



موقع أجاب التعليمي منصة تساهم  
بحل وشرح المنهج الدراسي  
السعودي حسب طبعة وزارة  
التعليم



# علوم الأرض والفضاء

التعليم الثانوي - نظام المسارات

السنة الثالثة

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين





## ح) وزارة التعليم ، ١٤٤٥هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

وزارة التعليم

علوم الأرض والفضاء - التعليم الثانوي - نظام المسارات - السنة

الثالثة. / وزارة التعليم. - الرياض ، ١٤٤٥ هـ

٤٥٤ ص ٢٧.٥ X ٢١ سم

ردمك : ٤-٥٣٨-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

١- الجيولوجيا - تعليم - السعودية

٢- التعليم الثانوي - السعودية

- كتب دراسية أ.العنوان

١٤٤٥ / ٣٦٢

ديوي ٥١١, ٠٧١٢

رقم الإيداع: ١٤٤٥ / ٣٦٢

ردمك : ٤-٥٣٨-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

[www.moe.gov.sa](http://www.moe.gov.sa)

مواد إثنائية وداعمة على "منصة عين الإثنائية"



[ien.edu.sa](http://ien.edu.sa)

أعضاء المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:  
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.



[fb.ien.edu.sa](https://fb.ien.edu.sa)

أخي المعلم/أختي المعلمة، أخي المشرف التربوي/أختي المشرفة التربوية:  
نقدر لك مشاركتك التي ستسهم في تطوير الكتب المدرسية الجديدة، وسيكون لها الأثر الملموس في دعم  
العملية التعليمية، وتجويد ما يقدم لأبنائنا وبناتنا الطلبة.



[fb.ien.edu.sa/BE](https://fb.ien.edu.sa/BE)



وزارة التعليم

Ministry of Education

2023 - 1445

## رموز السلامة في المختبر

### المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
 التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات الحية.	لا تتخلص من هذه المواد في المسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
 ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبب ضرراً للإنسان.	البكتيريا، الفطريات، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيداً.
 درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
 الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدببة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحذر مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
 الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العت (النفضالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
 الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائر منسكية، تماس كهربائي، أسلاك معزاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
 المواد المهيجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العت، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقياً للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
 المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتنتفخها.	المبيضات مثل فوق أكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، واللبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
 المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيداً بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
 مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات الشسر، برمنجنات الشسر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلباً للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق حسب نوع المادة المحترقة والموضحة على المطفأة.
 اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف (للطالبات)، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلباً للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

 غسل اليدين	 نشاط إشعاعي	 سلامة الحيوانات	 وقاية الملابس	 سلامة العين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.	يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.	يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.	يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعاً أو حريقاً للملابس.	يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.



## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، وعلى آله وصحبه أجمعين،  
وبعد:

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (2030) وهو: "إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية"، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

وقد جاء كتاب علوم الأرض والفضاء لنظام المسارات في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم عبر "ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة".

وقد تم بناء محتوى كتاب الطالب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب مشوق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، وبما يُعزز أيضاً مبدأ رؤية 2030 "نتعلم لنعمل".

وعندما تبدأ دراسة المحتوى تجد في كل قسم ربطاً بين المفردات السابقة والمفردات الجديدة، وفكرة رئيسة خاصة بكل قسم ترتبط مع الفكرة العامة للفصل. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ما يتعلق بالربط بمحاور رؤية (2030) وأهدافها الاستراتيجية ومنها ربط المحتوى مع واقع الحياة. وكذلك تضمّن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في مستويات التقويم بأنواعه الثلاثة: التمهيدي، والتكويني، والختامي؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية والتجربة الاستهلاكية في كل فصل بوصفهما تقويمًا تمهيدياً؛ لتقييم ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد سؤالاً تحت عنوان «ماذا قرأت؟»، وفي نهاية الفصل تجد دليلاً لمراجعة الفصل يتضمّن تذكيراً بالفكرة العامة والأفكار الرئيسة والمفردات، وخلاصة بالأفكار الرئيسة التي وردت في كل قسم. كما تجد تقويمًا للفصل في صورة أسئلة متنوعة تهدف إلى مراجعة المفردات وتثبيت المفاهيم، وأسئلة بنائية، وأسئلة خاصة بالتفكير الناقد، وتصميم خرائط مفاهيمية، وسؤال تحفيز. وفي نهاية كل فصل تجد اختباراً مقنناً يهدف إلى تقويم فهمك للموضوعات التي درستها في الفصل.

والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.



## فهرس أقسام الكتاب

6	.....	القسم الأول (1-1)
255	.....	القسم الثاني (2-1)



# القسم الأول (1-1)





# قائمة المحتويات

## الفصل 3

- 74 ..... **المعادن**
- 76 ..... 3-1: ما المعدن؟
- 86 ..... 3-2: أنواع المعادن وأهميتها
- 92 ..... السياحة الجيولوجية
- 93 ..... دليل مراجعة الفصل
- 94 ..... تقويم الفصل
- 98 ..... اختبار مقنن

## الفصل 4

- 100 ..... **الصخور**
- 102 ..... 4-1: ما الصخور النارية؟
- 108 ..... 4-2: تصنيف الصخور النارية
- 114 ..... الجيولوجيا والبيئة
- 116 ..... 4-3: تشكّل الصخور الرسوبية
- 123 ..... 4-4: أنواع الصخور الرسوبية
- 128 ..... 4-5: الصخور المتحولة
- 135 ..... السياحة الجيولوجية
- 136 ..... مختبر الجيولوجيا (1)
- 137 ..... مختبر الجيولوجيا (2)
- 138 ..... دليل مراجعة الفصل
- 140 ..... تقويم الفصل
- 146 ..... اختبار مقنن

## دليل الطالب

كيف نستفيد من كتاب علوم الأرض والفضاء؟ ..... 9

## الفصل 1

- 12 ..... **تطور الكون**
- 14 ..... 1-1: نشأة الكون
- 24 ..... 1-2: النجوم والمجرات
- 34 ..... التقنية والفلك
- 35 ..... مختبر الفضاء
- 36 ..... دليل مراجعة الفصل
- 37 ..... تقويم الفصل
- 39 ..... اختبار مقنن

## الفصل 2

- 40 ..... **الميكانيكا السماوية**
- 42 ..... 2-1: قانون الجاذبية وقوانين كبلر
- 55 ..... 2-2: التقنية الفضائية
- 65 ..... تطبيقات فضائية
- 68 ..... مختبر الفضاء
- 69 ..... دليل مراجعة الفصل
- 70 ..... تقويم الفصل
- 72 ..... اختبار مقنن



## مرجعيات الطالب

228	صفات المعادن ذات البريق الفلزي
229	صفات المعادن ذات البريق اللافلزي
230	خواص الصخور
232	صحيفة الحقائق الكوكبية
234	المعادن الفلزية في المملكة العربية السعودية
236	خريطة ظهور المحيطات
238	حدود الصفائح
240	جيولوجية شبه الجزيرة العربية
242	مواقع محطات الرصد الزلزالي في المملكة
243	مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم
244	الحرث في المملكة العربية السعودية
245	المعادن الصناعية في المملكة العربية السعودية
246	المصطلحات

## الفصل 5

150	الصفائح الأرضية وآثارها
152	5-1: انجراف القارات
157	5-2: توسع قاع المحيط
164	5-3: حدود الصفائح وأسباب حركتها
172	الجيولوجيا والبيئة
173	دليل مراجعة الفصل
174	تقويم الفصل
176	اختبار مقنن

## الفصل 6

178	البراكين والزلازل
180	6-1: ما البركان؟
189	6-2: الثورات البركانية
195	علم الأرض والتقنية
196	6-3: الأمواج الزلزالية وبنية الأرض
204	6-4: قياس الزلازل وتحديد أماكنها
210	6-5: الزلازل والمجتمع
217	الزلازل والمجتمع
218	مختبر الجيولوجيا
219	دليل مراجعة الفصل
221	تقويم الفصل
223	اختبار مقنن





## كيف نستفيد من كتاب علوم الأرض والفضاء ؟

عندما تقرأ كتاب علوم الأرض والفضاء إنما تقرؤه للحصول على المعلومات؛ فالكتابة العلمية ليست مجرد كتابة خيالية، وإنما تصف أحداثاً حياتية واقعية تربط الناس مع الأفكار والتقنيات. وفيما يأتي بعض الأدوات التي تضمنها الكتاب والتي تساعدك على القراءة.

## قبل أن تقرأ

اقرأ كلاً من **الفكرة العامة** و **الفكرة الرئيسية** قبل قراءة الفصل أو في أثنائه؛ فهي تزودك بنظرة عامة تمهيدية لهذا الفصل.

### الفصل 1

## تطور الكون

### Evolution of the Universe

**الفكرة العامة** خلق الله - سبحانه وتعالى - الكون بما فيه من مجرات ونجوم وكواكب، وهو في حالة توسع دائم.

**1-1 نشأة الكون**

**الفكرة الرئيسية** تعرف طبيعة الكون ونشأته وعرض طرائق فلكية لتحديد عمر الكون.

**1-2 النجوم والمجرات**

**الفكرة الرئيسية** وصف مراحل دورة حياة النجوم، وتحديد موقعنا في مجرة درب التبانة.

**حقائق فلكية**

- يقع كوكب الأرض ضمن النظام الشمسي الذي يقع في مجرة درب التبانة والتي تعد واحدة من مئات بلايين المجرات.
- وزن ملعقة واحدة من المادة الخاصة بالنجم النيوتروني تساوي وزن جبل شاهق على سطح الأرض.

**الفكرة العامة** تقدم صورة شاملة لكل فصل، ولكل موضوع من موضوعات الفصل.

**الفكرة الرئيسية** تصف الموضوع، وتدعم فكرته العامة.

## تطور الكون

## طرائق أخرى للتصفح

- اقرأ عنوان الفصل لتتعرفَ موضوعاته.
- تصفح الصور والرسوم والجداول.
- ابحث عن المفردات البارزة والمظللة باللون الأصفر.
- اعمل مخططاً للفصل مستخدماً العناوين الرئيسة والعناوين الفرعية.





# كيف نستفيد من كتاب علوم الأرض والفضاء ؟

## عندما تقرأ

في كل جزء من الفصل ستجد أساليب لتعميق فهمك للموضوعات التي ستدرسها، واختبار مدى استيعابك لها.

الربط مع الحياة: يصف ارتباط المحتوى مع حياتك.

## 1-1

### الأهداف

- يعرف الكون.
- يشرح مراحل نشأة الكون.
- يحسب عمر الكون.

### نشأة الكون

#### The Origin of the Universe

**المهمة** تعرف طبيعة الكون ونشأته وعرض طرائق فلكية لتحديد عمر الكون.

**الربط مع الحياة** طالما اهتمت الناس بروعة السماء وتساءلوا دومًا عن كيفية بداية الكون وعن مآله، ونتيجة لذلك فقد ابتغى العلماء المتخصصين بدراسة الكون بساندهم علم الفلك والفيزياء الفلكية تواجح تسعى إلى تفسير: كيف بدأ الكون وكيف يتغير بمرور الزمن؟ وماذا سيحل به في المستقبل؟

#### لماذا ندرس علم الكون؟ Why do we study cosmology?

حسب الوصف العلمي الحديث للكون فإنه ذلك الفضاء الشاسع الذي يحتوي على أعداد ضخمة لا حصر لها من المجرات والسدم والكواكب بالإضافة إلى الكويكبات والمذنبات والشهب الشكل 1-1. لفهم نشأة الكون يعمل على توسيع افئنا كما حولنا وخارج كوكبنا، فمثلًا يستفاد من فهم نشأة الكون ونظوره في فهم الظواهر الفيزيائية والكيميائية للكون. لقد اهتم البشر على مر الأزمنة والعصور بالظواهر المرتبطة بالكون مثل شروق الشمس وغروبها وتعاقب الليل والنهار وتعاقب فصول السنة المناخية وخسوف القمر وكسوف الشمس ومع مراقبتهم للسماء بتجربتها المختلفة اعطوا للمجموعات النجمية تسميات مختلفة ترتبط بالبيئة المحيطة بهم مثل كوكبة الثور والعقرب والجدار والحمل والذئب الأكبر والأصغر واستنتج العلاقة بين ظهور هذه المجموعات النجمية والفصول المناخية وما يرتبط بها من مواسم زراعية ومعظم العبادات في الإسلام مرتبطة بظواهر فلكية كأوقات الصلاة التي ترتبط بحركة الشمس الظاهرية فضلاة الفجر يبدأ وقتها من ظهور الشفق الأبيض ناحية الشرق إلى شروق الشمس وضلاة الظهر يبدأ وقتها حين تزول الشمس أي تبدأ في الانخفاض بعد أن وصلت أقصى ارتفاع لها في السماء وكما أن عبادتي الصيام والحج مرتبطتان بحركة القمر حول الأرض. والسفر في الجار بين البلدان يتطلب معرفة الاتجاهات والتي تتم بالاهتداء بالنجوم قال تعالى: ﴿رَبُّكَ عَلَّمَكَ حَمَلُ النُّجُومِ بِالنَّجْمِ إِتِّفَاقًا يَا فِي عِلْمَيْهِ أَنْزَلَهُ الْقُرْآنَ وَالْجِبْرُتَ حَقًّا أَلَيْسَ بِعَظِيمٍ﴾ مسورة الأعمام الآية: 97.



الشكل 1-1 كل شيء في الكون المنظور مكون من مادة، ومن ذلك النجوم والمجرات والكواكب والمذنبات والشهب.

14

### تتمدد الكون Expansion of the Universe

أنتج عالم الفلك إدوين هابل في عشرينيات القرن الماضي اكتشافاً ثورياً يتعلق بالكون، وذلك باستخدام تلسكوب مرصد جبل ويلسون في لوس أنجلوس، حيث أثبت هابل أن الكون ليس ثابتاً وإنما يتمدد بشكل 1-7. بعد ذلك بقرود، وفي عام 1998 رصد التلسكوب هابل الفضائي -ذو النتائج الغريبة- مستعرات عظمى بعيدة supernova، ووجد أن الكون منذ زمن طويل كان يتمدد بشكل أبطأ مما يفعل الآن، وهذا الاكتشاف كان مفاجئاً فالعقود ولوقت طويل بشأن جاذبية مادة الكون سستطيع من تمدهه أو حتى تسبب تقلصه. ومن أسباب تمدد الكون **المادة المظلمة Dark Energy** وهي قوة خفية مجهولة المنشأ تشكل 65% من محتوى الكون. وهذه الطاقة هي واحدة من أكثر مواضيع النقاش جدلاً في علم الكون، قال تعالى: ﴿وَأَنشَأْنَا لَنفْسِنَهَا بَنِينَ وَأَبْنَاءً لَمُؤْمِنِينَ﴾ سورة الذاريات الآية: 47.

ماذا قرأت؟ هسر علاقة الطاقة المظلمة بتمدد الكون؟



الشكل 1-7 يوضح تصور تمدد الكون.

### تجربة مسبار الجاذبية: (ناسا)



تمكنت وكالة الفضاء الأمريكية ناسا من اثبات النظرية النسبية العامة للعلماء ألبرت أينشتاين من خلال إجراء تجربة علمية (مسبار الجاذبية) في 20 إبريل 2004 بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. استمرت تجربة مسبار الجاذبية مدة تبلغ نحو خمسة عقود، بدءاً من طرح فكرتها الأولى، وانتهاءً بعمليات التحليل لبياناتها العلمية وقد تطلب المشروع تطوير تقنيات متقدمة جداً. تعد النسبية العامة أفضل نظرية لدى العلم لتفسير آلية عمل قوة الجاذبية. لقد اعتقد الباحثون قبل عام 1916 أن المادة تتحرك بصورة غير مؤثرة عبر خلفتي الزمان والمكان. ثم افترض أينشتاين أن الزمان والمكان يشكلان شيئاً واحداً ومكان space-time بدلاً من الصورة السابقة. وقد جاءت النتائج مقارنة جيداً للنتائج المتوقعة نظرياً لبدأي النظرية النسبية. وقد أسهمت المدينة عبر التعاون التقني مع جامعة ستانفورد في تحليل البيانات الناتجة عن التجربة حيث تم إرسال عدد من المختصين في المدينة للعمل جنباً إلى جنب مع الباحثين في ستانفورد.

19

الروابط البيئية يتضمن محتوى علوم الأرض والفضاء أجزاء من فصول و فقرات تؤكد التطبيقات البيئية المرتبطة مع واقع الحياة: وعندما تشاهد هذه الأيقونة فكر في كيفية ربط المحتوى مع العالم من حولك.



ماذا قرأت؟ أسئلة تقوم مدى فهمك لما درسته.



## مهارات قرائية

- اسأل نفسك: ما **(الفكرة العامة)** ؟ وما **(الفكرة الرئيسية)** ؟
- فكر في الظواهر الطبيعية، والمواقع والمواقف التي مررت بها، وأثرها على المخلوقات الحية؛ هل بينها وبين دراستك لعلوم الأرض والفضاء علاقة؟
- اربط معلومات هذا الكتاب مع المجالات العلمية الأخرى.
- توقع نتائج باستخدام المعلومات التي لديك.
- غير توقعاتك حينما تقرأ معلومات جديدة.

### بعدما قرأت

اقرأ الخلاصة وأجب عن الأسئلة لتقويم مدى فهمك لما درسته.

يتضمن كل جزء من الفصل أسئلة وخلاصة. تقدم الخلاصة مراجعة للمفاهيم الرئيسية، بينما تختبر الأسئلة فهمك لما درست.



**توسع قاع المحيط Seafloor Spreading**  
وضعت فرضية توسع قاع المحيط Seafloor spreading، بناء على بيانات تضاريس قاع المحيط ورسوبياته ومعالمه الجيولوجية القديمة، وتفسر أصل أن القشرة المحيطية الجديدة تتشكل عند ظهور المحطات، وتستهلك عند الأضيق المحيطية (Ocean trenches) ويرجع الشكل 5-14 كيف تحدث عملية توسع قاع المحيط حيث تندفع الصهارة إلى أعلى في أثناء توسع قاع المحيط لأنها أسخن وأقل كثافة من الصخور التي حولها، وتقل القواذف الناتجة عن ابتعاد جاني ظهر المحيط أحدهما عن الآخر، وعندما تتصلب الصهارة تتشكل قشرة محيطية جديدة تصاف إلى سطح الأرض. وباستمرار عملية التوسع على طول ظهر المحيط تندفع صهارة أعرق الأرض إلى أعلى وتتصلب، ويؤدي استمرار التوسع والدفع الصهارة إلى استمرار تكون قشرة محيطية تتحرك ببطء بعيدة عن ظهر المحيط. وتحدث عملية التوسع هناك تحت سطح البحر أما في جزيرة أيسلندا، وهي جزء من ظهر المحيط الأطلسي، تحدث صهارة التوسع فوق مستوى سطح البحر. انظر الشكل 5-15 الذي يبين تدفق اللابة على طول ظهر المحيط، وقد درست سابقاً أن الفجر جمع العديد من البيانات لدعم فكرة الجراف القارات فوق سطح الأرض، إلا أنه لم يتمكن من تفسير كيف تحركت القارات، وسبب حركتها. لاحظ أن فكرة توسع قاع المحيط هي المفصلة المفردة التي كان يحتاج إليها لإثبات توحده من الجراف القارات والقارات في تندفع فوق قشرة المحيط التي تتحرك ببطء على صغر القشرة المحيطية ببطء مستعماً بعضها من بعض عند ظهور المحطات ماضية معها القارات. وتعرف في القسم التالي كيف أدت فرضية توسع قاع المحيط إلى فهم جديد لكيفية حركة كل من القشرة الأرضية وأصل الصفائح بوضحة قطعة واحدة.

### التقويم 2-5

- الخلاصة**
- توفر الدراسات التي أجريت على قيعان المحيطات أدلة على أنها ليست مستوية، وأنها تتغير باستمرار.
  - القشرة المحيطية صغيرة العمر من الناحية الجيولوجية.
  - تتكون قشرة المحيطية الجديدة عند ظهور المحيط عندما ترتفع الصهارة وتتصلب.
  - عندما تتشكل قشرة محيطية جديدة تتحرك القشرة المحيطية القديمة مبتعدة عن ظهر المحيط.
- فهم الأفكار الرئيسية**
1. صف ماذا تشبه عملية توسع قاع المحيط حركة أحرام النافل (التحرك)؟
  2. وضح كيف توفر كل من صخور قاع المحيط ورسوبياته أدلة على توسع قاع المحيط.
  3. اشرح كيف تتغير القشرة المحيطية المغطاة بالمواد.
  4. صف تضاريس قاع المحيط.
- التفكير الناقد**
5. وضح كيف تدعم خريطة تضاريس القارات العمر الجيولوجي لقاع المحيط؟
  6. هل يمكن أن يكون توسع القشرة الأرضية المحيطية في شرق المحيط الهندي أكبر من نظيرها في المحيط الأطلسي؟
- الربط**
7. حلل الشكل 5-11، ما نسبة ذرات النيتروجين المغناطيسية المقلوبة في آخر حصة ملايين سنة.

في نهاية كل فصل أسئلة التقويم، فضلاً عن أسئلة الاختبارات المقننة.

## طرائق أخرى للمراجعة

### حدّد الفكرة العامة

اربط الفكرة الرئيسية مع الفكرة العامة.

استخدم كلماتك الخاصة لتوضيح ما قرأت.

وظّف المعلومات التي تعلمتها في المنزل، أو في موضوعات أخرى تدرسها.

حدد المصادر التي يمكن أن تستخدمها للبحث عن مزيد من المعلومات حول الموضوع.

### 4 الفصل

#### تقويم الفصل

أكمل الجدول الآتي مستملاً الفقرات المناسبة:

1. يسمى التسنج الذي يمتاز بأخوته على بورتات كبيرة في أرضية من البورتات الصغيرة.....
2. يقال عن الصخور التارية التي تتكون في طرف تيريد سريعة أنها.....
3. يقال عن الصخور القائمة السون ذات البورتات كبيرة الحجم أنها.....
4. ينتج عن تزامن الرسوبيات الغائبة وانحائها.....
5. تدعى طبقات الصخور الرسوبية التي ترتب مائلة على السطح الأفقي.....
6. تصاعد الغازات من الصهارة مع تدفقها على سطح الأرض.
7. يصف طبقات يوحس للصفائح والترتيب الذي تتأثر على أساسه المعادن.
8. تتميز الصخور الجرانيتية بلونها الغامق وعجزها القليل من السيليكات.
9. تتكون اللابة في الأحواض تحت القشرة الأرضية.
10. تحدث التسنج في أثناء استمرار الرسوبيات بتناقص حرارة المياه.
11. تتكون الصخور المنحولة المتصلبتة من بورتات كتلية الشكل.

140



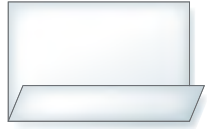


## نشاطات تمهيدية

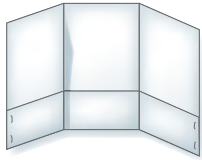
اصنع المطوية الآتية لتساعدك على تنظيم المعلومات وترتيب الأفكار الرئيسة المتعلقة بالمجرات وأنواعها.

### المطويات

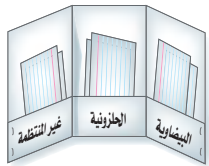
#### منظمات الأفكار



**الخطوة 1** اثن الطرف السفلي للورقة طولياً بمقدار 3 cm، ثم اضغط على الجزء المطوي إلى أعلى.



**الخطوة 2** اثن الورقة إلى ثلاثة أجزاء متساوية.



**الخطوة 3** ألصق الجزء المثني من الورقة من الجوانب لعمل ثلاثة جيوب، وعنونها بأنواع المجرات: البيضاوية، الحلزونية، وغير المنتظمة.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراستك القسم 1-2، لتتعرف على مميزات بنية كل نوع.

## تجربة استهلاكية

### هل يتمدد الكون كتمدد البالون؟

التمدد يصف الحالة التي تبعد بها الجزيئات عن بعضها بعضاً، في حين يمثل الانكماش الحالة العكسية للتمدد حيث تقترب فيها الجزيئات من بعضها بعضاً.



### الخطوات

1. أحضر بالون مفرغ من الهواء.
2. بواسطة قلم ملون ضع على البالون مجموعة من النقاط على مسافات مختلفة.
3. ابدأ في نفخ البالون إلى أقصى حجم ممكن.

