الباب السادس

الكواكب الأرضية Terrestrial planets

أثبت جابر بن أفلح أبو محمد أن الزهرة والمريخ أقرب إلى الأرض من الشمس. (توفى سنة 1150 م)

صفات عامة للكواكب الأرضية General properties of terrestrial planets

رغم أن كل كوكب من كواكب المجموعة الشمسية له من الصفات ما تميزه عن غيره من الكواكب إلا أننا يمكن أن نميز الأرض وعطارد والزهرة والمريخ والمسماة بالكواكب الأرضية بصفات عامة، نوجزها فيما يلي:

١) فهي صغيرة في الحجم والكتلة بالمقارنة مع الكواكب شبيهة المشتري.
٢) ذات كثافة عالية، والسبب في ذلك تبخر الغازات الخفيفة منها لقربها من الشمس ولضعف جاذبيتها نسبياً.
٣) قريبة من الشمس ومن بعضها، فالمسافات البينية بين بعضها البعض صغيرة إذا ماقورنت بالمسافات بين الكواكب الخارجية.
٤) لها سطح صلب وهذا يمكن أن نفهمه على أن قرب هذه الكواكب من الشمس قد أسرع بتكوين القشرة الصلبة عليها.
٥) لا يوجد في غلافها الجوي هيدروجين رغم أنه العنصر الأساسي في مادة الكون وذلك لتبخر أغلبه منها.
٦) تتمتع بدرجات حرارة عالية نسبياً لقربها من الشمس.
٧) عدد الأقمار قليل بالمقارنة مع الكواكب العملاقة.

لنبدأ الآن بالتجول بين هذه الكواكب واحدا بعد الآخر بعد أن درسنا الأرض وفهمنا الكثير من آياتها المشوقة، وأول محطة نقف عندها كوكب عطارد.

الفصل الأول

عطارد Mercury

الكوكب الذي ليس له غلاف جوي

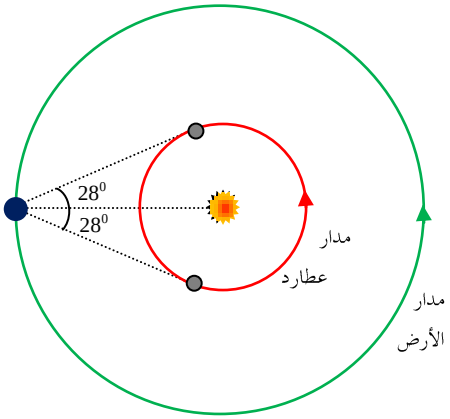
استكشاف عطارد Exploring Mercuy

نظرا لقرب عطارد من الشمس، فإن بعده الزاوي عن الشمس عند مشاهدته من الأرض لا يزيد عن 28 درجة، شكل 6-1. ولذلك لا نتمكن من مشاهدته إلا خلال فترة زمنية قصيرة لا تتعدى الساعتين بعد غروب الشمس، أو قبل شروقها. وهذه الفترة بلا شك قصيرة لا تكون السماء قد اكتملت ظلمتها بعد غروب الشمس إلا وعطارد قد قارب على الغروب، ولا يرتفع عطارد عن الأفق عند ظهوره وقت الفجر إلا ويكون ضوء الغسق قد غطى الأفق، فلا يوجد فترة كافية لمتابعته ودراسته . وأبعد نقطة لعطارد في مداره تزيد 50% عن أقرب نقطة كما هو مبين في جدول 6-1، وبالتالي تكون سرعته أعلى ما يمكن حينما يكون في أقرب نقطة في مداره من الشمس كما هو الحال لبقية الكواكب، ونتيجة قرب عطارد من الشمس فإنه يكتسب سرعة زائدة عند أقرب نقطة، كما توضح ذلك نظرية النسبية، مما يؤدي إلى انحراف محور مداره بشكل مستمر. كما أن مداره يميل على دائرة البروج بزاوية مقدارها7 درجات. في عام1889، وبعد جهود طويلة

جدول 6-1: معلومات عن عطارد

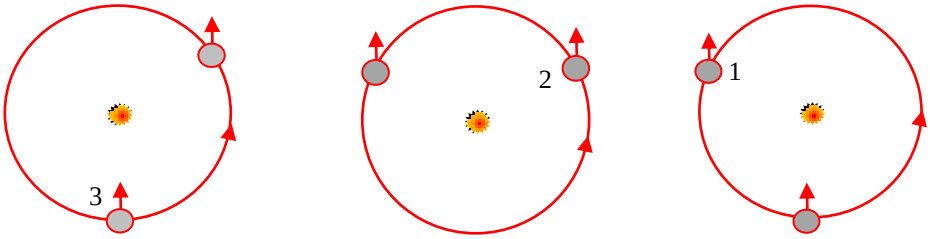
متوسط المسافة	0.39 وحدة فلكية
أقرب مسافة	0.31 وحدة فلكية
أبعد مسافة	0.47 وحدة فلكية
مقدار الاستطالة	0.206
السنة	87.97 يوم
ميل المدار	7.25 درجة
اليوم	58.65 يوم
ميل المحورين	28 درجة
القطر	0.382 قطر الأرض
الكتلة	0.056 كتلة الأرض
الكثافة	كثافة الأرض
قوة الجاذبية	0.38 جاذبية الأرض
سرعة الهروب	4.3 كم/ث
درجة الحرارة	700 (نهار) ، 100 (ليل) كالفن
العاكسية	0.11
عدد الأقمار	لا يوجد

لرصد عطارد ورسم خارطة لسطحه، أُستنتج أن مدة لفه تساوي مدة دورته حول الشمس؛ أي أنه يواجه الشمس بوجه ثابت، تماما كما يدور القمر حول الأرض. لاحقا وباستخدام قانون فين Wein لقياس الحرارة اتضح أن درجة الحرارة على نصف عطارد المواجه للشمس 700 كالفن وعلى النصف الآخر 100 كالفن، وبالطبع 100 كالفن تعني برودة شديدة، ولكن باعتبار أن النصف البعيد عن الشمس لا تصله حرارة الشمس أبدا كما كان يُعتقد، فإن درجة الحرارة على هذا النصف يجب أن تكون أبرد من ذلك، مما حدا بالعلماء أن يتساءلوا عن السبب في درجة الحرارة الملحوظة على سطح عطارد البعيد عن الشمس؟. لقد أظهر الرصد الراداري أن عطارد يدور حول نفسه في59 يوماً بينما يدور حول الشمس في 88 يوماً وهذا يعني أن عطارد يلف حول نفسه في فترة أقل من فترة دورته حول الشمس مما يجعل كل جزء من سطح عطارد يتعرض للشمس في جزء من الوقت، وهذا يفسر أن درجة الحرارة على النصف الآخر 100 كالفن وليست أقل من ذلك. وفي الحقيقة فإنه في نهاية كل دورتين لعطارد حول الشمس يكون قد أتم ثلاث لفات حول نفسه، وبمعنى آخر فإن طول اليوم الشمسي لعطارد يساوي 176 يوما أرضيا شكل 6-2. والنسبة بين لفه إلى دورته هي 3:2 تعطينا نوعاً آخر من الحركات التي يظهر فيها تأثير الجاذبية وارتباط الدوران بها. ففي حالة الأقمار، فإن جاذبية الكواكب ترغمها على أن تدور حول كواكبها بوجه ثابت، أما في حالة عطارد فإنه رغم قوة جاذبية الشمس عليه لقربه منها إلا أنه في الوقت ذاته يلف حول نفسه بحيث يكون الجزء الثقيل مرة مواجهاً للشمس عند أقرب نقطة ومرة يكون بعيداً بحيث يحدث توازن بين دورانه وتأثير جاذبية الشمس.



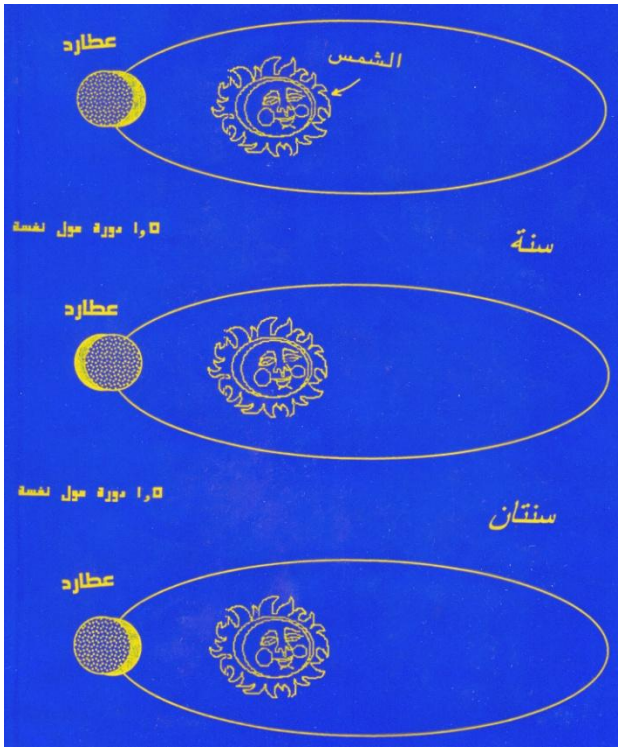
شكل 6-1: البعد الزاوي بين عطارد والشمس كما يرى من الأرض

مما سبق يتضح أن كوكب عطارد يواجه الشمس بنفس الجانب مرة كل دورتين ليعطينا بذلك نموذجاً آخر لارتباط الدوران بالحركة في المدار، شكل 6-3. يعتبر كوكب عطارد أكبر قليلاً من القمر في الحجم، وكتلته حوالى 0.06 من كتلة الأرض، وكثافة المادة عليه قريبة من مثيلتها على الأرض، ولكن لقربه الشديد من الشمس فإنه لا يوجد عليه غلاف جوي ولذلك فإن درجة عاكسيته صغيرة.



