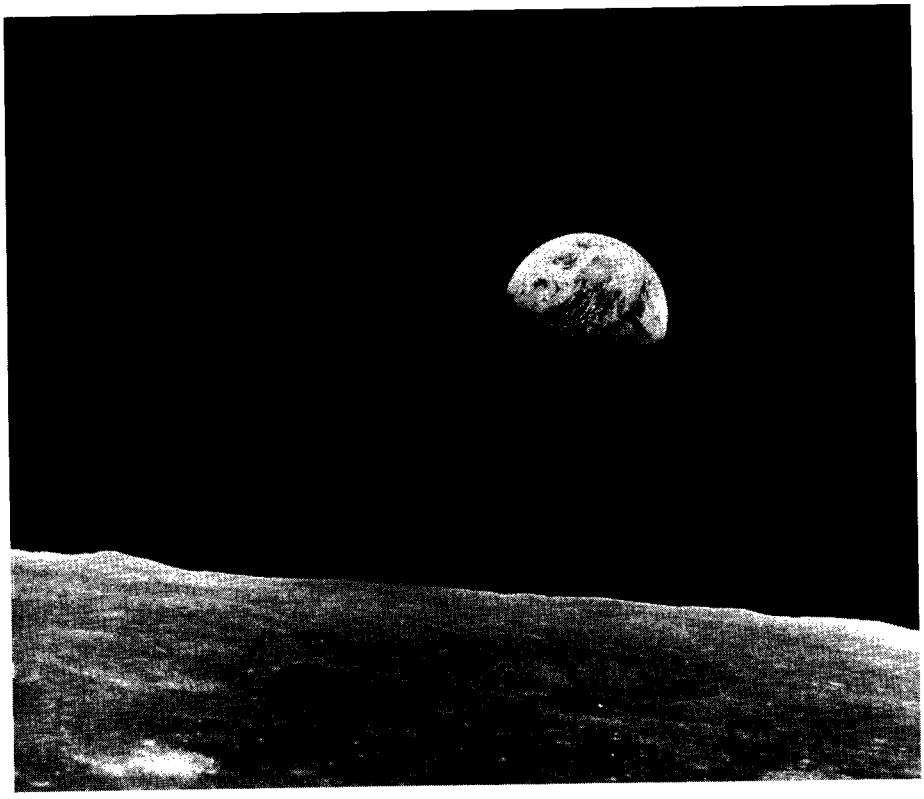
الجواب: (1) لحرارته الشديدة: 482° مئوية (900° فارنهايتية)؛ (2) لجوّه المؤلَّف من ثنائي أكسيد الكربون السامّ؛ (3) لارتفاع ضغطه الجوّي ارتفاعاً ماحقاً: أعلى من الضغط الجوّي الأرضي بأكثر من 90 ضعفاً.

4.9 الأرض

يضيء كوكبُنا الأرضُ Earth كدرّة نفيسة نادرة زرقاء وبيضاء تسبح في الفضاء (الشكل 10.9). وهو ـ بترتيبه الثالث من حيث بُعده عن الشمس ـ أهم الكواكب على الإطلاق بالنسبة إلينا نحن البشر.

يقارب إجماليُّ المساحة السطحية لكوكبنا $5{,}10 \times 10^8$ كم^2 (أي ما يعادل مليون ميل2)، تغطي المياه أكثر من 70 في المئة منها في ظاهرة فريدة من نوعها في المنظومة الشمسية.

يصل ارتفاع أعلى جبلٍ على الأرض ـ وهي قمة إڤرِسْت Mt. Everest



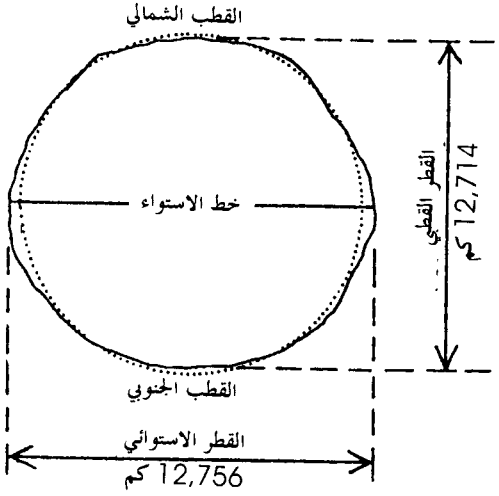
الشكل 10.9 الأرض كما رصدها من القمر روّادُ مركبة أبولو الفضائية.

في آسيا ـ قرابة 9 كم (29،000 قدم) فوق مستوى سطح البحر؛ أما أعمق نقطة مقيسة تحت الماء فهي غَوْر ماريانا Marianas Trench، الذي يهبط ما يربو على 11 كم (36،000 قدم) تحت سطح المحيط الهادئ.

تبلغ كتلةُ الأرض زهاء 6×10^{24} كغ، وهي توفِّر الثقالة السطحية اللازمة التي ألفناها.

انظر في الشكل 11.9 واحسب الفرق بالكيلومترات كم يزيد طولُ خط استواء الأرض على البُعد بين قطبَيْها الشمالي والجنوبي؟ .....

الجواب: 43 كيلومتراً تقريباً.



الشكل 11.9 ولَدَ دورانُ الأرضِ اليوميُ حول محورها انتفاخاً استوائياً وتسطُّحاً قطبياً (رُسِمَ بشيء من الغلواء رغبةً في التوضيح).

طريقة الحل:

طول القطر الاستوائي ـ طول القطر القطبي = 12،756,34 كم ـ 12،713,80 كم = 42,54 كم.

5.9 بنْية الأرض

يقدِّر علماءُ الفلك أن الأرض قد وُلِدت منذ نحو 4,6 مليارات سنة خلت، وأنها تكوَّنت مع الكواكب الأخرى من سحابة الغاز والغبار ذاتها التي كوَّنَت الشمس (الفقرة 3.4).

ولما كان من المتعذِّر على علماء الجيولوجيا النفاذ إلى أعماق الأرض لدراستها مباشرةً، فهم يقرِّرون بِنيتَها وتركيبَها من طريق آلية انتقال الأمواج الزلزالية الناشئة عن الزلازل والانفجارات عبر طبقاتها وعلى امتداد سطحها. وهم يصوِّرون الأرضَ اليومَ مؤلَّفةً من ثلاث طبقات:

1) القشرة crust، وهي الطبقةُ الخارجيةُ الرقيقة الصُلبة التي يبلغ متوسط سُمكها 35 كم (22 ميلاً)، وهي أغلظ حيث توجد القارّات منها تحت المحيطات. تتركَّب القشرةُ في المقام الأول من صخورٍ خفيفة، كالغرانيت والبازلت.

2) المعطف (الغلاف) mantle، وهو الطبقة الواقعة تحت القشرة، وتمتد نحو الداخل زهاء 2880 كيلومتراً (1800 ميل). ويشير التحليلُ المعمليُّ لعيّناتٍ بركانية إلى أن المعطفَ الغليظ مؤلَّفٌ في معظمه من صخور سيليكاتية كثيفة تشبه في سلوكها إلى حدٍّ ما سلوكَ «سكاكر الكاراميل». فهي مَرِنةٌ مطواعةٌ تحت تأثير الضغط المطَّرد، لكنها صَدوعةٌ تحت تأثير الصَّدم.

3) اللُّبّ core، وهو الطبقةُ المركزية، وتبلغ ثخانتُها 3470 كيلومتراً (2170 ميلاً). وهنا توجد طبقةٌ خارجيةٌ معدنية مصهورة بسُمك 2100 كيلومتر (1300 ميل) يُحتَمل أنها تحدق بمركزٍ صلب. يتألف اللُّبُّ على الأرجح من حديدٍ عالي الكثافة ونيكل عند درجة حرارةٍ تقارب 6400 كلڤن.

بالاستعانة بالشكل 12.9، عيِّن الطبقات الثلاث الرئيسية للأرض واذكر السُّمك التقريبيَّ لكلٍّ منها.

(1) .....

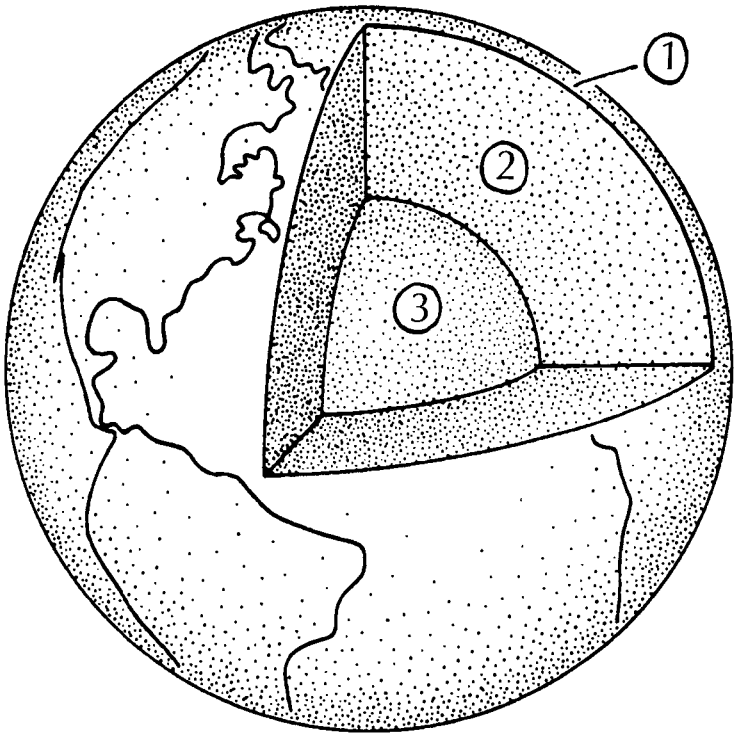
(2) .....

(3) .....

الجواب: (1) القشرة: 35 كم (22 ميلاً) في المتوسط؛ (2) المعطف: نحو 2880 كم (1800 ميل)؛ (3) اللبّ: نحو 3470 كم (2170 ميلاً).

6.9 نشاط الأرض الجيولوجيّ

إن سطح كوكبنا الأرضي المتقلقل دائب التغيُّر بسببٍ من عوامل الحتّ



الشكل 9 . 12 بِنية الأرض، بطبقاتها الثلاث الرئيسية.

والفاعلية الجيولوجية؛ فقد عُرِف أن أقدم الصخور المكتَشَفة حتى الآن وسط البحيرات وسهوب التَّندرا[1] tundra النائية الواقعة في شمال غرب كندا، وهي صخورٌ مغرقةٌ في القِدم، ترقى إلى نحو 3,96 مليارات سنة خلت.

وتشير الأدلّةُ القاطعة على أن قارّات العالَم كلَّها كانت ـ منذ زهاء 200 مليون سنة ـ قارّةً وحيدةً عظيمةً أُطلق عليها اسم بانجيا Pangaea [ومعناها الحرفي: الأرض المتَّصلة]، ثم انفصلت فيما بعدُ إلى القارّات المعروفة لنا اليوم.

وطبقاً لنظرية تكتونيات الصفائح أو الألواح plate tectonics (التي تسمى

(1) أصقاع منبسطة جرداء في المناطق القطبية الشمالية وما جاورها. (المعرِّب)

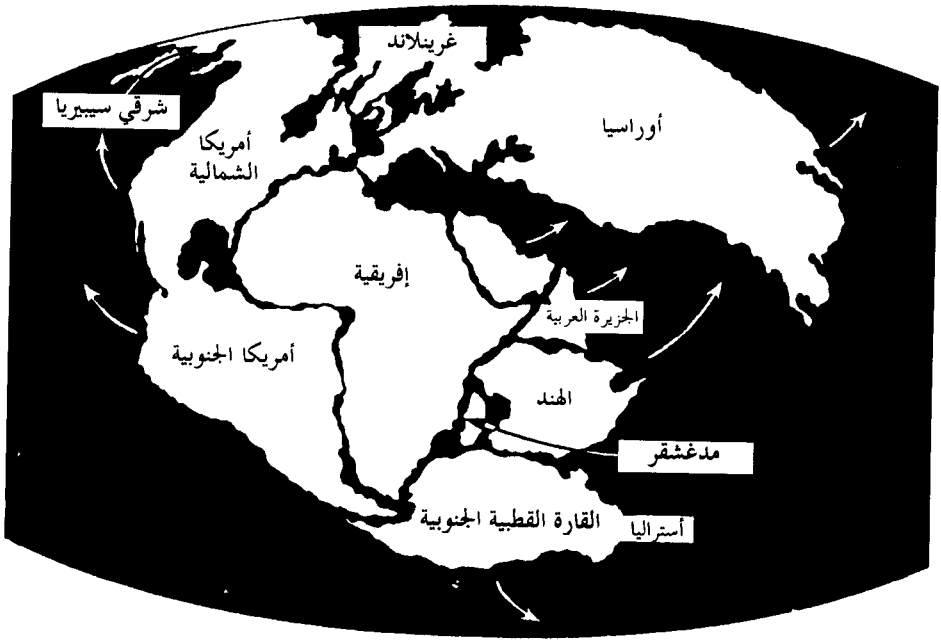
أيضاً نظرية الانجراف القارّي continental drift theory)، فإنَّ القارّات وقيعانَ المحيطات راسيةٌ في صفائح أو ألواحٍ صخريَّة بقطر آلاف الأميال. تتحرك هذه الألواحُ ببطء على المعطف المطواع من تحتها، فيتبدَّل شكلُ قشرة الأرض عند حدود نهايات الألواح. وبتباعد الألواح تنفصل القارّاتُ ببطء تبعاً لذلك بمعدَّلٍ لا يزيد على 2,5 سم (إنش واحد) سنوياً. يتعاظم هذا المقدار الضئيل ليبلغ 5000 كم (3000 ميل) أو يزيد في غضون 200 مليون سنة.

يترتَّب على حركة الصفائح كذلك تكوُّنُ الجبال وحدوثُ الزلازل ونشاطُ البراكين. ويحدث ذلك عند الحدود في ما بين الصفائح المتحركة، حيث تتضاغط الصفائح بعنف.

ترى إحدى النظرياتُ الشائعة أن تيارات الحَمْل convection currents[1] تغذّي الانجرافَ القارّي، إذ تتدفَّق تياراتٌ من الصُّهارة نحو الأعلى عبر طبقة المعطف، إلى أن تمرَّ بصخور باردة صُلبة، فتتدفَّق أفقياً. يخلخِل الاحتكاكُ ثباتَ الألواح الحاملة للقارّة ويزيحها. وأخيراً تغوص الصُّهارة المتبرِّدة. وعلى امتداد حيود وسط المحيط midocean ridges تنسكب الصُّهارةُ من خلال القشرة انسكاباً متواصلاً، مولِّدةً صخوراً جديدة.

ثمة من الأدلّة ما يقطع بأن القارّات في انزياحٍ مستمر. ويستعين العلماءُ في قياس هذا الانزياح بأجهزة المدى الليزري laser-ranging devices التي تُرَجِّع نبضات من الضوء عن مقاريب عاكسة رُكزت على سطح القمر. وقد وُجِد فعلاً توافقٌ كبيرٌ في الخطوط الساحلية لأمريكا الجنوبية وغرب أفريقيا، وتماثلٌ في المستحاثات النباتية والحيوانية على امتداد الساحلَيْن، مع أنهما اليوم متباعدان جداً بمسافةٍ تُقَدَّر بـ 5000 كم (3000 ميل) من المحيط الأطلسي (الشكل 9. 13).