### التحليل

1. قارن بين حجم البالون قبل وبعد النفخ.
2. ما ملاحظاتك حول تغير المسافة بين نقاط البالون قبل النفخ وبعده؟
3. قارن بين النقاط على البالون و المجرات في الكون.
4. استنتج ما يحدث للكون.





# 1-1

## الأهداف

- يعرف الكون.
- يشرح مراحل نشأة الكون.
- يحسب عمر الكون.

## نشأة الكون

### The Origin of the Universe

**الفكرة الرئيسية** تعرف طبيعة الكون ونشأته وعرض طرائق فلكية لتحديد عمر الكون.

**الربط مع الحياة** طالما افتتن الناس بروعة السماء وتساءلوا دومًا عن كيفية بداية الكون وعن مآله، و نتيجة لذلك فقد ابتدع العلماء المتخصصين بدراسة الكون يساندهم علماء الفلك و الفيزياء الفلكية نماذج تسعى الى تفسير: كيف بدأ الكون و كيف يتغير بمرور الزمن؟ و ماذا سيحل به في المستقبل؟

### لماذا ندرس علم الكون؟ Why do we study cosmology?

حسب الوصف العلمي الحديث للكون فإنه ذلك الفضاء الشاسع الذي يحتوي على أعداد ضخمة لا حصر لها من المجرات والسدم والكواكب بالإضافة إلى الكويكبات والمذنبات و الشهب الشكل 1-1. لفهم نشأة الكون يعمل على توسيع ادراكنا لما حولنا وخارج كوكبنا، فمثلاً يستفاد من فهم نشأة الكون وتطوره في فهم الظواهر الفيزيائية والكيميائية للكون. لقد اهتم البشر على مر الازمنة والعصور بالظواهر المرتبطة بالكون مثل شروق الشمس وغروبها وتعاقب الليل والنهار وتعاقب فصول السنة المناخية و خسوف القمر وكسوف الشمس ومع مراقبتهم للسماء بنجومها المختلفة اعطوا للمجموعات النجمية مسميات مختلفة ترتبط بالبيئة المحيطة بهم مثل كوكبة الثور والعقرب والجبار والحمل والدب الأكبر والأصغر واستنتجوا العلاقة بين ظهور هذه المجموعات النجمية والفصول المناخية وما يرتبط بها من مواسم زراعية ومعظم العبادات في الإسلام مرتبطة بظواهر فلكية كأوقات الصلاة التي ترتبط بحركة الشمس الظاهرية فصلاة الفجر يبدأ وقتها من ظهور الشفق الأبيض ناحية الشرق إلى شروق الشمس وصلاة الظهر يبدأ وقتها حين تزول الشمس أي تبدأ في الانخفاض بعد أن وصلت أقصى ارتفاع لها في السماء وكما أن عبادتي الصيام والحج مرتبطتان بحركة القمر حول الأرض. والسفر في البحار بين البلدان يتطلب معرفة الاتجاهات والتي تتم بالاهتداء بالنجوم قال تعالى: ﴿ وَهُوَ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ النُّجُومَ لِتَهْتَدُوا بِهَا فِي ظُلُمَاتِ اللَّيْلِ وَالْبَحْرِ قَدْ فَصَّلْنَا الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴾ سورة الأنعام الآية: 97.

### مراجعة المفردات

**التلسكوب:** آلة فلكية حديثة صنعت لتقريب الأجسام البعيدة و توضيح الخافته.

### المفردات الجديدة

- علم الفلك
- الفيزياء الفلكية
- علم الكون
- علوم الفضاء
- نظرية الانفجار العظيم
- الطاقة المظلمة
- عمر الكون



الشكل 1-1 كل شيء في الكون المنظور مكون من مادة، ومن ذلك المجرات والنجوم والكواكب والمذنبات والشهب.

## مهن في علم الفضاء

يركز الفلكي في مجال مهنته على رصد الأجرام السماوية كتحري اهلة الشهور القمرية أو كفني تحليل البيانات في وكالات الفضاء . ويمكن للفلكي أن يمارس مهنته في القبة الفلكية لتتقيد الناس بمجال الفلك والفضاء عبر تقديمه عروضاً محاكيه للسماء.

وقبل أن نبدأ في دراسة تمدد الكون وكيفية تقدير عمر الكون سوف نوضح الاختلافات الرئيسية بين علم الفلك **Astronomy**، علم الفيزياء الفلكية **Astrophysics**، علم الكون **Cosmology** وعلوم الفضاء **Space science** في جدول 1-1.

مقارنة بين العلوم المهمة بدراسة الكون		الجدول 1-1
أمثلة	مجال الدراسة	الفرع
المجرات، النجوم، الشمس، الكواكب، أقمار الكواكب، أشباه الكواكب، الكويكبات، المذنبات، الشهب.	العلم المعني بدراسة الأجرام السماوية.	علم الفلك <b>Astronomy</b>
النشاط الشمسي، تغيرات مظاهر سطوح وأغلفة الكواكب، مادة ما بين الكواكب، مادة ما بين النجوم، تغير لمعان النجوم، نشاط المجرات، النجوم النيوترونية، الثقب السوداء.	مجال فرعي لعلم الفلك. يستخدم قوانين الفيزياء لوصف التغير في طبيعة الأجرام السماوية وأنشطتها المختلفة في جميع أطوال الطيف الكهرومغناطيسي.	الفيزياء الفلكية <b>Astrophysics</b>
نشأة الكون وتطوره حتى صار كما نراه اليوم.	دراسة نشأة الكون وتطوره.	علم الكون <b>Cosmology</b>
إطلاق الصواريخ وإنزال الحمولات منها في مدارات محددة أو باتجاه جرم سماوي كالمسابير.	يعنى باستكشاف الفضاء والمهمات الفضائية.	علوم الفضاء <b>Space science</b>



## الكون : علم أساسي

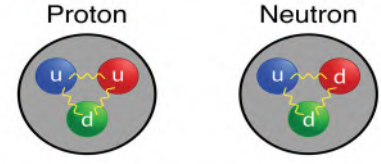
### Cosmology: The Central science

تم تفسير نشأة الكون عبر عدة مراحل تاريخية ظهرت خلالها العديد من النظريات الكونية التي بين أصحابها آلية نشأة الكون وتمدده وكان من أبرزها نظرية الانفجار العظيم التي حازت على قبول معظم علماء الفلك. وكان من أبرز أسباب قبولها بين أوساط العلماء هو نجاحها أيضًا في تفسير بعض من أرواح العلماء مثل: وفرة الهيدروجين والهيليوم وإشعاع الخلفية الكوني.

### نظرية الانفجار العظيم The Big Bang Theory

تعد نظرية الانفجار العظيم **Big Bang Theory** الأكثر قبولاً بين علماء الفلك من بين عدة نظريات حيث نصت نظرية الانفجار العظيم على أنه في لحظة معينة منذ ما يقرب من أربعة عشر مليار سنة كانت المادة والطاقة الموجودة مركزة في منطقة حجمها متناهٍ في الصغر وجميع قوى الطبيعة متحدة وهي القوة النووية والقوة الكهرومغناطيسية وقوة الجاذبية. ثم بدأ الكون في التمدد وتناقص درجة الحرارة بمعدل سريع جداً.

ومع مرور الزمن، انخفضت درجة الحرارة إلى 1500 ترليون K، واكتسبت القوة الطبيعية خصائصها الحالية. كما أن الجسيمات الأولية (وتعرف باسم الكواركات والليبتونات) وهي وحدات البناء الأساسية للمادة، تتحرك في درجات حرية مختلفة في مستويات الطاقة. وعندما تمدد الكون وأصبح بحجم المجموعة الشمسية، امتلأ الكون بكل المادة التي يمكن قياسها. وفي هذه المرحلة اندمجت الكواركات وكونت نيوترونات وبروتونات كما هو موضح في الشكل 1-2.



الشكل 1-2 يوضح تشكل النيوترونات والبروتونات من الكواركات.

البروتون جسيم أولي شحنته موجبة، ويتكون من كواركين علويين (الأحمر والأزرق)، وكوارك سفلي (الأخضر)، النيوترون جسيم أولي متعادل الشحنة، ويتكون من كواركين سفليين (الأخضر والأحمر)، وكوارك علوي (الأزرق).

### الربط مع الفيزياء

إن نقطة الصفر في مقياس كلفن تعرف بأنها الصفر المطلق. ووفقاً لمقياس كلفن فإن نقطة تجمد الماء (0°C) هي 273K تقريباً، ونقطة غليان الماء هي 373K تقريباً. وتسمى الدرجة الواحدة على هذا المقياس كلفن، وتساوي 1°C، لذا يكون  $T_K = 273 + T_C$ .

### إرشادات للدراسة

#### إشعاع الخلفية الكونية CMB

هو الإشعاع الحراري الذي خلفه الانفجار العظيم، ويعتبره العلماء بمثابة صدى لنظرية الانفجار العظيم، ومع مرور الوقت برد هذا الضوء البدائي وضعف إلى حد كبير، ونكتشفه في الوقت الحاضر في مدى الموجات الميكروية (Microwaves).



## المراحل الأولى من حياة الكون

### The first stages of the universe's life

يمكن تقسيم المراحل الأولى، بعد الانفجار العظيم، من حياة الكون إلى فترات زمنية كما يلي:

#### المرحلة الأولى

خلال  $10^{-43}$  ثانية كانت درجة الحرارة تزيد عن  $10^{32}$  K، وكانت جميع القوى الطبيعية متحدة وهي القوة النووية والقوة النووية الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية وقوة الجاذبية.

#### المرحلة الثانية

خلال  $10^{-35}$  ثانية انخفضت الحرارة إلى  $10^{27}$  K وبدأت عملية التمدد السريع في حجم الكون في هذه الفترة والتي تعرف بمرحلة التضخم (inflation)؛ حيث انفصلت القوى الطبيعية عن بعضها وأصبح لكل قوة خصائصها المميزة لها.

#### المرحلة الثالثة

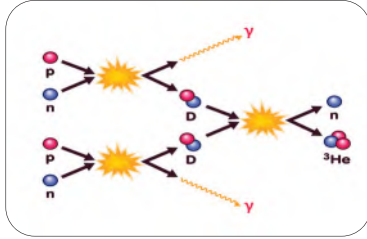
انخفضت الحرارة إلى  $15 \times 10^{14}$  K، وكانت المادة الأولية عبارة عن كواركات تتحرك في مجال من الطاقة، ثم انفصلت القوى النووية والنووية الضعيفة والكهرومغناطيسية والجاذبية وأصبحت القوى الأربع منفصلة.

#### المرحلة الرابعة

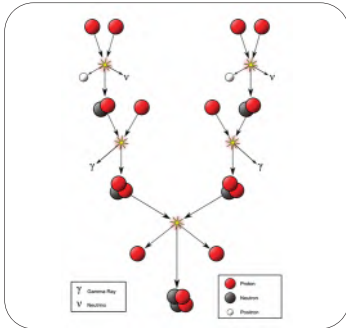
عندما تمدد الكون إلى ألف مرة عن حجمه الأول فإن حجمه الجديد أصبح في حجم المجموعة الشمسية، وعندها بدأت الكواركات تندمج لتكون النيوترونات والبروتونات كما هو موضح في الشكل 1-2.

#### المرحلة الخامسة

تمدد الكون إلى ألف مرة أكبر من حجم المجموعة الشمسية، ومن ثم اندمجت النيوترونات والبروتونات لتكون نويات ذرات الهيليوم والديوتيريوم (وأحياناً يسمى «الهيدروجين الثقيل»، وهو الذرة التي تحتوي نواتها على بروتون واحد ونيوترون واحد، وتسمى نواة الديوتيريوم) كما هو موضح في الشكل 1-3. كل هذا حدث خلال الدقيقة الأولى من عمر الكون من تمدد واتساع وانخفاض في درجة الحرارة وفي الكثافة. ومع ذلك، كانت الظروف لا تزال شديدة الحرارة بحيث لا تستطيع النوى الذرية التقاط الإلكترونات لتكون باقي العناصر الكيميائية.



الشكل 1-3 اتحاد النيوترونات والبروتونات لتكوين ذرة الهيليوم.



الشكل 1-4 يوضح التفاعلات النووية الاندماجية لتكوين العناصر والتي تعرف بسلسلة بروتون-بروتون





### المرحلة السادسة

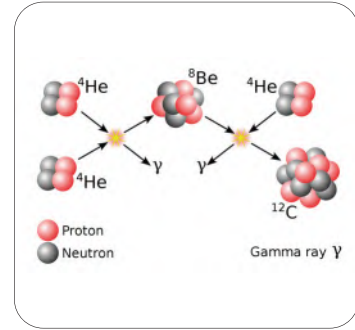
بعد 300 ألف سنة من نشأة الكون ينكمش ألف مرة من حجمه الحالي، ومع انخفاض درجة حرارة الكون أصبحت الظروف مهيأة لتكون الذرات الشكل 4-1، ومن ثم تجمعت الذرات مكونة سحب من الغاز والتي تطورت بعد ذلك لتكون النجوم.

### المرحلة السابعة

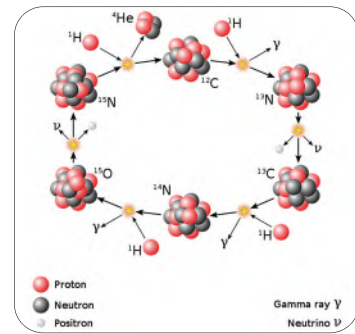
حينما وصل حجم الكون لخمس حجمه الحالي تكونت النجوم وتجمعت في حشود نجمية كروية وتجمعت الحشود النجمية مكونة فيما يمكن أن يسمى مجرات حديثة الولادة.

### المرحلة الثامنة

عندما أصبح الكون يبلغ نصف حجمه الحالي، أنتجت التفاعلات النووية الاندماجية في النجوم معظم العناصر الثقيلة التي تتكون منها الكواكب الأرضية كما في الجدول 1-2 والأشكال 1-4، 1-5، 1-6. وقبل خمسة مليار سنة تشكل نظامنا الشمسي، عندما كان حجم الكون ثلثي حجمه الحالي. وبمرور الوقت، استهلك تكوين النجوم إمدادات الغاز في المجرات، وبالتالي تضاعف عدد النجوم من الجيل الأول. ويتوقع أنه بعد خمسة عشر مليار سنة من الآن، ستكون النجوم مثل شمسنا الحالية.



الشكل 5-1 يوضح التفاعلات النووية الاندماجية لتكوين العناصر والتي تعرف بعملية ثلاثية ألفا.



الشكل 6-1 يوضح التفاعلات النووية الاندماجية لتكوين العناصر والتي تعرف بدورة كربون نيتروجين أو كسجين.

يوضح التفاعلات النووية الاندماجية وتكون العناصر ودرجات الحرارة التي يتم عندها الاندماج النووي.

الجدول 1-2

درجة الحرارة (كلفن)	التفاعل الاندماجي	نوع الاندماج
$10 \times 10^6$	$H \rightarrow {}^4\text{He}$	(1-4) سلسلة بروتون - بروتون
$100 \times 10^6$	$4 {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C}$	(1-5) عملية ثلاثية ألفا
$600 \times 10^6$	${}^{12}_6\text{C} \rightarrow {}^{16}_8\text{O}$	(1-5) عملية ثلاثية ألفا
$1500 \times 10^6$	${}^{16}_8\text{O} \rightarrow {}^{20}_{10}\text{Ne}$ ${}^{16}_8\text{O} \rightarrow {}^{32}_{16}\text{Si}$	(1-6) دورة كربون نيتروجين أو كسجين

## تجربة مسبار الجاذبية : (ناسا)



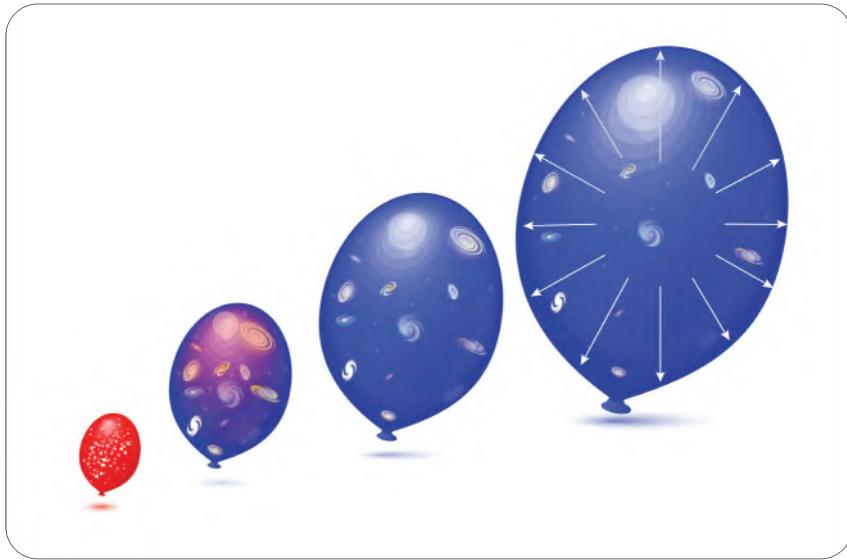
تمكنت وكالة الفضاء الأمريكية ناسا من اثبات النظرية النسبية العامة للعالم ألبرت أينشتاين من خلال إجراء تجربة علمية (مسبار الجاذبية) في 20 إبريل 2004 بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. استمرت تجربة مسبار الجاذبية مدةً تبلغ نحو خمسة عقود، بدءاً من طرح فكرتها الأولى، وانتهاءً بعمليات التحليل لبياناتها العلمية وقد تطلب المشروع تطوير تقنيات متقدمة جداً. تعد النسبية العامة أفضل نظرية لدى العلم لتفسير آلية عمل قوة الجاذبية. لقد اعتقد الباحثون قبل عام 1916 أن المادة تتحرك بصورة غير مؤثرة عبر خلفيتي الزمان والمكان. ثم افترض أينشتاين أن الزمان والمكان يشكلان نسيجاً واحداً زمكان space-time بدلاً من الصورة السابقة. وقد جاءت النتائج مقارنة جداً للنتائج المتوقعة نظرياً لمبدأي النظرية النسبية. وقد أسهمت المدينة عبر التعاون التقني مع جامعة ستانفورد في تحليل البيانات الناتجة عن التجربة حيث تم إرسال عدد من المختصين في المدينة للعمل جنباً إلى جنب مع الباحثين في ستانفورد.

## تمدد الكون Expansion of the Universe

أنجز عالم الفلك إدوين هابل في عشرينيات القرن الماضي اكتشافاً ثورياً يتعلق بالكون، وذلك باستخدام تلسكوب مرصد جبل ويلسون في لوس أنجلوس، حيث أثبت هابل أن الكون ليس ثابتاً وإنما يتمدد الشكل 1-7. بعد ذلك بعقود، وفي عام 1998 رصد التلسكوب هابل الفضائي -ذو النتائج الغزيرة- مستعراتٍ عظمى بعيدةً supernova، ووجد أن الكون منذ زمن طويل كان يتمدد بشكل أبطأ مما يفعل الآن، وهذا الاكتشاف كان مفاجئاً فالمعتقد ولوقتٍ طويل بأن جاذبية مادة الكون ستبطئ من تمدده أو حتى تسبب تقلصه. ومن أسباب تمدد الكون الطاقة المظلمة **Dark Energy** وهي قوة خفية مجهولة المنشأ تشكل 65% من محتوى الكون. وهذه الطاقة هي واحدة من أكثر مواضيع النقاش جدلاً في علم الكون، قال تعالى:

﴿ وَالسَّمَاءَ بَنَيْنَاهَا بِأَيْدٍ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ ﴾ سورة الذاريات الآية: 47.

ماذا قرأت؟ فسر علاقة الطاقة المظلمة بتمدد الكون؟



الشكل 1-7 يوضح تصور تمدد الكون.



## قانون هابل في تمدد الكون Hubble's Law in Expantions of Universe

وينص هذا القانون الذي توصل إليه عالم الفلك الشهير هابل على أن السرعة التي تتباعد بها المجرات عن الأرض تتناسب طرديًا مع المسافة بين الأرض والمجرات؛ أي أن المجرات في كل الاتجاهات في الكون تتباعد بسرعات عالية، وكلما كانت المجرات أبعد فإنها تتباعد بسرعات أكبر. ومن ملاحظات هابل أن نسبة السرعة إلى المسافة ثابتة، وفي هذا الحساب نفترض أن الكون تمدد منذ الانفجار العظيم مع تحرك جميع المكونات بسرعات ثابتة بالنسبة لبعضها بعضًا.

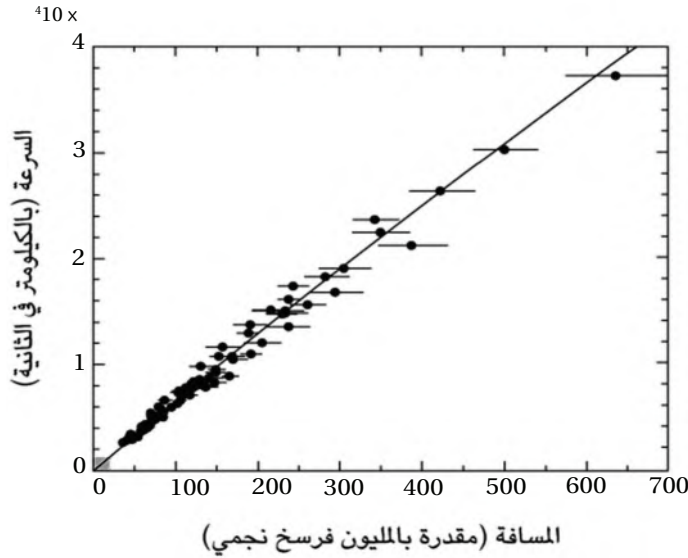
### حساب ثابت هابل

### Hubble's constant calculation

من خلال الشكل 1-8 الذي يوضح علاقة المسافة بين المجرات والأرض وسرعة التباعد إذ إن النسبة بين السرعة والمسافة تعطي مقدارًا ثابتًا وهو ما يسمى بثابت هابل  $H_0$ .

$$H_0 = \frac{v}{d}$$

حيث  $(H_0)$  هو ثابت هابل، و  $(d)$  هي المسافة بين الأرض والمجرة، و  $(v)$  هي سرعة تباعد المجرة عن الأرض.



الشكل 1-8 ثمة علاقة خطية بين معدل التمدد الكوني (المقدر هنا بالكيلومتر في الثانية) والمسافة (المقدرة بالمليون فرسخ نجمي، حيث يعادل الفرسخ النجمي 3.26 سنة ضوئية).

### الربط مع الفيزياء

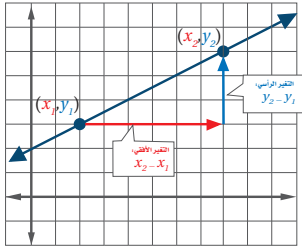
توصل هابل إلى إثبات توسع الكون و حساب عمر الكون عن طريق تأثير دوبلر وهو تغير ظاهري للطول الموجي عندما ترصد من قبل راصد متحرك بالنسبة لمصدر الموجات .



## الربط مع الرياضيات

في المستوى الإحداثي، ميل المستقيم هو نسبة التغير في الإحداثي  $x$  بين أي نقطتين عليه. ويعطي الميل  $m$  لمستقيم يحوي نقطتين إحداثييهما  $(x_1, y_1)$  و  $(x_2, y_2)$  بالصيغة:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$



### مجسات النجوم المتفجرة

آدم ريس هو عالم أمريكي في علم الفلك في جامعة جونز هوبكنز ومعهد علوم تلسكوب الفضاء وهو معروف بأبحاثه في مجال استخدام مجسات النجوم المتفجرة. حصل على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2011 مناصفة مع سول بيرلموتر وبريان شميدت، كما حصل في العام ذاته - مع سول بيرلموتر على قلادة ألبرت أينشتاين -.

## Age of the Universe

## عمر الكون

إذا كان تمدد الكون يسير بمعدل ثابت، فسيكون من اليسير للغاية الربط بين ثابت هابل وبين عمر الكون؛ فجميع المجرات يبتعد بعضها عن بعض في وقتنا الحالي، لكن لا بد أنها كانت في البداية في الموضع ذاته. وكل ما نحتاج إليه هو حساب ذلك الوقت الذي كانت فيه المجرات في الموضع ذاته؛ ومن ثم يكون **عمر الكون Age of the Universe** هو الزمن المنقضي منذ وقوع ذلك الحدث. إن عمر الكون ما هو إلا معكوس ثابت هابل - عملية حسابية بسيطة -. وفي ضوء التقديرات الحالية لثابت هابل، فإن عمر الكون يبلغ نحو 13.8 مليار عام.