(أ) اللفة الأولى (ب) اللفة الثانية (ج) اللفة الثالثة

شكل 6-2: العلاقة بين مدة لف عطارد ومدة دورته، وأن طول يومه يساوي 176 يوما أرضيا. (أ) عندما يتم عطارد لفة واحدة يكون قد أتم ثُلثدورته حول الشمس. (ب) عندما يتم اللفة الثانية يكون قد أتم دورة وثُلث. (ج) عندما يتم اللفة الثالثة يكون قد أتم دورتين حول الشمس.



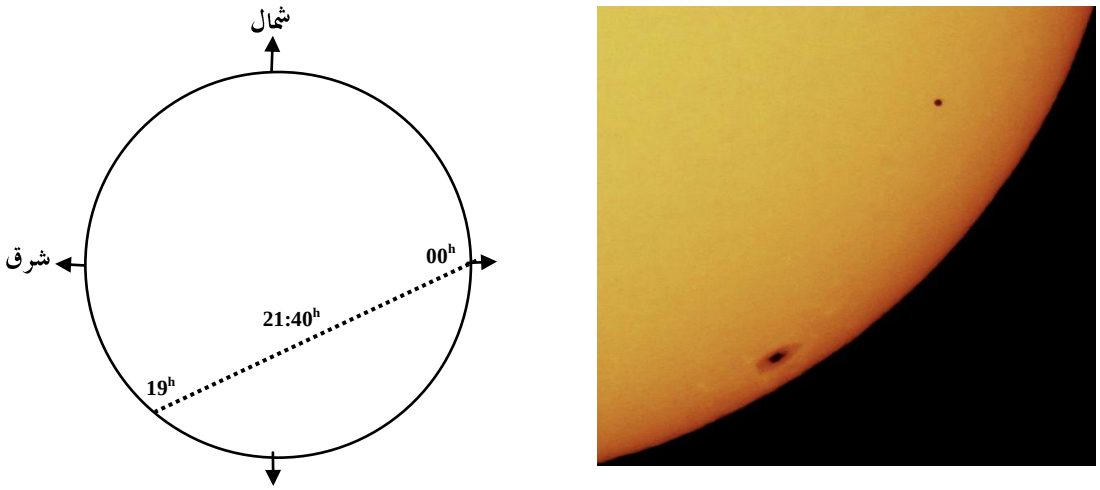
شكل 6-3: يواجه عطارد الشمس بنفس الجانب في كل دورتين حولها

عبور عطارد Transit of Mercury

ظاهرة العبور نقصد بها عبور جرم بين الأرض والشمس، فيبدو هذا الجرم مثل نقطة سوداء تتحرك على سطح الشمس، وبالطبع لا تحدث هذه الظاهرة إلا للكواكب التي تقع مداراتها داخل مدار الأرض أي عطارد والزهرة. بسبب قرب عطارد من الشمس وسرعة دورانه مقارنة بالزهرة، فإن ظاهرة عبوره تحدث أكثر من حدوثها للزهرة بعدد يبلغ 13 أو 14 مرة كل قرن ويكون حدوثه في شهر مايو أو نوفمبر. متوسط القطر الزاوي لعطارد كما يشاهد من الأرض يساوي 11 ثانية قوسية بينما متوسط القطر الزاوي للشمس 1915 ثانية قوسية فالفرق كبير جدا بينهما، فحجم عطارد المشاهد يساوي 0.006 فقط من حجم الشمس شكل 6-4. وآخر مرة حدث فيها عبور لعطارد كان في 8 نوفمبر 2006 وسيحدث التالي في 9 مايو 2016، انظر جدول 6-2.

جدول 6-2: عبورات عطارد لخمسين سنة قادمة، التوقيت حسب جرنتش

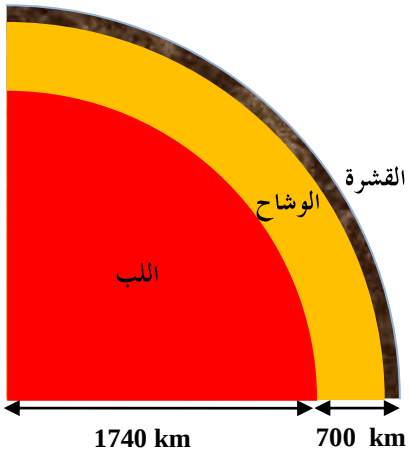
التاريخ	البداية	المنتصف	النهاية
09 May 2016	11:12	14:57	18:42
11 Nov 2019	12:35	15:20	18:04
13 Nov 2032	06:41	08:54	11:07
07 Nov 2039	07:17	08:46	10:15
07 May 2049	11:03	14:24	17:44



شكل 6-4: اليمين: عبور عطارد أمام الشمس عام 2006، لاحظ البقعة الشمسية بالأسفل وحجمها الكبير مقارنة بعطارد. اليسار: مخطط لمسار عطارد وأوقات الدخول والمنتصف والخروج حسب توقيت جرنتش

الغلاف المغناطيسي والتركيب الجيولوجي Magnetosphere and geological structure

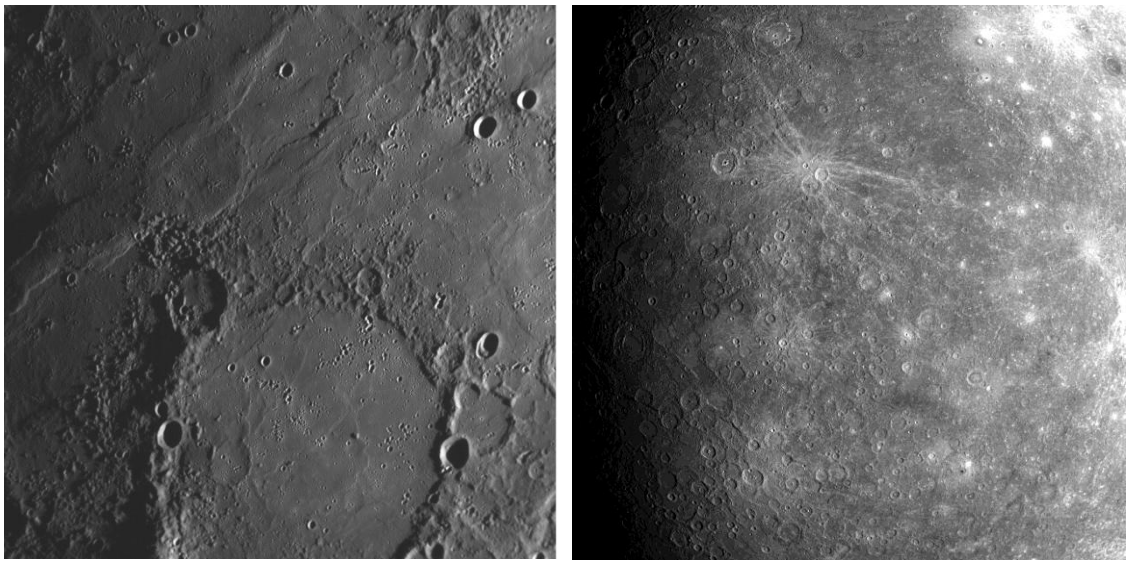
رغم أن كثافة المادة على عطارد قريبة من قيمتها على الأرض، إلا أن لف عطارد ببطء يجعلنا نظن أنه لا يوجد عليه مجال مغناطيسي، كما أن صغر كتلته وضعف جاذبيته يؤديان إلى قلة الضغط الداخلي وبالتالي سرعة برودة المركز ليتحول إلى مادة صلبة مما يدعم الاعتقاد بأنه لا يوجد مجال مغناطيسي لعطارد، لكن رحلات الفضاء أثبتت وجود مجال مغناطيسي مقداره حوالى 0.01 من مجال الأرض المغناطيسي، وهذا يدل على وجود مواد منصهرة في باطن الكوكب. بل يمكن القول أن اللب يشكل أغلب حجم عطارد، ومحتويا على نسبة كبيرة من العناصر الثقيلة مما يوضح الكثافة العالية له. وفي الحقيقة يبدو أن حجم لب عطارد يساوي تقريباً حجم القمر، شكل 6-5. أما الوشاح والقشرة فهما طبقتان صغيرتان (ربع اللب). نفهم مما سبق أن كوكب عطارد قد تخلص من العناصر الخفيفة وتكونت القشرة الصلبة عليه بسرعة نتيجة قربه من الشمس. ومن الناحية الجيولوجية فإن سطح عطارد يبدو مستقرا وليس عليه أي نشاط جيولوجي (براكين أو زلازل) مثل القمر تماما كما أنه ليس له غلاف جوي يذكر.