(1) حركات كبيرة تحدث في معطف الأرض، أو فيما تحت القشرة الأرضية نتيجةً لاختلاف في درجات الحرارة. (المعرّب)



الشكل 13.9 خريطة للأرض كما قد تبدو منذ نحو 200 مليون سنة.

وقد قيست أعمارُ صخورٍ من قاع المحيط الأطلسي، فوُجد أن عُمر أقدمها يناهز 150 مليون سنة، وتتوضَّع قرب خطوط السواحل القارّية.

لو أن صخوراً بعُمر 4 مليارات سنة اكتُشِفَت في قاع المحيط الأطلسي، فهل كان ذلك يؤثّر في صحة نظرية الانجراف القارّي؟ وكيف؟ .....

.....

.....

.....

.....

الجواب: كان من شأن ذلك أن يثير شكوكاً خطيرةً تمسُّ صحَّة النظرية، التي

تقول إن المحيط الأطلسي ـ الذي يبلغ عرضُه زهاء 5000 كم (3000 ميل) ما بين الخطوط الساحلية القارّية ـ قد تكوَّن على مدى الـ 200 مليون سنة الفائتة، ولم يكن قد وُجد منذ 4 مليارات سنة.

7.9 مغنطيسية الأرض

إن لكوكبنا حقلاً مغنطيسياً magnetic field، أي منطقةً من القوى المغنطيسية تؤثِّر في إبرة البوصلة.

يقع القطبُ المغنطيسيُّ 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، ويتغيَّر موقعُه ببطء مع مرور الزمن. ويقع القطبُ المغنطيسيُّ الجنوبي قريباً من خط العرض 66° جنوباً وخط الطول 140° شرقاً. ويُعتقَد أن الحقلَ المغنطيسي للأرض قد تولَّد بفعل لبِّها السائل المكوَّن من الحديد والنيكل، الذي يؤدي دَوْر «دينامو» عملاق في أثناء دوران الكوكب حول محوره. ولعلَّ الحركةَ المعقَّدة لهذا اللُّب هي التي تسبِّب الهجرةَ الطويلةَ الأمد للقطبَيْن المغنطيسيَّين.

تمتد الكرة المغنطيسية magnetosphere ـ وهي المنطقةُ المحيطةُ بالكوكب حيث يكون الحقلُ المغنطيسي مؤثراً ـ في فضاء الكون ما يعادل أربعة أضعاف نصف قطر الأرض من الطرف المقابل للشمس. أما الذَّيل المغنطيسي magnetotail ـ وهو جزءُ الكرة المغنطيسية الواقعُ على الطرف البعيد من الشمس ـ فيمتد أشبه بذيلٍ يقع طولُه بين 10 و 1000 مرة نصف قطر الأرض.

يَحتجز الحقلُ المغنطيسيُّ الأرضي كثيراً من الجُسَيْمات المشحونة النَّشطة الناشئة عن الريح الشمسية. وهذه الجسيمات قد تكون ضارَّةً جداً، فتظلُّ في حركة دائرية سريعة ضمن منطقتين حلقيَّتَي الشكل تسمَّيان حُزُمَ ڤان

آلن Van Allen belts في الكرة المغنطيسية.

ما هي الكرة المغنطيسية؟ .....

.....

الجواب: هي المنطقةُ المحيطةُ بالأرض حيث يكون الحقلُ المغنطيسيُّ ذا تأثير.

8.9 الغلاف الجويّ الأرضي

يحيط بالأرض غلافٌ جوّي atmosphere يمتد عدة مئات الأميال في الفضاء.

من المرجَّح أن جوَّ الأرضِ الأولَ، الذي سادَ منذ أكثر من أربعة مليارات سنة، يختلف كثيراً عن جوِّها اليوم. إذ يُعتَقَد أن غازات سامَّةً من مركَّبات الهيدروجين والكربون والأكسجين والآزوت ـ كثنائي أكسيد الكربون والنشادر والميتان إضافةً إلى بخار الماء ـ ربما تكون قد انتُزِعتْ outgassed أو تحرَّرتْ من باطن الكوكب الفتيّ الحارّ.

فثنائي أكسيد الكربون السريع الانحلال في الماء يمكن أن يكون قد انتُزِع عن طريق اتِّحاده بموادَّ كالكالسيوم في المحيط لتكوين حجر الجير limestone؛ والأكسجين الحرّ الذي نحتاج إليه للتنفّس ربّما أنه تولَّد بفعل النباتات الخضر. ومن المعلوم أن الأوراق الخُضر في عملية التخليق الضوئي photosynthesis تَمتصُّ ثنائي أكسيد الكربون من الجو، وتستفيد منه لنموِّها، مُطْلِقةً الأكسجين.

يتركَّب الهواءُ اليومَ من نحو 78 في المئة آزوت و 21 في المئة أكسجين و 1 في المئة من الآرغون وثنائي أكسيد الكربون وغازات أخرى. ويحتوي كذلك على مقادير متغيِّرة من بخار الماء والغبار وأول أكسيد الكربون والنواتج الكيميائية الصناعية والكائنات الدقيقة.

يحتشد أكثر من نصف هذا الهواء ضمن حيِّز الـ 6 كيلومترات (4 أميال) الأولى فوق سطح الأرض. ثم يتخلخل بسرعة مع ازدياد الارتفاع، حتى إذا بلغ الارتفاعُ 12 ـ 50 كيلومتراً (7 ـ 30 ميلاً) فوق سطح البحر، أثَّر ضياءُ الشمس فوق البنفسجي في الهواء فتولَّد الأوزون ozone، وهو جزيءٌ مؤلَّفٌ من ثلاث ذرات من الأكسجين (O3). يؤلِّف الأوزون في الجو طبقةً تكتنف الأرضَ هي بمنْزلة غطاء حيويٍّ يقي الكائنات البشريةَ والنباتيةَ من إشعاع الشمس فوق البنفسجي الضارّ[1]. أما على ارتفاعاتٍ تتجاوز 160 كم (100 ميل) فيمكن أن تدور السواتل بحرِّية دون خشية الانجذاب نحو الأسفل.

ويستعمل الباحثون حالياً نماذجَ محاكاة كومبيوترية وأجهزةً معقَّدةً على الأرض، وعلى متن الطائرات ومركبات الفضاء، بغية دراسة التغيُّرات الخطيرة المحتملة في الغلاف الجوي وفي المناخ، التي يكون الإنسان سبباً فيها. وفي حكم المؤكَّد أنَّ المستويات المرتفعةَ من المواد الكربونية المتلِفة للأوزون، والمتحرِّرة من أجهزة التبريد والتكييف ومِرَذَّاتِ الهباء المعلَّق aerosol sprays تسبِّب الثقوبَ الواسعة التي نشهدها في طبقة الأوزون فوق المناطق القطبية بخاصة، وتخلخُل هذه الطبقة فوق خطوط العرض المتوسطة. ومن المهم أن نعلم أن التراكمَ المتزايدَ لثنائي أكسيد الكربون، وللشوائب المنطلقة من احتراق الفحم والنفط، إضافةً إلى تلاشي الغابات المَطَرِيَّة، كلُّ ذلك قد يُحدِث تسخيناً شاملاً في كوكبنا شبيهاً بمفعول الدفيئة على كوكب الزُّهَرة.

(1) تذكَّرْ أن الإشعاعَ فوق البنفسجي أكثرُ فاعليةً وأعلى طاقةً من الضوء المرئي بسبب قصر أطوال أمواجه. وتتمثل أهمية الأوزون في أنه ماصٌّ قويٌّ للإشعاع فوق البنفسجي، ولو انعدمت طبقة الأوزون لانسكبَ الإشعاعُ الشمسيُّ انسكاباً في الغلاف الجوّي السفلي وألحقَ أذىً مستطيراً بالكثير من أنماط الحياة على الأرض؛ بل إن ثمة شكّاً في إمكان قيام حياة على سطح الأرض في غياب الوقاية التي توفّرها طبقةُ الأوزون هذه. ولهذا السبب تتضافر جهود الحكومات في العالم اليوم للحدّ من استعمال المواد الكيميائية التي تمتزج بالغلاف الجوّي العلوي، وتتَّحد كيميائياً بطبقة الأوزون فتتلفها. (المعرِّب)

يبلغ إجماليُّ كتلة الغلاف الجوّي الأرضي برمَّته نحواً من 5000 تريليون طن. وتعمل الثقالةُ على الإبقاء عليه مرتبطاً بالأرض، مع أن ذرّات منه قد تتسرَّب من طبقاته العليا بين حين وآخر. وعند مستوى سطح البحر يَضغط كلُّ ذلك الهواء إلى الأسفل بقوة تساوي 1,03 كغ/سم^2 (14,7 رطلاً إنكليزياً في البوصة المربَّعة) تسمى واحدة ضغط جوّي atmosphere of pressure. وثمة واحدةُ ضغط جوّيٍّ أخرى شائعةٌ تسمّى الملّيبار millibar. وقد وُجد أن ضغطَ الهواء على الأرض عند مستوى سطح البحر يقارب 1013 ملّيبار.

ما تركيب الهواء الذي يُبقي على استمرار حياتنا على الأرض (أ)؟ وكم يبلغ ضغطُه عند مستوى سطح البحر (ب)؟ (أ) .....؛ (ب) .....

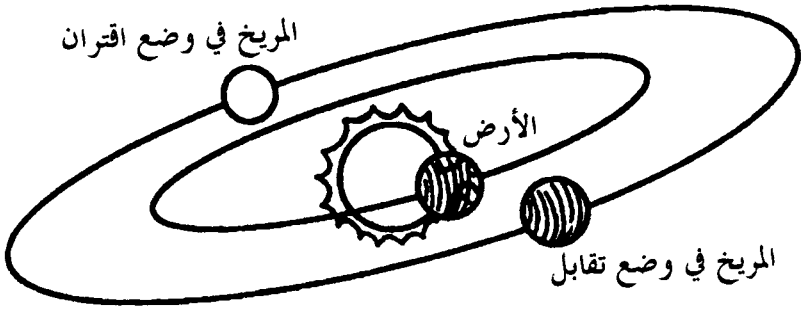
الجواب: (أ) نحو 78 في المئة آزوت و 21 في المئة أكسجين و 1 في المئة ثنائي أكسيد الكربون وغازات أخرى، إضافةً إلى مقادير متغيِّرة من بخار الماء والشوائب؛ (ب) زهاء 1,03 كغ/سم2 (14,7 رطلاً إنكليزياً/إنش مربع). يسمى أيضاً واحدة الضغط الجوّي، و 1013 ملّيبار.

9.9 المرّيخ: رصده

كان كوكبُ المرّيخ Mars الضارب لونه إلى الحمرة يذكِّر الرومانَ دوماً بالدَّم والنار، فأطلقوا عليه اسم «مارس» نسبةً إلى إله الحرب عندهم. ولهذا الكوكب قمران يحملان اسمَيْن موحِيَيْن هما فوبوس Phobos («الخوف») وديموس Deimos («الفزع»)، لا يُرَيان إلا باستعمال مقاريب قويَّة جداً.

تبدو الكواكبُ العُلوية ـ والمرّيخُ أحدُها ـ أسطعَ ما تكون عندما تقع على الجانب المقابل للأرض من الشمس، وهو ما يُسمّى وضع التقابُل opposition. ثم يقابلنا قرصٌ تام الضوء رصين. يكون المرّيخ في وضع التقابل كلَّ 780 يوماً في المتوسط.

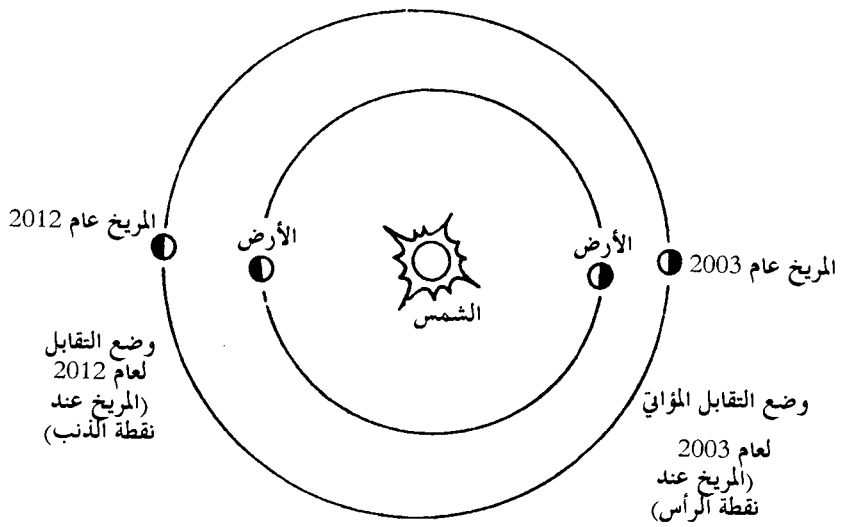
من جهة أخرى، تستعصي الكواكبُ العُلوية على الرصد عندما تقع على الجانب المقابل للشمس من الأرض، وهو ما يسمّى وضع الاقتران conjunction (الشكل 14.9).



الشكل 14.9 مظهران مهمّان للمرّيخ من الأرض.

يكون المرّيخُ أقربَ إلى الأرض في بعض حالات التقابُل، منه إليها في بعض حالات التقابُل الأخرى، ذلك بسببٍ من شذوذ مداره (الجدول 1.8). يُسمّى وضعُ التقابُل الداني التقابُلَ المؤاتي favorable opposition، حيث يبدو قرصُ المرّيخ أكبر ورصدُه أجود، مع العلم بأن معظم أوضاع التقابل المؤاتي تحدث عندما يقترب الكوكب من نقطة الرأس (الشكل 15.9). عندئذ يكون المرّيخ على بُعد من الأرض لا يتعدّى 56 مليون كم (35 مليون ميل)، ويحدث ذلك في نهاية الصيف على فواصل زمنية من 15 إلى 17 سنة.

وعندما يقع المريخُ قريباً من وضع تقابلٍ مؤاتٍ، تستطيع ـ باستعمال مقراب ـ أن تعاين معالمَ بديعةً طالما داعبتْ خيالك. ففي كلٍّ من نصفَي الكرة ترى قلنسوةً قطبيَّة polar cap بيضاء تتقلَّص مساحتُها في الصيف. وقد ترى أيضاً عواصف غبارية، ومساحات دكناء اعتُقِد فيما مضى ـ خطأً ـ أنها

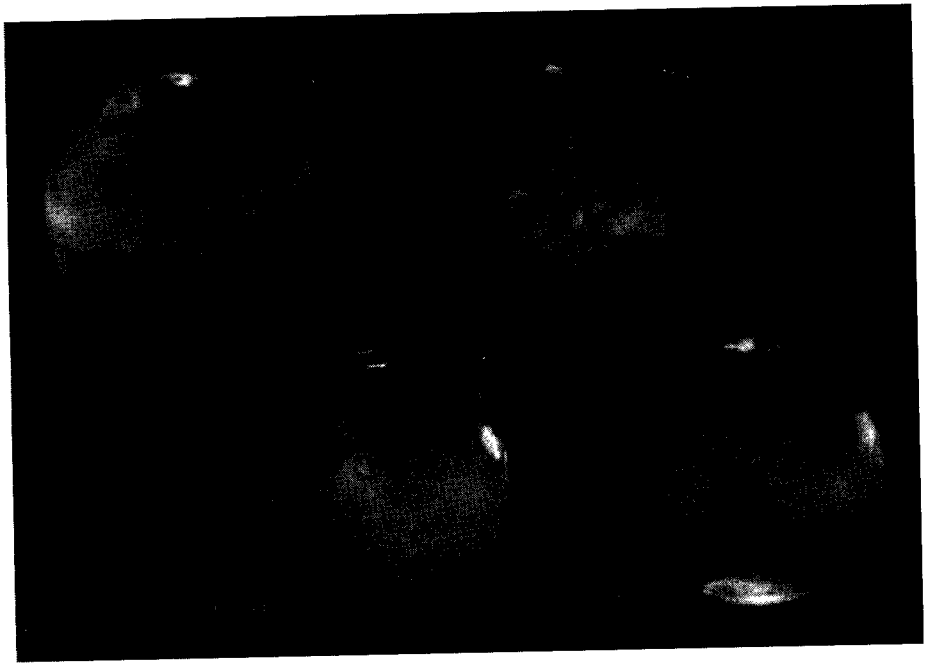


الشكل 15.9 وضع تقابُلٍ مؤاتٍ، وآخر غير مؤاتٍ في الدورة المرّيخية.