ميل خط الرسم البياني في الشكل 8-1 هو  $\frac{v}{D}$  وهو ثابت هابل.

$$H_0 = \frac{v}{d} \quad .1$$

والمسافة مقسومة على السرعة تساوي الزمن أي:

$$t = \frac{d}{v} \quad .2$$

من معادلة (1)

$$v = dH_0 \quad .3$$

وباستبدال معادلة 3 في معادلة 2 نحصل على:

$$t = \frac{1}{H_0} \quad .4$$

بأخذ ثابت هابل ليكون 71 كيلومترًا في الثانية لكل ميغا فرسخ حيث يمثل 1 فرسخ فلكي (الفرسخ الفلكي يساوي 3.26 سنة ضوئية).

لذلك: الكيلومتر = 1000 متر والميغا فرسخ =  $3.09 \times 10^{22}$  متر

$$H_0 = \frac{71000 \text{ m/s}}{3.09 \times 10^{22} \text{ m}} = 2.29 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

وبالتعويض عن قيمة ثابت هابل في معادلة 4

$$t = \frac{1}{2.29 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}} \quad .5$$

$$t = 4.36 \times 10^{17} \text{ s}$$

وبتحويل الثواني إلى سنوات نحصل على:

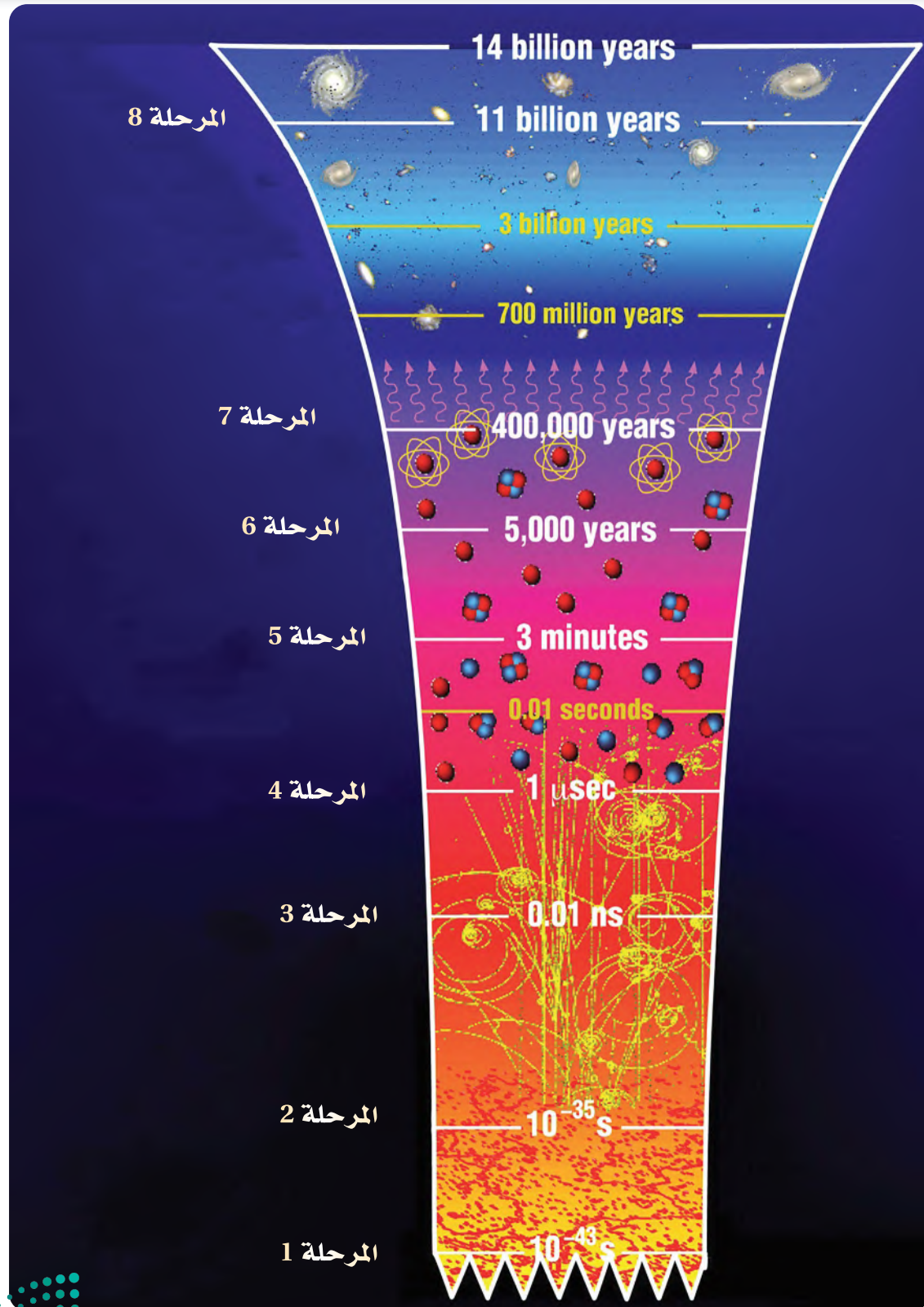
$$t = \frac{4.36 \times 10^{17}}{60 \times 60 \times 24 \times 365}$$

$$t = 13.8 \times 10^9 \text{ y}$$

أي أن عمر الكون يصل إلى 13.8 مليار سنة.



# مخطط يوضح مراحل تطور الكون





## الربط مع التقويم :

JUNE						
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

يُعجُّ الفضاء بمليارات الأجرام السماوية، منها أجسام صخرية صغيرة تدور حول الشمس يطلق عليها "كويكبات"، وقد اعتمدت الأمم المتحدة يوم 30 يونيو ليكون اليوم العالمي للكويكبات، إذ يعتقد العلماء أن الكويكبات تشكّلت منذ نشأة الكون وتطورت من بقايا تكوين نظامنا الشمسي قبل حوالي 4.6 مليار سنة؛ حيث منعت ولادة كوكب المشتري أي كواكب من التكون في الفجوة بينه وبين المريخ، مما تسبب في اصطدام الأجسام الصغيرة التي كانت هناك مع بعضها البعض وتفتتها لتشكّل الكويكبات التي نعرفها اليوم.

## التقويم 1-1

### الخلاصة

- الكون في حالة توسع وتمدد دائم وتم رصد تمدد الكون من قبل العالم هابل
- نصت نظرية الانفجار العظيم على أنه في لحظة معينة منذ ما يقرب من اربعة عشر مليار سنة كانت المادة والطاقة الموجودة مركزة في منطقة حجمها متناهي في الصغر

### فهم الأفكار الرئيسية

- هل يمكن اعتبار التجمع النجمي عبارة عن مجرة وليدة؟ ولماذا؟
- ما مدى أهمية الفيزياء الفلكية في دراسة نشأة الكون وتطوره؟

### التفكير الناقد

- لماذا حازت نظرية الانفجار العظيم على قبول معظم العلماء عن غيرها من النظريات التي تتناول نشأة الكون؟

### الرياضيات في الفلك

- تبعد مجرة الدوامة 23 Mly عن كوكب الارض . باستعمال القيمة 20.8 km /s /Mly لثابت هابل . أوجد سرعة تباعد هذه المجرة؟





# 1-2

## النجوم والمجرات

### Stars and Galaxies

#### الأهداف

- يشرح دورة حياة النجوم.
- يصنف أنواع المجرات.
- يوضح تركيب مجرة درب التبانة.

#### المفردات الجديدة

- النجم
- النجوم المزدوجة
- الحشود النجمية
- الوسط بين النجوم
- التوازن الهيدروستاتيكي
- العمالقة الحمراء
- سديم كوكبي
- قزم أبيض
- قزم أسود
- مستعر أعظم
- النجم النيوتروني
- ثقب أسود
- المجرة

**الفكرة الرئيسية** وصف مراحل دورة حياة النجوم، وتحديد موقعنا في مجرة درب التبانة.

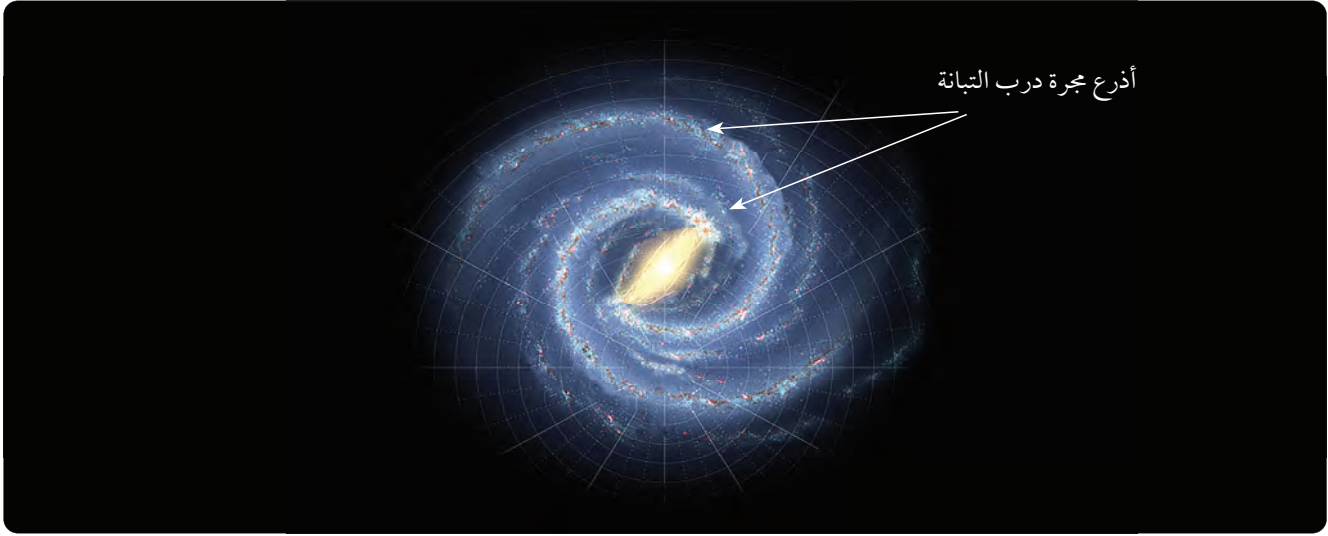
**الربط مع الحياة** تعد النجوم اللبنة الأساسية للمجرات منذ نشأة الكون وتطوره، وهي من أبرز الأجرام السماوية التي حازت على اهتمام الإنسان منذ القدم، وكانت العرب تستخدمها قديماً للاستدلال بالاتجاهات وفصول السنة، قال تعالى: ﴿وَهُوَ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ النُّجُومَ لِنَهْتَدُ بِهَا فِي ظُلُمَاتِ اللَّيْلِ وَالنَّجْمِ﴾ سورة الأنعام الآية: 97.

**النجم star** عبارة عن جرم غازي متألق تتولد الطاقة في باطنه بواسطة تفاعلات الاندماج النووي، وتمر النجوم بدورة حياة تمتد إلى مليارات السنين؛ فهي تولد وتتطور وتموت ومن ثم تولد نجوم أخرى، وتميل النجوم إلى التكون في مجموعات مثل: النجوم المزدوجة **Binary star**، وهما نجمان مرتبطان جاذبياً، يدوران حول بعضهما، والحشود النجمية **Star Cluster** التي تحتوي على مئات الألوف من النجوم، ويمكن أن يولد النجم مفرداً.

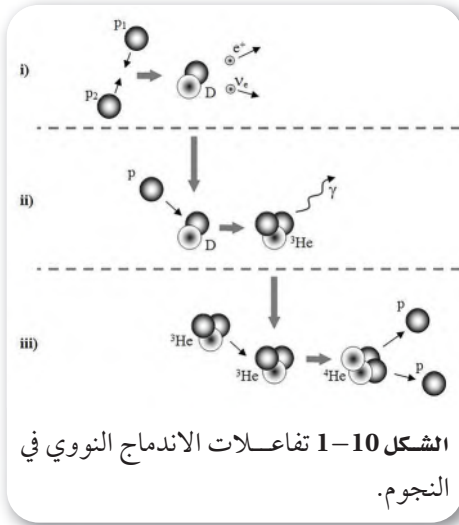
يتكون **الوسط بين النجوم interstellar medium** من الغاز والغبار بكثافة مختلفة؛ فنجد مناطق كثافتها عالية ومناطق أخرى ذات كثافة منخفضة، يحتوي الغاز في غالبيته على الهيدروجين والهيليوم وأيضاً بعض العناصر الأثقل مثل ذرات الكربون، والأوكسجين والنيتروجين والسليكون. يتواجد الهيدروجين في الوسط بين النجوم إما في الحالة الذرية  $H^1$  أو المتأينة  $H^+$  أو الجزيئية  $H_2$ ، وعند وجوده في الحالة الجزيئية يطلق على سحب الغاز والغبار بالسحب الجزيئية وهي سحب تتكون من جزيئات الهيدروجين والهيليوم والكربون والنيتروجين والأوكسجين. تتميز هذه السحب بكثافة عالية ودرجات حرارة أعلى وتتواجد بكثرة في أذرع مجرة درب التبانة، وهي أذرع لولبية تمتد من مركز المجرات الحلزونية الشكل **9-1**.

تولد النجوم في السحب الجزيئية وتمر بعدة مراحل تمتد لملايين السنين، تنكمش السحابة تحت تأثير جاذبيتها ثم يبدأ الغاز والغبار بالتكوير ويسمى النجم حينها بالنجم الأولي، ومع زيادة الضغط تبدأ حرارة اللب المنكمش بالارتفاع، وعند ارتفاع درجة الحرارة ما بين 10-15 مليون درجة مئوية تبدأ تفاعلات الاندماج النووي وتحول الهيدروجين إلى هيليوم في تفاعلات موضحة في الشكل **10-1** لتبدأ بذلك حياة النجم.





الشكل 9-1 صورة افتراضية لأذرع مجرة درب التبانة.



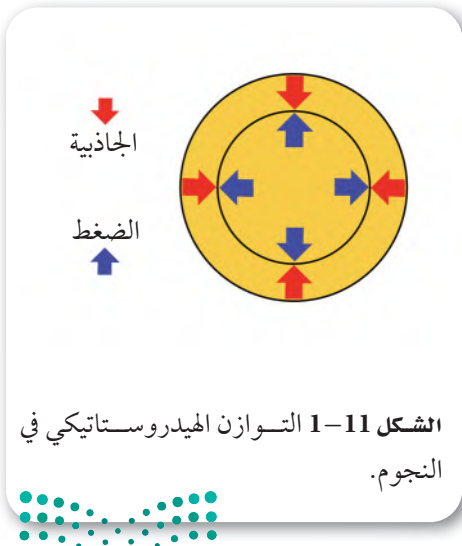
بعد تفاعلات الاندماج النووي وهي تفاعلات يتم فيها دمج نواتين خفيفتان لتكوين نواة أثقل مع إطلاق كميات هائلة من الطاقة، ترتفع درجة الحرارة ويتكون ضغط حراري عالي في اللب يدفع الطاقة الى الخارج، ويواجه النجم في المقابل قوة معاكسة وهي قوة الجاذبية التي تدفع الى الداخل، يستقر النجم عند موازنة قوة الجاذبية الداخلية بواسطة قوة الضغط الخارجية ويسمى هذا التوازن بالتوازن الهيدروستاتيكي **Hydrostatic Equilibrium** الشكل 11-1. تحدد كتلة النجم المولود درجة حرارته وحجمه ولونه حيث أن النجم الأقل سخونة يكون باللون الأحمر ثم الأصفر ثم الأبيض وأخيرًا عند درجات الحرارة العالية جدًا يكون النجم أزرق.

## مخطط التتابع الرئيسي

### Main sequence diagram

حاول العلماء فهم العلاقة بين درجة حرارة النجوم ولعناها والتصنيف الطيفي بعد توفر بيانات هائلة لها، وتوصلوا الى اكتشاف مخطط التتابع الرئيسي Hertzsprung-Russell diagram يتيح هذا المخطط فهم دورة حياة النجم عند تحديد موضعه في المخطط. يوضح الشكل 12-1 أن المحور الأفقي يمثل درجة الحرارة، ويمثل المحور الرأسي اللعنان، ويعد هذا المخطط من أهم الوسائل التي تساعد في معرفة بعض المعلومات المهمة عن النجوم. ويمكن تقسيم المخطط إلى عدة مناطق:

**منطقة شريط التتابع الرئيسي:** لو رسمنا درجات الحرارة أو اللعنان مع النوع الطيفي للنجوم لوجدنا أن غالبية النجوم تنتظم في شريط يمتد من أعلى اليسار إلى أسفل اليمين، سمي هذا الشريط بالتتابع الرئيسي Main Sequence، ونلاحظ أن الشمس تقع عليه، وهي المرحلة الأولى من التطور، يصل النجم إلى التسلسل الرئيسي بمجرد أن يبدأ الاندماج، وهذا ما يفسر سبب تواجد معظم النجوم على شريط التتابع الرئيسي.





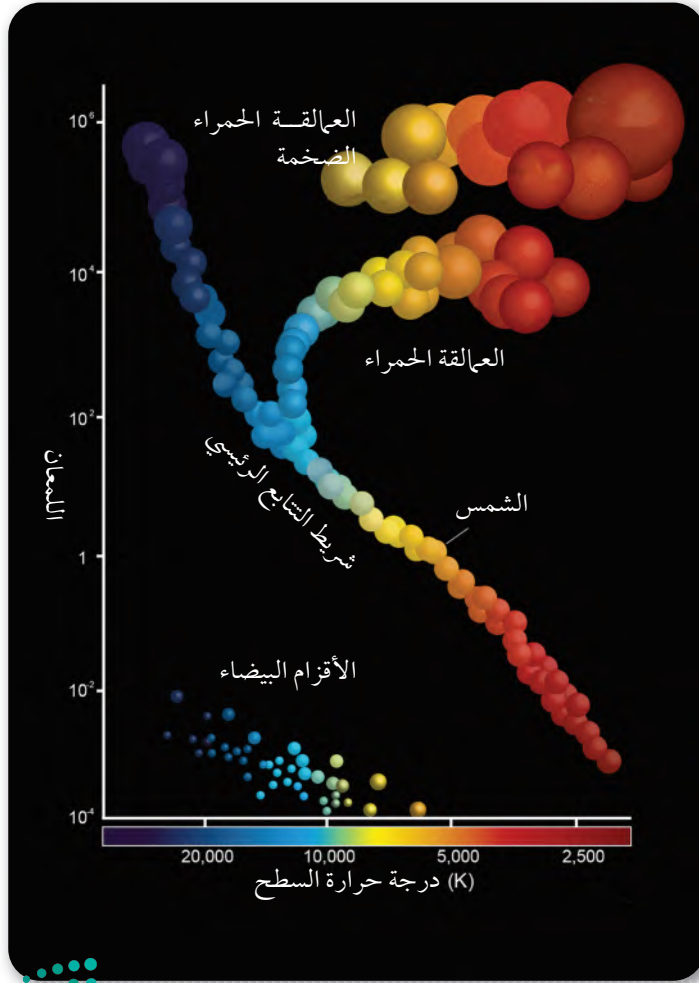
خلال هذه المرحلة تتولد طاقة النجم عن طريق عمليات الاندماج التي تحول الهيدروجين إلى هيليوم ويقضي النجم 90% من حياته في هذه المرحلة. ويحتوي الشريط على نجوم مختلفة اللون والحرارة والسطوع، حيث تقع النجوم الحمراء ذات السطوع المنخفض والحرارة المنخفضة في أسفل يمين الشريط وتقع النجوم الزرقاء ذات الحرارة العالية والسطوع العالي في أعلى يسار الشريط.

### منطقة العملاقة الحمراء والعملاقة الحمراء الضخمة: نجد العملاقة الحمراء

**Red giant** والعملاقة الحمراء الضخمة Red supergiant في أعلى يمين المخطط، وهي نجوم ذات حجم هائل، بقطر أكبر من الشمس ب 200 إلى 800 مرة، ولذا هي أسطع من نجوم التتابع الرئيسي، ولكن أبرد بسبب انتهاء عمليات الاندماج النووي وإطلاق الطاقة.

### منطقة الأقزام البيضاء: أخيراً، نرى مجموعة من النجوم ذات درجات

حرارة شديدة ولمعان منخفض وحجم صغير جداً بقطر يتراوح من عدة آلاف إلى 10 آلاف كيلومتر، تقع هذه النجوم في أسفل يسار المخطط وتسمى الأقزام البيضاء.



الشكل 1-12 مخطط H-R الذي يوضح مواضع النجوم بحسب درجة الحرارة واللمعان.

## بقايا النجوم

## Star Remnants

تعيش النجوم لملايين، ومليارات، بل وحتى مئات المليارات من السنين، وتحدد كتلة النجم كيفية انتهاء حياته. كتل النجوم المنخفضة التي تساوي 1.4 كتل شمسية أو أقل عندما ينتهي الهيدروجين في لبه تتوقف التفاعلات النووية ويتقلص اللب وينهار على نفسه ويترد الطبقات الخارجية إلى الخارج مما يسبب تمدد وتوسع النجم إلى أضعاف نصف قطر النجم الأصلي، وهذا التمدد يؤدي إلى تبريد الطبقات الخارجية ويصبح النجم عملاقاً أحمر، هناك عدة عملاقة حمراء يمكن مشاهدتها في السماء ليلاً، مثل: الدبران Aldebarán والسماك الرامح Arcturus وقلب العقرب Antares ومنكب الجوزاء Betelgeuse.

إذا كان النجم ذا كتلة كافية، يصبح اللب المنهار ساخناً بدرجة كافية لبدء سلسلة تفاعلات لعناصر أثقل من الهيدروجين وتنتج عناصر أثقل فتبدأ تفاعلات الهيليوم، ثم تفاعلات الكربون، ثم تفاعلات النيون إلى أن تصل إلى الحديد في اللب وتتوقف التفاعلات النووية وتبدأ نقطة النهاية للنجم منخفض الكتلة حيث يترد طبقاته الخارجية إلى الفضاء مشكلاً منظرًا جميلاً مضيئاً يعرف بالسديم الكوكبي الشكل 1-13. وسمي سديم كوكبي Planetary Nebula: لأنه عندما كان يرى من تلسكوب صغير كان يشبه إلى حد ما الكواكب الغازية.

بعد طرد الطبقات الخارجية للنجم يبقى اللب فقط ويصبح قرماً أبيض White Dwarf، وهو نجم شديد الحرارة بسبب الحرارة المتبقية من التفاعلات النووية، وذو كثافة عالية جداً حيث إن كتلته تساوي كتلة الشمس وحجمه بحجم الأرض.

على مدى عدة مليارات من السنين، ستنخفض درجة حرارة ولمعان القزم الأبيض وينتهي حياته على شكل رماد بارد داكن من الكربون يُعرف باسم القزم الأسود Black Dwarf.

أما إذا كان النجم بكتلة عالية تصل إلى 8-10 أضعاف كتلة الشمس، تتغلب قوة الجاذبية على قوة الضغط فينهار النجم على نفسه في ثوانٍ معدودة مما يسبب انفجار النجم بمشهد عظيم قاذفًا جميع العناصر إلى الفضاء ويسمى مستعر أعظم Supernova الشكل 1-14.

المستعر الأعظم يخلف وراءه إما نجماً نيوترونياً أو ثقباً أسود بحسب كتلة اللب المنهار، إذا كانت كتلة لب النجم ما بين 1.5 إلى 3 كتل شمسية، يستمر الانهيار حتى تتحد الإلكترونات والبروتونات لتشكيل النيوترونات وينتج النجم النيوتروني Neutron Stars، وهي نجوم كثيفة جداً يبلغ قطرها المتبقي حوالي 16 كيلومتراً فقط، وتدور بسرعة حول محورها، عادةً من 20 إلى 50 مرة في الثانية مكونة



الشكل 1-13 سديم هيليكس الكوكبي.