شكل 6-5: عطارد أغلبه لب.

تضاريس السطح Surface features

تشبه تضاريس سطح عطارد إلى حد كبير تضاريس سطح القمر . يظهر في شكل 6-6 تفاصيل واضحة لسطح عطارد عن طريق مركبة ناسا الفضائية messenger التي اقتربت من عطارد على بعد 200كم فقط في يناير 2008، ومن المتوقع أن تدخل في مدار حول عطارد في عام 2011 لتصبح تدور حوله. هناك المنخفضات والفوهات وهي تتميز بحواف أقل ارتفاعاً مما كانت عليه في القمر كما أن المسافات بين الفوهات في عطارد كبيرة وذلك بسبب الكثافة العالية على عطارد. ويحتمل أن يكون عدد الشهب التي تصل إلى عطارد أقل مما يصل إلى القمر حيث يكون تأثير جاذبية الشمس والرياح الشمسية على مسح الشهب كبيراً فتقل مادة ما بين الكواكب بالقرب من الشمس. وإذا اصطدمت مادة الشهب بسطح القمر فإنها تنتشر إلى مسافة كبيرة لضعف جاذبيته ولكنها على كوكب عطارد لا تتحرك لمسافة كبيرة فالجاذبية على عطارد أكبر مما هي على القمر. ويتميز سطح عطارد بنوع من المنحدرات العالية شديدة الميل مما يعني أن سطح عطارد قد تشقق بعد برودة قشرته بسرعة بسبب قربه من الشمس. ولا توجد هذه الظاهرة على أي كوكب آخر من كواكب المجموعة الشمسية.

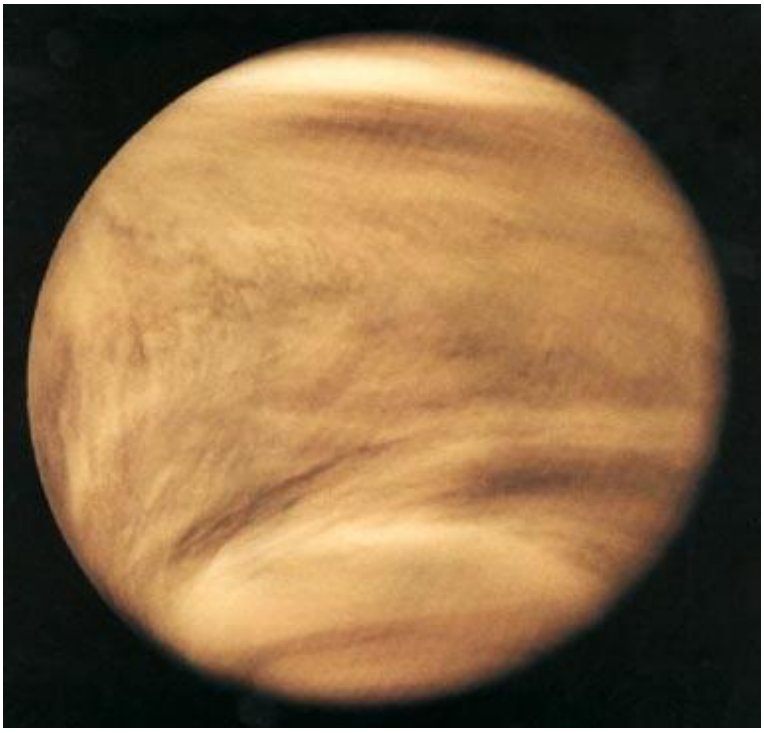


شكل 6-6: صورة واضحة جدا لسطح عطارد أُخذت عن طريق مركبة ناسا Messenger في يناير 2008 (NASA)

الفصل الثاني

الزهرة Venus

(الاحتباس الحراي)



استكشاف الزهرة Exploring Venus

لقد ركزت العديد من رحلات الفضاء على كوكبي الزهرة والمريخ، ولقد كان للرحلات الفضائية السوفيتية الدور القيادي في استكشاف كوكب الزهرة وذلك من خلال مجموعة المركبات المسماه فينيرا وهو اسم الزهرة باللغة الروسية. ولقد تهشمت أول مركبة بسبب الضغط العالي في الغلاف الجوي للزهرة، ولكن الرحلات فينيرا 7 ثم 11، 12 استطاعت أن تأتي بصور دقيقة لسطح كوكب الزهرة. استمرت رحلات أخرى في دراسة كوكب الزهرة من حيث التربة وتضاريس السطح، ولقد تسببت الظروف الوعرة الموجودة على سطح كوكب الزهرة في صعوبة عمل رحلات الفضاء ولذلك لم تستطيع مركبات الفضاء العمل أكثر من عدة ساعات. وفي عام 1989 أرسلت مركبة ماجلان لتحوم حول الزهرة لدراسته عن قرب وذلك باستخدام الرادار، وهذه الرحلة تشبه بشكل عام مركبتي فينيرا 15، 16 ولكنها استخدمت نظاماً أفضل في التصوير والتحليل.

ولنبدأ الآن في التعرف على كوكب الزهرة عن قرب حيث أظهرت الدراسات السابقة أن سطح الزهرة يختلف عن كل من سطحي الأرض والمريخ. فسطحه بشكل عام منخفض، 0.1 فقط من سطحه عبارة عن أرض مرتفعة تشبه القارات على الأرض، وأكبر هضبة عليه في حجم قارة أفريقيا، وأعلى جبال الزهرة موجود في منطقة

مواجهة للأرض حينما تكون الزهرة عند أقرب نقطة من الأرض مما يساعد على دراسته بشكل دقيق. وبدراسة اثنين من المناطق الجبلية وهما ألفا وبيتا على الزهرة اتضح أن تربتهما بازلتية مما يشير إلى أنها ناتجة عن براكين، كما رصدت رحلات الفضاء عدة مرات الصواعق في نفس المنطقة والتي من المحتمل أن تشير إلى وجود براكين فعالة. بسبب كثافة السحب على الزهرة فإن القليل من أشعة الشمس ينفذ منها لتصل إلى سطح الزهرة ولذلك يكون الضوء على سطحها متميزاً بلون يميل إلى الحمرة بينما يمنع الطيف الأزرق من الدخول خلال السحب الكثيفة المحيطة بالكوكب.

خواص عامة General properties

ألمع جسم يظهر في السماء بعد القمر هي الزهرة، غلافها الجوي أكثر كثافة من غلاف الأرض الجوي، ويغطي سطحها سحب كثيفة تحجب رؤية سطحها ولكنها في نفس الوقت تعكس كثيراً من أشعة الشمس فتبدو لامعة، ولذلك تبلغ درجة الحرارة على سطحها 750 كالفن (477 درجة مئوية) وهذا يعني أنها ساخنة جداً والسبب في ذلك لا يرجع لقربها من الشمس ولكن لأن طبقة السحب الكثيفة تمنع الأشعة تحت الحمراء التي تنبعث من سطحها من الخروج، بالإضافة إلى ذلك فإن غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 والذي يمثل العنصر الأساسي في غلاف الزهرة، حيث يمتص الأشعة بكفاءة مما يؤدي إلى تسخين الهواء، وتسمى هذه الظاهرة ظاهرة الاحتباس الحراري Green house effect. ومثال على ذلك أننا إذا وضعنا سيارة في مكان معرض للشمس ونوافذ السيارة مغلقة فعند فتحها نجد أن درجة الحرارة داخلها تكون عالية جداً. ومن المعلومات المدهشة عن الزهرة أنها تلف حول نفسها في 243 يوما أرضيا بينما تدور حول الشمس في 225 يوما فقط، وهذا هو السبب في أن حركتها حول نفسها تراجعية. وهذه ظاهرة لا يوجد لها تفسير مقنع فربما حدث شيء ما أثناء تكون الزهرة أو بعد ذلك تسبب في بطئها وفي حركتها التراجعية. يميل مدارها حول الشمس على دائرة البروج بزاوية صغيرة مقدارها ثلاث درجات فقط، كما أن الزاوية بين مداري لفها حول نفسها ودورانها حول الشمس أيضاً صغيرة، وهي قريب الشبه بالأرض من حيث الحجم والكتلة والكثافة، أما درجة العاكسية عليها فأعلى من الأرض بكثير بسبب غلافها الجوي الكثيف، ولذلك فهي تظهر بعد غروب الشمس وقبل الشروق كألمع جسم في السماء بعد القمر. ورغم أن الزهرة كبيرة نسبياً إلا أنه ليس لها أقمار تدور حولها، جدول 6-3.