ماء أو حياةٌ نباتية. ولعلّها في الحقيقة مشاهد لأجزاء من سطح الكوكب عقب حدوث عواصف غبارية (الشكل 16.9).

في سنة 1877 رَصَدَ عالِمُ الفلكِ الإيطاليُّ جوفاني شيابارِيلي G. V. Schiaparelli ما ظَنَّ أنها قنواتٌ مستقيمة دكناء على سطح المرّيخ أَطلق عليها اسم «كنالي» canali. وقد تُرجِمتْ هذه الكلمة خطأً على أنها «قنوات». ثم طلع الفلكيُّ الأمريكيُّ بيرسيڤال لويل Percival Lowell (1855 ـ 1916) في مطلع القرن العشرين ليُحدث لغطاً في الأوساط العلمية، عندما ذهب بعيداً إلى الظن بأن مخلوقات مرّيخيةً ذكيةً هي التي شقَّت القنوات المزعومة. وقد أُطلقتْ مسابرُ علميةٌ أمريكيةٌ وروسيةٌ لاستكشاف المرّيخ (والمريخ أكثر ما سُبِر من الكواكب)، إلا أن أحدَها لم يكشف عن وجود أي قنوات. وأغلب الظن أن «القنوات» ما هي في الواقع إلا سلاسل جبليةٌ أو صخورٌ دكناء كَشَفَتْ عنها العواصفُ الغبارية.

لماذا كان أفضل رصدٍ لكوكب المرّيخ في أوضاع التقابُلِ المؤاتية؟ .....



الشكل 16.9 صُوَرٌ للمرّيخ في وضع تقابلٍ له سنة 1999، التقطها مقرابُ هَبلْ الفضائي. يَظهر الكوكبُ في كل مشهد وقد أتمَّ رُبع دورته اليومية.

الجواب: لوقوع الكوكب أقرب ما يكون عن الأرض عندئذ. (فالمريخ والأرض كلاهما يطوفان في مدارَين إهليلجيَّيْن حول الشمس، ومن ثم يتفاوت البُعد بينهما بدرجة كبيرة).

10.9 سطح المرّيخ

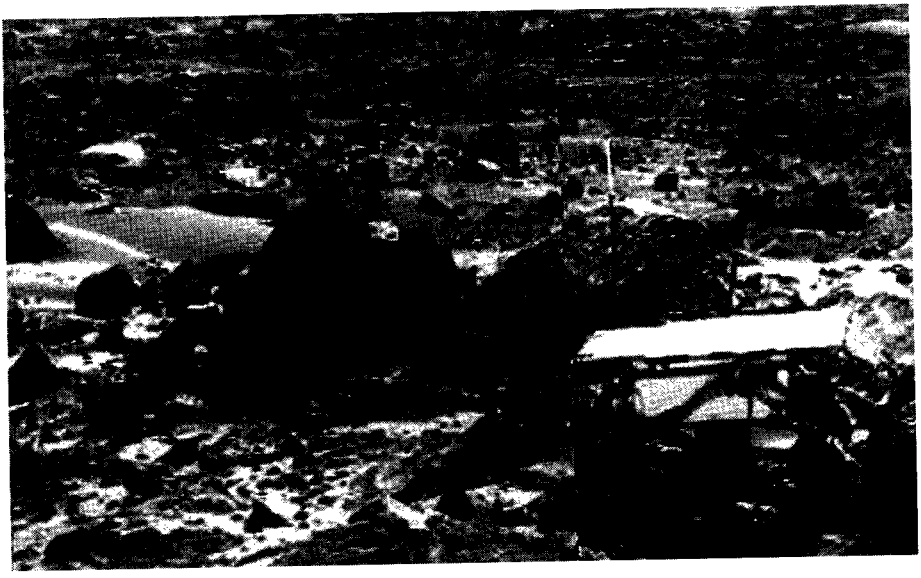
تُعَدُّ مركبةُ الفضاء ڤايكنغ لاندر Viking Lander 1 الأمريكية الرَّبوطية، التي حطَّت على كوكب المرّيخ بتاريخ 20 تموز (يوليو) 1976، أولَ عهدنا بالمعاينة الفاحصة لسطح كوكب آخر.

لاحت سهولُ 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 حطَّت المركبةُ ڤايكنغ لاندر 2 على سهول الطوبى Utopia Planitia على بُعد 7500 كم (4600 ميل) شمال غرب موقع هبوط سلفها. وتبدو الصخورُ المنقوبةُ هناك شبيهةً بالصخور التي تولِّدها البراكينُ الغازيةُ أو حوادث صدم الأحجار النيزكية بالأرض.

بَثَّت المركبتان ڤايكنغ 1 و 2 ما يزيد على 4500 صورة للسطح المرّيخي، و 3 ملايين تقرير علمي عن أحوال الجوّ فيه، وكذلك معطيات مستمدةً من الاختبارات الكيميائية والأحيائية. وفي سنة 1984 غَدَتْ مركبةُ ڤايكنغ لاندر 1 التاريخية من معروضات أول متحف يقع في عالَم آخر، عندما انتقلت الملكيَّةُ إلى المتحف الجوّي والفضائي الوطني الأمريكي U,S, National Air and Space Museum.

وفي سنة 1997 انضمَّت المركبةُ الأمريكيةُ المستكشِفة للمريخ (باث فايندر) Mars Pathfinder إلى سوجرنر Sojourner التي كانت أوَّلَ مركبة تهبط على كوكب آخر (الشكل 17.9). جالَتْ سوجرنر - بعجلاتها الستّ - مسافة 100 متر (110 ياردات) في أرجاء سهل Ares Vallis (وهو سهلُ فيضانات واسعٌ في المناطق الاستوائية الشمالية من المرّيخ)، لدراسة الصخور والتربة هناك. وفي غضون أربعة أشهر بَثَّت المركبتان الرَّبوطيَّتان أكثر من 17،000 صورة، و 16 تحليلاً كيميائياً للصخور والتربة، و 8,5 ملايين قياس للحرارة والضغط والرّيح.

تبدو التربةُ الحمراءُ الصَّدِئة عند مواقع الهبوط وكأنها صلصال غنيٌّ بالحديد، والصخور تغطّيها غلالةٌ من مادةٍ دقيقة التحبُّب ضاربٍ لونها إلى الحمرة. والظاهر أن عوامل التَّجوية الكيميائية والتعرية قد فعلتْ فعلها في الصخور. ويُعتقد أن الكوكب كان في ماضي الزمان غنيّاً بالمياه الجارية؛ آيةُ



الشكل 17.9 منظر بانورامي تاريخيّ لسطح المرّيخ، تظهر فيه مركبةُ سوجرنر الرَّبوطية ذات العجلات الستّ، وهي أولُ مركبة تحطّ على الكوكب.

ذلك وجود حصىً مكوَّرٍ ورمالٍ غزيرة وجُسَيْمات غبارية. تتركَّب التربةُ الناعمةُ من نحو 45 في المئة أكسيد السيليكون و19 في المئة أكسيد الحديد المتَمَيِّه (الصّدأ). وتتلوَّن السماءُ بلون ورديٍّ نهاراً بفعل الغبار الأحمر العالق في الجو كمزيجٍ من الدخان والضباب. ويتلوَّن الغروب بالأزرق الباهت. وفي حين تصل درجاتُ الحرارة في الصيف إلى -10° مئوية (14° فارنهايتية) كحدٍّ أقصى، تهبط في الشتاء إلى ما دون -123° مئوية (-190° فارنهايتية)، مع ظهور طبقة رقيقة من الجليد. لوحظَ أيضاً أن ضغط الهواء على الكوكب لا يتجاوز 7 أو 8 ملِّيبار.

لم يَبْدُ في مواقع هبوط المركبتين ما يشير إلى وجود كائنات حيّة كبيرة، كما لَم يلاحَظ أيُّ ماءٍ جارٍ.

صِفْ باختصار سطحَ المرّيخ في مواقع الهبوط .....

.....

.....

الجواب: إنه يبدو كصحراء حمراء جافة تتناثر فيها الصخور. سماؤه ورديَّة اللون، ودرجة حرارته منخفضة.

11.9 المرّيخ: الكوكب

تُظهِر خرائط ثلاثيةُ الأبعاد عاليةُ المَيْز high-resolution، من قياسات تجريها المركبةُ الأمريكية الاستطلاعية الطوّافةُ حول المرّيخ Mars Global Surveyor (MGS) اعتباراً من سنة 1998، كوكباً جافاً ووعراً ومتجهِّماً.

ومع أن النصفَ الجنوبيَّ من الكرة المرّيخية قديمٌ وتغشاه الفوَّهات في معظمه، فإن نصفَها الشماليَّ سهولٌ منبسطةٌ في الأغلب الأعم، وهي أخفضُ مستوىً بعدَّة كيلومترات. وربما كانت هذه الأراضي الشماليةُ المنخفضة في سالف زمانها حوضاً لبحرٍ محيط مَلأَتْه الترسُّبات.

يتَّصف المرّيخ ببراكين عظيمة، ربما مازال بعضُها نَشِطاً. ويُعَدُّ البركانُ المسمّى جبل أولمبوس Olympus Mons أعظمَ براكين المجموعة الشمسية طرّاً؛ فهو يسمق إلى ارتفاعٍ يصل نحواً من 27 كيلومتراً (17 ميلاً)[1] فوق متوسط ارتفاع السطح، ويحتوي على كمية من الحمم البركانية أكبر من جُزُر هاواي الأمريكية.

وتدلُّ معطياتُ الثقالة المستنبطَةُ من تغيُّراتِ مدارات المركبةِ الاستطلاعية MGS، وكذلك ذُرى البراكينِ البالغةُ الارتفاع، على أن سُمْكَ قشرة الكوكب يقارب 50 كم (30 ميلاً)، وأنه لا ينجرف كانجراف القارّات الأرضية. ويترجَّح أن للمرّيخ معطفاً أبرد من معطف الأرض وأغلظ منه.

وتَظهر شرائط خَطيّةٌ linear bands لمادّةٍ عالية المغنطيسيّة في بعض أقدم

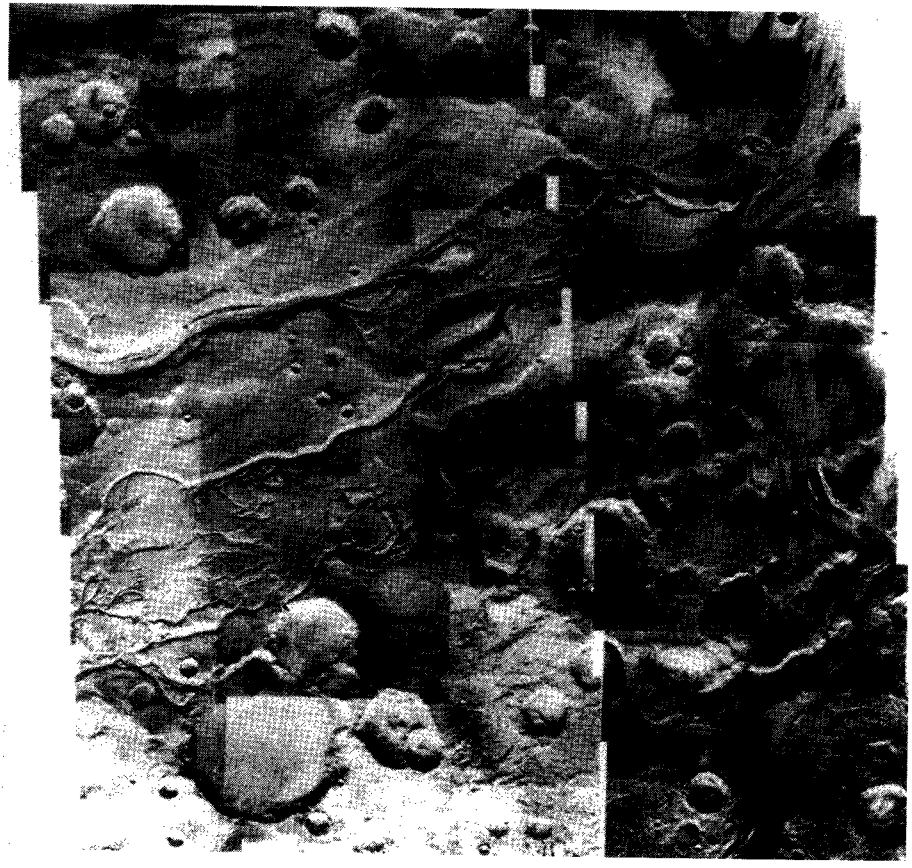
(1) وهو ارتفاع يفوق ارتفاع أعلى قمم الأرض ثلاث مرات تقريباً. (المعرِّب)

أجزاء القشرة. ومن ثمَّ لا بدَّ أن المرّيخ كان في غابر الدهور ذا لبٍّ حديديٍّ مصهور، ونشاطٍ مغنطيسيٍّ وجيولوجيٍّ واضح، مع أن شيئاً من ذلك لا يلاحَظ فيه اليوم.

من مظاهر هذا الكوكب أيضاً صدوعُه العميقة، وأكبرها الصَّدعُ المرّيخيُّ العظيم Valles Mariner، وهو شبكةٌ معقَّدةٌ من الوديان الصخرية تمتد مسافة 5000 كيلومتر (3000 ميل) على طول خط الاستواء بعمق 6 كيلومترات (4 أميال) في المتوسط. ويَبْرز من المظاهر التضاريسية المتنوّعة انهيالاتٌ وانفلاقاتٌ وقنوات جريان هائلة عمَّقَتْها عواملُ الحتّ والتعرية.

توحي الفوَّهاتُ والحُفَر السطحيةُ بتعرُّض الكوكب لحوادث صدمٍ عنيف من الأحجار النيزكية. ويلاحَظ أن أخفض نقطة على المريخ - التي تهبط مسافة 7 كم (4 أميال) تحت متوسط مستوى السطح - هي قاعُ حوضِ هيلاس پلانيشيا Hellas Planitia الدائري، أكبرِ فوَّهةِ صدمٍ في المنظومة الشمسية، ويرقى إلى نحو أربعة مليارات سنة خلت. أما أكثر الفوَّهات فتوَّةً نسبياً، من قبيل فوَّهة يوتي Yuty التي يبلغ قطرها 18 كم (11 ميلاً)، فتبدو وكأن مياهاً، مصحوبةً بقطعٍ صخرية متكسِّرة، قد تدفَّقتْ فيها وجَرَتْ مسافات كبيرةً في أعقاب حادثةِ صدمٍ هائل.