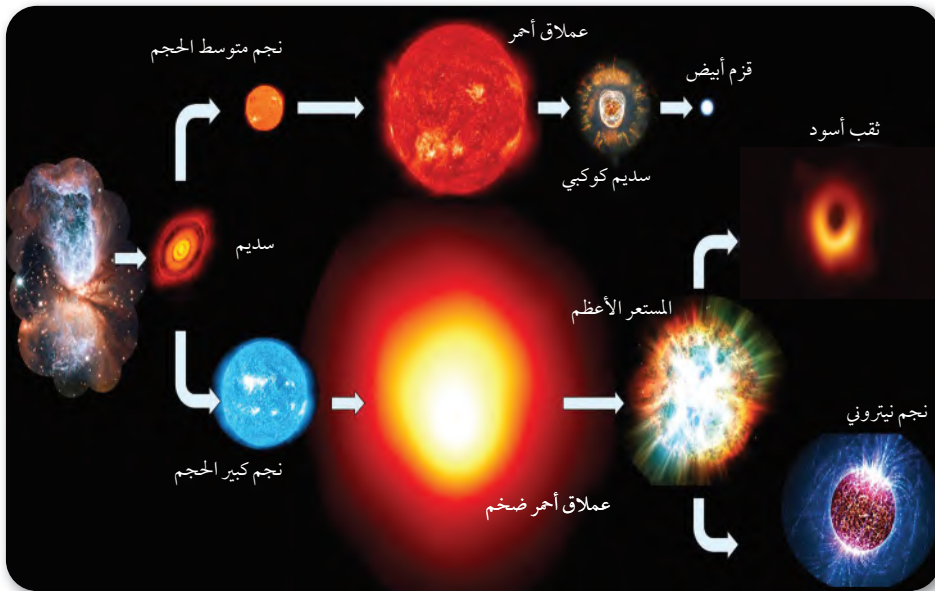


الشكل 1-14 سديم السرطان، وهو بقايا نجم ضخم من مجرتنا، تمت رؤية انفجاره في عام 1054.



مجالاً مغناطيسياً قوياً يسرع الجسيمات الذرية حول الأقطاب المغناطيسية وتنتج حزم إشعاع قوية يتم رصدها بالتلسكوبات الراديوية، إذا كان النجم بزاوية مناسبة لرصد تلك الإشعاعات فإنها تكون كنبضات بسبب دوران النجم السريع ويسمى في هذه الحالة النجم النيتروني بالنجم النابض، أما إذا كان اللب المنهار أكبر من 3 كتل شمسية فإنه ينهار تماماً ليشكل **ثقباً أسوداً** **Black Hole**، وهو جسم كثيف بشكل هائل وتكون جاذبيته قوية جداً وكما يوحي اسمه، لا يمكن للمادة أو الإشعاع الهروب منه.

يمتزج الغبار والغاز الذي خلفه المستعر الأعظم في النهاية مع الغاز والغبار بين النجوم، مما يوزدها بالعناصر الثقيلة والمركبات الكيميائية الناتجة أثناء الموت النجمي. في النهاية يتم إعادة تدوير هذه المواد، مما يوفر للبنات الأساسية لجيل جديد من النجوم الشكل 15-1 يلخص دورة حياة النجوم.



الشكل 1-15 دورة حياة النجوم.

## تجربة

### العلاقة بين سطوع النجوم وحجمها

نلاحظ أن النجوم لها سطوع في الليل بأضواء مختلفة. فهل هناك عوامل تؤثر في كمية إضاءة النجوم؟

### خطوات العمل



1. غطِ عدسة أحد المصابيح الكهربائية برقاقة قصدير، وقم بثقب مركز الرقاقة.

2. أحضر مصباحاً كهربائياً آخر.

3. سلط ضوء كل من المصباحين على شاشة بيضاء كلاً على حده، وبنفس البعد عن الشاشة.

4. راقب حجم ضوء كلا المصباحين.

### التحليل

5. أي المصباحين سطوعه أكبر؟

6. ما العوامل التي ترى أن لها دوراً في تغير سطوع المصباحين؟ وهل الأمر ينطبق على النجوم أيضاً؟





الشكل 1-16 مجرة المرأة المسلسلة إحدى المجرات الحلزونية.



الشكل 1-17 مجرة NGC 1316 البيضاوية.



الشكل 1-18 مجرة سحابة ماجلان الكبرى غير المنتظمة.

## المجرات Galaxies

**المجرات Galaxies** عبارة عن مجموعات هائلة من النجوم والغاز والغبار المرتبطة ببعضها بفعل الجاذبية وهي مصدر كل النجوم؛ لأن النجوم لا تولد خارج المجرات. ويختلف عدد النجوم في المجرات اختلافاً كبيراً، على سبيل المثال، في بعض المجرات العملاقة، قد يكون هناك أكثر من تريليون نجم وفي المجرات القزمة الصغيرة قد يكون هناك بضع مئات من الآلاف فقط.

تأتي المجرات في مجموعات متنوعة من الأشكال والأحجام، ويمكن تصنيف المجرات إلى ثلاث فئات رئيسية:

### 1. المجرات الحلزونية Spiral Galaxy

هي مجرات تظهر على شكل أقراص مسطحة مع انتفاخات صفراء في مركزها ذات تركيز عالٍ جداً من النجوم. منطقة القرص تكون ممتلئة بالغبار والغاز كما هو الحال في درب التبانة. أكثر ما يميزها هو الأذرع الحلزونية، تتميز هذه الأذرع بكثافة أعلى من الغاز والغبار وهي مواقع ولادة النجوم وتبدو أكثر سطوعاً مقارنةً ببقية القرص بسبب النجوم الساطعة المتكونة حديثاً. المجرات الحلزونية لديها نسبة أعلى بكثير من النجوم الصغيرة بالعمر على عكس المجرات البيضاوية التي تكثر فيها النجوم القديمة. وتنتمي مجرتنا (مجرة درب التبانة) وأيضاً مجرة المرأة المسلسلة الشكل 1-16 إلى المجرات الحلزونية.

### 2. المجرات البيضاوية Elliptical Galaxy

تظهر المجرات البيضاوية على شكل هياكل بيضاوية الشكل 1-17 مع انخفاض في كثافة النجوم والغاز والغبار، وبالتالي لا يوجد تكوين نجمي جديد. هذه المجرات تكثر فيها النجوم القديمة ذات الكتلة المنخفضة واللون الأصفر والأحمر. وتشكل المجرات البيضاوية 10 إلى 15% من المجرات. وتميل النجوم في المجرات البيضاوية إلى التحرك بطريقة عشوائية أكثر من تلك الموجودة في المجرات الحلزونية.

### 3. المجرات غير المنتظمة Irregular Galaxy

هناك أيضاً فئة من المجرات تعرف بالمجرات غير المنتظمة، والتي ليس لها بنية منتظمة. ويعتقد علماء الفلك أن الأشكال المشوهة للمجرات غير المنتظمة قد تكون ناجمة عن جاذبية المجرات المجاورة مثل سحابتي ماجلان Magellanic Clouds، وهما مجرتان قزمتان غير منتظمتان، تعد إحدى أقرب المجرات لمجرة درب التبانة الشكل 1-18.

## مجرة درب التبانة Milky Way Galaxy

مجرة درب التبانة مجرة حلزونية تحتوي على أكثر من 200 مليار نجم، المكونات الرئيسية لمجرة درب التبانة كما في الشكل 19-1 هي: القرص الرقيق، ونواة تبدو ككتلة واحدة من شدة تقارب النجوم، ويحيط بالنواة أذرع حلزونية الشكل بالإضافة إلى هالة ضخمة. وتحتوي الأذرع على سحب كثيفة من الغاز والغبار؛ لذلك لا نشاهد النجوم حديثة الولادة إلا على أذرع المجرة، وهذا يفسر اللمعان الشديد لها.

تقع الشمس على الحافة الداخلية لذراع الجبار الشكل 20-1 وتتحرك الشمس بسرعة 200km /s وبالتالي تكمل دورة كاملة حول مركز المجرة كل 200 مليون سنة.

✓ **ماذا قرأت؟ ما موقع نظامنا الشمسي من مجرة درب التبانة؟**

## تركيب مجرة درب التبانة

### Structure of Milky Way Galaxy

تتركب مجرة درب التبانة من:

#### 1. قرص المجرة Galaxy Disk

هو قرص بقطر يساوي 100 ألف سنة ضوئية يحتوي على نجوم صغيرة نسبياً مقارنة بالنجوم الموجودة في الهالة. كما أنه يحتوي على كمية كبيرة من الغاز والغبار والعديد من مناطق التكوين النشط للنجوم. تقع المجموعة الشمسية على بعد 30 سنة ضوئية من مركزها على حافة ذراع الجبار.

#### 2. نواة المجرة Galaxy Bulge

تحتوي منطقة نواة المجرة على كثافة عالية من النجوم وبقايا المستعر الأعظم والغاز والغبار، وتبين ملاحظات الراديو والأشعة السينية على وجود ثقب أسود في نواة المجرة، ويحيط بالنواة سحب كثيفة تخفي ما يدور بداخلها.

#### 3. هالة المجرة Galaxy Halo

هي هالة معتمة تحيط بالقرص وتشكل نسبة عالية من كتلة المجرة، تحتوي الهالة على غاز وغبار ضئيل، وبالتالي لا يوجد تكوين نجمي؛ لذا تكثر فيها النجوم الكبيرة بالعمر والقديمة.



تمكن الروسي راشد سنييف الفائز بجائزة الملك فيصل في العلوم لعام 2009 م من ابتكار نموذج لدراسة كتلة الثقوب السوداء.

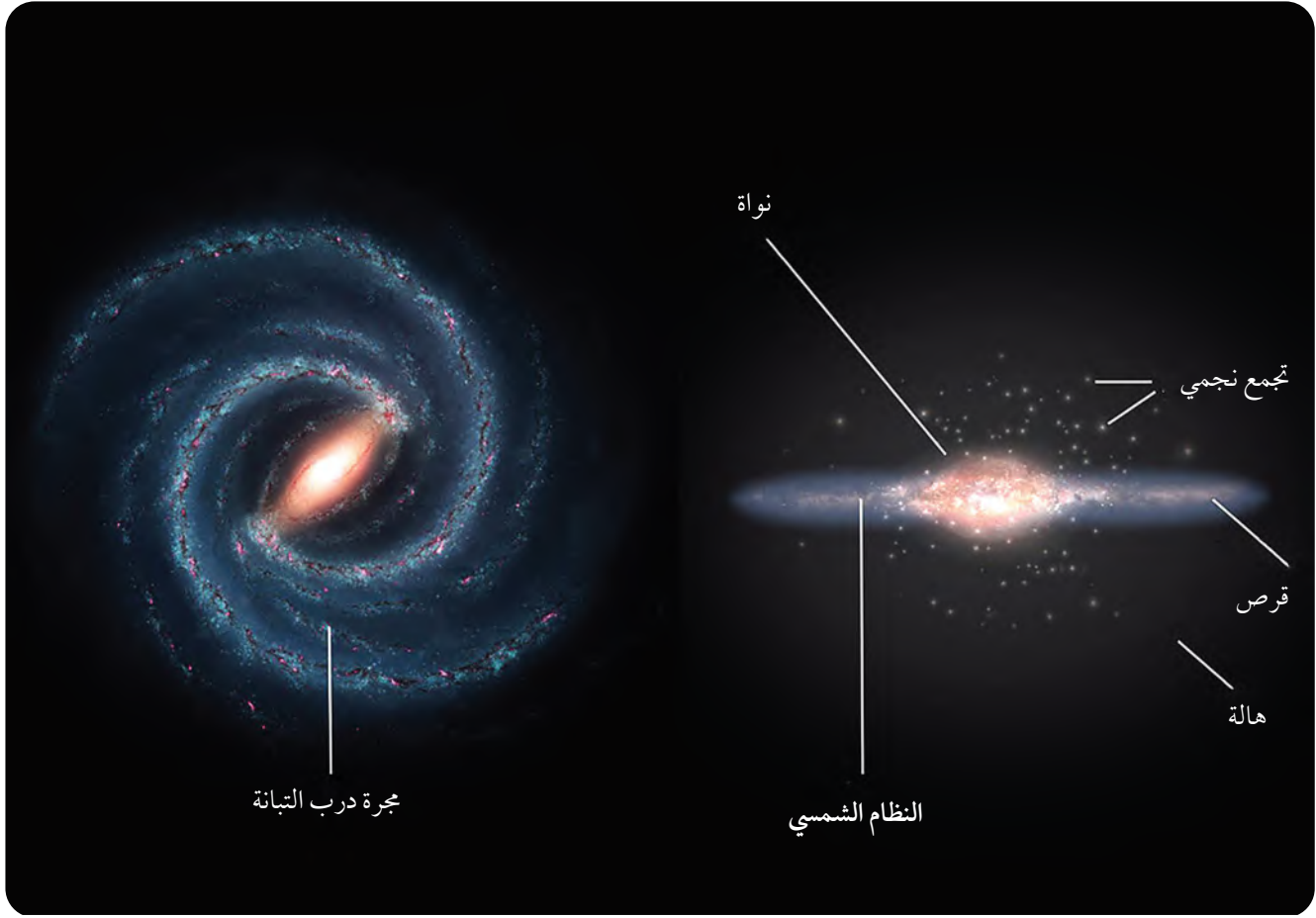


## الربط مع تاريخ علماء الإسلام



كان للعلماء المسلمين دور بارز في اكتشاف المجرات لأول مرة؛ حيث لاحظ الفلكي عبدالرحمن الصوفي مجرة أندروميذا Andromeda في كوكبة المرأة المسلسلة وسماها لطخة سديمية.





الشكل 19-1 تركيب مجرة درب التبانة.

## رؤية 2030 للتقليل من تلوث البيئة

### Vision 2030 to reduce light pollution

أفاد مجموعة من علماء البيئة مؤخراً أن أكثر من ثلث سكان العالم لم يعودوا قادرين على رؤية نجوم درب التبانة حتى في أكثر الليالي صفاء، وذلك بعد أن تسبب الإنسان في إحاطتها بغيمة مضيئة مصدرها المصابيح الموجهة للسماء. ولذلك لجأت بعض الدول كالسعودية إلى إعداد متنزهات للاستمتاع بنجوم درب التبانة كما في مدينة (تروجينا) بمشروع نيوم.



الشكل 20-1 صورة افتراضية لموقع الشمس في مجرة درب التبانة.







تجربة رحلة صاحب السمو الملكي الأمير سلطان بن سلمان لرصد الأشعة السينية في الفضاء تم ذلك بواسطة المركبة "سبارتان" التي كانت مهمتها إعداد خارطة توضح مدى انتشار أشعة إكس وتوزيعها، والمنبعثة من مصادر كونية موجودة في مركز درب التبانة. و كان من ضمن المهمة أيضًا دراسة خصائص الثقب الأسود المتواجد بمركز مجرتنا.

## التفكير الناقد

### علاقة تمدد الكون بالمجرات

أثبت هابل أن الكون ليس ثابتاً؛ وإنما يتمدد. بعد ذلك بعقودٍ رصد التلسكوب هابل الفضائي مستعراتٍ عظيمة بعيدة (السوبرنوفا) تتباعد عن بعضها، ووجد أن الكون منذ زمنٍ طويلٍ كان يتمدد.

### التحليل

ما أبرز الاحداث المتوقعة التي يمكن أن تطرأ بين مجرتنا ومجرة إندروميديا نظراً لكونها أقرب مجرة إلينا؟



## التقويم 1-2

### الخلاصة

- تولد النجوم في السحب الجزيئية وتمر بعدة مراحل أهمها:
  - التقلص الثقالي لسحابة غاز وغبار.
  - ارتفاع درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي.
  - الاندماج النووي.
- يتيح مخطط التتابع الرئيسي فهم دورة حياة النجم عند تحديد موضعه في المخطط.
- تتكون مجرة درب التبانة من نواة تحوي كثافة نجمية عالية يحيط بها هالة تحوي نجومًا كبيرة وقديمة، وقرصًا به عدد من النجوم الصغيرة.
- تم تقسيم المجرات إلى ثلاثة أنواع بحسب شكلها: حلزونية، بيضاوية وغير منتظمة.

### فهم الأفكار الرئيسة

1. قارن بين المراحل الثلاثة الرئيسة لولادة نجم.
2. ما هو مصدر الطاقة الرئيسي الذي يجعل نجمًا من التسلسل الرئيسي يضيء في الفضاء؟
3. ما أهمية المستعر الأعظم في توليد نجم جديد؟
4. كم عدد أذرع مجرة درب التبانة؟ وعلى أي أذرعها تقع شمسنا؟

### التفكير الناقد

5. كيف يتحقق علماء الفلك من صحة نظرية في التطور النجمي؟

### علم الفلك

6. ابحث في كيفية استطاعة الفلكيين -مستقبلًا- تطوير معداتهم لتصبح قادرة على رصد الثقوب السوداء وتصويرها بسهولة؟

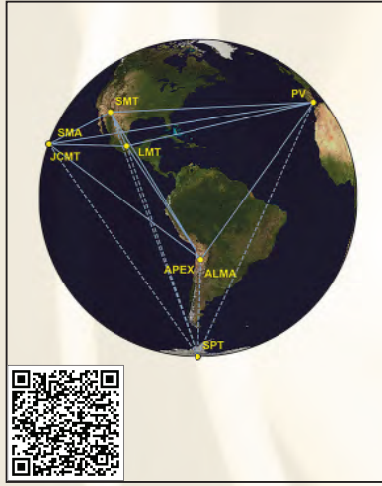




# التقنية والفلك

## Technology and astronomy

عدة أيام في أبريل / نيسان 2017، وتم تركيز ثمانية تلسكوبات راديوية في هاواي وأريزونا وإسبانيا والمكسيك وتشيلي والقطب الجنوبي على الثقبين الأسودين ساجيتارياس أو M87، حيث شكلت هذه التلسكوبات المجتمعة تلسكوباً افتراضياً واحداً بقطر 12000 كيلومتر، أي بقطر كوكب الأرض. في النهاية، كان M87 الخيار الأفضل للتصوير، ولا يرصد التلسكوب الثقب الأسود في حد ذاته، ولكنه يرصد المادة التي يجمعها والتي تشكل قرصاً لامعاً من الغازات الساخنة والبلازما البيضاء المعروفة باسم قرص التراكم **accretion disk**.



### كيف تم تصوير الثقب الأسود؟

كشف علماء الفلك عام 2019 عن أول صورة حقيقية لثقب أسود تم التقاطها عبر تلسكوب أفق الحدث EHT. وتبدو صورة النواة المظلمة المحاطة بهالة برتقالية اللون من الغاز الأبيض الساخن والبلازما مثل العديد من الصور الفنية التي تم نشرها على مدار الثلاثين عاماً الماضية، لكن في هذه المرة كانت الصورة حقيقية. تعود هذه الصورة لثقب أسود هائل الكتلة تبلغ كتلته 6,5 مليار ضعف كتلة الشمس، ويقع في قلب مجرة M87 التي تبعد عن الأرض مسافة 50 مليون سنة ضوئية. تركزت معظم التكهنات على المرشح الآخر المستهدف من قبل تلسكوب أفق الحدث، وهو الثقب الأسود الموجود في مركز مجرتنا درب التبانة والمسمى ساجيتارياس أ\* **Sagittarius A\***، والذي يبعد عن الأرض مسافة 26000 سنة ضوئية.



استنتج لماذا كان تصوير الثقب الأسود مهماً؟

تُشابه صعوبة تصوير الثقب الأسود الهائل الخاص بمجرة M87 من على بعد هذه المسافة صعوبة تصوير قطعة من الحصى على القمر، وبدلاً من بناء تلسكوب عملاق من شأنه أن ينهار تحت ثقله الخاص، قام العلماء بدمج العديد من المراصد حول العالم على مدار

# مختبر الفضاء

## قانون هابل في القرن وفي الكون!

$$\frac{B \text{ السرعة} - F \text{ السرعة}}{B \text{ المسافة} - F \text{ المسافة}} = \text{الميل}$$

8. احسب ميل الخط الآن، وسجل إجابتك في ورقة العمل. ونظرًا لأن الكعك هو بديل لكوننا، يمكنك اختبار التوسع المنتظم للكون بوسائل ماثلة، بمعنى آخر عن طريق قياس وتخطيط سرعات ومسافات المجرات، كما فعل أدوين هابل في عشرينات القرن الماضي. لاحظ الجدول التالي الذي يحتوي على بيانات ذات الصلة بالعديد من المجرات.

مسافة وسرعة عدة مجرات		
اسم المجرة	المسافة (مليون فرسخ)	السرعة (كيلومتر / ثانية)
العذراء	19	1,200
الدب الأكبر	300	15,000
اللاكيل الشمالي	430	21,600
العواء	770	39,300
الشجاع	1,200	61,200

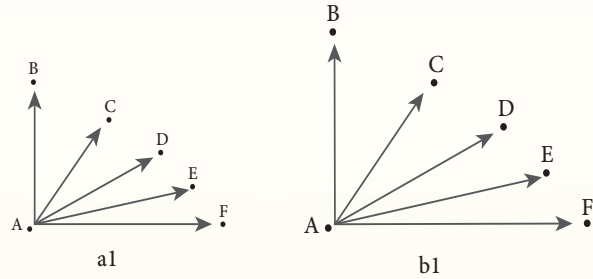
9. مثل بيانات الجدول السابق لمسافات المجرات وسرعاتها.

### خطوات العمل

1. ارسم الخط المستقيم الذي يناسب نقاط البيانات على أفضل وجه (ليس من الضروري أن يمر الخط عبر جميع النقاط).
2. كما ترى عندما يتم رسم سرعات المجرات مقابل مسافات ابتعادها فإنها تظهر علاقة خط مستقيم، وقد أطلق العلماء على النتيجة اسم قانون هابل  $H_0 = V/D$ .
3. وبجانب تشبيه الكعك بالكون، ما الذي يشير إليه قانون هابل بشأن الحالة العامة للكون؟
4. احسب معدل تمدد الكون والذي يسمى ثابت هابل عن طريق حساب ميل قانون هابل



**خلفية علمية** لفهم طريقة إثبات العالم هابل ما إذا كان الكون ثابتًا أو في حالة حركة معينة، حيث سنبداً بتشبيه الكون كالكعك الذي عليه قطع شوكلاتة. الشكل (a1) يمثل الكعك قبل إدخاله الفرن والشكل (b1) يمثل الكعك بعد خبزه بالفرن بعد مرور ساعة واحدة، حيث يُظهر الشكلين مسافة قطع الشوكولاتة B، C، D، E، F عن القطعة A قبل وبعد إدخاله الفرن. لنفرض أن تغير موقع القطع أُعطي بوحدة cm، حيث يتضاعف حجم الكعك إلى ضعف حجمه الأصلي، أي أن كل مسافة تضاعفت إلى ضعف ما كانت عليه من قبل، وسنسمي هذه الزيادة في المقياس الكلي عامل التمدد.



1. ما مسافة القطعة B عن القطعة A بعد ساعة من خبز الكعك؟ (لا تستخدم المسطرة لقياس المسافة). استخدم الأرقام وعامل التمدد المعطى مسبقًا لصياغة المقياس الخاص بك. سجل إجابتك في ورقة العمل ثم اكتب كل مسافة بجانب السهم المقابل لها في الجزء b1.
2. كرر العملية مع القطع C-F.
3. قم بحساب سرعة كل قطعة شوكلاتة بأخذ المسافة التي تحركتها القطع، وقسمتها على الفترة الزمنية التي تبلغ ساعة واحدة. سجل سرعة كل قطعة على ورقة العمل.
4. مثل السرعة والمسافة المقطوعة بيانيًا.
5. هل تقع نقاط البيانات الخاصة بك تقريبًا بمحاذاة خط مستقيم؟ إذا كان الأمر كذلك ارسم الخط المستقيم في الرسم البياني الذي يناسب البيانات بشكل أفضل.
6. ما نوع علاقة الخط المستقيم بين سرعة القطع والمسافات؟ وبماذا يمكن تفسيره؟
7. يُمثل معدل تمدد الكعك بميل الخط المستقيم الذي رسمته، ويمكنك حساب الميل من قياسات أي نوعين من القطع على سبيل المثال (القطع B، F) كالاتي:

# دليل مراجعة الفصل

# 1

# الفصل

الفكرة العامة خلق الله سبحانه وتعالى الكون، وما به من مجرات، ونجوم، وكواكب. وهو في حالة توسع دائم.