جدول 6-3: معلومات عن الزهرة

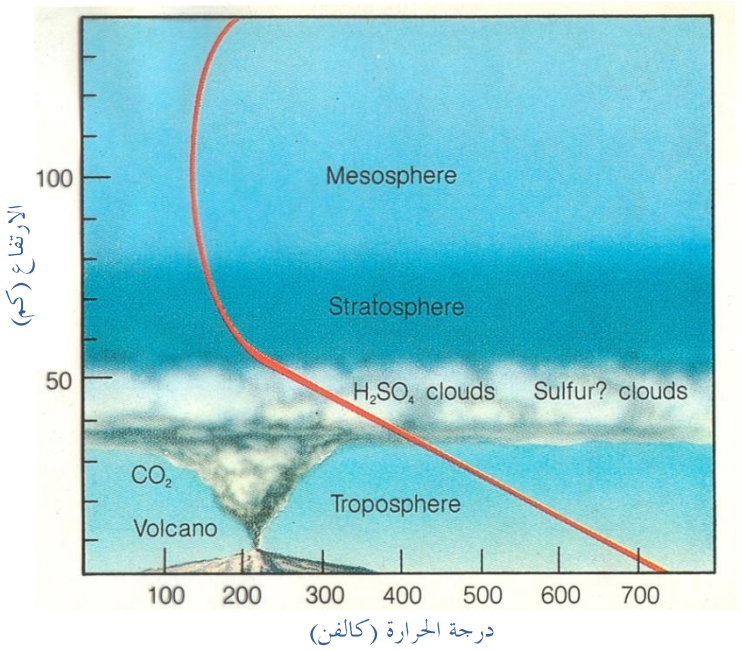
متوسط المسافة	0.723 وحدة فلكية
أقرب مسافة	0.718 وحدة فلكية
أبعد مسافة	0.728 وحدة فلكية
مقدار الاستطالة	0.007
السنة	224.7 يوم
ميل المدار	3.4 درجة
اليوم	243 يوم (حركة تراجعية)
ميل المحورين	3 درجات
القطر	0.95 قطر الأرض
الكتلة	0.815 كتلة الأرض
الكثافة	0.96 كثافة الأرض
قوة الجاذبية	0.90 جاذبية الأرض
سرعة الهروب	10.3 كم/ث
درجة الحرارة	750 كالفن
العاكسية	0.65
عدد الأقمار	–

الغلاف الجوي Atmosphere

يحتوي الغلاف الجوي لكوكب الزهرة على نسبة 96% ثاني أكسيد الكربون، 3.5% نيتروجين ثم عناصر أخرى بكميات ضئيلة جداً. ومن الجدير بالذكر أن نسبة ثاني أكسيد الكربون على الأرض مساوية لمثيلتها على الزهرة إلا أنه في الأرض موجود داخل الصخور الكربونية وليس في الغلاف الجوي كما هو الحال في الزهرة، جدول 6-4. أما بخار الماء فهو موجود بنسبة 0.0001 وهي نسبة صغيرة، ومع ذلك فإن درجة الحرارة العالية على سطح الزهرة تحول دون تحول بخار الماء إلى الحالة السائلة، شكل6-7.

جدول 6-4: النسبة المئوية لبعض الغازات الموجودة في جو: الأرض والزهرة والمريخ

الغاز	الزهرة	المريخ	الأرض
ثاني أكسيد الكربون	96	95	0.03
نيتروجين	3.5	2.7	78
أرجون	0.006	1.6	0.93
أكسجين	0.003	0.15	21
نيون	0.001	0.003	0.002

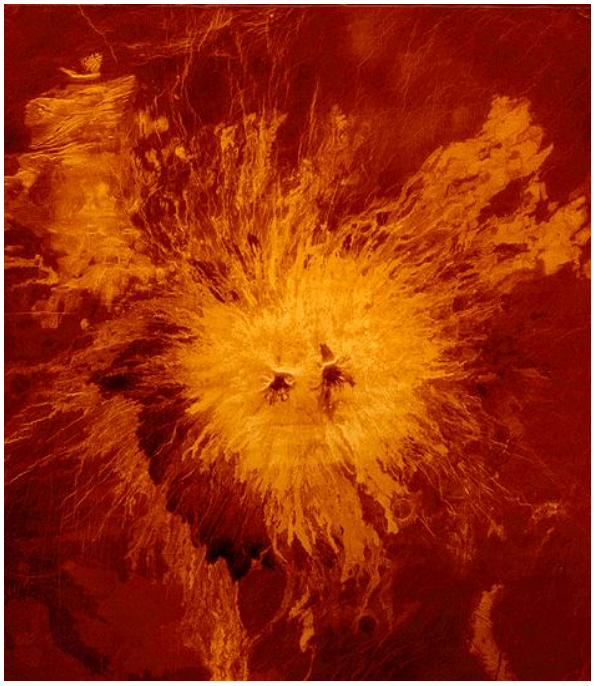


شكل 6-7: تركيب الغلاف الجوي لكوكب الزهرة

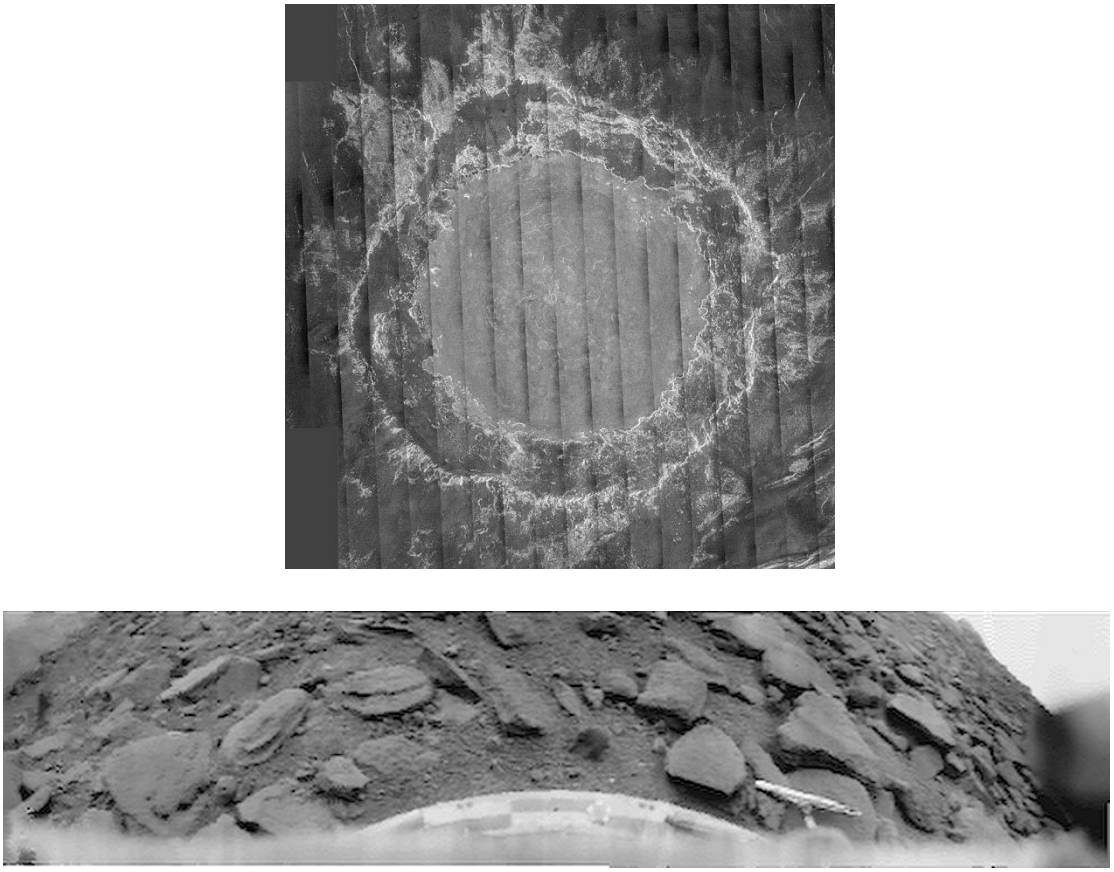
ويوجد في الغلاف الجوي ثلاث طبقات من السحب على الارتفاعات 48 ,53 ,60 كم، وتبلغ درجة الحرارة في قمة السحب 240 كالفن وتزداد كلما اقتربنا من سطح الكوكب، ويزداد الضغط كذلك بحيث يصل على سطح الزهرة إلى 90 مرة قدر الضغط على سطح الأرض. تبدو سحب الغاز مستقرة لا تتحرك بخلاف الحال على الأرض. وذلك لبطء الكوكب في لفه حول نفسه. وتراكم السحب في غلاف الزهرة أدى إلى ارتفاع كل من

الضغط والكثافة في الغلاف الجوي للزهرة. ونتيجة للبطء الشديد في لف الكوكب حول نفسه فإنه لا يوجد حوله مجال مغناطيسي يحميه، وبالتالي فإن الرياح الشمسية تدخل بسهولة إلى سطحه فتحدث ظاهرة الشفق بصورة قوية بحيث تؤثر على العمليات الكيميائية على السطح. وهناك حركة في منطقة السحب في اتجاه لف الكوكب وتقل السرعة حتى تنعدم على السطح، كما توجد حركة رأسية وذلك عندما تسخن المناطق التي تعلوها الشمس فيتحرك تيار ساخن حتى يصل إلى المناطق الباردة عند القطبين في الأماكن غير المواجهة للشمس. والفرق بين هذه الحركة ومثيلتها على الأرض أنها تكون محلية على سطح الأرض بينما هي تشمل الزهرة بشكل عام، وقد يحدث شفق على الوجه المظلم أيضاً نتيجة تكون جزئيات من الغازات المتحركة. وقد تم رصد الفوهات الناشئة من البراكين على سطح الزهرة مما يؤكد وجود براكين، ولكننا لسنا متأكدين إذا كانت هذه البراكين مازالت فعالة أم لا. أما تركيب الكوكب الجيولوجي فيشبه جداً التركيب الجيولوجي للأرض. وتعادل كمية الطاقة التي تستقبلها الزهرة من الشمس ضعف ما تستقبله الأرض. وفي الحقيقة يعتبر اللف البطئ للكوكب حول نفسه بشكل تراجعي هو السبب الرئيس فيما حدث عليه من تغيرات. ولكن ما السبب في هذه الحركة الدورانية الغريبة في بطئها الشديد؟ هذا أحد الأسرار التي لم نفهمها عن كوكب الزهرة.