وليس ثمة ما يشير اليوم إلى وجود مياهٍ سطحيةٍ جاريةٍ على المرّيخ. على أن دليلاً غير مباشر يشير إلى حدوث طوفانٍ ماحق في أحقابه الغابرة؛ تدلُّ على ذلك القنواتُ العميقةُ الملتوية الشبيهة بمجاري أنهارٍ ذات روافد (الشكل 18.9)، وهي تدلِّل على أن أنهاراً عظيمةً شقَّتْها في الماضي السحيق. وقد تكون تلك المياه محتَبَسةً في القلانس الجليدية ice caps والجَمَد الدائم permafrost تحت السطح. ولعلَّ التغيُّرات المناخيةَ قد أسهمت كثيراً في تحويل بيئة المياه الجارية إلى عالَمٍ بارد هو عالَم المريخ الذي نشهده.



الشكل 18.9 صورةٌ للمرّيخ من مركبة ڤايكنغ الطوّافة، تُظهِر القنوات العميقةَ الملتوية والفوَّهات على سطح الكوكب.

لكن وجود الماء واضحٌ على هيئة جليد وبخار. فالقلنسوةُ الجليدية الدائمة عند القطب الشمالي مؤلَّفةٌ من ماء متجمِّد، وتُجلِّلها في الشتاء طبقاتٌ من ثنائي أكسيد الكربون الذي يتجمَّد خارجَ حدود الغلاف الجوّي. أما القلنسوةُ الجليديةُ عند القطب الجنوبي للكوكب فهي ثنائي أكسيد الكربون متجمِّد. ويبدو أن صقيعَ الشتاء هو ماءٌ متجمِّدٌ وغبار، مع ظهور ضباب وسُحُب رقيقة بين حين وآخر.

أما الغلافُ الجوّي للمرّيخ فهو أوهن من أن يحجب الأشعةَ الشمسيةَ فوق البنفسجية الضارّة التي ما تنفكّ تسفع وجه الكوكب. ويطغى عليه ثنائي أكسيد الكربون، الذي يؤلِّف 95 في المئة من تركيبه، إضافةً إلى 2 ـ 3 في المئة آزوت، و 1 ـ 2 في المئة أرغون، و 0,1 ـ 0,4 في المئة أكسجين، مع أثارةٍ من بخار ماء وغازات أخرى.

تهبُّ رياحٌ غباريةٌ هوجاء دوّامة من نصف الكرة الجنوبي صيفاً، وغالباً ما تجتاح كلَّ أرجاء الكوكب. تثير هذه الرياحُ، التي قد تصل سرعتُها إلى 120 كم/ساعة (75 ميل/ساعة) في الساعة، غباراً خفيفَ اللون، فتعرّي الصخورَ الدكناء وتُغيِّر شكلَها بالحتّ والتآكل. وقد لوحظَ أن طبقات رقيقةً من الجليد والغبار بطول مئات الكيلومترات تتوضَّع عند القطبين بفعل عواصف غبارية شاملة مستمرة بتعاقُب الفصول.

ومن المأمول أن تصبح أوَّلُ رحلة مأهولة إلى المرّيخ حقيقةً واقعةً في غضون السنوات العشر المقبلة. ولا بد من أن يسبق ذلك بالطبع إرسال أجهزةٍ ربوطيةٍ تزوِّدنا بالمزيد من الخرائط والمعطيات عن سطح الكوكب، وقد تتمكن هذه الأجهزة من استحضار عيِّنات من صخورِ المرّيخِ وتربتِه إلى الأرض لتحليلها.

وإذ يدرك العلماءُ ـ بحقٍّ ـ أن وجود الماء أساسيٌّ للحياة، فهم يعتقدون أن ثمة نوعاً من الحياة شهده المرّيخ في الماضي البعيد، عندما كان أكثر دفئاً ورطوبة. ويُحتمل وجود حياة ميكروبية عليه حتى الآن.

اذكر دليلَيْن على أن المريخ قد شهدَ فيما مضى ماءً جارياً على سطحه.

(1) .....

(2) .....

الجواب: (1) وجود القنوات السطحية العميقة المتعرِّجة، التي تبدو وكأنها

شُقَّت بفعْل أنهار عظيمة متدفقة؛ (2) وجود القلنسوة الجليدية الدائمة في قطبه الشمالي، وهي مؤلَّفةٌ من ماء متجمِّد ربما كان متدفقاً على سطحه في الماضي.

12.9 قمرا المرّيخ

فوبوس وديموس قطعتان صخريتان صغيرتان غير منتظمتَي الشكل لا يزيد طولهما على 21 كم (13 ميلاً) و 12 كم (7 أميال) على الترتيب (الشكل 19.9). يُتِمُّ فوبوس دورةً حول المرّيخ كل 7,7 ساعات، في حين يُنجِز فوبوس دورتَه حوله في 1,3 يوم.

يبدو القمران كلاهما هَرِمَيْن نوعاً ما، وتغشاهما فوَّهاتُ صدمٍ متفاوتةُ القِدَم. يلاحَظ على فوبوس وجود حزوز striations وسلاسل من فوَّهات صغيرة، يُطلَق على أكبرها اسم «ستيكني» Stickney الذي يقارب قطرُه 10 كم (6 أميال).

وَرَدَ ذِكْر قمرَيْن للمرّيخ في كُتُب الأدب؛ فقد ذَكَرَهما الأديب الإنكليزي جوناثان سويفت Jonathan Swift سنة 1727 [في كتابه رحلات غَليفر[1] Gulliver's Travels] قبل زمن طويل من اكتشافهما فعلاً على يد عالِم الفلك الأمريكي أساف هول Asaph Hall (1829 ـ 1907).

صِفْ باختصار قمرَي المرّيخ .....

.....

الجواب: قطعتان صخريَّتان صغيرتان ليس لهما شكلٌ منتظم، وتغشاهما الفوَّهات.

(1) ذلك عندما توقَّف غليفر في مصرٍ خياليٍّ أسماه لاپوتا Laputa يقطنه عددٌ كبيرٌ من الفلكيين، وكان من بين مكتشفاتهم قمران للمرّيخ صغيران. (المعرِّب)

الشكل 19.9 فوبوس وديموس، قمرا المرّيخ، وقد جُعِلا على مقياس تصويرٍ واحد مع جزيرة مانهاتن للمقارنة.

13.9 المشتري: رصده

سُمِّيَ كوكبُ المشتري Jupiter نسبةً إلى جوبيتر ملكِ الآلهة وحاكم الكون في الأسطورة الرومانية القديمة. وهو أكبر كواكب المنظومة الشمسية على الإطلاق، لذلك يفوق سطوعُه في الليل سطوعَ النجوم وسائر الكواكب إلا الزُّهرة.

يمكن - باستعمال مقراب صغير - رصْد كوكب المشتري بحُزُمه السحابيَّة الكثيفة الملوَّنة والمتوازية، وبقعته الحمراء الكبرى، وأكبر أربعة أقمار من أقماره هي: آيو Io، وأوروبا Europa، وغانيميد Ganymede، وكاليستو

Callisto. تتغيَّر مظاهرُ هذه الأقمار كلَّ ليلة في أثناء دورانها حول الكوكب. وتُدرِج المنشوراتُ الفلكيةُ وبرمجيات الكمبيوتر (انظر «المصادر المفيدة» في نهاية الكتاب) المواقعَ الحالية للأقمار وحالات احتجابها وعبورها.

في سنة 1979 تمكَّنت مركبتا الفضاء الربوطيَّتان الأمريكيتان ڤوياجر 1 و2 من الاقتراب من المنظومة المشتروية؛ فحلَّقت ڤوياجر 1 على بُعد 206،700 كم (128،400 ميل) من ذُرى سُحُب المشتري، وحلَّقت ڤوياجر 2 على بُعد 570،000 كم (350،000 ميل) منها. وبثَّت المركبتان أكثر من 33،000 صورة.

على أن أفضل رصْد للمنظومة المشتروية يَرِدُنا من المركبة الرَّبوطية الأمريكية غاليليو. ففي سنة 1995 انشطرت هذه المركبةُ إلى جزءين غيرَ بعيد عن المشتري، فغاصَ أحدُهما - وهو مسبارٌ جوّي atmospheric probe - مندفعاً عبر سُحُب الكوكب، وبثَّ معطيات هامة مدة ساعة واحدة قبل أن تتلفه الحرارةُ العاليةُ والضغطُ المرتفع؛ في حين ما برح الجزءُ الآخر - وهو مركبةٌ طوّافة - يدور حول الكوكب يَجمع معطيات وصُوَراً للمشتري وأقماره، ويبثُّها منذ ما يربو على أربع سنوات.

من خلال مقراب صغير، تبدو أسطعُ أقمار المشتري - وهي أربعة - وكأنها نجوم. ما هي الأرصاد التي تدلِّل على أنها في واقع الأمر أقمارٌ توابعُ للكوكب؟ .....

الجواب: تبيِّن الأرصادُ أن هذه الأقمار تغيِّر مواقعَها كلَّ ليلة وهي تدور حول الكوكب.

14.9 المشتري: الكوكب

المشتري أكبر كتلةً 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 مقراب هَبلْ الفضائي. الصورةُ الداخلية هي أول صورة مباشرة فوق بنفسجية للشفق المشتروي.

يبدو الكوكبُ كرةً سائلةً هائلةً رشيقة الدَّوَمان، يعلوها غلافٌ جوّيٌّ كثيف يتألف في المقام الأول من الهيدروجين والهليوم. والظاهر أنه يحتوي على لبٍّ صُلْب صغير نسبياً. تطوّق المشتري منظومةٌ حلقيَّةٌ رقيقة باهتة من حُبَيْبات غباريَّة أطلقَتْها النيازكُ من الأقمار الداخلية العميقة. ويمتد الجزءُ الخارجيُّ، وهو حلقةٌ عنكبوتية واهية تلي حلقةً أخرى أشدَّ سطوعاً، نحواً من 210،000 كم (130،000 ميل) من مركز الكوكب.

تنتشر المظاهرُ السَّحابيةُ المتبدِّلة الغنيَّة بالألوان، وكذلك النماذجُ الجوّية المعقَّدة، انتشاراً في الغلاف الجوّي الديناميّ المرصود؛ إذ تومض صواعقُ بَرْق فائقة، وتظهر أشكالٌ معقَّدة داخل الحُزُم belts المتحرّكة الدكناء اللون والمناطقِ الأخفّ منها لوناً lighter zones وفي ما بينها. وعلى حين أن الهيدروجين، والهليوم، والأثارة المكتشَفة من الميتان، وبخارَ الماء كلَّها عديمةُ اللون، ترى أن الكبريت أو مركَّبات الفوسفور والنشادر على أعماق مختلفة لا بدّ من أن تضفي على الغلاف الجوّي ألوانَه الزاهيةَ الحمراء والبرتقالية والصفراء والبنيّة، وسُحُبَه البيضاء. أما البقعةُ الحمراء الكبرى Great Red Spot المعروفة، فهي عاصفةٌ جوّيةٌ عملاقة رُصِدَتْ منذ أكثر من 300 سنة، مع تفاوت في قياسها ولونها ودرجة سطوعها. تدور البقعةُ الحمراءُ الكبرى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وهي تدور أيضاً حول الكوكب، وتتَّصف بأنها أقلُّ برودةً من السُّحُب المحيطة، وتعلو فوقَها إلى ارتفاعٍ قد يصل إلى 24 كيلومتراً (15 ميلاً). يلاحَظ أيضاً أن عواصفَ ودوّامات أصغر نطاقاً تنتشر في شتى أرجاء السُّحُب الشريطية.

تصل درجاتُ الحرارة إلى 160 كلڤن (170° فارنهايتية) عند قمم السُّحُب. ويمتد الغلافُ الجوّيُّ نحو الأسفل نحو 21،000 كيلومتر (13،000 ميل). تتزايد كثافةُ الهيدروجين باطّراد من القمة نحو الداخل مع تزايُد الضغط، إلى أن يتحوَّل إلى هيدروجين سائل. ولا بدَّ من أن يكون الضغطُ في الأسفل عالياً بدرجة تكفي لكبس الهيدروجين إلى حدٍّ بالغ الكثافة يسمى الهيدروجين المعدني السائل liquid metallic hydrogen.

وقد تبلغ درجاتُ الحرارة في لبّ الكوكب 30،000 كلڤن (53،000° فارنهايتية)، وذلك يفسِّر الأرصاد التي تشير إلى أن المشتري يُطلِق زهاء ضعفَيْ كميةِ الحرارة التي يتلقّاها من الشمس. ويُذكَر أن للكوكب حقلاً مغنطيسياً قوياً يَحتبِس الشواردَ (الأيونات) والإلكترونات في نظامٍ معقَّد من

حُزُم إشعاع شديد ضخمة. كذلك فإن تذبذبات البلازما (مجموعة من الأيونات والإلكترونات) تعلِّل شيئاً من الإصدار الراديوي المرصود في المشتري. ثم إن الحقلَ المغنطيسيَّ حقلٌ ثنائيُّ القُطب dipolar أساساً، إلا أنه يخالف الحقلَ المغنطيسيَّ الأرضيَّ في الاتجاه. ومن المحتمل أن يكون مصدرُه تياراتٍ كهربائيةً في طبقة الهيدروجين السائل، علماً بأن الحقلَ المغنطيسي للمشتري عند قمم سُحُبه أقوى من الحقل الأرضيّ بـ 1,5 ـ 7 أضعاف. ويتفاوت حجمُ الغلافِ المغنطيسيِّ الهائل للكوكب، ربما بسبب تغيُّرات في ضغط الريح الشمسية؛ فقد يمتدُّ باتجاه الشمس مسافة 7 ملايين كيلومتر (4 ملايين ميل)، ونحو الخارج قرابة 650 مليون كيلومتر (400 مليون ميل) حتى مدار كوكب زُحَل.

ولعلّ الغلافَ الجوّي للمشتري لافتٌ للنظر بنوعٍ خاص، إذ قد يكون شبيهاً بغلاف الأرض الأول.