المفردات	المفاهيم الرئيسية
1-1 نشأة الكون	<p><b>الفكرة الرئيسية</b> تعرف طبيعة الكون ونشأته وعرض طرائق فلكية لتحديد عمر الكون.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• يمكن وصف الكون بأنه فضاء شاسع يحتوي على أعداد ضخمة لا حصر لها من الأجرام السماوية.</li><li>• تعتمد نظرية الانفجار العظيم على أن الكون كان بالماضي في حالة شديد الكثافة والحرارة فتمدد وكان جزءاً واحداً عند نشأته.</li><li>• يتم حساب عمر الكون بواسطة:</li></ul> <p>حساب ثابت هابل الذي ينص على أن السرعة التي تبعد بها مجرة تتناسب طردياً مع مسافتها عن الأرض: <math>H_0 = V / D</math>.</p>
1-2 النجوم والمجرات	<p><b>الفكرة الرئيسية</b> وصف مراحل دورة حياة النجوم، وتحديد موقعنا في مجرة درب التبانة.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• تولد النجوم في السحب الجزيئية وتمر بعدة مراحل أهمها:</li><li>التقلص الثقالي لسحابة غاز وغبار.</li><li>ارتفاع درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي.</li><li>الاندماج النووي.</li><li>• يتيح مخطط التتابع الرئيسي فهم دورة حياة النجم عند تحديد موضعه في المخطط.</li><li>• دورة حياة نجم ما هو تطور يطرأ على النجم بمرور الزمن.</li><li>• تتكون مجرة درب التبانة من نواة تحوي كثافة نجمية عالية تحيط بها هالة تحوي نجوماً كبيرة وقديمة، وقرص به عدد من النجوم الصغيرة.</li><li>• تم تقسيم المجرات إلى ثلاثة أنواع بحسب شكلها:</li><li>حلزونية.</li><li>بيضاوية.</li><li>غير منتظمة.</li></ul>



9. جسم ذو كثافة هائلة وجاذبيته قوية جداً، ولا يمكن

للمادة أو الإشعاع الهروب منه.

- a. الأقزام البيضاء. c. الثقب الأسود.  
b. العملاقة الحمراء. d. القزم الأسود.

### أسئلة بنائية

10. تتبع تحول المستعر الأعظم إلى نجم نيوتروني.  
11. فسر كيف يتحول العملاق الأحمر إلى نجم قزم أبيض.

12. وضح بالرسم تركيب مجرة درب التبانة.

13. عدد أنواع المجرات مع ذكر الاختلافات بينهم.

### التفكير الناقد

14. دلت القياسات والأرصاء على وجود ثقب أسود في نواة المجرة، وضح كيف تم اكتشاف ذلك؟  
15. هناك عدة عملاقة حمراء يمكن مشاهدتها في السماء ليلاً، مثل: الدبران Aldebarán والسماك الرامح Arcturus. حسب ملاحظتك لمخطط H-R هل ستظل هذه العملاقة على حالها لملايين السنين القادمة؟ وكيف تفسر رأيك.

### مراجعة المفردات

قارن بين المفردات الآتية:

1. علم الكون وعلوم الفضاء.  
2. الثقب الأسود والقزم الأسود.  
3. النجم النيوتروني والقزم الأبيض.  
4. المجرة البيضاء والمجرة الحلزونية.

### تثبيت المفاهيم الرئيسية

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

5. كرة ضخمة مضيئة من الغاز، تتكون في معظمها من الهيدروجين والهيليوم.

- a. النجم. c. الكوكب.  
b. السديم. d. المجرة.

6. سحب تتكون من جزيئات الهيدروجين والهيليوم.

- a. السحب الذرية. c. السحب الجزيئية.  
b. السحب المتأينة. d. السحب الغبارية.

7. نجوم ذات قطر صغير ودرجات حرارة شديدة ولعان منخفض.

- a. الأقزام البيضاء. c. النيوترونية.  
b. العملاقة الحمراء. d. المستعر الأعظم.

8. نجوم ذات كثافة عالية يبلغ قطرها المتبقي حوالي 16

كيلومتراً فقط، وتدور بسرعة حول محورها.

- a. النجم النيوتروني. c. الأقزام البيضاء.  
b. العملاقة الحمراء. d. الثقوب السوداء.





# تقويم الفصل

## 1

### خريطة مفاهيمية

### سؤال تحفيز

16. أكمل خريطة المفاهيم التي توضح دورة حياة النجوم بالأجرام التالية:

ثقب أسود - نجم متوسط - عملاق فوق أحمر - السديم الكوكبي.

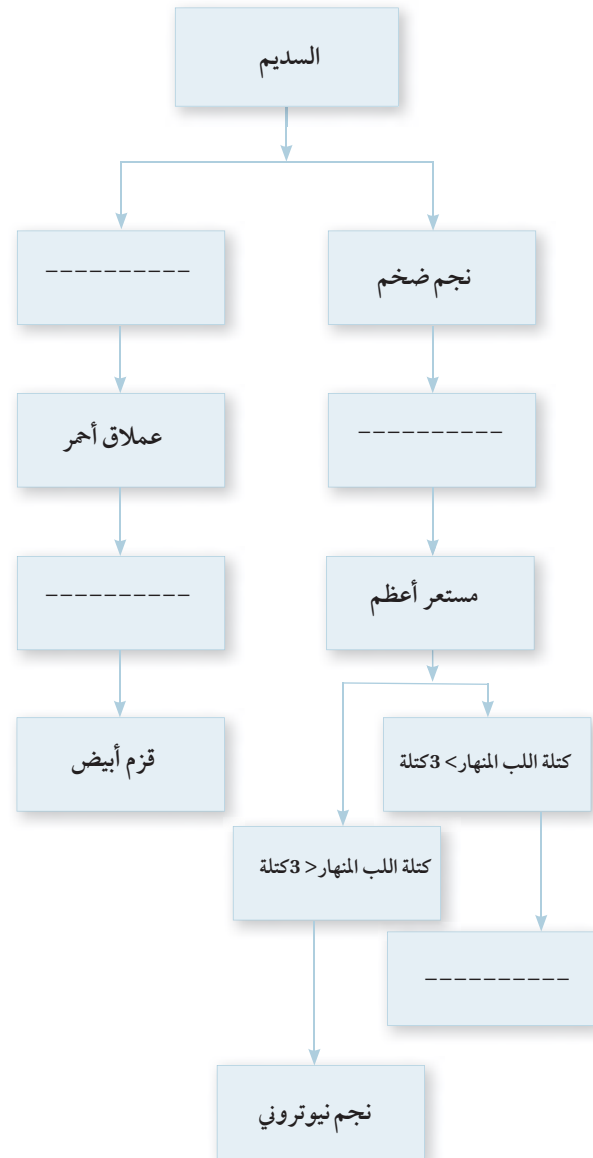
17. ابحث بشكل مختصر في علاقة الكوازارات بالثقوب السوداء.

بحسب مخطط H-R اجب عن الآتي:

18. حدد موقع الشمس في المخطط؟

19. أين تقع النجوم ذات درجات الحرارة المنخفضة واللمعان العالي، وماذا تسمى؟

20. أين تقع النجوم ذات درجات الحرارة العالية واللمعان المنخفض، وماذا تسمى؟



# اختبار مقنن

8. اذكر بعض الظواهر التي يتم الاستفادة منها من مراقبة الكون.
9. ما التجربة الإقليمية السعودية للتقليل من التلوث الضوئي؟

## اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. في مجرة درب التبانة تقع الشمس :
- على حافة ذراع الجبار.
  - بالقرب من نواة المجرة.
  - في هالة المجرة.
  - داخل نواة المجرة.
2. تقع النجوم الصغيرة في العمر في ..... المجرة:
- هالة.
  - ذراع.
  - قرص.
  - نواة.
3. أي النجوم هي الاسخن:
- النجوم الصفراء.
  - النجوم الزرقاء.
  - النجوم الحمراء.
  - النجوم البرتقالية.
4. ما أنواع المجرات الثلاثة؟
- حلزوني، بيضاوية، دائرية.
  - حلزوني، بيضاوية، وغير المنتظم.
  - دائرية، بيضاوية، وغير المنتظم.
  - كروية، منتظمة، حلزوني.

## أسئلة الإجابات القصيرة

5. ماذا يحدث للنجوم ذات الكتل العالية التي تصل الى 8-10 كتل شمسية؟
6. صف طريقة حركة النجوم في المجرات البيضاوية.
7. اذكر حالات تواجد الهيدروجين في الوسط بين النجوم.



**الفكرة العامة** تخضع الأجرام السماوية والأنظمة الفضائية لمجموعة من القوانين التي تحدد خصائص حركتها وديناميكيته السماوية.

### 2-1 قانون الجاذبية وقوانين كبلر

**الفكرة الرئيسية** قوانين كبلر تصف شكل وخصائص حركة الأجرام التي تسلكها حول بعضها، والسرعات التي تتحرك بها، والكتل المتبادلة بينها.

### 2-2 التقنية الفضائية

**الفكرة الرئيسية** استطاع الإنسان بواسطة التقنيات الفضائية الوصول إلى أجرام لم تكن المناظير الفلكية كافية لدراستها.

### حقائق فلكية

- حينما تنطلق المركبات الفضائية نحو الفضاء فإنها تبدأ رحلتها من الأرض بمسار مُنحَنٍ وليس مستقيماً - كما في الصورة-.

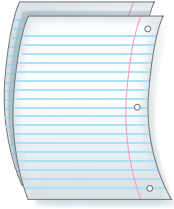


## نشاطات تمهيدية

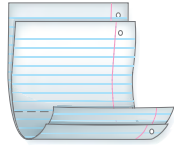
اصنع المطوية الآتية لتتعرف على أنواع المركبات الفضائية.

### المطويات

منظمات الأفكار



**الخطوة 1:** ضع ورقتين من دفترك إحداهما فوق الأخرى، بحيث تبعد إحداهما عن الأخرى 2 cm تقريباً، كما في الشكل المجاور.



**الخطوة 2:** اثن الطرف السفلي للورقتين لتكوين خمسة ألسنة متساوية. ثم اضغط بقوة على الجزء المطوي لتثبيت الألسنة في أماكنها.



**الخطوة 3:** ثبت أوراق المطوية معاً بالدبابيس، و عنوان الألسنة بأنواع المركبات الفضائية: الأقمار الصناعية، المحطات الفضائية، المركبات المأهولة، والمحطات الفضائية، المركبات المأهولة، و المركبات غير المأهولة.

أنواع المركبات الفضائية	○
الأقمار الصناعية	○
المحطات الفضائية	○
المركبات المأهولة	○
المركبات غير المأهولة	○

استخدم هذه المطوية في أثناء دراستك القسم 2-2، لتتعرف على مميزات كل نوع، واعطِ مثلاً على كل نوع مبيناً أهميته.

## تجربة استهلاكية

هل تتحرك جميع الأجسام في نظامنا الشمسي بالسرعة نفسها؟

تتحرك أجرام السماء حول بعضها في مدارات إهليلجية، وتتأثر حركتها بالعديد من العوامل: كالمسافات والقوى المتبادلة فيما بينها.



### الخطوات

1. أحضر حوضين دائريين قطر الأول 1m وقطر الآخر 0.5 m، وقم بوضع علامة نقطية على طرف محيط قاع كل منهما.
2. ادفع كرة حديدية صغيرة بشكل دائري حول محيط قاع الحوض الكبير، وقم بحساب الزمن الدوري.
3. أعد الخطوة 2 للحوض الصغير.

### التحليل

1. قارن بين زمني دوران الكرة في الحوضين. ماذا تلاحظ؟
2. ما علاقة قطر الحوضين بالزمن الدوري؟
3. هل تتوافق نتائج تجربتك مع زمن دوران الكواكب حول الشمس. فسر ذلك؟







# 2-1

## الأهداف

- يحسب زمن دوران جرم حول الشمس.
- يحسب وزن جسم ما على كوكب.
- يحسب سرعة هروب قمر صناعي.

## قانون الجاذبية وقوانين كبلر

### The law of gravity and kepler's laws

**الفكرة الرئيسية** قوانين كبلر تصف شكل وخصائص حركة الأجرام التي تسلكها حول بعضها والسرعات التي تتحرك بها، والكتل المتبادلة بينها.

**الربط مع الحياة** حينما تتابع بثاً مباشراً النهائية كأس العالم في كرة القدم، فإن هذا الأمر لم يكن ممكناً إلا من خلال وضع أقمار صناعية في المدار الصحيح بدقة حول الأرض، وذلك استناداً إلى مجموعة قوانين فيزيائية ميكانيكية، توصل إليها الإنسان من خلال رصد الأجرام السماوية، ووضع حسابات تتوافق مع الرصد وذلك من أجل فهم وتفسير الظواهر الفلكية: كالحسوف والكسوف الشكل 1-2، و شروق وغروب الشمس. وعمل تقاويم لأشهر السنة ولتحديد مواقيت العبادة من حج وصوم وتحديد مواسم الزراعة، وعمل محاكاة حاسوبية لتحديد المواقع واتجاه الحركة الشكل 2-2. ومن أبرز هذه القوانين قوانين كبلر التي تستخدم لحساب خصائص مدارات الأقمار الصناعية وليس فقط في معرفة المدارات في النظام الشمسي، وهذه القوانين اكتشفها الفلكي (يوهانس كبلر Johannes kepler) خلال القرن السابع عشر الميلادي بعد توافقها مع أرصاد "تيخو براهي" لكوكب المريخ.

## مراجعة المفردات

**المسبار:** مركبة فضائية تستعمل لاستكشاف الفضاء الخارجي؛ حيث يتم إطلاقها في الفضاء الخارجي بهدف استكشاف واحد أو أكثر من الأجرام السماوية.

## المفردات الجديدة

- قانون كبلر الأول
- البعد الحضيضي
- البعد الأوجي
- قانون كبلر الثاني
- قانون كبلر الثالث
- سرعة الهروب



الشكل 2-2 تحديد المواقع بواسطة نظام الملاحة العالمي.



الشكل 1-2 كسوف شمسي كلي.



## قوانين كبلر

## Kepler Laws

### قانون كبلر الأول

### Kepler's First Law

ينص قانون كبلر الأول Kepler's First Law على أن الكواكب تدور حول الشمس في مدارات على شكل قطع ناقص، وتقع الشمس في إحدى بؤرتيه كما في الشكل 2-4.

#### خصائص القطع الناقص:

يوضح الشكل 2-3 بعض خصائص القطع الناقص؛ فمثلاً المسافة  $A_1, A=2a$  هي المحور الأكبر والمسافة  $B_1, B=2b$  هي المحور الأصغر. ونصف المحور الأكبر للقطع الناقص نرمز له بالرمز  $a$ ، ونصف المحور الأصغر للقطع الناقص نرمز له بالرمز  $b$  ومركز القطع الناقص هو  $C$ . والقطع الناقص له بؤرتين  $F$  و  $F_1$ .

وأيضاً كلما صغرت المسافة  $FF_1$  اقترب شكل القطع من شكل الدائرة، بينما كلما زادت المسافة  $FF_1$  زادت بضاوية القطع أو تفلطح القطع. ويستعمل الرمز  $e$  لتعريف تفلطح القطع، ويسمى "الاختلاف المركزي".

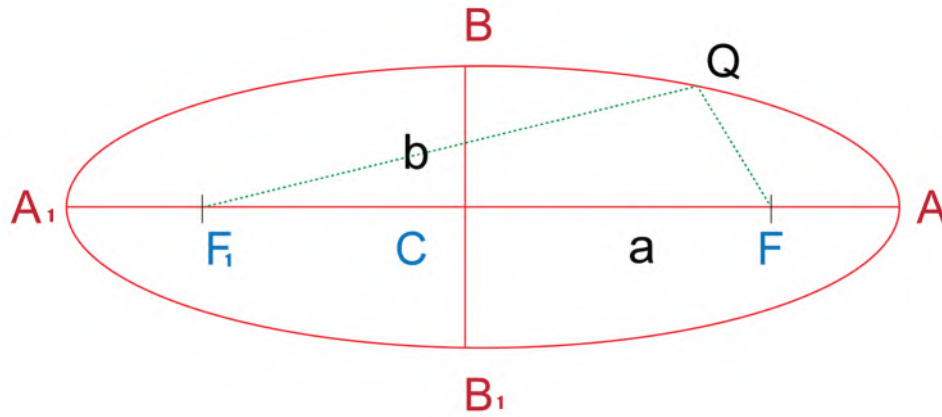
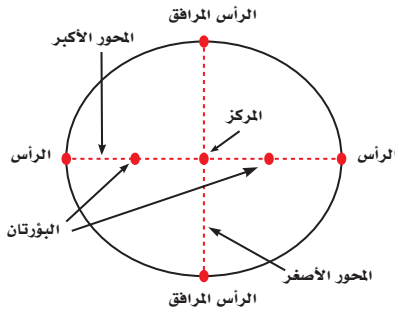
#### للاطلاع

$$e = \frac{CF}{a} \text{ أو } e = \frac{FF_1}{2a}$$

$$CF = ae$$

### الربط مع الرياضيات

القطع الناقص هو المحل الهندسي لمجموعة النقاط في المستوى الذي يكون مجموع بعديه عن نقطتين ثابتتين يساوي مقداراً ثابتاً. تسمى هاتان النقطتان بالبؤرتين.



الشكل 2-3 خصائص القطع الناقص.



تسمى المسافة  $FA$  بالبعد الحضيضي **Perihelion** ( $r_p$ )، ويعرف بأنه أقرب مسافة فاصلة بين الشمس والكوكب.

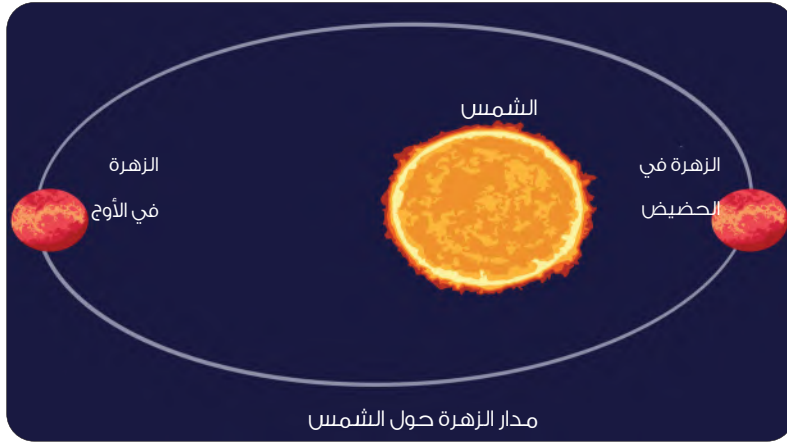
### البعد الحضيضي ( $r_p$ )

$$r_p = a(1 - e)$$

ويطلق على المسافة  $FA_1$  بالبعد الأوجي **Aphelion** ( $r_a$ )، ويعرف بأنه أبعد مسافة فاصلة بين الشمس والكوكب، (بافتراض أن الشمس تقع عند النقطة  $F$ ).

### البعد الأوجي ( $r_a$ )

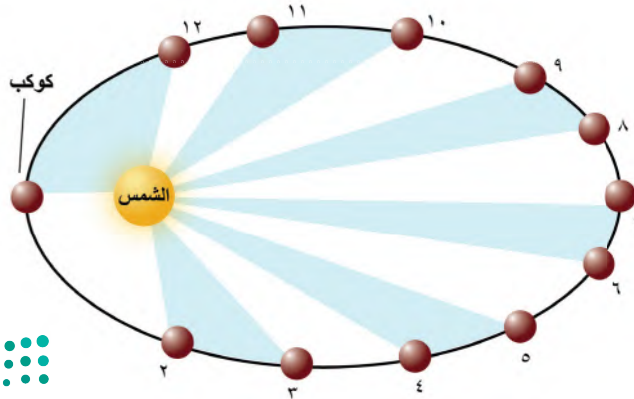
$$r_a = a(1 + e)$$



الشكل 4-2 تدور الكواكب حول الشمس في مدارات على شكل قطع ناقص، وتقع الشمس في إحدى بؤرتيه.

## قانون كبلر الثاني Kepler's Second Law

ينص قانون كبلر الثاني **Kepler's Second Law** على أن الخط الوهمي الواصل بين الكوكب والشمس يرسم مساحات متساوية في الفضاء في أزمنة متساوية. هذا القانون يشير إلى أن سرعة الكوكب حول الشمس متغيرة. ويمكن منه إثبات أن سرعة الكوكب تتناسب عكسياً مع بعده عن الشمس، وتصل السرعة أقصاها عند الحضيض وأدناها عند الأوج كما في الشكل 5-2.



### للاطلاع

ولحساب البعد الحضيضي ( $r_p$ ) وهي المسافة  $FA$

$$r_p = FA$$

$$r_p = CA - CF = a - ae$$

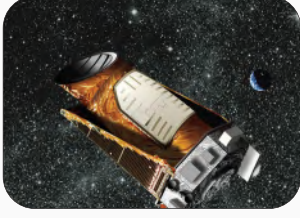
$$r_p = a(1 - e)$$

وبالمثل: يمكن إيجاد علاقة البعد الأوجي

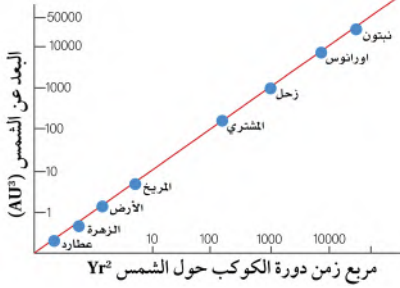
( $r_p$ ) وهي المسافة  $FA_1$ :

$$r_a = a(1 + e)$$

## مشروع كبلر الفضائي



تقديرًا لجهود العالم كبلر في مجال علم الفلك فقد أطلقت وكالة ناسا مشروعًا فضائيًا باسمه، وهو عبارة عن مرصد فضائي تم إطلاقه إلى الفضاء من أجل استكشاف ما إذا كانت هناك حياة في كواكب نجوم مجرة درب التبانة، حيث قام باكتشاف أكثر من 2600 كوكب نجمي إلى الآن، وجمع المرصد كمية هائلة من البيانات التي سيستمر تحليلها لسنوات.



الشكل 6-2 علاقة زمن دورة الكواكب المدارية حول الشمس ببعدها حسب قانون كبلر الثالث.

## Kepler's Third Law

## قانون كبلر الثالث

ينص قانون كبلر الثالث Kepler's Third Law على أن مربع مدة دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب نصف طول المحور الأكبر لمداره الشكل 6-2.

إذا كان:  $T =$  زمن دورة الكوكب حول الشمس،  $a =$  نصف المحور الأكبر لمدار الكوكب؛

فإن:

$$T^2 \propto a^3$$

إذا قسنا  $T$  بالسنة النجمية (years)، وقسنا  $a$  بالوحدة الفلكية (AU) (الوحد الفلكية هي: متوسط المسافة بين الأرض والشمس، وتساوي 150 مليون كيلومتر)؛

فإن الثابت  $1 =$

$$T^2 = a^3$$

### الصيغة الرياضية لقانون كبلر الثالث

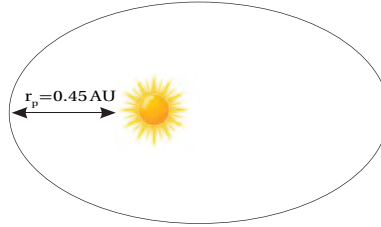
$$T = a \sqrt{a}$$

## مثال 1

مذنب يدور حول الشمس في مدار قطع ناقص تفلطحه 0.97، وصل إلى أقرب نقطة للشمس على بعد 0.45 AU. احسب مدة دورة هذا المذنب حول الشمس بالسنوات.

تحليل المسألة ورسمها:

ارسم وضع المذنب حول الشمس.



المجهول

$$T = ?$$

المعلوم

$$r_p = 0.45 \text{ AU}$$

$$e = 0.97$$

إيجاد الكمية المجهولة:

$$a = \frac{r_p}{1-e}$$

حل قانون البعد الحضيضي لإيجاد نصف قطر المحور الأكبر

$$a = \frac{0.45}{1-0.97} = 15 \text{ AU}$$

التعويض

حساب مدة دوران المذنب حول الشمس بالسنوات

$$T = a \sqrt{a}$$

$$T = 15 \sqrt{15}$$

$$T = 58.1 \text{ Year}$$

حل قانون كبلر الثالث

التعويض

• تقويم الجواب:

هل الوحدات صحيحة؟

ستكون وحدة مدة دوران جرم حول الشمس بالسنة.





## قانون كبلر الثالث المعدل: Modified 3<sup>rd</sup> Kepler's law

في عام 1687 قام نيوتن بتعديل قانون كبلر الثالث وفقاً لقوانينه الخاصة للحركة وقانون الجذب العام.

$$a^3 = T^2 M$$

قانون كبلر الثالث المعدل:

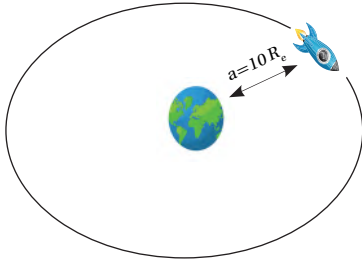
ملاحظة عند حل المسائل:

لتحويل الكتلة إلى كتلة شمسية: يكون بقسمة الكتلة على كتلة الشمس.