جيولوجية الزهرة Geology of Venus



شكل 6-8: يظهر في الصورة الأولى على اليمين فوهة بركانية بارتفاع 1.5 كم ، وفي الصورة الثانية قنوات المادة البركانية تمتد لمسافة 300 كم وبعرض 5 كم. (NASA)



شكل 6-9: توضح الصورة العليا فوهة نيزكية على سطح الزهرة وهي أكبر فوهة رصدت عليه واتساعها 280كم، والصورة السفلى سطح الزهرة من مكان هبوط المركبة الروسية فينيرا 9 (NASA)

تتشابه الزهرة والأرض من الناحية الجيولوجية وكذلك من حيث الحجم، ولكن لا يوجد عليها ماء. وتنقسم تضاريسها إلى منخفضات ذات فوهات كبيرة تمثل 0.06 من سطحها ومنخفضات عادية تمثل 0.27 من السطح، بالإضافة إلى مرتفعات بعضها من البراكين وتمثل 0.08 من سطحها. ويوجد على سطح الزهرة كذلك بعض الظواهر التي تدل على نشاطها الجيولوجي القديم. فهناك شواهد على وجود براكين، شكل 6-8، وتغير نسبة ثاني أكسيد الكبريت SO_2 وهو غاز بركاني إلى غير ذلك من الشواهد. وكثافة مادة الزهرة عالية مما يدل على أن اللب الداخلي للزهرة كبير ولكن البطء الشديد في لفها حول نفسها هو السبب في عدم وجود مجال مغناطيسي كما ذكر سابقا. كما تؤكد الصور التي أخذت لسطحه وجود فوهات ناتجة عن سقوط النيازك، شكل 6-9.

الفصل الثالث

المريخ Mars

الكوكب الأحمر

استكشاف المريخ Exploring Mars

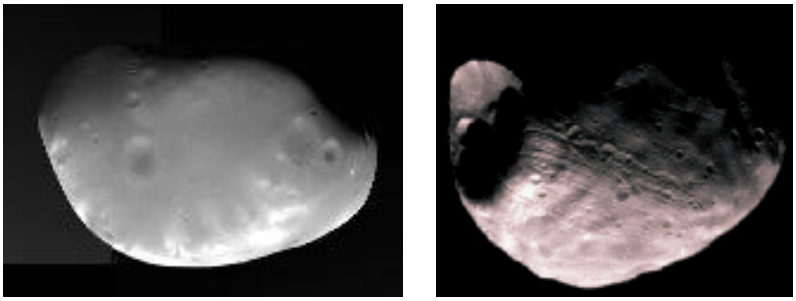
لقد ظل الإنسان فترة طويلة من الزمن ينظر للمريخ على أنه كوكب مأهول بالحياة، ففيه تغيرات مناخية قريبة الشبه بما على الأرض، ودرجة حرارته في الصيف قريبة لما نألفه على الأرض. وقد رصدت قنوات وأنهار تشبه الأنهار على الأرض. ولكن هذه الآمال بدأت تتبدد مع بدء رحلات الفضاء لاستكشاف المريخ، فقد أظهرت رحلة مارينر 4 في سنة 1965 م أن سطح المريخ به حفر كثيرة ومظاهر سطحه تدل على أنه لا يصلح للحياة. لقد كانت هذه النتائج الأولية بمثابة صدمة خيبت آمال الكثيرين. ولقد تأكدت النتائج نفسها وبصورة أدق في رحلتي مارينر 6، 7. أما مارينر 9 فقد صورت العديد من المظاهر الجيولوجية للمريخ. وبهذه الرحلات أصبح الطريق ممهدا أمام رحلات فايكنج لعمل أبحاث دقيقة عن تحليل الغلاف الجوي للتعرف على تركيبه والمواد المكونة لتربته واحتمال وجود خلايا عضوية كما تم عمل محطة لدراسة الطقس على المريخ.

خواص عامة General properties

بعد رصد المريخ بالتلسكوبات اتضح أن شكل الكوكب يتغير، ومساحات الألوان المختلفة تتغير من وقت لآخر مما جعل الفلكيون يتصورون أن كوكب المريخ عليه حضارة، فالثلوج التي تكون كثيرة في الشتاء تقل في الصيف، والمناطق التي تبدو بلون أخضر قد تكون وديانا مليئة بالخضرة. ومن هنا كان تركيز رحلات الفضاء عليه. وبقياس درجة حرارته وجد أنها تتراوح مابين 300 و 145 كالفن، ولكن الغلاف الجوي للمريخ يظل في غالب الوقت في درجة حرارة أقل من درجة التجمد للماء. ورغم صغر المريخ إلا أنه يرى بالعين المجردة بلونه الأحمر. من ملاحظة الفرق بين أقرب وأبعد مسافة لكوكب المريخ عن الشمس نجد أن استطالة مداره أكثر مما في مدار الأرض ولذلك تختلف الفصول عليه بشكل رئيسي بسبب فلطحة مداره بالإضافة لميل محوريه. يميل مداره حول الشمس بزاوية صغيرة على دائرة البروج كما هو مبين في جدول 6-5، والزاوية بين محوريه مشابهة لزاوية ميل دائرة البروج كما أن طول اليوم عليه قريب من طول اليوم على كوكبنا الأرض ويتم المريخ دورته حول الشمس في عامين تقريباً. كتلة المريخ عُشر كتلة الأرض، ولكن قطره يبلغ نصف قطر الأرض مما يعني أن كثافته المتوسطة أصغر مما على الأرض، وهذا بدوره يجعلنا نرجح أن اللب الداخلي للمريخ أصغر بكثير مما هو موجود في باطن الأرض. درجة الحرارة على سطح المريخ المناسبة تجعلنا نضمن أن هناك أملاً للحياة عليه، وإن كانت درجة البرودة هناك مخيفة حيث تصل إلى حوالى 130 درجة مئوية تحت الصفر. ونتيجة لصغر المريخ فإن له غلافا جوياً رقيقاً، ولذلك فإن عاكسيته أقل مما هي للأرض وبالتالي فهو أقل لمعاناً من الزهرة. أما حجمه الظاهري الذي نراه به فهو قريب من الحجم الظاهري للمشتري وذلك لبعد المشتري عنا. ولكوكب المريخ قمران صغيران يدوران حوله يشبهان الكويكبات في الشكل والحجم، شكل 6-10.

جدول 6-5: معلومات عن المريخ

متوسط المسافة	1.53 وحدة فلكية
أقرب مسافة	1.38 وحدة فلكية
أبعد مسافة	1.67 وحدة فلكية
مقدار الاستطالة	0.093
السنة	1.88 سنة
ميل المدار	5.85 درجة
اليوم	24.63 ساعة
ميل المحورين	23.98 درجة
القطر	0.53 قطر الأرض
الكتلة	0.107 كتلة الأرض
الكثافة	0.70 كثافة الأرض
قوة الجاذبية	0.38 جاذبية الأرض
سرعة الهروب	5 كم/ث
درجة الحرارة	300- 145 كالفن
العاكسية	0.15
عدد الأقمار	2



شكل 6-10: قمرا المريخ فوبوس وديموس (NASA)

الغلاف الجوي Atmosphere

لكوكب المريخ غلاف جوى رقيق بالمقارنة بغلاف الأرض الجوي، والضغط على سطحه 0.006 من الضغط على سطح الأرض، ويتكون الغلاف الجوي للمريخ من ثاني أكسيد الكربون بنسبة 95% ونيتروجين بنسبة 2.7% وأرجون بنسبة 1.6% ثم مجموعة عناصر (أكسجين، أول أكسيد الكربون، بخار الماء، نيون، أوزون، كريبتون، إكسنون) بكميات ضئيلة جداً ونسبة بخار الماء على المريخ صغيرة جداً، وذلك لأن درجة الحرارة تظل غالباً أقل من درجة التجمد.