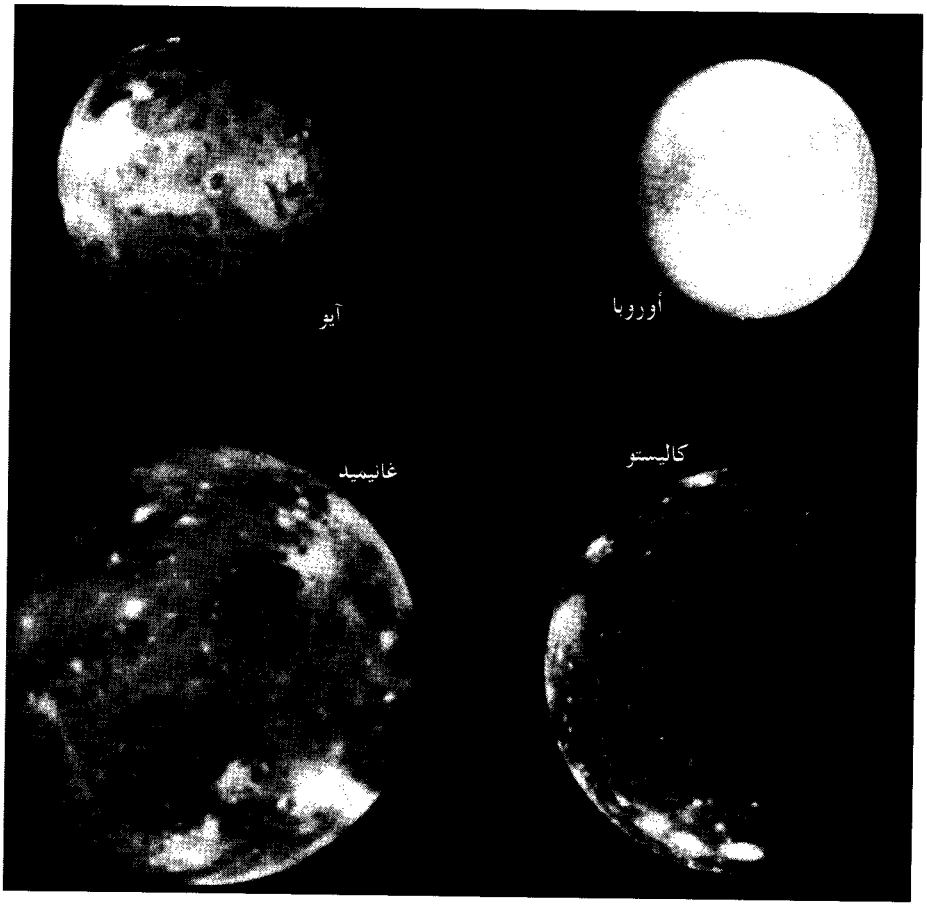
ممَّ يتألَّف جوُّ المشتري؟ .....

الجواب: يتألف بالدرجة الأولى من الهيدروجين والهليوم، مع أثارةٍ 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 مركبةُ غاليليو على أكبر أربعة منها تسمّى أقمار غاليليو Galilean moons، نسبةً إلى مكتشفها غاليليو غاليليه، يضاف إليها أعمق الأقمار الداخلية: مِتيس Metis وأمالثيا Amalthea وثيبِي Thebe (الشكل 21.9).

أما أمالثيا الصغير فيحاكي كرةً حمراء قانية تكتنفها آثار صدمٍ نيزكية.



الشكل 21.9 صورةٌ فوتوغرافيةٌ مركَّبة لأقمار غاليليو الأربعةِ الطوَافةِ بكوكب المشتري، التقطتها مركبةُ ڤوياجر الفضائية.

وأما آيو الغنيُّ بالألوان [فهو أقرب أقمار غاليليو إلى المشتري]، ويتميَّز ببراكينه النشطة التي تلفظ موادَّ حمميَّة غنيَّةً بالكبريت تلوِّن سطحه بألوان برتقالية زاهية وحمراء وبنِّيّة وسوداء وبيضاء. وما البقعُ البيضاءُ الناصعة على القمر آيو إلا صقيع من ثنائي أكسيد الكبريت. وما غلافُه الجوّي الواهي المتخلخل إلا غاز من ثنائي أكسيد الكبريت في المقام الأول. وأغلب الظن أن براكينه ناشئةٌ عن التسخين الذي يسبِّبه الشدُّ التثاقلي من أوروبا وغانيميد على آيو، والجذب الذي يعقبه عليه من المشتري لإعادته إلى مساره النظامي،

فتتولّد عن ذلك انتفاخاتٌ مدِّيَّة tidal bulges على سطح آيو أكبر مئةَ مرة من الانتفاخات المدِّيَّة على الأرض، التي تبلغ عادةً متراً واحداً (3,3 أقدام).

تحوم سحابةٌ عملاقةٌ من الجُسَيْمات المشحونة، تتألف أساساً من أيونات الكبريت والأكسجين، حول المشتري على بُعد القمر آيو منه. والمرجَّح أن تلك الجسيمات منتَزَعةٌ من آيو بفعل القوى المغنطيسية، ولاسيما إذا علمنا أن الغلافَ المغنطيسيَّ للمشتري يدور معه. وقد تنتقل أيضاً جُسَيماتُ السحابة على امتداد خطوط الحقل المغنطيسي للكوكب داخل غلافَيْه القطبيَّين الشمالي والجنوبي، مسبِّبةً مشاهد شفقيةً مشتروية أخّاذة.

وثمة دليلٌ قاطعٌ على وجود جليدٍ مائي على سطوح الأقمار: أوروبا وغانيميد وكاليستو. يلاحَظ أن أوروبا ـ الذي يناهز قمرَنا حجماً وكثافةً ـ هو أسطعُ أقمار غاليليو، وقد تَخْتَزِن قشرتُه الجليديةُ الملساء، التي تتقاطع عليها خطوطٌ طويلةٌ، بحراً محيطاً من المياه سخَّنَتْها الحرارةُ المدّيّة.

يتألّف غانيميد وكاليستو من نسبة من الماء قد تصل إلى 50 في المئة، تشوبها موادّ صخريّة. وغانيميد أكبرُ قمر معروف في المنظومة الشمسية، إذ يبلغ قطره 5260 كم (3261 ميلاً)، وعلى سطحه مساحاتٌ دكناء قد توحي بالقِدَم، تغشاها فوَّهاتٌ كثيرةٌ ومظاهر تضاريسيةٌ أزهى لوناً وأكثر فتوَّةً تتميز بوجود أثلام وأخاديدَ فيها، تُنْبئ بنشاط تكتونيٍّ شامل. ويبدو سطحُ كاليستو أكثرَ صنوانِه قِدَماً، وتنقبه فوَّهاتُ صَدْم كثيرة. ولعلَّ أكبر الفوَّهات قد انطمست عبر الزمان بتدفُّق القشرة الجليديةً عليها. ويرصد العلماءُ معالمَ تشبه مخلَّفات أحواض كبيرة جداً ربما تنهض دليلاً على حوادث تصادمٍ بقطعٍ ضخمةٍ من الصخر والمعدن.

(أ) ما هو أكبر قمرٍ في المنظومة الشمسية؟ .....

(ب) وكم قطره؟ .....

الجواب: (أ) غانيميد؛ (ب) 5260 كم (3261 ميلاً).

16.9 زُحَل

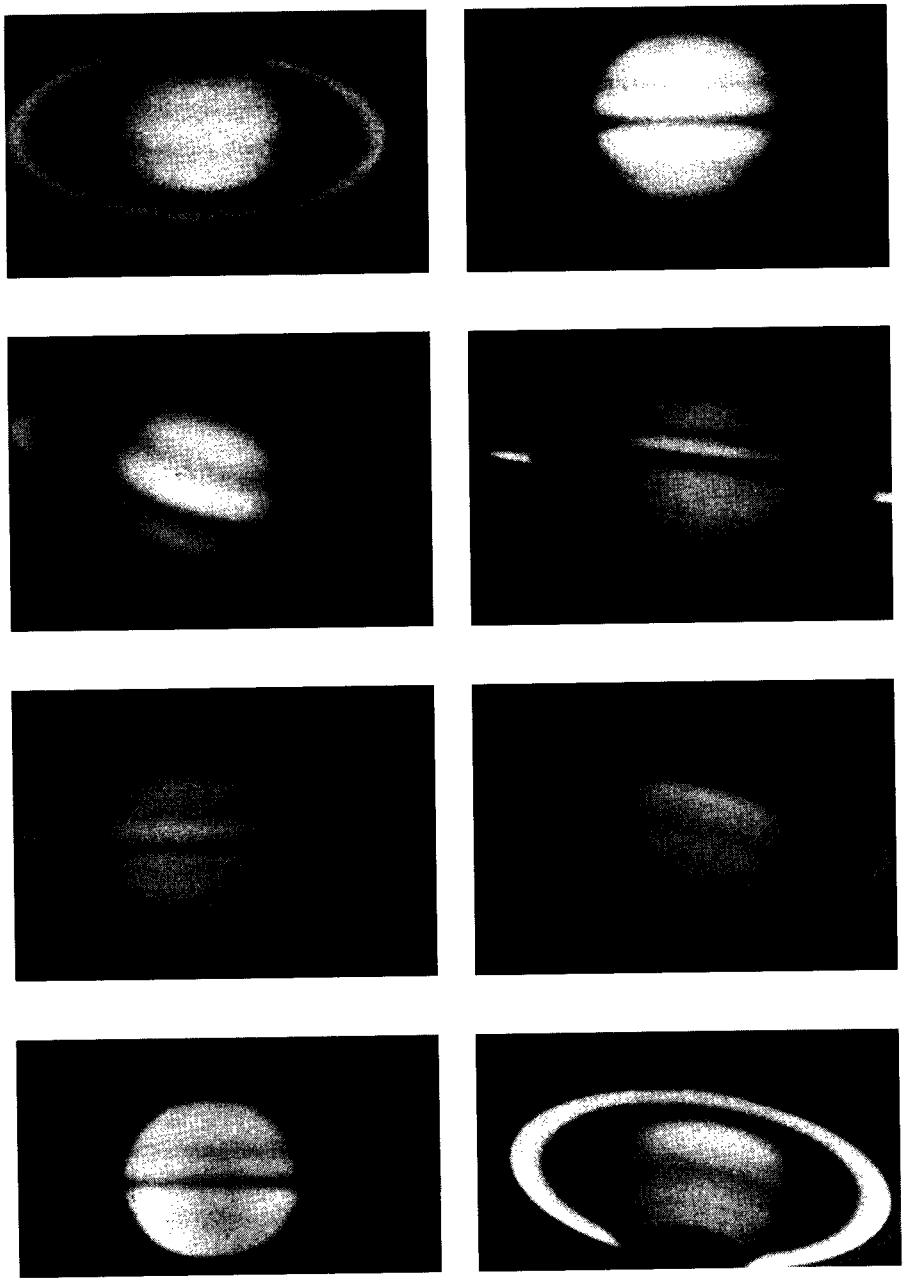
زُحَل Saturn أبعدُ الكواكب الساطعة، استَمدَّ اسمَه من ساتورن آلهةِ الزراعة عند الرومان. تُميِّزه حلقاتٌ باهرةُ الضوء (الشكل 22.9) سُمِّيت وفقاً لترتيب اكتشافها ـ اعتباراً من الكوكب باتجاه الخارج ـ بحروفٍ عُرِفَتْ بها هي: D، C، B، A، F، G، E.

تُرى الحلقاتُ بزوايا كثيرة، حتى 29°، لأن الأرض وزُحَل كليهما يدوران حول الشمس. ولما كان زُحَل يستغرق 29,5 سنة ليُتمَّ دورتَه حول الشمس، فإننا نراه في اتجاه واحد بالنسبة إلى الأرض في المنطقة نفسها من السماء مدةَ شهور. ومع أن أسطع حلقاته تبلغ 65،000 كم (40،000 ميل) عرضاً، إلا أنها رقيقةٌ لا تتجاوز بضعة كيلومترات (أميال) سُمكاً، بحيث يمكن رؤيةُ النجوم من خلالها (الشكل 22.9).

حلَّقت مركبةُ ڤوياجر 1 سنة 1981 على بُعد 64،200 كم (40،000 ميل) من ذُرى سُحُب زُحَل، ثم ڤوياجر 2 سنة 1982 على بُعد 41،000 كم (26،000 ميل) منها. وبَثَّت المركبتان 33،000 صورة للمنظومة الزُّحَليَّة.

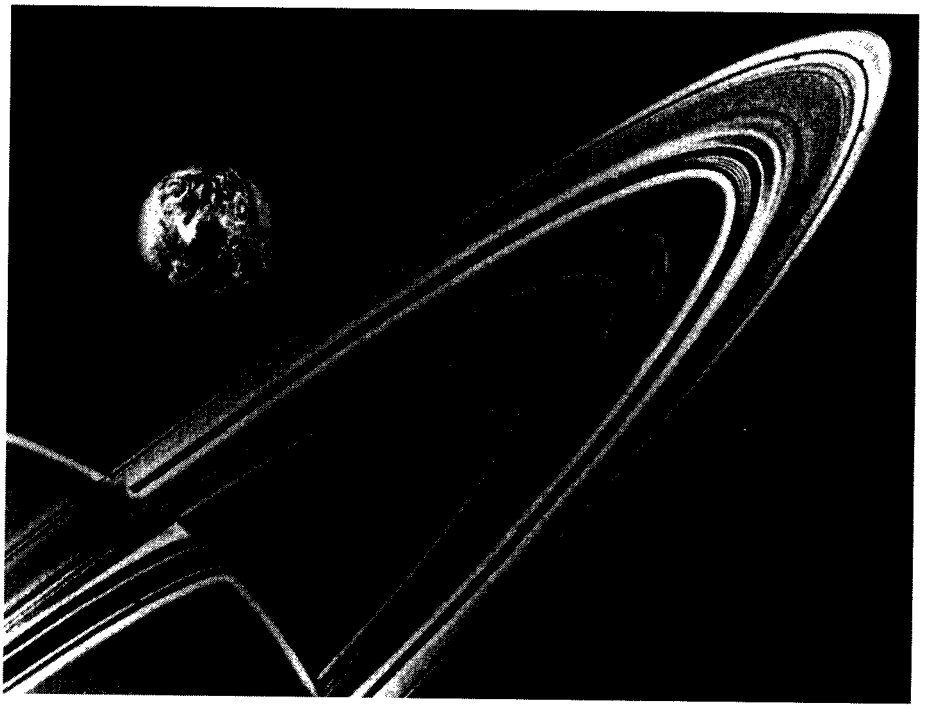
تتألف حلقاتُ زُحَل من جُسَيْمات جليديّة أشبه بكُرات ثلجية أو صخور مكسوَّة بالجليد تطوف حول زُحَل، بعضُها لا يتجاوز حجمَ هباءة الغبار، في حين يصل بعضُها الآخر إلى حجم جلمودٍ كبير. وهي تضيء بانعكاس ضوء الشمس عليها. ويُحتَمل أن تكون الجسيماتُ الكبيرةُ مخلَّفاتِ أقمارٍ هشَّمَتْها الصَّدمات، والصغيرةُ من نواتج حوادث الصَّدم؛ أو قد تكون الحلقاتُ مادّةً لم يُكتَب لها أن تجتمع في قمر واحد.

مئاتٌ من حُلَيقاتٍ ringlets دقيقة هي التي تؤلِّف الحلقات A وB و C، وهذه يمكن رؤيتُها بمقاريب صغيرة. يُلاحَظ في الحلقة B وجود معالم طويلةٍ تشبه شعاع الدولاب، ربما تكون جُسَيْماتٍ دقيقةً مضيئةً أثارتها القوى الكهرساكنة.



الشكل 22.9 هيئات كوكب زُحَل كما يبدو من الأرض. حَدَثَ أكبر مَيْلٍ للطرف الشَّمالي للحلقات باتجاه الشمس سنة 1987؛ يتَّجه الطرفُ الجنوبي للحلقات حالياً شطر الشمس. رُصِدت الحلقاتُ على حرفها آخر مرة سنة 1996.