لتحويل البعد إلى وحدة فلكية: يكون بقسمة المسافة على مسافة الأرض عن الشمس.

### مثال 2

مركبة فضائية تدور حول الأرض في مدار بيضاوي، على متوسط بعد يساوي 10 أضعاف نصف قطر الأرض، احسب مدة دورتها حول الأرض بـ day. علماً بأن نصف قطر الأرض  $R_e = 6378$  km وكتلة الأرض  $M_e = 6 \times 10^{24}$  kg وكتلة الشمس  $M_s = 2 \times 10^{30}$  kg.



المجهول

$$T = ?$$

الحل:

المعلوم

$$a = 10 R_e$$

$$a = 63780 \text{ km}$$

$$M_e = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$$

إيجاد الكمية المجهولة:

بقسمة بعد المركبة على  $15 \times 10^7$  (متوسط بعد الأرض عن الشمس) لحساب بعد المركبة بالوحدة الفلكية AU.

$$a = \frac{63780}{15 \times 10^7} = 4.25 \times 10^{-4} \text{ AU}$$

بقسمة كتلة الأرض على كتلة الشمس لحساب كتلة الأرض بدلالة كتلة الشمس

$$M = \frac{M_e}{M_s} = \frac{6 \times 10^{24}}{2 \times 10^{30}} = 3 \times 10^{-6} M_s$$

من قانون كبلر الثالث المعدل ( تهمل كتلة المركبة لصغرها مقابل كتلة الأرض )

$$a^3 = T^2 M$$

$$T^2 = \frac{a^3}{M} = \frac{(4.25 \times 10^{-4})^3}{3 \times 10^{-6}} = \frac{7.67 \times 10^{-11}}{3 \times 10^{-6}}$$

$$T^2 = 2.55 \times 10^{-5}$$

$$T = \sqrt{2.55 \times 10^{-5}}$$

$$T = 5.1 \times 10^{-3} \text{ years}$$

بالضرب في 365.25 للتحويل إلى days

$$T = 5.1 \times 10^{-3} \times 365.25 = 1.84 \text{ day}$$

• تقويم الجواب:

هل الوحدات صحيحة؟ ستكون وحدة مدة دوران المركبة حول الأرض بـ day.

### للاطلاع:

#### قانون كبلر الثالث المعدل

من قانون الجذب العام لنيوتن يمكن إثبات أن:

$$T^2 = a^3 \frac{4\pi^2}{G(M+m)}$$

حيث  $M$  كتلة الشمس،  $m$  كتلة الجرم. إذا أخذنا السنة وحدة لقياس الزمن، والوحدة الفلكية AU لقياس المسافة، وكتلة الشمس لقياس الكتلة؛ فإن الثابت يساوي واحد ( $\frac{4\pi^2}{G} = 1$ ) أي أن:

$$a^3 = T^2 (M+m)$$

إذا طبقنا هذا القانون لجرم يدور حول الشمس فإن:

$$a^3 = T^2 M$$



## إيجاد كتلة كوكب له تابع:

من الممكن إيجاد كتلة كوكب له تابع إذا عُلم نصف المحور الأكبر ومدة الدوران للكوكب وتابعه كالاتي:

### للاطلاع:

$$T^2 = \frac{4\pi}{G} \frac{a^3}{M+m}$$

$$(a_1)^3 = (T_1)^2 (M+m) \quad \text{للكوكب:}$$

$$(a_2)^3 = (T_2)^2 (m+m_1) \quad \text{للتابع}$$

إذا أهملنا كتلة التابع مقارنة بكتلة الكوكب في البسط أي أن  $m_1 = 0$  وكتلة الكوكب

مقارنة بكتلة الشمس في المقام  $m = 0$

التالي سيكون كتلة الكوكب

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 \frac{m+m_1}{M+m}$$

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 \frac{m}{M}$$

حيث:

$$m = M \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$$

كتلة الشمس  $M$

كتلة الكوكب  $m$

## مثال 3

يبعد القمر كارون عن مركز بلوتو 19700 km، فإذا كانت مدة دورانه حول بلوتو هي 6.4 day. أوجد كتلة بلوتو. علماً بأن الفترة المدارية لبلوتو هي 248 year وبعده عن الشمس 40 AU.

الحل:

تحليل المسألة ورسمها:  
المعلوم

المجهول

$$m_{\text{بلوتو}} = ?$$

$$T_1 = 248 \text{ year}$$

$$T_2 = 6.4 \text{ day}$$

$$a_1 = 40 \text{ AU}$$

$$a_2 = 19700 \text{ km}$$

$$M = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$$

إيجاد الكمية المجهولة:

بقسمة الفترة المدارية لكرون على 365.25 لتكون بوحدة (year)

$$T_2 = \frac{6.4}{365.25} = 1.75 \times 10^{-2} \text{ year}$$

بقسمة بعد كارون عن بلوتو على  $15 \times 10^7$  لتكون بوحدة (الوحدة الفلكية AU)

$$a_2 = \frac{19700}{15 \times 10^7} = 1.3 \times 10^{-4} \text{ AU}$$

حل قانون إيجاد كتلة كوكب من كتلة جرم تابع له

$$m = M \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$$

بالتعويض لإيجاد كتلة بلوتو

$$m = 2 \times 10^{30} \left(\frac{1.3 \times 10^{-4}}{40}\right)^3 \left(\frac{248}{1.75 \times 10^{-2}}\right)^2$$

$$m = 2 \times 10^{30} \times 3.4 \times 10^{-17} \times 2 \times 10^8$$

$$m = 1.3 \times 10^{22} \text{ kg}$$

• تقويم الجواب:

هل الوحدات صحيحة؟ ستكون وحدة كتلة بلوتو kg.



## قانون الجذب العام لنيوتن

### Newton's Gravitational Law

كان إسحاق نيوتن Isaac newton أول من وضع صيغة رياضية لقوة الجاذبية بين جسمين عام 1687م في كتابه principia. ينص القانون على أن قوة الجاذبية  $F$  بين جسمين تتناسب طرديًا مع كتليهما وعكسيًا مع مربع المسافة بينهما.

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

#### للاطلاع:

فإذا كانت لدينا كتلتان، ولتكن الشمس والأرض مثلًا كما في الشكل 7-2 فإن هناك قوة جذب من كتلة الشمس على كتلة الأرض تعطى بالعلاقة:

$$F \propto \frac{Mm}{r^2} \Rightarrow F = G \frac{Mm}{r^2}$$

يمثل  $G$  ثابت الجذب الكوني. عجلة الجاذبية  $g$  للكوكب تساوي:

$$Mg = G \frac{Mm}{r^2} \Rightarrow g = G \frac{m}{r^2} \quad (1)$$

إذا افترضنا أن هذا الكوكب هو الأرض فإن تسارع الجاذبية الأرضية  $g_e$  يعطي بالعلاقة:

$$g_e = G \frac{m_e}{r_e^2} \quad (2)$$

حيث  $m_e$  كتلة الأرض  
بأخذ النسبة بين  $g$  و  $g_e$

$$\frac{g}{g_e} = \frac{G m}{r^2} \times \frac{r_e^2}{G m_e}$$

$$\frac{g}{g_e} = \frac{m}{m_e} \times \frac{r_e^2}{r^2}$$

إذا افترضنا أن  $\frac{m}{m_e}$  هي كتلة الكوكب بدلالة كتلة كوكب لأرض وتساوي  $m$  و  $\frac{r_e^2}{r^2}$  هي نص قطر الكوكب بدلالة نصف قطر كوكب الأرض وتساوي  $r$  فإن:

$$g_e = \frac{m}{r^2} g_e$$

وبما أن وزن جسم كتلته  $m_1$  على سطح كوكب يساوي قوة جذب الكوكب لهذا الجسم تساوي:

$$W_e = m_1 g \quad (1)$$

وزنه على الأرض:

$$W_e = m_1 g_e \quad (2)$$

إذا وزن هذا الجسم على الكوكب بدلالة وزنه على الأرض:

$$\frac{W}{W_e} = \frac{m_1 g}{m_1 g_e} \Rightarrow W = \frac{g}{g_e} W_e$$



الشكل 7-2 قوة جذب كتلة الشمس على كتلة الأرض.

وزن الجسم على الكوكب بدلالة وزنه على الأرض يعطى بالعلاقة :

$$W = W_e \frac{g}{g_e}$$

#### مثال 4

كوكب كتلته تساوي 0.01 من كتلة الشمس ونصف قطره يساوي نصف قطر الأرض.

1. احسب جاذبيته مقارنة بجاذبية الأرض.

2. افترض أن رائد فضاء وزنه على الأرض يساوي 100 N هبط على هذا الكوكب فكم يبلغ وزنه بعد هبوطه عليه؟

**الحل:**

**تحليل المسألة ورسمها:**

**المعلوم**

**المجهول**

$$W_p = ?$$

$$W_e = 100 \text{ N}$$

$$m_p = 1.01 M_s = 2 \times 10^{28} \text{ kg}$$

**إيجاد الكمية المجهولة:**

**بحساب كتلة الكوكب بالنسبة لكتلة الأرض**

$$m_p = \frac{m_p}{m_e} = \frac{2 \times 10^{28}}{6 \times 10^{24}} = 3333 m_e$$

$$g = 3333 g_e$$

**حل قانون وزن جسم على كوكب بدلالة وزنه على الأرض**

$$W = \frac{g}{g_e} W_e$$

**بالتعويض تكون جاذبية الكوكب**

$$W = 3333 W_e$$

**بحساب وزن رائد الفضاء على الكوكب**

$$W = 3333 \times 100 = 33.3 \times 10^4 \text{ N}$$

• **تقويم الجواب:**

**هل الوحدات صحيحة؟ وحدة وزن رائد الفضاء بالنيوتن N**

**هل الجواب منطقي؟ نعم لأن وزنه على هذا الكوكب ضعف وزنه على الأرض بمقدار 3333 مرة.**





## السرعة المدارية لجرم سماوي

### Orbital Velocity For a Celestial Body

وهي تمثل سرعة جرم حول جرم آخر ومن قانون الجذب العام وعلى سبيل المثال حركة جرم كتلته  $m$  حول جرم كتلته  $M$ ، فإن سرعة الجرم  $V$  في حالة كون المدار قطع ناقص تحقق المعادلة:

**للاطلاع:**

$$V^2 = G(M+m) \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

في حالة دوران جرم حول الشمس أو مركبة فضاء حول القمر، فإن كتلة الجرم الدوار تهمل لصغرها بالنسبة للكتلة الأخرى، فتصبح المعادلة كالآتي:

**للاطلاع:**

$$V^2 = GM \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

ويمكن كتابتها على الصيغة التالية إذا قسنا  $r$  و  $a$  بالوحدة الفلكية والكتلة  $M$  بدلالة كتلة الشمس، فإن السرعة  $v$  ستكون بوحدات  $\text{km/sec}$ :

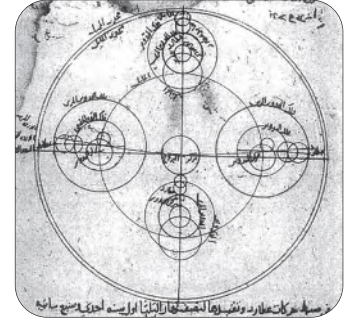
**للاطلاع:**

$$V = 30\sqrt{M} \sqrt{\left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

في حالة حركة جرم حول الشمس فإن  $M$  ستمثل كتلة الشمس وهي تساوي "واحد" وتصبح المعادلة:

$$V = 30 \sqrt{\left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

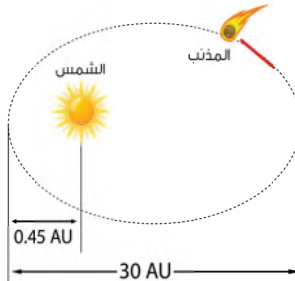
### الربط مع إنجازات علماء الإسلام



استحق أن يكون "ابن الشاطر" هو ملهم علماء الفلك لاستنتاج نظرية مركزية الشمس لنظامنا الشمسي بدلاً من الأرض. إنه من المعروف منذ فترة طويلة أن نماذج "كوبرنيكوس" لمركزية الشمس تحمل تشابهاً واضحاً مع نماذج ابن الشاطر، وكان كوبرنيكوس قد استخدمها فقط لحل الحركات غير المنتظمة لمؤشرات الكواكب التي أحدثتها بطليموس. ويتضح هنا أن نماذج ابن الشاطر لها في الواقع انحيازاً لمركزية الشمس مما جعلها مناسبة بشكل خاص كأساس لنماذج مركزية الشمس.

### مثال 5

في المثال 1 السابق كم تبلغ أدنى سرعة للمذنب؟ حيث قيمة الاختلاف المركزي 0.97 ونصف قطر المحور الأكبر 15 AU؟



**الحل:**

**تحليل المسألة ورسمها:**

ارسم حركة المذنب حول الشمس وحدد أوجه

**المجهول**

$V=?$

**المعلوم**

$e=0.97$

$a=15 \text{ AU}$

**إيجاد الكمية المجهولة:**

حل قانون البعد الأوجي  $r_a$

$$r_a = a(1+e)$$

وزارة التعليم  
Ministry of Education

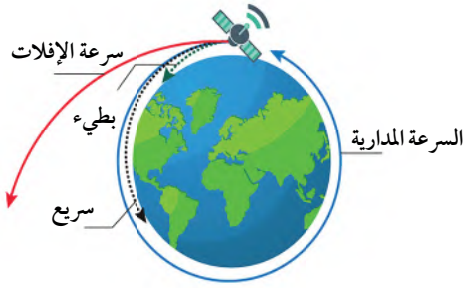
$$r_a = 15(1+0.97) = 29.55 \text{ AU}$$

2023 - 1445

## فكر معنا

كيف تهرب المركبات الفضائية خارج

كوكب الأرض؟



الشكل 8-2 سرعة الإفلات لقمر صناعي .

حل قانون السرعة المدارية لجرم سماوي

$$V = 30 \sqrt{\left(\frac{2}{r_a} - \frac{1}{a}\right)}$$

بالتعويض لإيجاد أدنى سرعة للمذنب

$$V = 30 \sqrt{\left(\frac{2}{29.55} - \frac{1}{15}\right)} = 0.94 \text{ Km/s}$$

• تقويم الجواب:

هل الوحدات صحيحة؟ وحدة السرعة المدارية للمذنب km/s

هل الجواب منطقي؟ نعم بحكم أن هذه السرعة للمذنب وهو في نقطة الأوج.

## سرعة الهروب Escape Velocity

سرعة الهروب **Escape Velocity**: هي السرعة اللازمة لجسم ما للدخول في مسار على شكل قطع مكافئ حول كوكب ما ثم الهروب من جاذبيته الشكل 8-2.

$$V_{es} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \text{ km/sec}$$

### مثال 6

أوجد سرعة الهروب لكوكب كتلته  $7.5 \times 10^{22} \text{ kg}$  ونصف قطره  $1.5 \times 10^6 \text{ m}$  علمًا بأن ثابت الجذب العام  $6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ .

الحل:

تحليل المسألة ورسمها:

المجهول

المعلوم

$$V_{esc} = ?$$

$$M = 7.5 \times 10^{22} \text{ Kg}$$

$$R = 1.5 \times 10^6 \text{ km}$$

إيجاد الكمية المجهولة:

حل قانون سرعة الهروب

$$V_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

بالتعويض لإيجاد سرعة الهروب للكوكب

$$V_{es} = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 7.5 \times 10^{22}}{1.5 \times 10^6}}$$

$$V_{esc} = 2.5 \text{ km/s}$$

• تقويم الجواب:

هل الوحدات صحيحة؟ وحدة سرعة الهروب للكوكب بوحدة km/s.



## نشاط عملي

### تمثيل سرعة الهروب من جاذبية الأرض:

مغناطيس - كرات حديد - غطاء بلاستيكي كبير.  
ورق مقوى - شريط لاصق.

### الخطوات:

- قص الورق المقوى بطول 30 سم وعرض 10 سم، واثني الورقة على شكل مجرى مائي ذو طرفين.
- ضع المغناطيس في طرف الغطاء البلاستيكي.
- ألصق نهاية الورق المقوى بالمغناطيس.
- ضع كرة الحديد في بداية الورق المقوى واتركها تتدحرج إلى الأسفل.
- ارفع بداية الورق المقوى إلى الأعلى، ثم ضع كرة أخرى واستمر في الرفع مع درجة الكرات إلى أن تصل إلى درجة يصعب فيها على المغناطيس جذب كرات الحديد.

### التحليل:

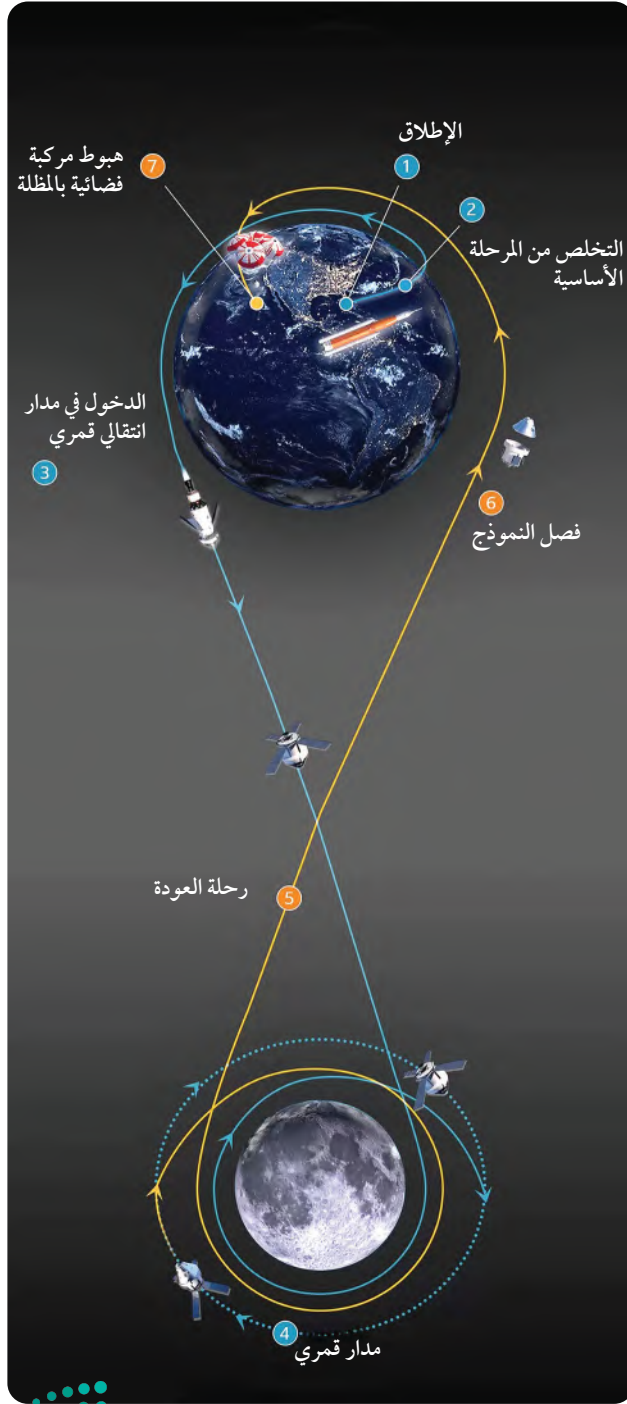
ماذا تلاحظ؟

قارن بين حركة الكرات المتحررة من المغناطيس وحركة جسم يهرب من جاذبية الأرض.

### الربط مع الفيزياء

انطلاق الصواريخ الفضائية هو أحد تطبيقات قانون نيوتن الثالث الذي ينص على أن لكل قوة فعل قوة رد فعل مساوية في المقدار ومعاكس له في الاتجاه، ومن أمثلته احتراق الوقود في الصاروخ مولدًا الغازات، حيث يعمل الصاروخ على دفع هذه الغازات للتخلص منها من خلال فتحة أسفل الصاروخ. أما قوة رد الفعل التي تولدها هذه الغازات فتدفع الصاروخ لأعلى.

تمثل رحلة مشروع أرتيمس للقمر الشكل 9-2 مثال حي على انتقال جرم بين أنظمة مدارية لجرمين سماويين هما: الأرض والقمر، وذلك حينما تبلغ سرعة إفلاته من الأرض 11 km/s لينطلق ناحية القمر في مسار قطع مكافئ، ليدخل مداره ويسير بسرعة مدارية تختلف بحسب ارتفاعه عن القمر، وبعد إكمال مهمته ينطلق من مداره حول القمر بسرعة إفلات 2.4 km/s عائداً نحو الأرض.



الشكل 9-2 رحلة مشروع أرتيمس للقمر.

## مختبر تحليل البيانات

### التفكير الناقد

1. ثمة حوالي 10 آلاف كويكب صغير يدور حول الشمس وبعضها منها يحوم قريباً من الأرض، وقد تكون خطيرة على البشر وكل ما هو على سطح الأرض. الجدول التالي يستعرض بعضاً من هذه الكويكبات القريبة منا:

اسم الكويكب	قطره km	بعده عن الأرض (AU)	سرعة اقترابه النسبية km/s
2022 YS6	1,786,449	0.01194	9.72
2022 YY6	813,642	0.00544	20.27
2014 LJ	1,819,585	0.01216	3.48
367789	1,816,884	0.01215	9.92

### التحليل

2. كيف أهتمت قوانين كبلر العلماء للوصول بنجاح إلى تصميم نظام إنذار مبكر للحد من أخطار الكويكبات؟

3. بناء على بيانات الجدول أي الكويكبات الواردة تتوقع انه يشكل خطراً على الأرض في حالة اذا اقترب منها. ولماذا؟

4. ابحث في الشبكة العنكبوتية عن كويكب اقترب مؤخراً من الأرض وقارن خصائصه بخصائص الكويكبات الواردة بالجدول. ماذا تلاحظ؟





## التقويم 1-2

### الخلاصة

- ينص قانون كبلر الأول على أن الكواكب تدور حول الشمس في مدارات على شكل قطع ناقص، وتقع الشمس في إحدى بؤرتيه.
- ينص قانون كبلر الثاني على أن الخط الوهمي الواصل بين الكوكب والشمس يرسم مساحات متساوية في الفضاء في أزمنة متساوية.
- ينص قانون كبلر الثالث على أن مربع مدة دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب نصف طول المحور الأكبر لمداره.

### فهم الأفكار الرئيسية

- احسب متوسط المسافة بين فيستا (كويكب) و بين الشمس علماً بأنه يستغرق 3.63 year للدوران حول الشمس.
- وضح نوع العلاقة بين متوسط المسافة لفيستا ومدة دورانه حول الشمس.

### التفكير الناقد

- لماذا يلجأ العلماء الى قوانين كبلر عند تعاملهم مع حركة المذنبات التي تتعدد مصادرها.

### الرياضيات في الفلك

- أكملت وكالة الفضاء السعودية مهمتها على سطح القمر ولذا فهي ترغب بمغادرة مركبتها حدد سرعة هروبها من القمر إذا كانت كتلة القمر  $7.35 \times 10^{22}$  kg ونصف القطر  $1.5 \times 10^6$  m.





## 2-2

### التقنية الفضائية

## Space Technology

#### الأهداف

- يصنف أنواع المركبات الفضائية.
- يذكر أنواع مدارات الأقمار الصناعية.
- يقارن بين المركبات المأهولة وغير المأهولة.

**الفكرة الرئيسية** استطاع الإنسان بواسطة التقنيات الفضائية من الوصول إلى أجرام لم تكن

المناظر الفلكية كافية لدراستها.

**الربط مع الحياة** كانت أول رحلة للفضاء لرائد الفضاء الروسي جاجارين في سنة 1961 ميلادية.

### رحلات الفضاء Space flights

بدأت التقنية الفضائية في منتصف الخمسينيات من القرن الماضي عندما أطلق الاتحاد السوفيتي (روسيا حالياً) أول قمر صناعي للاتصالات سبوتنيك 1 الشكل 10-2، ومن ثم بدأ سباق التقنية الفضائية بين الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي مع إطلاق بعض المركبات الفضائية التي تحمل حيوانات مثل الكلبة لايبكا الشكل 11-2 والقرود هام، وكانت هذه المركبات تدور حول الأرض ثم تسقط أو تعود إلى الأرض بواسطة مظلة.