تظهر في غلاف المريخ طبقة التربوسفير كتلك التي توجد في الغلاف الجوي للأرض حيث يتم في هذه الطبقة انتقال الحرارة بالحمل، وعمق هذه الطبقة حوالى 10كم أثناء النهار ولكنها تختفي أثناء الليل وذلك لشدة البرودة. وفي الحقيقة فإن عدم وجود الماء السائل يعتبر أمراً مثيرا على سطح المريخ، قد يكون السبب في هذا أن الضغط منخفض جداً وبالتالي فإن جزيء الماء إما أن يكون في حالة بخارية أو حالة صلبة (ثلج). ولقد رصدت أنواع متعددة من السحب في الغلاف الجوي للمريخ، فهناك الرياح المحملة بالأتربة وسحب بخار الماء وهي تتكون عند الجبال، كما يظهر ضباب قريب من السطح كما هو الحال على الأرض. كما يتجمع ثاني أكسيد الكربون ليكون سحباً خفيفة من ثلج متبلور، وهذا النوع من السحب غير موجود على الأرض لأن درجة الحرارة لا تنخفض على الأرض إلى حد تكون ثلج من ثاني أكسيد الكربون. وبشكل عام فإن غلاف المريخ الجوي يظل شفافاً واضحاً غير ملبد بالغيوم، فيما عدا عند حدوث العواصف الرملية في الصيف.

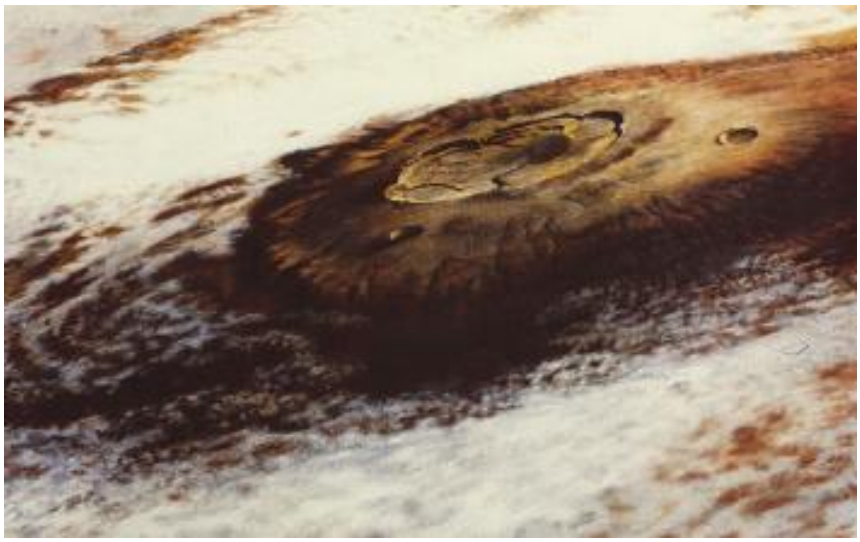
ومن تغير شكل المريخ في الأوقات المختلفة يتضح أن فصول السنة تختلف على المريخ والسبب في التغيرات الفصلية ناتج عن ميل محوري المريخ بزاوية كبيرة مشابه لما في الأرض، كما أن مدار المريخ مفلطح بحيث إن كمية الضوء عند أقرب نقطة من الشمس تزيد 1.45 عن أبعد نقطة من الشمس. وقد لوحظ أن الجبال في المريخ أعلى بكثير مما هي على الأرض أو على أي كوكب آخر وقد يساعد على تفسير ذلك، ثبات أماكن البراكين على سطح المريخ وضعف تثاقل مادته بالمقارنة مع الأرض. وهذا يعني أن الجبال ناشئة في الغالب عند فوهات بركانية، وهذا هو بالضبط حال جبل أوليمبس مونز Olympus mons أعلى جبال المريخ، الذي يبلغ قطر فوهته حوالى 80 كم وارتفاعه 25 كم وهو بذلك يزيد 100 مرة في حجمه عن أكبر جبال الأرض، شكل 6-11. وقد رصدت صور لأنهار وقنوات جافة على سطح المريخ، فهل هذه الأنهار كانت من قبل ممتلئة بالماء والآن تسرب الماء داخل السطح أو أصبح متجمداً، في الحقيقة هذه الظاهرة تعد من ألغاز المريخ. وتوجد بعض الشواهد التي تدل على نشاط جيولوجي قديم على المريخ كل هذه التساؤلات والظواهر نبينها في الموضوعات التالية.

قبعات الثلج Ice caps

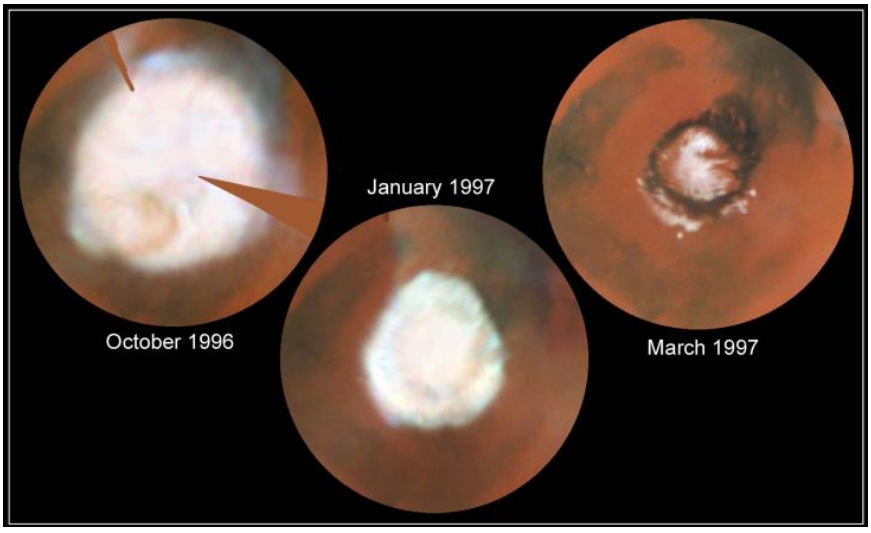
تغطي قطبي المريخ قبعات بيضاء من الثلج وهي تتكون من ثاني أكسيد الكربون في حالة تجمد وتحتها طبقة من ثلج الماء، وبذلك فإن التغيرات الموسمية في هذه الثلوج عند القطبين تعني أن ثاني أكسيد الكربون يتبخر في الصيف ويتكثف في الشتاء. وقد لوحظ تبخر كل ثاني أكسيد الكربون عند القطب الشمالي في فصل الصيف لتظهر بذلك طبقة ثلج الماء ولا يحدث ذلك عند القطب الجنوبى. يتجمد ثاني أكسيد الكربون بمجرد انخفاض درجة الحرارة إلى ما تحت 150 كالفن وتسمى هذه الظاهرة بالتسامي حيث يتحول الغاز مباشرة إلى ثلج. وتمتد قبعات

الثلج إلى خط عرض 50 درجة جنوباً و 45 درجة شمالاً. ومن الملاحظ أن شتاء الجزء الشمالي من المريخ يكون أقصر وأكثر حرارة من شتاء الجنوب وذلك لأن المريخ يكون قريباً من الشمس في وقت شتاء الشمال. وتتناقص القبعات الثلجية مع ارتفاع درجة الحرارة، شكل 6-12، ولكن يظل في الجنوب قبعة قطرها 350 كم من ثاني أكسيد الكربون، ويعتقد الفلكيون أن جزءاً منها يتكون من ثلج الماء ولكن لم يرصد أي دليل على وجوده. أما عند القطب الشمالي فإن قبعة الثلج يكون قطرها في حدود 1000 كم في فصل الصيف وتتكون من ثلج الماء فقط وبذلك يتضح أن قبعات الثلج تعتبر مخزناً كبيراً للماء المتجمد بالإضافة لما هو موجود من بخار الماء في الغلاف الجوي للمريخ.

ولكن الأمر المدهش حقاً هو أن صيف الجنوب الحار يحتوي على ثاني أكسيد الكربون المتجمد، بينما لا يحتوي صيف الشمال على ثاني أكسيد الكربون المتجمد رغم أن الصيف في الشمال يكون أقل في درجة الحرارة، وربما يكمن تفسير هذه الظاهرة في العواصف الرملية التي تظهر فقط في النصف الشمالي ولذلك تغطي قبعة الشمال طبقة من الأتربة تمتص أشعة الشمس بكفاءة عالية ولذلك تزداد درجة الحرارة بسرعة لدرجة تؤدي لتبخر كل ثاني أكسيد الكربون في فصل الصيف في الشمال وتظهر بذلك طبقة ثلج الماء.