في سنة 1979 اكتَشَفت المركبةُ الأمريكيةُ الرَّبوطيّة پيونير Pioneer 11 الحلقةَ F. وتتَّصف هذه الحلقةُ بأنها ذات حُلَيْقاتٍ منفصلة تتضافر جزئياً وتنفتل بتأثير القوى التثاقلية لقمرَيْن صغيرَيْن «يَرْعَيان» تماسُك مادَّةِ الحلقة[1]. وقد أكَّدَتْ مركبةُ ڤوياجر 1 وجودَ الحلقتَيْن D و E، واستطاعت اكتشافَ الحلقة G (الشكل 9.23).



الشكل 9.23 حلقات زُحَل كما صوَّرتها مركبةُ الفضاء ڤوياجر، محسَّنةً بالكمبيوتر لإظهار التفاصيل الدقيقة. الحلقاتُ الساطعة أعرض بنحو خمس مرات من الأرض (تَظهران في الصورة بمقياسٍ واحد)، في حين لا يكاد يتجاوز سُمْكُها 100 متر.

(1) لذلك تسمى أمثال هذه بالأقمار الرُّعاة shepherding satellites. (المعرِّب)

وكوكب زُحَل - شأن المشتري - كرةٌ غازيةٌ هائلة متعدِّدة الطبقات، ذات لبٍّ صغيرٍ نسبياً مؤلَّف من الحديد والسيليكات. غلافُه الجوّيُّ ديناميٌّ مسطَّحٌ عند قطبَيْه بسبب دورانه السريع حول محوره. على أن ألوانَه ومعالمه، من قبيل الحُزُم والمناطق والأشكال الإهليلجية المعمَّرة، أقلُّ تَميُّزاً بكثير لوجود طبقة سديميَّة فوق السُّحُب المرئية. صحيحٌ أن لغلاف زُحَل الجوّيِّ مكوِّنات المشتري نفسها، ولكن بنسَبٍ مختلفة؛ فهو يحتوي على أقل من نصف مقدار الهليوم. ويجدر بالذكر أنَّ ما يطلقه زُحَل من الطاقة يفوق ما يمتصُّه منها عن طريق الشمس. ولعلَّ ترسُّب الهليوم من الغلاف الجوّي المكوَّن أساساً من الهيدروجين هو الذي يمدُّ الكوكبَ بحرارته الداخلية.

وعلى فواصل زمنية تقارب 29,5 سنة، يتلقّى نصفُ الكرة الشمالي من زُحَل حرارةً أعظميةً من الشمس، فتظهر فجأةً بقعةٌ بيضاءُ عظيمةٌ بقطر آلاف الكيلومترات، إن هي إلا عاصفةٌ غازيّة عملاقة مندفعةٌ من أعماق الغلاف الجوي للكوكب. مثال ذلك البقعةُ الإهليلجية البيضاء العظيمة The Great White Oval التي ظهرت بتاريخ 24 أيلول (سبتمبر) 1990 وانتشرت على مسافات واسعة من المنطقة المدارية للكوكب في شهر تشرين الأول (أكتوبر)، ثم خَبَتْ وغابت عن النظر في شهر تشرين الثاني (نوفمبر).

تحدث أعتى الرياح، التي تزيد سرعتُها على 1600 كم/ساعة (1000 ميل/ساعة)، في المنطقة الاستوائية من زحل، وهي أعتى بكثير من رياح المشتري؛ إذ تقع درجاتُ الحرارة عند ذُرى السُّحُب بين 86 كلڤن (305° فارنهايتية) قرب مركز المنطقة الاستوائية و 92 كلڤن (294° فارنهايتية). يصحب ذلك إصداراتٌ شَفَقيَّة والتماع برق.

ومع أن كتلةَ زُحَل تفوق كتلةَ الأرض 95 مرة، وحجمه يتجاوز حجمها 844 مرة، فإنّ لَه أخفضَ معدَّل كثافة بين الكواكب جميعاً، وهذا يستتبع أن يطفو على وجه الماء لو أن بحراً واسعاً أتيح له الوجود في مكانٍ ما!

يبلغ الغلافُ المغنطيسيُّ لزُحَل زهاء ثُلُث حجم غلاف المشتري، ويتغيَّر ـ هو أيضاً ـ مع تغيُّر شدَّة الرّيح الشمسية. وقد يمتد باتجاه الشمس قرابة مليونَيْ كم (مليون ميل). يجتذب الحقلُ المغنطيسيُّ الجُسَيْماتِ المشحونةَ المحدقة بزُحَل في أثناء دورانه حول نفسه.

هذا وقد أَطلقَ العلماءُ في الولايات المتحدة وأوروبا سنة 1997 مركبةً فضائيةً أسموها كاسّيني Cassini لاستكشاف زُحَل سنة 2004. وقد رُسِمَ للمركبة أن تنشطر لدى اقترابها من الكوكب إلى قسمين:

1) مسبارٍ أُطلق عليه اسم هايغِنْز Huygens، مهمَّتُه إجراءُ اختبارات والتقاطُ صُوَر في أثناءِ انحداره عبر الغلاف الجوّي للقمر تيتان Titan، وبَثُّ تقرير مُجْمَل عن السطح فيما إذا حطَّ المسبار بسلام وسارت الأمور على ما يرام؛ 2) مركبةٍ طوّافةٍ لبثِّ معطيات علمية عن زُحَل وأقماره مدةَ أربع سنوات متواليات.

(أ) ممَّ تتألَّف حلقاتُ زُحَل؟ .....

.....

(ب) هل لك أن تعطي تفسيراً لمظهرها المصْمَت عند استعمال مقراب صغير؟ .....

.....

.....

الجواب: (أ) جُسَيْمات جليدية يقع حجمُها ما بين هباءة غبار وجلمود ضخم، تشبه كراتِ ثلجٍ جليديةً أو صخوراً مكسوَّةً بالجليد، تطوف بزحل؛ (ب) كثرة عدد الجُسَيْمات وبُعدها الكبير عنّا. (تذكَّر كذلك أن المجرّات النائيةَ تبدو مصمتةً هي الأخرى، مع أنها مؤلَّفةٌ من مليارات النجوم المنفصلة).

17.9 أقمار زُحَل

لِزُحَل 18 قمراً مؤكَّداً وعدّةُ أقمارٍ مظنونة (الجدول 3.8). ويُحتمل اكتشافُ أقمارٍ أخرى في ضوء تواصُل جهود العلماء في تحليل الكمّ الضخم من المعطيات التي وفّرتها مركبة ڤوياجر.

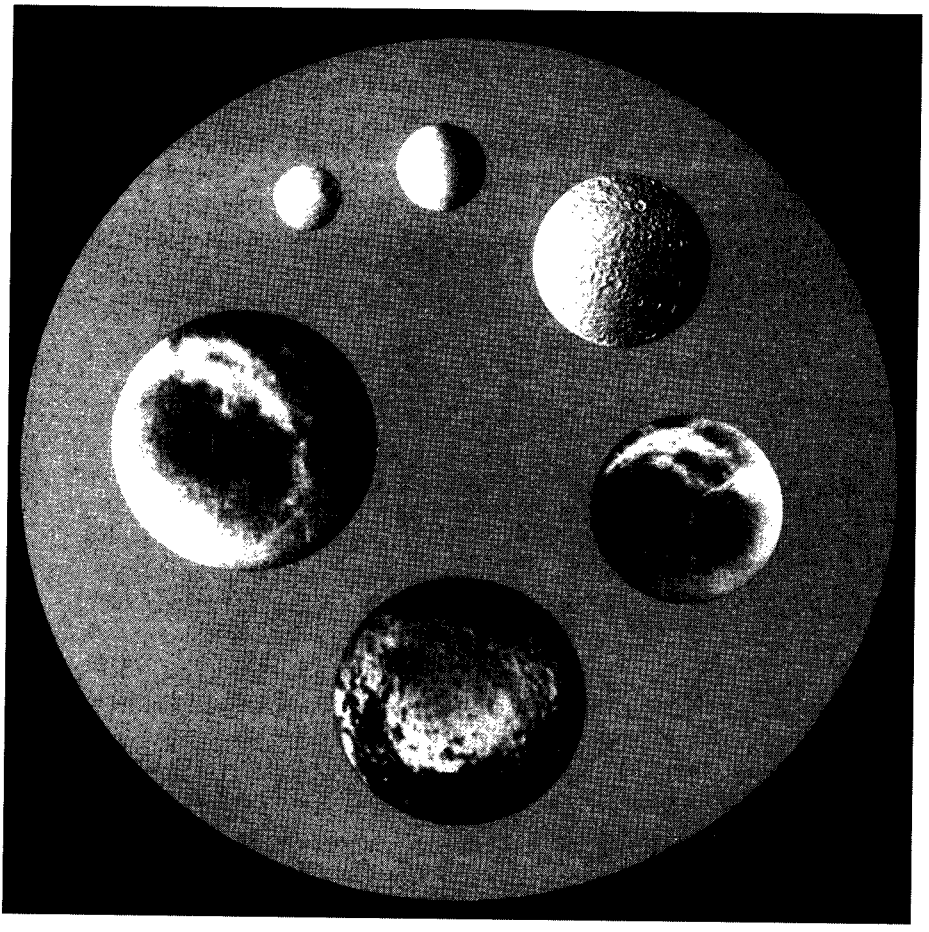
وتيتان Titan أكبرُ أقمار زُحَل[1] وأكثرها إثارة (الشكل 24.9)؛ فغلافه الجوّي - المصطبغ بلون برتقالي - غلافٌ حقيقيٌّ ملموس يطغى على تركيبه الآزوت، إضافةً إلى مركّبات هيدروكربونية كالميتان. ولربما تجري فيه عملياتٌ حيويَّةٌ أوّلية prebiotic processes. يختفي سطح تيتان تحت طبقة من سديمٍ كثيف. ويغلب على الظن أنه مركّبٌ من الصخر والجليد، مع إمكان وجودِ بحرٍ من مركّبَي الميتان والإيتان السائلَيْن. وتبلغ درجةُ حرارته السطحية وضغطُه السطحي 94 كلڤن (-292° فارنهايتية).

وأما الأقمار: ميماس Mimas، وأنسيلادوس Enceladus، وتيثيس Tethys، ودايوني Dione، ورِيا Rhea، فيبدو أنها مؤلَّفة في معظم تركيبها من جليد مائي، وجميعُها - فيما عدا أنسيلادوس - مثقلٌ بالفوَّهات. كذلك يتألف هايپيريون Hyperion، وأياپيتوس lapetus فيما يبدو من جليد مائي.

وفي حين يظهر هايپيريون على أنه أقدم أقمار زُحَل، وبوجود مظاهر تدل على تعرُّضه قبلُ لصدم أحجارٍ نيزكية، يُلاحَظ على أياپيتوس مادةٌ ثلجيةٌ دكناءُ على طرفَيْه المتقابلَيْن. لكن أكثر ما يَلفت النظرَ هو أن القمر فيبِي Phoebe يدور بحركة تراجعية.

ثمة ثمانية أقمار صغيرة أخرى ذات أشكال غير منتظمة، تشير إلى أنها شظايا أجرامٍ عظيمة تحطَّمت. فالقمر پروميثيوس Prometheus «يرعى» الحافّة

(1) يبلغ قطره نحو 5000 كيلومتر (3000 ميل)، أي إنه أكبر قطراً بقليل من كوكب عطارد، ويقارَن من حيث كتلته ونصف قطره بأقمار المشتري الكبيرة كغانيميد وكاليستو. (المعرّب)



الشكل 9 . 24 تيتان ـ أكبر أقمار زُحَل ـ (بدون غلافه الجوّي الغليظ)، والأقمار المتوسطة الحجم معروضة بمقياس تصويرٍ واحد في هذه الصورة المركَّبة مما بثَّته مركبةُ ڤوياجر.

الداخلية للحلقة F، ويرعى القمرُ پاندورا Pandora حافَتها الخارجية. ويُذكَر أن تأثيرهما التثاقلي على مسافات متفاوتة قد يسبِّب انفتال الحلقة.

أيُّ أقمار زُحَل هي أكبرها وأكثرها إثارة؟ اشرح .....

.....

الجواب: تيتان. له غلاف جوّي ملموس يغلب على تركيبه الآزوت والمركَّبات الهيدروكربونية. ولربما تجري فيه عملياتٌ حيويَّةٌ أوّلية.

18.9 أورانوس

كان أورانوس Uranus أولَ كوكبٍ جرى تعرُّفه بوساطة مقراب، عندما اكتشفه سنة 1781 عالِمُ الفلك البريطاني ويليام هيرشل William Herschel (1822-1738) باستعمال مقرابٍ قياسُ فوّهته 150 مم (6 بوصات) من صنع يده. كان مرشَّحاً ليُطلَق عليه اسمٌ منسوبٌ إلى الملك جورج الثالث [الذي اكتُشِف الكوكبُ في عهده]، إلا أنه سُمِّيَ أخيراً أورانوس نسبةً إلى إله السماوات في الأساطير الإغريقية القديمة.

يبدو كوكبُ أورانوس، الذي يبلغ قَدْرُه الأعظمي +5,7، كقرصٍ صغير (يتَّخذ لوناً أزرق أحياناً) عند رصده بمقراب. ويمكنك رؤيتُه بعينك المجرَّدة أو بمنظارك إذا عرفتَ أين تنظر وأنت ترعى السماء (انظر «المصادر المفيدة» في نهاية الكتاب).

كان الكوكبُ مصدرَ غموضٍ وإبهامٍ إلى حدٍّ بعيد، إلى أن حلَّقَتْ مركبةُ ڤوياجر 2 سنة 1986 على بُعد 81،500 كم (50،600 ميل) من ذُرى سُحُبِه، وبَثَّتْ 7000 صورة لمنظومة أورانوس.

يتميَّز أورانوس بِمَيلانه الشاذِّ على جانبه، وتحيط به منظومةٌ من حلَقات ضيِّقة، وهو بذلك يشبه «عين ثور» bull's eye عملاقة. تبلغ الزاويةُ الفريدة بين محوره وقطب مداره 98°. وتتعرَّض مناطقُه القطبيةُ الشماليةُ والجنوبية لضياء الشمس والظُّلمةِ على التناوب في أثناء تطوافه حول الشمس، مع العلم بأن دورانَه المحوريَّ تراجعيٌّ.

ولعلَّ أورانوس تعرَّضَ في المراحل الأولى من تاريخه لتصادُمٍ مع جِرمٍ بحجم كوكب زَعْزَعَه فمالَ نتيجةً لذلك.

يطغى على تركيب غلافِه الجوّيِّ الهيدروجينُ ونحو 15 في المئة هليوم ومقادير ضئيلة من الميتان وغيره من المركَّبات الكربوهيدراتية. ويعود سببُ ما يبدو عليه من زرقة في اللون إلى أنَّ غاز الميتان يَنْزِعُ إلى امتصاص الضوء الأحمر من ضوء الشمس. وفي غلافه الجوّي سُحُبٌ تمرُّ من الشرق إلى الغرب، شأنَ سُحُب كوكَبي المشتري وزُحَل.