### سباق الفضاء Space race

وبعد ذلك بدأ التسابق لإرسال مركبات فضائية إلى القمر وتصوير الجانب المظلم فأرسلت مجموعة من الأقمار الروسية والأقمار الأمريكية. أواخر الستينات من القرن الماضي بدأ برنامج أبولو لإرسال رائد فضاء والهبوط على القمر، وكانت رحلة (أبولو 11) أول رحلة ناجحة للهبوط على القمر بواسطة رائد الفضاء الأمريكي نيل أرموسترونج ورفيقه الشكل 12-2 عام 1969، واستمر هذا البرنامج إلى 1974 كما أرسلت مركبات فضائية عديدة لاستكشاف كواكب المجموعة

#### مراجعة المفردات

**المدار:** هو مسار منحني لجسم ما حول جسم آخر تحت تأثير قوة الجاذبية.

#### المفردات الجديدة

المركبات الفضائية

القمر الصناعي

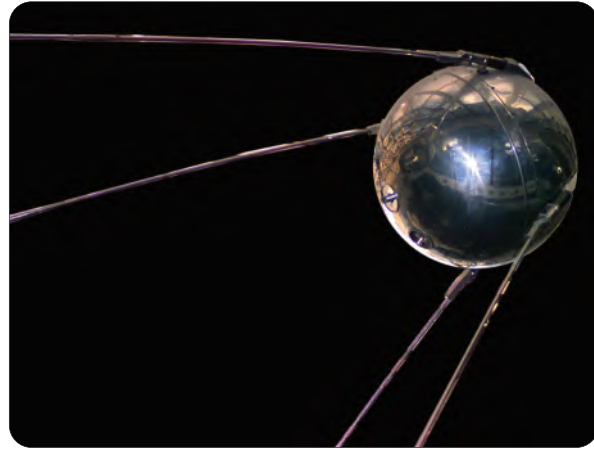
محطة الفضاء

مركبة الفضاء المأهولة

مركبة الفضاء غير المأهولة



الشكل 11-2 الكلبة لايبكا في أول رحلة فضاء لمحطتين.



الشكل 10-2 القمر الروسي سبوتنيك 1.

الشمسية، مثل: كوكب عطارد والزهرة والمريخ، حيث هبطت على سطح المريخ المركبة المشهورة (فايكنج) في منتصف السبعينات من القرن الماضي وأرسلت أيضًا المركبة الفضائية (فويجر 1)، و(فويجر 2) الشكل 13-2، التي قامت في استكشاف كواكب المجموعة الشمسية خصوصًا الكواكب الغازية وهي: المشتري وزحل وأورانوس ونبتون، وتوالت بعد ذلك كثير من هذه المركبات التي اكتشفت المجموعة الشمسية.

## المركبات الفضائية Spacecraft

المركبات الفضائية Spacecraft هي أنظمة مصممة ومبنية للعمل في الفضاء تختلف أنواعها باختلاف مهامها.

و يمكن تصنيفها على النحو الآتي:

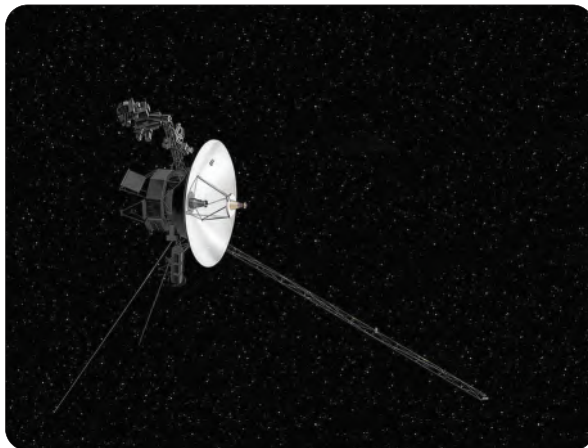
### 1. الأقمار الصناعية Satellites

هي مركبات صممت لتدور في مدارات حول الجرم السماوي ولها عدة وظائف بحسب مداراتها، وتخضع حركة الأقمار الصناعية Satellites حول الكرة الأرضية إلى قوانين كبلر التي تحدد حركة الكواكب. وهذه القوانين تنص على أنه كلما كان القمر واقعا في مدار أعلى، تحرك بسرعة أبطأ. ويُطلق القمر الصناعي إلى الفضاء بواسطة صاروخ، حيث يدور هذا القمر الصناعي حول الأرض عندما تتوازن السرعة من خلال الجاذبية الأرضية، إذ بدون التوازن إما أن يطير في خط مستقيم إلى الفضاء، أو يسقط إلى الأرض.

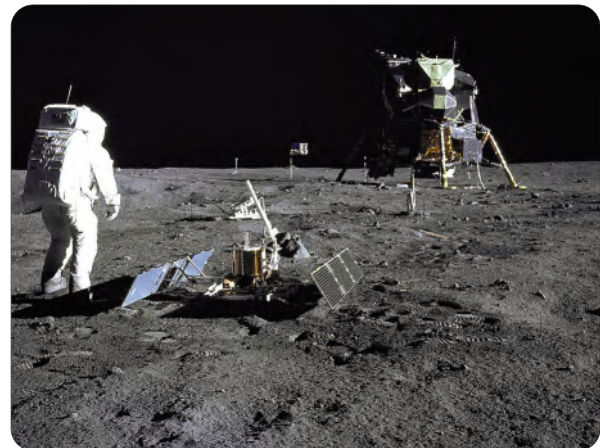
## الربط مع الفيزياء



قام رواد فضاء رحلة أبولو 11 القمرية بتجارب عدة، أشهرها: تجربة السقوط الحر التي استخدموا فيها ريشة النسر ومطرقة؛ حيث إنه عندما أسقطها رائد الفضاء سقطا معًا نتيجة عدم وجود مقاومة من الهواء على سطح القمر، وهذا يؤكد ما أشار إليه العالم غاليليو حول أن الأجسام تسقط بنفس التسارع.



الشكل 13-2 المسبار فويجر 2.

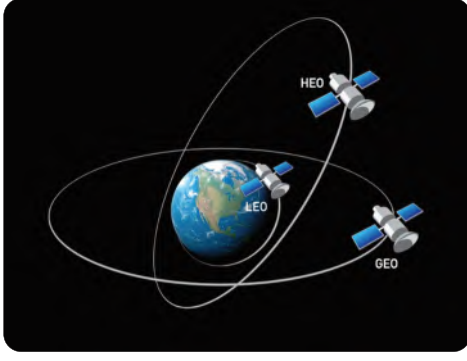


الشكل 12-2 رحلة أبولو 11 القمرية.



ولذا يتم تصنيفها إلى عدة أنواع بحسب مداراتها الآتية الشكل 14-2:

### المدار الأرضي المنخفض (LEO) Low Earth orbit



الشكل 14-2 أنواع مدارات الأقمار الصناعية.

مدار قريب من سطح الأرض، على ارتفاع أقل من 2000 Km، وهو المدار الأكثر استخدامًا للتصوير عن طريق الأقمار الصناعية، حيث إن قربه من السطح يسمح له بالتقاط صور بدقة أعلى. وهو أيضًا المدار المستخدم لمحطة الفضاء الدولية (ISS)، وتتحرك الأقمار الصناعية في هذا المدار بسرعة حوالي 7.8 Km /s، بهذه السرعة يستغرق القمر الصناعي حوالي 90 min لإكمال دوره حول الأرض.

### المدار الأرضي المتوسط (MEO) Medium Earth orbit

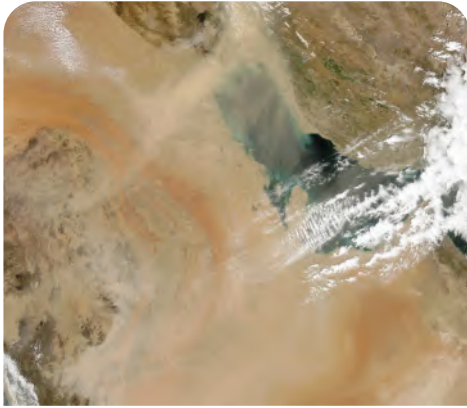
يقع هذا المدار على مسافة 2000 إلى 35000 km من سطح الأرض، هذا المدار مثالي للملاحة والأقمار الصناعية للاتصالات، يستغرق القمر الصناعي على هذا المدار 12h لإكمال دورة حول الأرض، أي أنه يدور مرتين في اليوم ومن أشهر أنواع الأقمار الصناعية في هذا المدار أقمار نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) الشكل 15-2.



الشكل 15-2 أقمار نظام تحديد المواقع العالمي.

### المدار الثابت للأرض (GEO) Geostationary orbit

هو مدار دائري يقع مباشرة فوق خط الاستواء على ارتفاع 35786 km من سطح الأرض، يتحرك في اتجاه دوران الأرض بنفس سرعة دورانها أي أن فترة دورانه مساوية لفترة دوران الأرض؛ لذا هو ثابت لمنطقة معينة ويدور مع هذه المنطقة. الأقمار التي تقع في هذا المدار هي أقمار مراقبة الطقس الشكل 16-2 لأنها تحتاج إلى رؤية ثابتة لنفس المنطقة، وأيضًا أقمار الاتصالات السلكية واللاسلكية والقنوات الفضائية حتى لا يتم تغيير اتجاه الهوائي.



الشكل 16-2 صورة للسحب ملتقطة من قمر صناعي متخصص برصد الطقس.

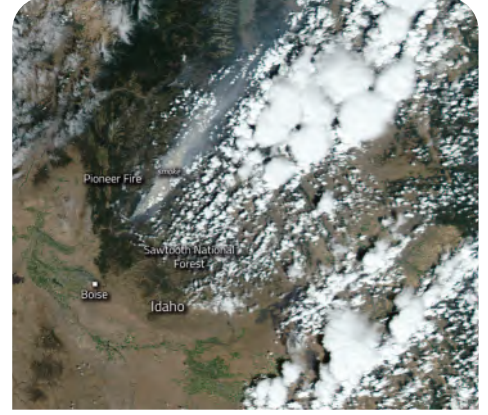




## المدار القطبي الارضي : Earth's Polar Orbit

تتحرك الأقمار الصناعية في المدارات القطبية من الشمال إلى الجنوب مرورًا تقريبًا فوق قطبي الأرض، وهي تقع على ارتفاعات منخفضة بين 200 إلى 1000 km، ويستخدم العلماء سلسلة صور هذه الأقمار للمساعدة في التنبؤ بالطقس أو العواصف وحرائق الغابات الشكل 17-2 والفيضانات.

✓ **ماذا قرأت؟ ما القمر الصناعي المناسب لعمل إنذار مبكر لإعصار؟**



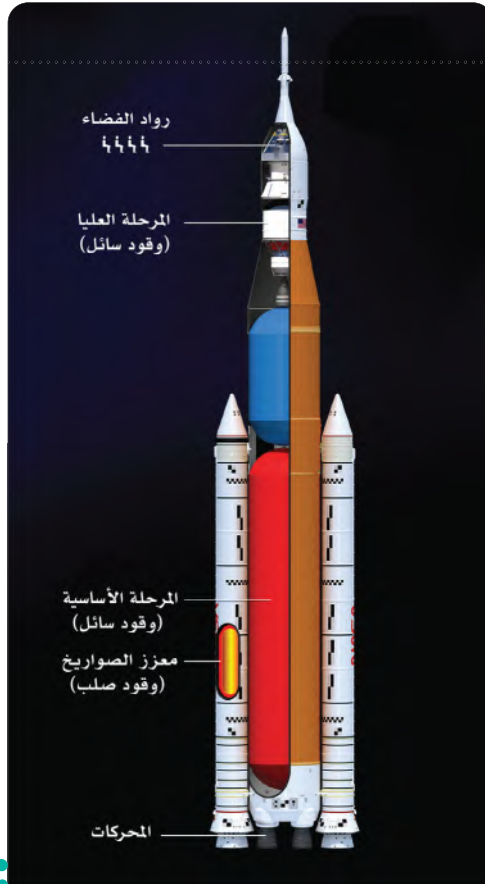
## 2. محطات الفضاء Space Station :

**محطة الفضاء Space Station** هي مركبة مصممة من عدة وحدات عملية ومعيشية يتناوب على العمل فيها رواد الفضاء لعدة أشهر، وتدور حول الأرض في المدار الأرضي المنخفض، وتجري في المحطات الفضائية التجارب والاختبارات والأبحاث، وهناك وحدة خاصة للعودة إلى الأرض. هناك محطتان فضائيتان، الأولى محطة الفضاء الدولية (ISS) الشكل 18-2 وهي بالتعاون مع خمس وكالات فضائية: الأمريكية، الروسية، الأوروبية، اليابانية، الكندية. والثانية محطة الفضاء الصينية (TSS).

الشكل 17-2 حرائق غابات ملقطة من قمر متخصص برصد ملوثات البيئة.



الشكل 18-2 محطة الفضاء الدولية



الشكل 19-2 تركيب صاروخ الإطلاق لمركبات الفضاء المأهولة.

## مهنة مرتبطة

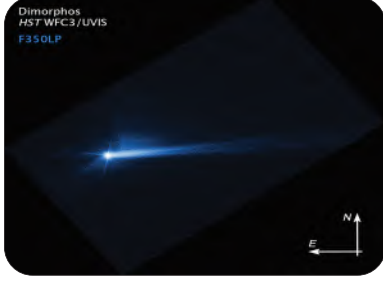
### رائد فضاء،

تتمثل مهنة رائد الفضاء في قيادة مركبة الفضاء أو القيام بمهام فضائية دقيقة داخل المركبة أو خارجها أو القيام بإجراء تجارب هندسية أو طبية أو علمية عامة.

## فكر معنا

◀ ما أبرز المشاكل التي قد يواجهها رواد الفضاء عند القيام برحلات مدارية؟ ▶

### الربط مع البيئة



استطاع مسبار الفضاء «دارت» عام 2022 من الاصطدام بكويكب ديمورفوس الذي بلغ عرضه 160m على بعد  $11 \times 10^6$  Km من أرضنا، وحرفه عن مساره بنجاح، وذلك في تجربة لمعرفة مدى إمكانية منع صخرة كبيرة في الفضاء من الاصطدام بالأرض، وذلك بحرفها عن مسارها بسلام.

## 3. مركبات الفضاء المأهولة Manned Space Vehicles

مركبات الفضاء المأهولة **Manned Space Vehicles** هي مركبات فضاء يقودها رواد فضاء، ويقومون بعدة تجارب عبر معامل صممت لعدة أغراض، وعند اكتمال مهمتهم يعودون إلى الأرض عن طريق نفس المركبة الشكل 19-2.

## 4. مركبات الفضاء غير المأهولة Unmanned Space Vehicle

تتنوع مركبات الفضاء غير المأهولة **Unmanned Space Vehicle** فهناك مركبات استطلاع، تقترب من الجرم سواء كان كوكبًا، أو قمرًا، أو كويكبًا، أو مذنبًا، ثم تبتعد عنه وفي أثناء اقترابها تأخذ العديد من الصور والقياسات وتبعث بها إلى محطات المراقبة الأرضية أو تعود إلى الأرض بعينات ترابية كمرحلة (ستاردست stardust) الشكل 20-2 التي ظلت تجمع الغبار من مخلفات مذنب (wild2) الشكل 21-2. وهناك مركبات يهبط منها مركبة (Rover) تقوم بالعديد من التجارب ومنتقلة بين أرجاء السطح تأخذ العينات وتقوم بتحليلها وترسل بياناتها إلى محطات المراقبة الأرضية، ومن أمثلة هذه المركبات مركبة (برسفيرنس Perseverance) المريخية الشكل 22-2.

وأيضًا توجد مركبات تهبط بهدوء دون أن تتحطم، وبعد نزولها تأخذ العديد من الصور والقياسات باعثة بها إلى محطات المراقبة الأرضية.

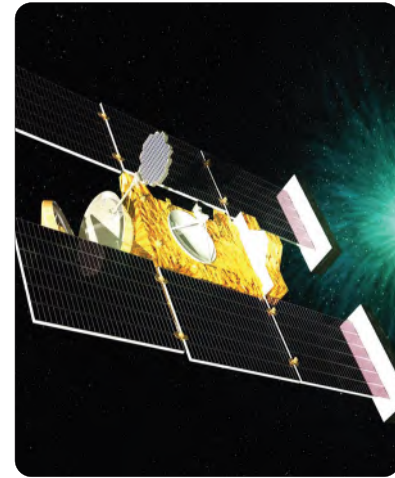
✓ **ماذا قرأت؟ كيف يستطيع العلماء الحصول على بيانات وعينات المركبات الفضائية غير المأهولة؟**



الشكل 22-2 مركبة برسفيرنس.



الشكل 21-2 عينة من مخلفات مذنب ويلد2 التي جمعتها مركبة ستاردست.



الشكل 20-2 مركبة ستاردست.

# تجربة

## العلاقة بين حمولة الصاروخ وسرعة انطلاقه

تستخدم المركبات الفضائية (الصاروخ) لنقل الأشخاص أو نقل حمولات من الأرض إلى الفضاء الخارجي. وتوضع حمولة الصاروخ قرب قمته، وتكون مغطاة بغطاء يحميها أثناء الإقلاع من أحوال الطقس الخارجية وتنفصل الحمولة بعد الوصول للهدف.

## خطوات العمل

1. خذ كمية من بيكربونات الصوديوم بواسطة المعلقة الصغيرة وضعها داخل علبه فيتامين سي بها 5 مل ماء.
2. أحكم إغلاقها وضعها بشكل رأسي بجانب مبنى

المدرسة الخارجي. لاحظ انطلاقها وحدد موقعها بالنسبة للمبنى.

3. أعد الخطوة 2 بإضافة كمية من بيكربونات الصوديوم بواسطة المعلقة الكبيرة.

## التحليل

4. أي الحالتين كان الارتفاع الذي وصلت له العلبه كبيرًا؟
5. ما العلاقة بين ارتفاع الصاروخ وبين كمية وقوده؟
6. هل من المناسب تقليل حمولة الصاروخ أم زيادة كمية وقوده لإيصاله إلى مداره؟

## تاريخ المملكة العربية السعودية في الفضاء History of Saudi Arabia in space

تسعى المملكة العربية السعودية إلى تحقيق الريادة الإقليمية في مجالات الفضاء والمساهمة في التنمية المستقبلية لهذا القطاع الحيوي، وتعمل المملكة العربية السعودية على تقنيات وأنظمة الفضاء من خلال التعاون الوطني والدولي في برامج البحث والتطوير ونقل التكنولوجيا وتوطينها. في عام 1985 أصبح صاحب السمو الملكي الأمير سلطان بن سلمان بن عبد العزيز آل سعود أول رائد فضاء عربي مسلم عندما شارك في مهمة فضائية على متن مكوك "ناسا ديسكفري" الذي حمل معه ثاني قمر صناعي عربي، كأخصائي حمولة ضمن رحلة (STS-51G Discovery) والتي استغرقت مدتها أسبوعًا كاملًا من 17 إلى 24 يونيو 1985.

كما حققت مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية العديد من الإنجازات بإطلاقها 17 قمرًا صناعيًا سعوديًّا بين عامي 2000 و2022 الشكل 23-2، وشاركت مع وكالة الفضاء الأمريكية "ناسا" وجامعة ستانفورد بتنفيذ تجارب علمية في الفضاء عام 2014 على القمر الصناعي (سعودي سات 4). إلى جانب ذلك، تعاونت مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية مع إدارة الفضاء الوطنية الصينية في مهمة (Chang'e 4 lunar) في عام 2018، لاستكشاف الجانب المظلم للقمر الشكل 24-2.



الشكل 24-2 صورة القمر من كاميرا تقنية سعودية موجودة ضمن مهمة تشانج ليونار الصينية للقمر.

## الربط مع رؤية 2030

### من أهداف الرؤية:

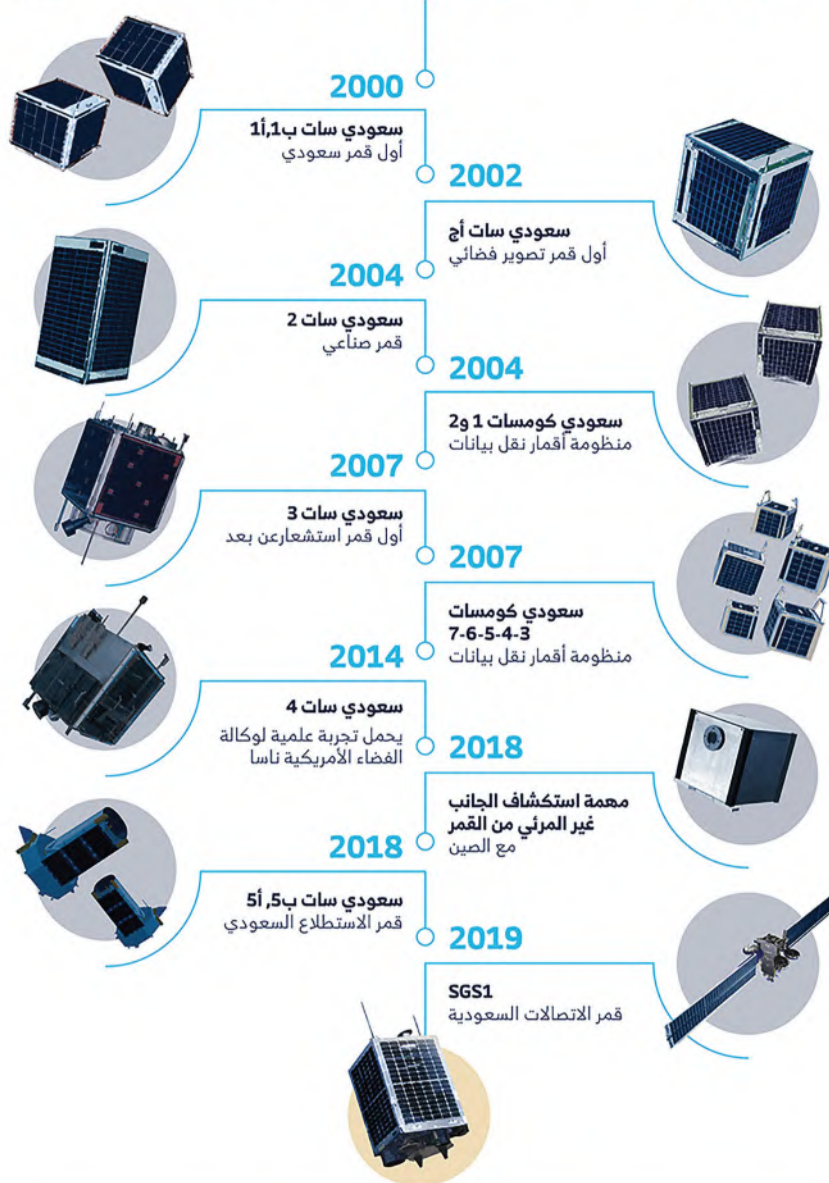
تأسست الوكالة السعودية للفضاء بموجب أمر ملكي في ديسمبر 2018، وهي خطوة شجاعة نحو مستقبل أكثر ابتكارًا وتطلعًا لأحدث التقنيات والفرص في قطاع الفضاء السعودي. تتوافق أهداف الهيئة السعودية للفضاء مع تطلعات المملكة نحو حياة أكثر جودة وتقدم، حيث تتوافق مع رؤيتها لخلق بيئات أفضل وأكثر أمانًا لمواطنيها، مع خلق فرص جديدة لمزيد من الابتكارات المربحة الداعمة للاقتصاد السعودي.

وفي يونيو 2023 تم إصدار قرار مجلس الوزراء رقم 13 بتحويل مسمى الهيئة السعودية للفضاء لتكون وكالة الفضاء السعودية.





# تاريخ الأقمار السعودية



2021

القمر الصناعي السعودي "شاهين سات"  
جيل جديد من الأقمار الصناعية ذات الأحجام الصغيرة



الشكل 2-23 تاريخ الأقمار الصناعية السعودية .



## السعودية نحو الفضاء

أعلنت المملكة العربية السعودية في يوم الأحد بتاريخ 21/05/2023 عن إرسال أول رائدة فضاء سعودية ورائد فضاء سعودي إلى محطة الفضاء الدولية، حيث انضمت (رائدة الفضاء ريانة برناوي، ورائد الفضاء علي القرني) إلى طاقم مهمة AX-2 الفضائية بهدف بناء القدرات الوطنية في مجال الرحلات المأهولة؛ لأجل البشرية والاستفادة من الفرص الواعدة التي يقدمها قطاع الفضاء وصناعاته عالمياً، وتهدف هذه المهمة إلى إجراء 14 تجربة علمية وبحثية رائدة في الجاذبية الصغرى تتضمن ثلاث تجارب تعليمية توعوية لطلاب التعليم العام تساهم نتائجها في تعزيز مكانة المملكة عالمياً في مجال استكشاف الفضاء، وخدمة البشرية، وإبراز دور مراكز الأبحاث السعودية .