شكل 6-11: جبل أوليمبوس مونز Olympus mons وهو أعلى جبال المجموعة الشمسية (NASA)



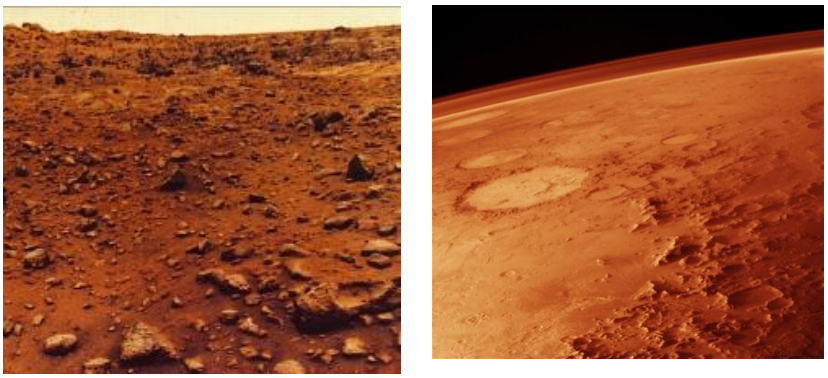
شكل 6-12: تغير قبعات الثلج على القطب الشمالي للمريخ خلال فصول السنة المريخية (Hubble)

جيولوجية المريخ Mars geology

يبلغ قطر المريخ حوالى نصف قطر الأرض وكثافته قيمة متوسطة لكثافتي الأرض والقمر مما يشير إلى أنه وسط في تركيبه بين الأرض والقمر. يتكون سطحه من السيليكات ولبه من كبريتات الحديد FeS، جدول 6-6. ونصف قطر اللب حوالى 2400 كم أي أكثر من ربع سمك الكوكب. ولا يوجد عليه مجال مغناطيسي مما يعني أن اللب صغير ولا يحتوي على مادة منصهرة. يتكون المريخ من ثلاث طبقات داخلية : لب، وشاح، قشرة كما هو الحال على الأرض وجميع الكواكب الأرضية. برغم تعدد الرحلات إلى المريخ إلا أنه لم تتم حتى الآن دراسة جيولوجية تفصيلية للكوكب لذا فإن ما لدينا من معلومات عن تركيبه الداخلي ما زالت في حدود التوقع. وإذا أردنا أن نتعرف على أهم مظاهر السطح على المريخ فأول ما نلاحظه أن القشرة الخارجية تتكون أساساً من صخور نارية وتربة مثل الرسوبيات على الأرض، وأن أعلى جبال المريخ كما ذكرنا هو الجبل أوليمبوس مونز. وبشكل واضح فإن جبال المريخ أعلى جبال يمكن أن تراها في المجموعة الشمسية، ومن دراسة جيولوجية المريخ يتوقع العلماء أن ارتفاع براكينه ناشئ عن عدم تزحزح قشرته الخارجية ولذلك فإن البراكين الفعالة على سطحه كانت مستمرة في نفس المكان بحيث لم تكن هناك أي حركة للقشرة على سطح الكوكب ولو كانت توجد حركة في القشرة كما هو الحال على الأرض لأصبحت البراكين فعالة في بعض الوقت وغير فعالة في أحيان أخرى. ولقد ساعدت الكثافة المنخفضة على المريخ أيضاً على ثبات الجبال الشاهقة في الارتفاع. يمكن تقسيم سطح كوكب المريخ إلى منطقتين، شكل 6-13، هما: أولا: منطقة الفوهات البركانية وتمثل 60% من سطح الكوكب، ثانيا: منطقة مستوية أو سهول وتشمل 40% من سطح الكوكب.

جدول 6-6: مكونات سطح المريخ

العنصر	النسبة المئوية %
SiO_2	46
Fe_2O_3	19
Al_2O_3	8
S_O3	7
MgO	6
CaO	6
Na_2O	1
H_2O	1



شكل 6-13: أهم معالم سطح المريخ: تنتشر الفوهات على سطح المريخ كما يظهر الغلاف الجوي الرقيق (يمين)، صورة لسطح المريخ المتميز بالحمرة (يسار). (NASA)

كما لوحظ على سطح المريخ التضاريس التالية:

١) هضبة وهي مرتفعة جداً ومستوية.

٢) واد عميق (7 كم).

٣) براكين عملاقة وهي ناشئة عن عدم تزحزح سطح المريخ.

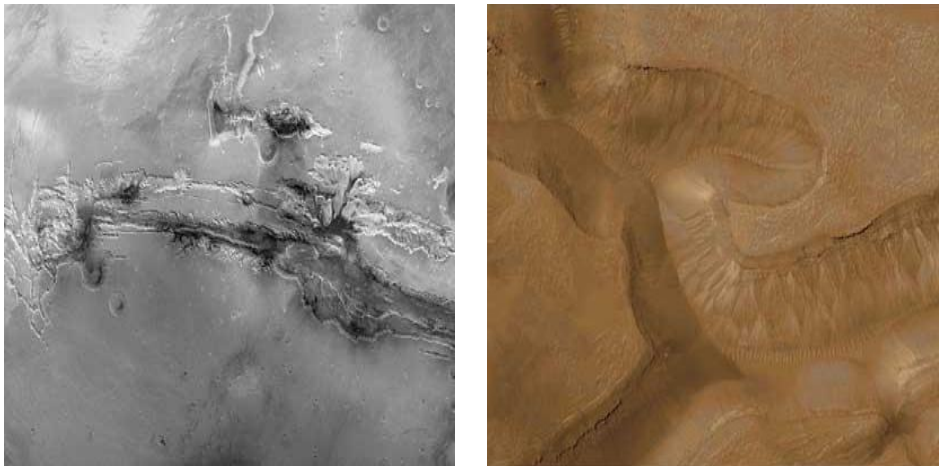
٤) سهول وبها أنهار قديمة جافة في الوقت الحالي، ولا يوجد بها ماء، فأين ذهب الماء؟ هذا أحد أسرار المريخ.

٥) كثبان رملية كما هو الحال على سطح الأرض مما يؤكد وجود الرياح.

٦) أرض حمراء اللون ناشئة عن تحلل الصخور النارية والتركيز العالي لمعدن الحديد بها.

القنوات المريخية Canyons

لقد تم رصد العديد من القنوات والأنهار الجافة على سطح المريخ، شكل 6-14. ولقد كانت في بداية أمرها عبارة عن تشققات حدثت في القشرة ولكن جريان الماء فيها في أوقات سابقة من حياة المريخ أدى إلى تشكل هذه الأنهار على الشكل الذي نراه الآن، وهذا أمر محير أين ذهب الماء الذي كان يجري في هذه الأنهار؟ ومن أين أتى؟. من محاولة فهم تاريخ تطور المريخ يعتقد الفلكيون أن درجة الحرارة كانت أعلى من ذلك حيث كانت البراكين فعالة؛ ولذلك كان الماء موجوداً في الحالة السائلة. وتشير قنوات المريخ إلى حقبتين من الزمن الأولى منذ حوالى 4 بليون سنة حيث كانت الأمطار تهطل والغلاف الجوي كان أشد حرارة، والمرحلة الثانية بعد حوالى بليون سنة من المرحلة الأولى حيث أدت البراكين إلى إخراج الماء المتجمد تحت السطح ليجري في الأنهار الموجودة على سطح الكوكب. أما في الوقت الحالي فإن درجة حرارة السطح أقل من درجة تجمد الماء باستمرار ولذلك يظل الثلج متجمدا تحت السطح، وهذا الوضع مستمر لخمود البراكين وعدم وجود احتمال ارتفاع الحرارة على الكوكب أكثر مما هي عليه الآن. هل هناك احتمال لوجود حياة على المريخ؟



شكل 6-14: لقد لعب الماء دوره في تشكيل هذه المنطقة وغيرها الكثير على سطح المريخ. إلى اليسار: قناة مريخية ضخمة. (NASA)

لقد كان هذا السؤال من النقاط المثيرة والمدهشة حقاً بشأن المريخ وبعد كل الدراسات السابقة يظهر لنا أن المريخ غير ممهد للحياة، ولقد أجريت ثلاث تجارب في رحلات فايكنج لمعرفة ما إذا كان في تربة المريخ ما يشير