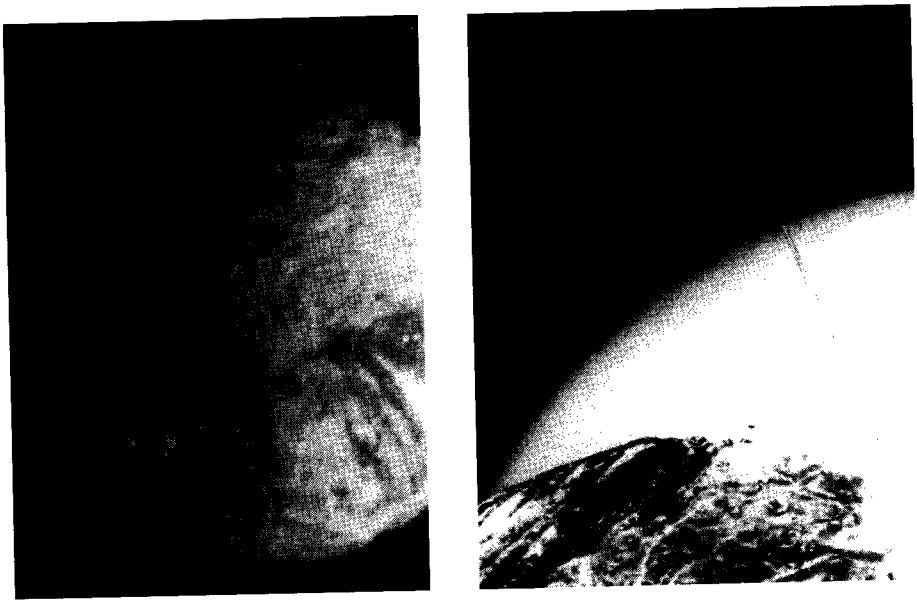
تهبّ الرياحُ فيه باتجاه دوران الكوكب، وبسرعات تقع بين 40 و 160 م/ثا (90 و 360 ميل/ساعة). ومن عَجَبٍ أنَّ ذُرى سُحُبه ـ المضاءَة منها بالشمس والمظلمة ـ تُبدي معدَّلَ درجةِ حرارةٍ واحداً يقارب 60 كلڤن (-350° فارنهايتية).

وقد كَشَفَتْ مركبةُ ڤوياجر 2 عن وجود سديمٍ 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 غلافٌ مغنطيسيٌّ ذو حُزُم إشعاعٍ شديد وإصداراتٍ راديوية قويَّة. ويميل محورُ حقلِه المغنطيسي بزاويةٍ مقدارها 60° باتجاه محور الدوران. ويُظهِر حقلُه المغنطيسيُّ تماثُلاً مع الحقل المغنطيسي الأرضيّ من حيث الشدَّة، غير أنه يتفاوت تفاوتاً أكبر بكثير بسبب انزياحه عن مركزه. وربما تولَّدَ هذا الحقلُ نتيجةً لوجود بحرٍ محيطٍ من الماء والنشادر، موصِلٍ كهربائياً ومضغوطٍ ضغطاً فائقاً، يقع بين الغلاف الجوّيِّ للكوكب ولبِّه الصخري.

يمتد خلفَ الكوكب ذيلٌ مغنطيسيّ magnetotail أسطوانيٌّ دوّار مسافةً لا تقلّ عن 10 ملايين كيلومتر (6 ملايين ميل)، ينفتل متَّخذاً شكلَ نزّاعة سدادات فلّينية corkscrew متطاولة بفعل الدوران الاستثنائي للكوكب.

ثمة إحدى عشرة حلقةً ضيِّقة تختلف اختلافاً واضحاً عن حلقات المشتري وزُحل (الشكل 25.9)، وهي دكناء قاتمةٌ تتألَّف في معظمها من



الشكل 25.9 (أ) ميراندا، أحد أقمار أورانوس، في صورةٍ مركَّبة مما بثَّته مَرْكبةُ ڤوياجر 2. (ب) حلقات أورانوس كما تَصوَّرها فنّان، رُسِمتْ فوق صورةٍ مركَّبة من صور ڤوياجر 2. يَظهر سطحُ القمر ميراندا في أمامية الصورة.

قطع جليدية كبيرة بقطر عدة أقدام. ويُعتَقد أنَّ التعرُّضَ الشديد للإشعاع ربما أسبَغَ على أيٍّ ميتانٍ محتبَسٍ في سطوحها الجليدية ذاك اللون القاتم. وتلاحَظ مساربُ lanes غباريةٌ عابرةٌ ما إن تبدو حتى تختفي. ولا بدَّ من أن هذه القطع الغليظة تتلاطم في ما بينها مولِّدةً الغبار الدقيق الذي يبدو منتشراً في جميع أنحاء المنظومة الحلقية الأورانوسيَّة. وقد رَصَدت مركبةُ ڤوياجر 2 حول أورانوس ظاهرةَ سَحْبٍ جوّي atmospheric drag ناشئ عن إكليلٍ هيدروجيني hydrogen corona. هذا السَّحْب الجوّي ربما يتسبَّب في دخول الجُسَيْمات الغبارية لولبياً إلى داخل الكوكب.

ويوحي وجودُ حلقاتٍ غير تامة، وكذلك تغيُّر الكُمدة opacity في عدد من الحلقات الرئيسية، بأن منظومة الحلقات ربّما تكوَّنت بعد أورانوس نفسه. وقد تكون الجُسَيْماتُ الحلقيَّةُ أنقاضاً لقمرٍ تهشَّم بفعل حادثة صدمٍ عالية السرعة، أو تمزَّقَ بظواهر تثاقلية.

ما سبب مَيَلان كوكب أورانوس على محوره؟ .....

.....

الجواب: من المحتمل أنَّه تعرَّض في المراحل الأولى من تاريخه لتصادمٍ زعزعَه.

19.9 أقمار أورانوس

تطوف بأورانوس خمسةُ أقمارٍ كبيرة، وما لا يقلّ عن اثني عشر قمراً صغيراً (انظر الجدول 3.8).

ولا يبدو أكبر هذه الأقمار في السماء أكثر من نُقَطٍ ساطعة صغيرة، حتى باستعمال المقاريب الكبيرة. أولُ ما اكتُشِف من هذه الأقمار هو تيتانيا Titania سنة 1787، وآخر ما اكتُشِف منها ميراندا Miranda سنة 1948. وقد وَجَد العلماء مما وفَّرته لهم مركبةُ ڤوياجر 2 أن أقمار أورانوس تكتُّلاتٌ صخريةٌ ـ جليدية رماديةٌ دكناء يؤلِّف الجليدُ المائي في ما يبدو نحواً من 50 في المئة من تركيبها، في حين يتألف 20 في المئة من الكربون والمواد التي تقوم على الآزوت، و30 في المئة من الصخر.

ميراندا ـ أصغر الخمسة ـ يبدو أغربَها على الإطلاق (الشكل 25.9)؛ فهو يضمُّ أخاديد صدعيَّةً بعمق 20 كم (12 ميلاً)، وطبقات منحدرةً ومستوية (مصاطب)، ومظاهر تضاريسية منكسرة (على شكل V)، وجبالاً شديدة البروز، وسهولاً منبسطة مترامية. هذا المزيج غير المتَّسق من الأنماط

التضاريسية المتغايرة، على سطوحٍ هرمةٍ وفتيَّة، يدلُّ على تنوُّعٍ في النشاط التكتونيِّ والصدم العنيف والتسخين المدّي الذي يسبِّبه الشدُّ التثاقليُّ لكوكب أورانوس على قمره.

يبلغ حجمُ أكبر قمرَيْن: تيتانيا وأوبيرون Oberon زهاء نصف حجم قمرنا. أما آرييل Ariel فهو أسطعها، وقد يكون سطحُه أكثرَها فتوَّةً بما يحويه من وديانٍ متصدِّعة ونماذج تدفُّقٍ جليدية واسعة النطاق. وإذا كان الأمر كذلك هنا، فإن تيتانيا يضمُّ منظوماتٍ صدعيَّةً هائلةً وأخاديد عميقةً تشهد بوجود فعاليةٍ جيولوجيةٍ ماضية، على حين أن سطحَيْ أمبرييل Umbriel وأوبيرون القاتِمَيْن يبدوان هَرِمَيْن ومثقلَيْن بالفوَّهات، وذلك يوحي بمحدودية النشاط الجيولوجي الماضي فيه.

اكتُشِفتْ بوساطة المركبة ڤوياجر 2 عشرةُ أقمارٍ صغيرة يبلغ قُطرُ أكبرها پَكْ Puck 155 كيلومتراً (96 ميلاً)، ويتركَّب أكثر من نصفها من الصخر والجليد. يرعى القمران پورشيا Portia وروزاليند Rosalind الحلقةَ الخارجيةَ إپسيلون epsilon لإبقائها ضمن منطقة ضيّقة.

(أ) بِمَ يختلف سطحا القمرَيْن آرييل وأمبرييل؟ .....

.....

(ب) علامَ تدلّ هذه الاختلافات؟ .....

.....

الجواب: (أ) آرييل ساطعٌ كثير الصدوع، تظهر فيه تدفُّقات واسعة النطاق من مادّةٍ جليدية؛ أما أمبرييل فقاتمٌ وهَرِم ومثقَل بالفوَّهات؛ (ب) آرييل: نشاط جيولوجي؛ أمبرييل: ضعف في النشاط الجيولوجي.

20.9 نپتون

عندما حلَّقت مركبةُ ڤوياجر 2 على بُعد 5000 كم (3000 ميل) من نپتون Neptune سنة 1989، كان هذا الكوكبُ أبعدَ الكواكب عن الشمس. وقد أتاحت لنا الصُّوَرُ التي بثَّتها ڤوياجر - وعددها 8000 صورة - إلقاءَ أول نظرة فاحصة على المنظومة النپتونية (الشكل 26.9). وكما في أورانوس، فإن لنپتون غطاءً من سُحُب غليظة من الهيدروجين والهليوم والميتان، يبدو بلونٍ أزرق زاهٍ.

الشكل 26.9 كوكب نپتون كما صوَّرَته مركبةُ الفضاء ڤوياجر 2. الصورة محسَّنةٌ بالكمبيوتر لإظهار التفاصيل الدقيقة. لوحِظَ تغيُّرٌ في مظهر السُّحُب الساطعة بالقرب من البقعة القاتمة الكبرى 1989 في غضون ساعات.

عُدَّ اكتشاف نپتون فتحاً حقيقياً في علم الفلك النظري. فقد لاحظ كلٌّ من الفلكيَّيْن: الإنكليزي جون آدمز John Adams (1819 - 1892) والفرنسي

أوربان لوفيرييه Urbain Leverrier (1811 ـ 1879) أن كوكبَ أورانوس لا يتبع المسارَ الذي يقتضيه قانون نيوتن في الثقالة بدقة، فاستنتجا أن حركته تضطرب بفعل قوةٍ ثقاليةٍ لكوكبٍ آخر مجهول، تنبّآ بموقعه في السماء.

وفي سنة 1846 استطاع الفلكي الألماني يوهان غاليه Johann Galle (1822-1910) من مرصد برلين تحديدَ الموضع المتوقَّع، ووجَدَ نپتون فعلاً. سُمِّيَ الكوكبُ نسبةً إلى آلهة البحر عند قدماء الرومان.

ومع أن نپتون ـ وهو أصغر الكواكب الغازية العملاقة ـ لا يتلقّى من ضوء الشمس سوى نسبة 3 في المئة مما يتلقّاه المشتري منه، إلا أنه يتمتع بغلاف جوّيٍّ ديناميّ؛ إذ إن أعتى الرياح على أيِّ كوكبٍ هناك تهبُّ جهةَ الغرب، خلافاً لاتجاه الدوران المحوريّ. وتظهر عدة بُقَعٍ دكناء كبيرة، وسُحُبٍ عالية طويلة ساطعة، وخطوطٍ شريطية وأعمدة.

كانت البقعةُ القاتمةُ الكبرى Great Dark Spot 1989 فيما مضى عاصفةً عملاقةً بحجم الأرض (تشبه البقعةَ الحمراءَ الكبرى للمشتري)، طوّافةً حول نپتون مرةً كلَّ 18,3 ساعة. وفي الجوار تهبُّ الرياح بسرعة 2000 كيلومتر (1200 ميل) في الساعة. ثم اختفت البقعةُ القاتمةُ الكبرى 1989 نهائياً، وظهرت بقعةٌ جديدةٌ شمالية هي البقعةُ القاتمة الكبرى Great Dark Spot 1994 التي صوَّرها مقرابُ هَبلْ الفضائي.

يميل الحقل المغنطيسيُّ لنپتون ميلاً كبيراً يبلغ 47° عن محور الدوران، وهذا ينبئ بوجود دفقٍ في باطنه. يتسبَّب الحقلُ المغنطيسيُّ بحدوث إصداراتٍ راديوية وظواهر شفقية ضعيفة.

رَصَدتْ مركبةُ ڤوياجر أربعَ حلقات تُطوِّق نپتون، وهي منتشرةٌ على مساحة واسعة، ومادتُها رقيقةٌ جداً لم يُفلِح العلماءُ باستبانتها تماماً من الأرض.

لماذا عُدَّ اكتشافُ نپتون فتحاً في علم الفلك النظري؟ .....

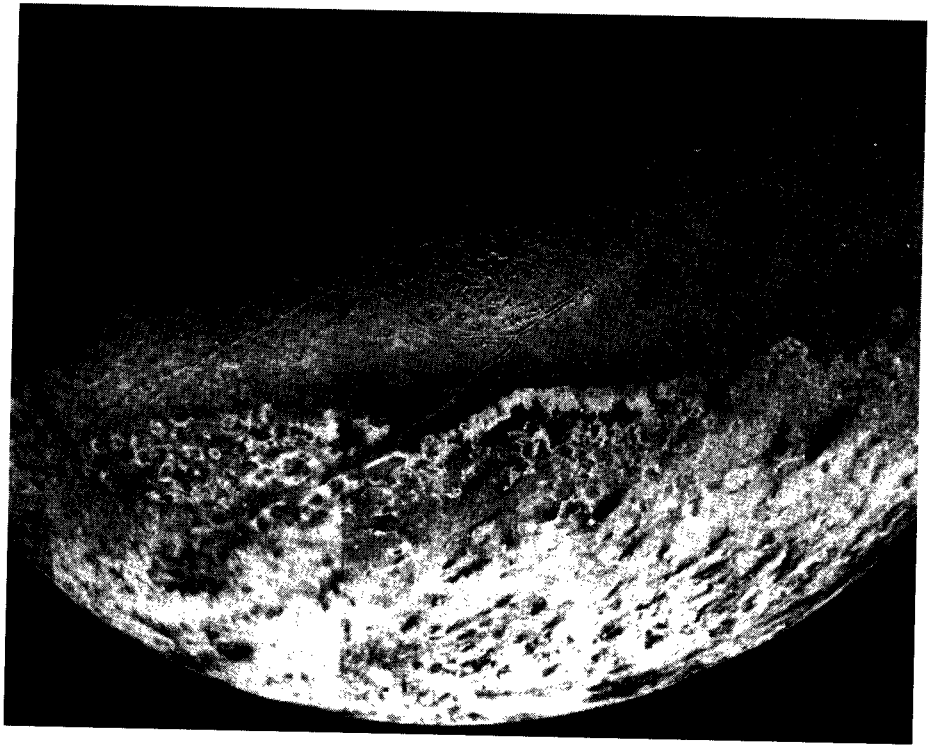
.....

.....

الجواب: تنبَّأت الدراساتُ النظرية بحتمية وجود كوكبٍ غير مرئي. ثم اكتُشف نپتون فعلاً بالبحث عنه في السماء عند البقعة المتوقَّعة نظرياً.

21.9 أقمار نپتون

لنپتون ثمانيةُ أقمارٍ مؤكَّدة (الجدول 3.8)، أكبرُها وأهمُّها ترايتون Triton (الشكل 27.9). وأَظهرتْ معطياتُ مركبة ڤوياجر أنَّ سطحَ ترايتون



الشكل 27.9 ترايتون، أكبر أقمار نپتون، ويظهر منه نصفُ الكرة المواجِه لكوكبه الأم، في تركيبةٍ من 12 صورةٍ بثَّتها مركبة ڤوياجر 2.

يحتوي على ميتانٍ جليديّ، كما كَشَفَتْ قياساتٌ حديثةٌ بالأشعة تحت الحمراء عن وجود غازَيْ أول أكسيد الكربون وثنائي أكسيد الكربون، وعن قطعٍ جليدية من هذا الأخير كذلك. ورُصدت اندفاعاتٌ نشطةٌ شبيهةٌ بنبعٍ فوّار تَقذِف بغازٍ من الآزوت غير المرئي وجُسَيْمات من الغبار الأدكن نحو الأعلى مسافةَ عدة كيلومترات في جوِّ الفضاء. واللافت أن درجةَ الحرارة السطحية لترايتون هي أبرد ما رُصِد من مناطق المنظومة الشمسية برمَّتها على الإطلاق، وتبلغ نحو 38 كلڤن (-391° فارنهايتية). ويلاحَظ أن لون قلنسوته القطبية الجنوبية الكبيرة ضاربٌ إلى الوردي، وأنه أميَلُ إلى القتامة والاحمرار اعتباراً من الحافة المثلمة باتجاه الشَّمال، ربّما بسبب تلوُّنه بالضوء فوق البنفسجي وإشعاع غلافه المغنطيسيّ الذي يؤثِّر في غاز الميتان الموجود في غلافه الجوّي وسطحه.

يمتد غلافٌ جوّيٌّ رقيقٌ 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 تُكوِّن جُسَيْماتُ الآزوت الجليدي سُحُباً رقيقةً فوق سطحه ببضعة كيلومترات.

ثمة ستة أقمارٍ صغيرة دكناء اكتشفتها مركبةُ ڤوياجر الثانية، تؤثر أن تبقى قريبةً من المستوي الاستوائي لكوكب نپتون، وأُطلقتْ عليها أسماء مستمدَّة أيضاً من آلهة الماء في الأساطير القديمة. أكبر هذه الأقمار هو پروتيوس Proteus، ويبلغ قطره 420 كيلومتراً (250 ميلاً). هذه الأقمارُ الصغيرة ـ شأنَ الحلقات ـ يترجَّح أنها شظايا من أقمارٍ أكبر حجماً تحطَّمت 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 نپتون أَسَرَ ترايتون، في حقبةٍ ما، من مدارٍ شاذٍّ أصلاً.

22.9 پلوتو

پلوتو Pluto ـ أبعدُ الكواكب المعروفة عن الشمس ـ عالَمٌ متجمِّد سُمِّيَ نسبةً إلى إله العالَم السفلي عند الإغريق (الشكل 28.9). وهو كوكبٌ خافتٌ جداً يبلغ قَدْره الأعظميُّ +14.

اكتشفه الفلكيُّ الأمريكي كلايد تومباو Clyde Tombaugh (1906 ـ 1997) سنة 1930 في سياق بحثه عن كوكبٍ مجهول يُفتَرض أن ثقالتَه هي مصدرُ عدم انتظام حركة كوكبَيْ أورانوس ونپتون على مدارَيْهما. ويمكن أن يضيء پلوتو بسطوعه الحالي بفعل انعكاس ضوء الشمس عن الميتان المتجمِّد الممزوج بأنواعٍ أخرى من الجليد الذي يغشى سطحه. وإذا كان الأمر كذلك، فإنه أصغر من الحجم المقدَّر له. والظاهر أن كتلته لا ترقى إلى الجزم بأنه هو الكوكبُ المجهول المقترَح، الذي مازال علماءُ الفلك يؤمِّلون اكتشافَه.

تؤكِّد أرصادٌ حديثةٌ لاحتجابٍ نجميّ stellar occultation أنَّ للكوكب غلافاً جوّياً من غاز الميتان. فقد لوحظ أن ضوءَه يكبو تدريجياً عند مرور نجمٍ خلفه، ثم يعود ضوؤه تدريجياً كذلك، بدلاً من حصول احتجابٍ مفاجئٍ ثم انكشافٍ مفاجئ.

يطوف قمرٌ كبيرٌ نسبياً، هو كارون Charon، حول پلوتو في مدارٍ صغير يزيد نصفُ قطره الوسطي قليلاً على 19،000 كيلومتر (11،000 ميل) (الجدول 3.8). في سنة 1978 رَصَدَ الفلكيُّ الأمريكي جيمز كريستي James W. Christy القمرَ كارون أوَّلَ مرة فرآه أشبهَ بانتفاخٍ على صورة پلوتو. وتأتي تسميتُه نسبةً إلى النوتيِّ الذي ينقل أرواحَ الموتى عبر نهر الجحيم إلى العالَم

السفلي حسب ما ترويه الأساطير. يدور كارون حول بلوتو في زمنٍ مساوٍ تماماً للزمن الذي يستغرقه الكوكبُ لإنجاز دورةٍ حول نفسه. ومن ثمَّ يمكن لرائد فضاء أن يرى كارون دوماً في موقعٍ واحد من السماء، ومن نصف كرةٍ واحدٍ 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 غدا أقرب إليها من نپتون، وفي سنة 1989 بلغَ نقطةَ الرأس، وهو اليوم يبتعد عن الشمس. وفي سنة 1999 عَبَرَ بلوتو مسافةَ 6,1 واحدات فلكية فوق مدار نپتون نحو الخارج ليكون أبعدَ الكواكب عن الشمس من جديد.

لا يقتصر تفرُّد منظومةِ بلوتو على قمره ومداره، فمعظم خصائص الكواكب الأخرى فريدٌ أيضاً. حتى إن منشأه في المنظومة الشمسية موضع حيرة؛ فقد يكون في الأصل نواةً كوكبيَّةً جليديةً ضخمة، أو قمراً منفلتاً من نپتون، أو جِرماً بينجميّاً أَسَرته ثقالةُ الشمس لدى مروره على مقربة دانية منها.

لم تتوجَّه أيُّ مركبة فضائية نحو بلوتو بعدُ، كما أن إرسال مركبات إليه غيرُ وارد في الوقت الحاضر.

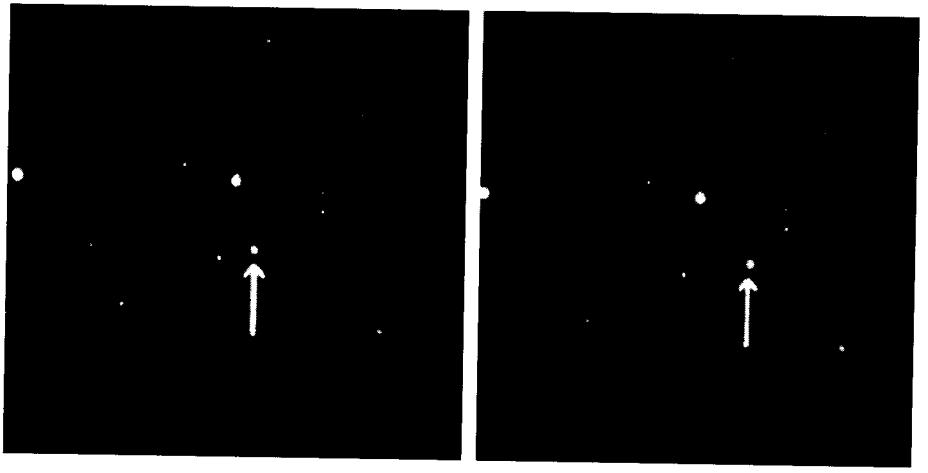
وبالنظر إلى موقع بلوتو النائي من المنظومة الشمسية، فإنه لم يُتِمَّ دورةً واحدة له حول الشمس منذ اكتشافه.

بالاستعانة بالشكل 28.9 حاولْ أن تفسِّر كيف تحقَّقَ علماءُ الفلك أنَّ بلوتو ليس نجماً .....

.....

.....

.....



الشكل 28.9 صورتان فوتوغرافيتان لپلوتو، تُظهِران حركتَه في غضون 24 ساعة.

الجواب: يتبيَّن من الصُّوَر الملتقَطة لپلوتو في أوقات مختلفة أنه «يغيِّر موقعه» بالنسبة إلى نجوم الخلفية. (بذل مكتشفه تومباو جهداً عظيماً في دراسة الملايين من صُوَر النجوم والكواكب المشتبِهات، استناداً إلى أزواجٍ من الصُّور الفوتوغرافية التُقِطت لأجزاءٍ من السماء في تواريخ متباينة).

اختبار ذاتي

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

1. فيما يلي سماتٌ معروفةٌ يمكن رصدها بمقرابٍ صغير. انسبْ كلَّ سمةٍ إلى كوكبها.

-- (أ) الأطوار.
-- (ب) القلنسوتان الجليديتان القطبيتان.
-- (ج) البقعة الحمراء الكبرى.
-- (د) الحلقات.

(1) المرّيخ.
(2) المشتري.
(3) زُحَل.
(4) الزُّهَرة.

2. اعزُ السِّماتِ المألوفةَ التالية إلى أزواج الكواكب الصحيحة.

-- (أ) حُزُم سُحُبٍ شريطيةٍ متناوبة ومتوازية، دكناء وزاهية.
-- (ب) فوَّهاتٌ وجبالٌ كثيرة.
-- (ج) أغطيةٌ سحابيَّة غليظة من الهيدروجين والهليوم والميتان.

(1) عُطارد والزُّهَرة.
(2) المشتري وزُحَل.
(3) أورانوس ونبتون.

3. اذكر ثلاثةَ أسبابٍ تجعل من الزُّهرة كوكباً غير صالحٍ لارتياده

(1) .....

(2) .....

(3) .....

4. يمثّل الشكل 29.9 كواكب الزُّهرة والأرض والمرّيخ في أفلاكها حول الشمس. عيِّن الحرف (على الرسم) الذي يدلّ على كلٍّ مما يلي:

(1) الزُّهرة كونه نجم المساء .....

(2) الزُّهرة في طَوْرٍ جديد .....

(3) المرّيخ في وضع تقابل .....

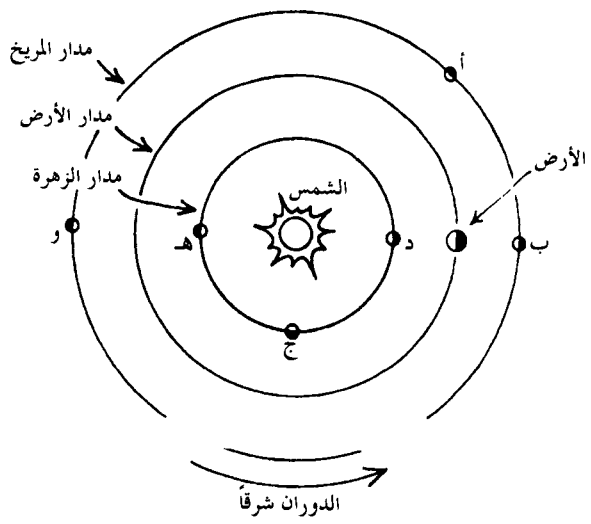
(4) المرّيخ غير مرئي في سماء ليلنا .....

5. أنشئ رسماً تخطيطياً وحدِّد عليه طبقات الأرض الثلاث الرئيسية.

(1) .....؛ (2) .....؛ (3) .....

6. أعطِ ثلاثة أرصاد تعضد نظريةَ تكتونيات الصَّفائح (الانجراف القارّي).

(1) .....



الشكل 29.9 مظاهر كوكبَي الزُّهَرة والمرّيخ من الأرض.

.....

(2) .....

.....

(3) .....

.....

7. صِفْ مشهدَ المرّيخ وجوَّه ودرجاتِ حرارته في مواقع هبوط المركبات الرَّبوطية عليه .....

.....

.....

8. اذكرِ اثنين من الأرصاد التي تشير إلى احتمال تدفُّق الماء على المرّيخ في الماضي البعيد.

(1) .....

.....

(2) .....

.....

9. عدِّد أوفر الغازات وجوداً في الغُلُفِ الجوّية ل:

(أ) الأرض .....

(ب) المرّيخ .....

(ج) المشتري .....

(د) زُحَل .....

(هـ) أورانوس .....

(و) تيتان .....

10. قابِلْ كلاً من مكتَشَفَيْ مركبة ڤوياجر الفضائية بكوكبٍ أو أكثر مما يلي:

-- (أ) حلقة (حلقات) محيطة.

-- (ب) قمر (أقمار) تطوف بالكوكب.

(1) المشتري.
(2) زُحَل.
(3) أورانوس.
(4) نپتون.

11. قابِلْ كلاً من الصفات التالية بقمر كوكب.

-- (أ) أكبر أقمار المنظومة الشمسية.

-- (ب) القمر الوحيد الذي يُعرَف له غلافٌ جوّي ملموس.

-- (ج) أكثر الأقمار نشاطاً جيولوجياً وبركانياً.

-- (د) أغرب الأقمار، لاحتوائه على مزيجٍ من السطوح الفتيَّة والهرمة.

-- (هـ) أبرد السطوح، مع وجود اندفاعاتٍ نشِطةٍ شبيهةٍ بنبعٍ فوّار.

(1) غانيميد/ المشتري.
(2) آيو/ المشتري.
(3) ميراندا/ أورانوس.
(4) تيتان/ زُحَل.
(5) ترايتون/ نپتون.

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. 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) جوُّه السامُّ المؤلَّف من ثنائي أكسيد الكربون؛

(2) حرارتُه البالغة (التي قد تصل إلى 900° فارنهايتية)؛

(3) ضغطُه الجوّيُّ 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) اللّبّ.

(الفقرة 5.9)

6. (1) تماثل المستحاثات النباتية والحيوانية على امتداد الخطوط الساحلية لأمريكا الجنوبية وغرب إفريقية.

(2) توافق هذه الخطوط الساحلية بحيث يتمِّم بعضها بعضاً.

(3) عدم وجود صخورٍ في قاع المحيط الأطلسي قرب الخطوط الساحلية أقدم من نحو 150 مليون سنة.

(الفقرة 6.9)

7. يبدو السطحُ كصحراء حمراء جافّة تتناثر فيها الصخور. سماؤه ورديّة اللون، ودرجة حرارته منخفضة.

(الفقرة 10.9)

8. (1) وجود قنواتٍ سطحيةٍ عميقةٍ ومتعرِّجة، تبدو وكأنها شُقَّت بفعل أنهارٍ عظيمةٍ متدفّقة.

(2) وجود ماءٍ متجمِّد في القلنسوتين الجليديَّتين القطبيَّتَيْن.

(الفقرة 11.9)

9. (أ) الآزوت (نحو 78 في المئة) والأكسجين (قرابة 21 في المئة)؛

(ب) ثنائي أكسيد الكربون؛

(ج) هيدروجين وهليوم؛

(د) هيدروجين وهليوم؛

(هـ) 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؛ (هـ) 5

(الفقرات 15.9 و17.9 و 19.9 و 21.9)