إلى وجود حياة ولو بسيطة وبدائية على المريخ. وفي هذه التجارب تم وضع تربة المريخ في غرفة اختبار مغلقة. وفي التجربة الأولى تم وضع ماء مع مجموعة من العناصر المهمة لاستثارة الخلايا العضوية، فإذا كان في تربة المريخ خلايا عضوية فإنها تأخذ غذاءها وبالتالي يحدث نقص لما هو موجود داخل غرفة الاختبار. وفي التجربة الثانية تم وضع مواد غذائية تم تعريضها من قبل لأشعة راديوية قبل وضعها في غرفة الاختبار. أما في التجربة الثالثة فقد ملئت غرفة الاختبار بغازات من المريخ فإذا حدث تناقص في كمية ثاني أكسيد الكربون دل ذلك على وجود خلايا حية. ومن المدهش حقاً أن نتائج التجارب الثلاث كانت إيجابية بشكل سريع ولكن سرعان ما توقفت التفاعلات تماماً عكس ماهو متوقع من الخلية الحية والتي تستمر في التفاعل. واتضح بدراسة نتائج التجارب الثلاث أن تربة المريخ نشطة من الناحية الكيميائية أكثر من تربة الأرض، والسبب في ذلك هو تعرضها للأشعة فوق البنفسجية بكثرة والتي تؤثر بشكل واضح على تربة المريخ، كما أكدت التجارب غياب المواد العضوية وهي من أهم الدلائل على وجود الحياة من عدمه. ولذلك يمكننا القول إن الحياة التي نعرفها ونألفها على الأرض غير موجودة على المريخ. ولكن بشكل عام مازال المريخ بالنسبة للإنسان أفضل مكان بعد الأرض يمكن الاقتراب منه والتعامل معه، فالقمر ليس له غلاف، جوي وعطارد والزهرة شديدا السخونة، والكواكب الأخرى شديدة البعد، ولذلك تم وضع برامج مستقبلية لاستكشاف تفاصيل دقيقة عن كوكب المريخ وأقماره عسى أن تأتينا بالجديد عن أسرار المريخ وماهي سبل الاستفادة منه؟ ولكن بعد أن تكونت لدينا صورة واضحة عن المريخ يتضح لنا مدى العناية الإلهية التي حبا الله بها الأرض فمهدها ويسر فيها كل أسباب الحياة ووضع فيها ما يحمي الحياة من الأخطار المحيطة بالأرض فالحمد لله على نعمه وآلائه. ونظرة متفحصة إلى الكواكب من حولنا تشعرنا بالآية العظيمة الكامنة في كوكب الأرض فهل يحافظ الإنسان على هذه النعمة ولا يكون مفسداً فيها وعليها.

الفصل الرابع

فهم تطور الكواكب الأرضية Understanding developing of terrestrial planets

من خلال دراستنا للكواكب الأرضية والقمر ومقارنة بعضها البعض يمكننا أن نكون صورة عن طريقة تطورها، وخصوصاً أن بدايتها فيما نعتقد كانت واحدة، فقد بدأت كمادة منصهرة متجمعة بفعل جاذبيتها الذاتية وتحيط بها غلالة من الغازات الأولية وأهمها الهدروجين. ومن حيث التركيب الداخلي فجميعها، عدا القمر، يتكون من ثلاث طبقات: اللب والوشاح والقشرة، ولكننا نجد أن اللب أكبر ما يمكن في عطارد وأقلها في سمك اللب هو المريخ ولا يوجد لب في القمر. يحيط بعطارد مجال مغناطيسي قدره 0.01 من مجال الأرض المغناطيسي وذلك لأن أغلبه لب، وقد يكون ذلك بسبب تكون القشرة في فترة زمنية وجيزة لقربه من الشمس. أما الزهرة فليس لها مجال مغناطيسي رغم وجود لب مماثل لما في الأرض ولكن بطئها الشديد في اللف حول نفسها أدى لعدم تكون مجال مغناطيسي حولها. والمريخ يحيط به مجال مغناطيسي ضعيف رغم أنه يلف حول نفسه بسرعة مماثلة للف الأرض تقريباً، وقد يكمن السبب في ضعف مجاله المغناطيسي في صغر لبه. ومن حيث النشاط الجيولوجي فإن القمر يعتبر خاملاً فهو جسم صغير نسبياً وبرد من داخله. أما عطارد فلسنا نعرف الكثير عن نشاطه الجيولوجي ولكن من المرجح أنه قريب الشبه بالقمر في نشاطه الجيولوجي. ويعتبر المريخ في مرحلة متوسطة بين الأرض والقمر ولكن حركة صفائح اليابسة غير موجودة عليه. الأرض وهي أكبر الكواكب الأرضية وهي تقريباً الكوكب الوحيد الذي يمتلئ نشاطا جيولوجيا وكأنها تمثل حياة هذا الكوكب لتناسب وجود الحياة عليه. أما الزهرة فرغم تشابهها مع الأرض في التركيب الداخلي إلا أننا لا نرى عليها نشاطا جيولوجيا واضحاً كما على الأرض ولكننا مازلنا في حاجة إلى معلومات أدق عن نشاطها الجيولوجي. وبالنسبة للجبال فإن أغلبها على القمر وعطارد ناتجة عن سقوط الشهب على سطحيهما، أما الزهرة والمريخ فإن جبالهما ناتجة عن البراكين، وأعلى الجبال على الأرض ناتجة عن تصادم صفائح القارات. ولكن من حيث ارتفاع الجبال فإن جبال المريخ عالية وخاصة جبل أوليمبوس مونز فهو أعلى جبال المجموعة الشمسية وقد يكون السبب في ذلك هو عدم حركة القشرة على سطح المريخ مما أدى إلى ثبات أماكن البراكين وبالتالي كونت جبالاً شاهقة الارتفاع وقد ساعد على استقرار الجبال ضعف جاذبية المريخ نسبياً.

وعن الغلاف الجوي للكواكب الأرضية فقد كان في بداية حياتها مماثلا لتركيب الغلاف الجوي للكواكب العملاقة حيث يتكون الغلاف الجوي من الهيدروجين وبعض مركباته، ولكن بفعل حرارة الشمس وضعف جاذبية الكواكب الأرضية النسبي أدى إلى هروب الغازات الخفيفة المكونة للأغلفة الجوية لتحل محلها عناصر أخرى أثقل أتت من باطن الكواكب أو من خلال الشهب التي ترتطم بأسطح هذه الكوكب، ومن ثم تبدلت الصورة الأولية لأغلفة هذه الكواكب وحلت محلها غازات غنية بالكربون والأكسجين. ويعتقد العلماء أن المريخ بعد أكثر من بليون سنة من نشأته بدأ يتكون عليه غلاف سميك، وكانت درجة الحرارة عليه كافية ليجري الماء على سطحه مكونا الأنهار ومجاري الماء كما هو الحال على الأرض، وكانت هناك نسبة من ثاني أكسيد الكربون في غلافه والتي ساعدت على توفير الحرارة الكافية لاحتفاظ الماء بسيولته، ولكن نتيجة لصغر المريخ وضعف جاذبيته هربت نسبة

من ثاني أكسيد الكربون وبالتالي قلت حرارته مما أدى إلى تجمد الماء. الوضع على الزهرة معاكس لذلك تماما حيث أن السحب الكثيفة ووجود ثاني أكسيد الكربون في غلافه الجوي أدى إلى تزايد الحرارة بفعل ظاهرة الاحتباس الحراري ولذلك فإن الحرارة العالية حالت دون وجود الماء في الحالة السائلة عليه. ومن الواضح أن الأرض بتقدير الله عز وجل وسط في الأمور كلها، فدرجة الحرارة مناسبة لوجود الماء السائل وتحتفظ الأرض بنسبة معقولة من ثاني أكسيد الكربون بحيث يظل التوازن الحراري اللازم لاستمرار الحياة ووجود الماء السائل. وتوفر الماء يعني توفر أهم عامل للحياة على الأرض، وكما يعتقد العلماء فإن استمرار الحياة على الأرض يساعد على وجود حالة الاتزان هذه. ومع عدم توفر الماء السائل على كل من المريخ والزهرة أصبح لكل منهما مسار مخالف تماماً في تطور الغلاف الجوي بحيث نراهما اليوم في هيئة مغايرة للأرض.

ملخص Summary

١) القمر وعطارد متشابهان باستثناء بعض الاختلافات من حيث التركيب ووجود مجال مغناطيسي.

٢) دارسة الزهرة من الدراسات الشيقة، فرغم كتلتها قريبة من كتلة الأرض، وأقرب الكواكب إلينا وتتشابه مع الأرض في أشياء عديدة إلا أن احتمالات الحياة عليها بعيدة المنال، والسبب في ذلك يرجع إلى لفها البطئ حول نفسها وبشكل تراجعي مما تسبب في تقوية ظاهرة الاحتباس الحراري وسيطرتها على غلافه.

٣) الزهرة نموذج واضح لظاهرة الاحتباس الحراري.

٤) أشبه الكواكب بالأرض من حيث المناخ هو المريخ، ويتميز المريخ باللون الأحمر لتربته.

٥) لقد كانت ظروف المريخ في الماضي مناسبة لجريان الأنهار على سطحه، ولكن صغر غلافه الجوي أدى إلى اختفاء الماء.

٦) لا يوجد مجال مغناطيسي على كل من الزهرة والمريخ.

٧) تطورت الكواكب الأرضية عن الوضع الذي نشأت عليه، ورغم توحد نشأتها إلا أن مسار التطور مختلف من كوكب لآخر.

٨) توجد تغيرات فصلية على المريخ ولا توجد على الزهرة.

أسئلة

١) عطارد قريب من الشمس فما أثر ذلك عليه؟

٢) ما أوجه الشبه والاختلاف بين القمر وعطارد؟

٣) الزهرة بطيئة في اللف حول نفسها، فما أثر ذلك عليها؟

٤) كيف نفهم عدم وجود الماء على كوكب المريخ؟

٥) ماذا تعرف عن قبعات الثلج على المريخ؟

٦) كيف نفهم تطور الكواكب شبيهة الأرض؟