كما تضمن البرنامج تدريب رائدة ورائد فضاء آخرين على جميع متطلبات المهمة كطاقم احتياطي، وهما (مريم فردوس و علي الغامدي).



## شارة مُلهمة لتحقيق الطموحات



تجسد شارة الرحلة السعودية للفضاء رؤية الملكة للتطور العلمي والتقني، وتمثل تطلعاتها نحو المستقبل.

**الشكل الدائري**  
استلهم شكل الشارة الدائري من الناقذة الشهيرة لرحلة الفضاء الدولية، مما يعكس التعاون والواصل بين الأمم في استكشاف الفضاء.

**النجمان الصاعدان**  
يمثل النجمان الصاعدان رائدي الفضاء السعوديين وطموحاتهم وتطلعاتهم نحو التقدم والإنجاز.

**النجوم الأربعة عشر**  
تمثل 14 نجمة الرسومة على الشعار عدد التجارب التي سيجريها رواد الفضاء السعوديين خلال رحلتهم؛ لتكون رمزاً للتقدم في سماء الوطن.

**سنة الانطلاق نحو الفضاء**  
يشير العام 2023 إلى عام الانطلاق نحو الفضاء وإلى بداية رحلة الملكة في استكشاف الفضاء وتحقيق طموحاتها العلمية والتكنولوجية.



**علم الملكة**  
يظهر علم الملكة العربية السعودية على الشعار للأكيد على الهوية الوطنية والانتماء للوطن.

**الكرة الأرضية وخريطة الملكة**  
رسمت الكرة الأرضية وتتفاصيل خريطة للمملكة العربية السعودية مما يظهر مدى التطور العلمي في الملكة على المستوى العالمي.

**رائد الفضاء**  
يرمز لروح رائد الفضاء للأرض إلى الهدف الأساسي من الرحلة، وهو خدمة البشرية وتحسين جودة حياة الناس على كوكب الأرض.

**شعار رؤية 2030**  
يعكس دور رؤية 2030 في تعزيز تطور العلوم والابتكار والإنتاج.

يجمع الشعار بين الهوية الوطنية والطموحات العالية، ويعكس التزام الملكة العربية السعودية بالتطور العلمي والتكنولوجي والساهمة في خدمة البشرية.

الهيئة السعودية للفضاء  
SAUDI SPACE COMMISSION

سعودية  
نحو الفضاء  
SAUDI SPACE COMMISSION



## تجارب علمية أجراها رواد الفضاء السعوديين

التغير في طول التيلومير

قياس المؤشرات الحيوية  
عن طريق الدم

استخدام تخطيط أمواج  
الدفاع لقياس النشاط  
الكهربائي

تجربة الإرواء الدماغية  
وتعديلات وضع الدماغ في  
الجاذبية الصغرى

تجربة علوم الخلايا

تجربة قياس الضغط داخل  
الجمجمة

تجربة الاستمطار في  
الجاذبية الصغرى

قياس قطر غلاف العصب  
البصري

## مختبر حل المشكلات

تستخدم الأقمار الصناعية مدارات محددة من أجل القيام بمهام أرضية أو فضائية حيث لكل مدار خصائصه التي تساعد القمر الصناعي على أداء مهامه بدقة كما تظهر من خلال الجدول الآتي :

GEO	MEO	LEO	
35786	14484	2896	ارتفاع
15 سنة	10 سنوات	5 سنوات	الفترة العمرية
24 ساعة	3-7 ساعة	95-115 دقيقة	الفترة المدارية

### التحليل

1. إذا أردت تصميم قمر صناعي مخصص لرصد الزحام المروري في مدن المملكة الكبرى وقت الذروة مستعيناً بالجدول الذي أمامك اقترح اختيار المدار المناسب لوضع قمر الصناعي فيه وذلك بناء على موقع المهمة وفترة الزمن لتستطيع الحصول على البيانات المطلوبة بكل دقة .

### التفكير الناقد

2. ابحث في الشبكة العنكبوتية عن مميزات أخرى لمدارات GEO و LEO و MEO و اضعها للجدول السابق و بناء عليها ناقش أي المدارات السابقة تلجأ إليه معظم دول العالم؟



## التقويم 2-2

### الخلاصة

المركبات الفضائية هي أنظمة مصممة ومبنية للعمل في الفضاء تختلف أنواعها باختلاف مهامها.

ويمكن تصنيفها على النحو الآتي:

• الأقمار الصناعية.

• محطات الفضاء.

• مركبات الفضاء المأهولة.

• مركبات الفضاء غير المأهولة.

### أنواع مدارات الأقمار الصناعية:

المدار الأرضي المنخفض، المدار الأرضي المتوسط،

المدار الثابت للأرض، المدار القطبي الأرضي.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. قارن بين أقمار المدار القطبي وأقمار المدار الأرضي الثابت من حيث أيهما الأنسب لمتابعة مباشرة لحريق في منطقتك.

2. يريد رواد فضاء القيام بتجارب علمية تستغرق 4 أشهر، فما التقنية الفضائية المناسبة لهم مبيئاً سبب اختيارك.

### التفكير الناقد

يرغب العلماء في الحصول على عينة ترابية من إحدى الكويكبات التي بدأت تقترب من مدار الأرض حول الشمس؛ وذلك لدراسة مكوناته الأولية وعلاقتها ببناء النظام الشمسي.

حدد التقنيات الضرورية للقيام بهذه المهمة مبيئاً دور كل تقنية.



# تطبيقات فضائية

## ما الذي يجعل نقاط لاغرانج مواقع مهمة في الفضاء

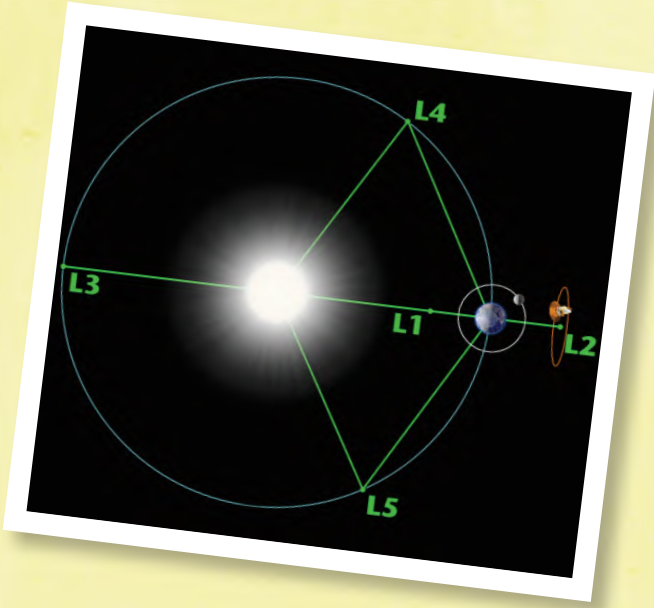
إذا كان لدينا جسمان فائقي الكتلة، فإن قوى الجاذبية ستتوازن تمامًا بينهما في 5 أماكن، وفي كلٍ من هذه الأماكن الخمسة يمكنك وضع قمر صناعي له كتلة صغيرة نسبيًا، وتحافظ على موقعه ببذل القليل من الجهد. فعلى سبيل المثال، يمكنك وضع تلسكوب فضائي أو مستعمرة مدارية، وعندها ستحتاج القليل من الطاقة أو لا شيء منها للحفاظ على موقعها، وقد وجد علماء الفلك هدفهم المنشود في أماكن مميزة من نظامنا الشمسي أطلق عليها اسم نقاط لاغرانج.

فموقع النقطة L1 من نظام الشمس-الأرض مكان عظيم لتركيز تلسكوب شمسي، حيث إنها أقرب قليلًا إلى الشمس، ولكن موقعها سيسمح لها بإرسال البيانات ثانية لنا على الأرض.

وقد أُعد تلسكوب جيمس ويب الفضائي لوضعه في النقطة L2 من نظام الشمس-الأرض، وهي تقع على بعد حوالي 1.5 مليون كيلومتر من الأرض.

ومن هناك، ستكون كل من الشمس والأرض والقمر واقعة في مكان صغير في السماء، لتترك بقية الكون حراً أمام عمليات الرصد.

أما نقطة L1 من نظام الأرض-القمر ستكون المكان المثالي لوضع محطة قمرية يُعاد تزويدها بالوقود، وهي



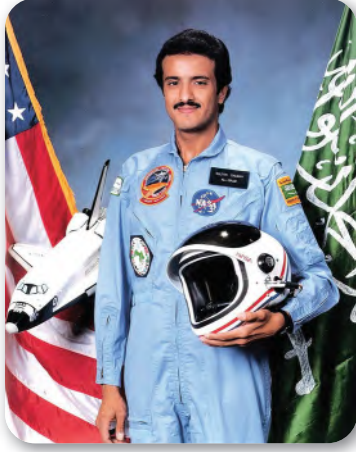
مكان يسهل منه الوصول إلى الأرض أو القمر مع حد أدنى من الوقود.

وتتمركز أغلب أفكار الخيال العلمي حول وضع محطة فضائية أسطوانية دوارة وعملاقة في نقاط L4 و L5 فهي ستكون مستقرة تمامًا في المدار، وعملية الوصول إليها سهلة نسبيًا، وستكون أكثر الأماكن مثالية لبدء استعمار النظام الشمسي.





# رحلة صاحب السمو الملكي الأمير سلطان بن سلمان للفضاء\*



" رحلة سلطان لم تكن رحلة عادية أو نزهة، وإنما كانت لخدمة أهداف علمية لصالح العلم والتعليم.. ويجب أن نعتز بها كمواطنين سعوديين؛ بأننا وصلنا إلى مرحلة من التعليم والتطور جعلتنا نستوعب هذه المهمة، وجعلت علماءنا يقومون بأبحاث فضائية لخدمة العلم في المملكة العربية السعودية والبلاد العربية والإسلامية. "

كلمة خادم الحرمين الشريفين الملك سلمان بن عبد العزيز آل سعود لوكالة الأنباء السعودية في 29 رمضان 1405هـ الموافق 17 يونيو 1985.

## الفكرة والانطلاق

بدأت الفكرة انطلاقاً من سعي المملكة إلى دعم العلماء والباحثين من خلال مجموعة واسعة من المشاريع التنموية الشاملة في مجالات متعددة؛ حيث كان أحدها مشاركة المملكة في رحلة الفضاء ديسكفري عام (1985) وقد كانت أول ريادة إسلامية وعربية في الفضاء.

## قصة الترشيح

يذكر صاحب السمو الملكي الأمير سلطان بن سلمان أنه عندما رُشح لهذه المهمة الفضائية عادت به الذاكرة إلى العام (1969)؛ حيث قال: "لقد تابعت آنذاك وأنا شاب في سن الثالثة عشرة البث التلفزيوني لصعود أول إنسان إلى سطح القمر، وتابعتنا في المملكة باهتمام بالغ نزول نيل أرمسترونج أول إنسان تخطى قدماه سطح القمر في (20 يوليو 1969) في رحلة أبولو 11".



\* خادم الحرمين الشريفين الملك سلمان بن محمد آل سعود سلطان عند استقبال الفريق المشارك في رحلة الفضاء في 20 يوليو 1985.

ثم ذكر: "لقد كان لذلك الحدث أثر بالغ في تشكيل تاريخ الإنسانية، وفي الشباب في بلادنا، وبقية شعوب العالم". ومنذ تلك اللحظة عمل على كافة الجوانب المتعلقة بالمهمة ومنها كان تشكيل الفريق العملي.

## برنامج التدريب

كان برنامج الإعداد لرحلة الفضاء طموحاً إلى أبعد الحدود لما تضمنه من ثراء في الأهداف، و ذكرت مديرة برنامج التدريب الذي أعدته «ناسا» لصاحب السمو الملكي ولزميله الاحتياطي عبدالمحسن البسام؛ المهندسة الأمريكية كاثيرين أبوالتين أن تدريب رائد الفضاء كي يصبح أخصائي حمولة يحتاج إلى نحو (114) ساعة تدريب؛ أي من ستة أشهر إلى ثمانية عشر شهراً، كما جرى مع باتريك بودري أخصائي الحمولة الفرنسي مثلاً. ولكن نظراً إلى ضيق الوقت؛ كان من الضروري تكثيف البرنامج جداً؛ حتى يستطيع رائد الفضاء وزميله استيعابه في مدة زمنية قياسية استغرقت نحو عشرة أسابيع فحسب، أي منذ بداية إبريل حتى منتصف يونيو (1985).



## التجارب العلمية



صورة تذكارية تجمع رائد الفضاء العربي مع الفريق العلمي السعودي (نحو 19 عالماً وباحثاً).

اختير البرنامج العلمي بعناية ليشمل المجالات الرئيسية في علوم الفضاء، وتقنياته، والاستشعار عن بعد؛ وكان أبرز التجارب العلمية:

◀ التصوير الفضائي لبعض مناطق المملكة للحصول على معلومات جيولوجية وطقسية، وغيرها .

◀ رصد هلال شهر شوال حيث كان موعد بدء الرحلة في (12 يونيو 1985) أي (24 رمضان)؛ مما يتيح الفرصة لرؤية هلال بداية شهر شوال، لكن أُلغيت التجربة عند تأخر موعد إطلاق المكوك.

◀ تجربة فصل السوائل التي أُجريت لأول مرة على عينات من خليط الماء وزيت البترول العربي الخام.

◀ تجربة الغاز المؤين حيث أضافت هذه التجربة مفاهيم علمية جديدة لظاهرة انتشار الغازات في الفضاء، وتأثير درجة تأينها على المجال الكهربائي المحيط بالمركبات الفضائية والأقمار الصناعية.

بالإضافة إلى تجارب دولية أخرى كانت على متن الرحلة من أمريكا، وفرنسا، والمكسيك، وألمانيا الغربية.

## الإنجاز

كانت المركبة الفضائية قد وصلت إلى مدارها على بعد (320) كيلو متراً من سطح الأرض، بعد مضي نحو خمس وأربعين دقيقة من موعد الإقلاع، وبعد ست ساعات من انطلاق المكوك من الأرض، بدأ الاستعداد لنشر الأقمار الصناعية التجارية الثلاثة، ثم -بعد ذلك- بدأ رائد الفضاء الفرنسي تجاربه الطبية حول دراسة التغيرات التي تطرأ على جسم الإنسان في حالة انعدام التوازن.

## وكانت أهم الإنجازات:

◀ مشاركة أول رائد فضاء عربي مسلم في مهمة فضائية.

◀ النجاح في وضع القمر العربي الثاني في مداره، واستقبال الإشارات، وتشغيله.

◀ صرح جيسي مور مدير رحلات رواد الفضاء بوكالة ناسا بأن الرحلة (G51) تُعد من أنجح الرحلات المكوكية التي تحققت في تاريخ «ناسا» حتى تاريخه.

◀ شهد القمر الصناعي أول تجربة له حينما نقل التلفاز السعودي وقائع صلاتي المغرب والعشاء من مكة المكرمة والمدينة المنورة تبعاً على الهواء مباشرة يوم الخميس (6 ذو الحجة 1405 هـ) الموافق (22 أغسطس 1985)؛ أي في أقل من أسبوع على إطلاقه، وكانت أول صورة حية يبثها القمر العربي هي صورة الكعبة المشرفة، كما نجح بعد ذلك في نقل مشاعر الحج كاملة وصلاة العيد لعام (1405 هـ) حية على الهواء لملايين المسلمين في ثلاثٍ وعشرين دولة عربية وأوروبية.

## \* المرجع

7 أيام في الفضاء قصة أول ريادة عربية للفضاء، سبلطان بن سلمان آل سعود، 1440 هـ.

# مختبر الفضاء

## قانون كبلر الثالث

### الهدف

1. قياس الفترة المدارية للكوكب.
2. قياس نصف المحور الأكبر لمدار الكوكب.
3. إثبات قانون كبلر الثالث.

### المواد:

1. آلة حاسبة.
2. تلسكوب Microsoft على الويب.



### خطوات العمل

1. قم بفتح البرنامج عبر الرابط على الشبكة العنكبوتية، اضغط على أيقونة "انظر إلى" بالقائمة السفلية واختر (النظام الشمسي).
2. قم باختيار كوكب عطارد واضغط على أيقونة "منظر" بالقائمة العلوية، وقم بتحريك المدة الزمنية إلى عدة سنوات لحساب الفترة المدارية للكوكب.
3. سجل قيمة الزمن الدوري في الجدول، ثم اوجد قيمة  $T^2$ .
4. اوجد قيمة نصف المحور الأكبر لمدار الكوكب  $a$  ثم اوجد  $a^3$  وسجلها بالجدول.
5. أعد الخطوات (2-4) لكواكب الزهرة، الأرض، المريخ، المشتري.
6. مثل بيانياً  $a^3$  و  $T^2$ . ما نوع العلاقة.
7. هل تم إثبات قانون كبلر الثالث من الرسم البياني؟ فسر ذلك.

Planet	نصف المحور الأكبر $a$ AU	الفترة المدارية $T$ سنة	$T^2$	$a^3$
عطارد				
الزهرة				
الأرض				
المريخ				
المشتري				



# دليل مراجعة الفصل

## 2

## الفصل

**الفكرة العامة** تخضع الأجرام السماوية والأنظمة الفضائية لمجموعة من القوانين التي تحدد خصائص حركتها وديناميكيتهما السماوية.

### المفردات

### المفاهيم الرئيسية

#### 1-2 قانون الجاذبية وقوانين كبلر

**الفكرة الرئيسية** قوانين كبلر تصف شكل وخصائص حركة الأجرام التي تسلكها حول بعضها والسرعات التي تتحرك بها والكتل المتبادلة بينها.

**قانون كبلر الأول** تدور الكواكب حول الشمس في مدارات على شكل قطع ناقص، وتقع الشمس في إحدى بؤرتيه.

$$r_p = a(1 - e)$$

$$r_a = a(1 + e)$$

**قانون كبلر الثاني** الخط الواصل بين الكوكب والشمس يرسم مساحات متساوية في الفضاء في أزمنة متساوية.

**قانون كبلر الثالث** مربع مدة دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب نصف طول المحور الأكبر لمداره.

$$T^2 = a^3$$

$$V = 30 \sqrt{\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)}$$

**السرعة المدارية لجرم سماوي**

$$m = M \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$$

**كتلة كوكب له تابع**

$$V_{es} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

**سرعة إفلات الكوكب**

قانون كبلر الأول  
البعد الحضيضي  
البعد الأوجي  
قانون كبلر الثاني  
قانون كبلر الثالث  
سرعة الهروب

#### 2-2 التقنية الفضائية

**الفكرة الرئيسية** استطاع الإنسان بواسطة التقنيات الفضائية من الوصول إلى أجرام لم تكن المناظير الفلكية كافية لدراستها. أنواع المركبات الفضائية.

- الأقمار الصناعية، وأنواعها: منخفضة - متوسطة - ثابتة - قطبية.
- محطات الفضاء.
- مركبات مأهولة.
- مركبات غير مأهولة.

المركبات الفضائية.  
القمر الصناعي.  
محطة الفضاء.  
مركبة الفضاء المأهولة.  
مركبة الفضاء غير المأهولة.



## مراجعة المفردات

وضح العلاقة بين المصطلحات الآتية في كل زوج مما يلي:

1. سرعة الهروب والسرعة المدارية.
  2. المركبات المأهولة والمحطة الفضائية.
  3. المدار القطبي والمدار الثابت.
- أكمل الجمل الآتية بالمفردات المناسبة:
4. مربع مدة دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب -----.
  5. مركبات ----- يقودها رواد فضاء، ويقومون بتجارب عدة بها عبر معامل صممت لعدة أغراض.
  6. أكمل الجدول التالي الذي يستعرض بعضاً من المهمات والتجارب الفضائية:

المهمة	المركبة الفضائية اللازمة
رصد البقع الشمسية	
أثر فقدان الجاذبية على العظام	
مراقبة ناقلات النفط	
جلب عينة من كويكب	
إصلاح منظار هابل	

## تشبيث المفاهيم الرئيسية

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

7. تعاونت مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية مع إدارة الفضاء الوطنية الصينية في مهمة:
  - a. تشانج ليونار.
  - b. ارتيميس.
  - c. ديسكفري ج.
  - d. ستاردست.
8. قانون يمكن منه إثبات أن سرعة الكوكب تتناسب عكسياً مع بعده عن الشمس.
  - a. كبلر 1.
  - b. كبلر 3.
  - c. كبلر 2.
  - d. الجذب العام.

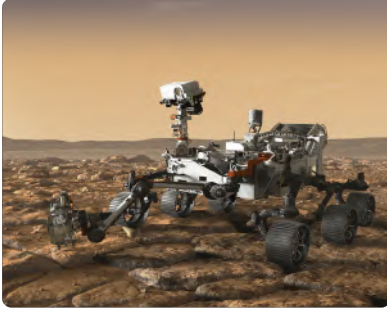
9. لاستقبال البث التلفزيوني فإننا نحتاج إلى قمر صناعي.

- a. ثابت المدار للأرض.
- b. منخفض المدار.
- c. متوسط المدار.
- d. قطبي المدار.

10. المدار المناسب لمحطة الفضاء الدولية.

- a. المدار الأرضي الثابت.
- b. المدار المنخفض.
- c. المدار المتوسط.
- d. المدار القطبي.

11. المركبة التي بالصورة التالية تمثل:



- a. محطة فضاء.
- b. قمر صناعي.
- c. مركبة غير مأهولة.
- d. مركبة مأهولة.

12. أكملت إحدى المركبات مهمتها على سطح المريخ، وأقلعت من على سطحه لتدور حوله بسرعة مدارية  $4.6 \text{ km/s}$ . فما مقدار سرعة الهروب من المريخ، وهل تستطيع الإفلات منه والعودة إلى الأرض؟

- a.  $5 \text{ km/s}$  لا تستطيع الإفلات.
- b.  $4 \text{ km/s}$  تستطيع الإفلات.
- c.  $19 \text{ km/s}$  لا تستطيع الإفلات.
- d.  $1.6 \text{ km/s}$  تستطيع الإفلات.

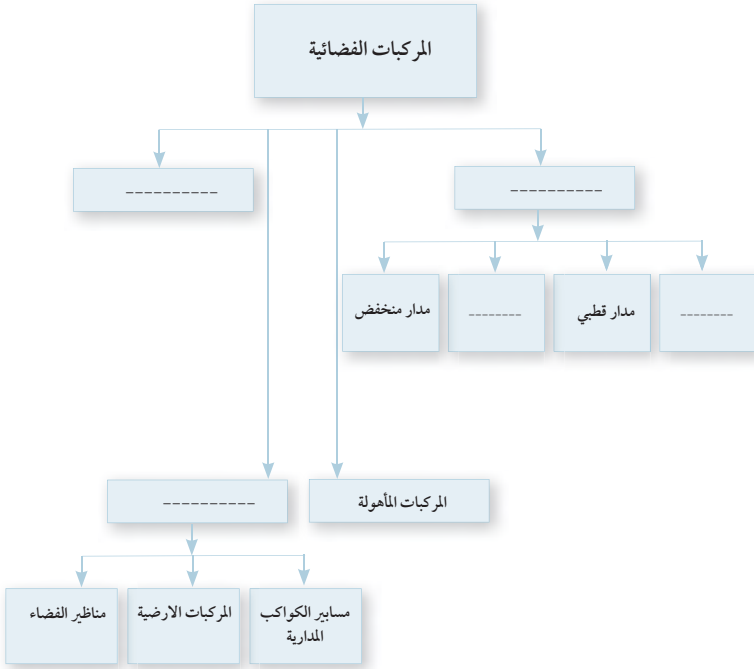
13. تدور مركبة فضاء حول المشتري في مدار دائري وعلى بعد من مركزه يساوي 100 مرة نصف قطره، فإن سرعة المركبة بوحدة  $\text{km/s}$ :

- a.  $0.1 \text{ km/s}$ .
- b.  $2 \text{ km/s}$ .
- c.  $0.01 \text{ km/s}$ .
- d.  $6 \text{ km/s}$ .



## خريطة مفاهيمية

19. أكمل خريطة المفاهيم التي توضح تقنيات المركبات الفضائية:



## سؤال تحفيز

20. يراد القيام بمهمة لدراسة أثر مخلفات كويكب على غلافنا الجوي. في ضوء دراستك للمركبات الفضائية، رتب اختيارك لهذه المركبات للقيام بهذه المهمة.

14. إذا أردنا إطلاق قمر صناعي يدور حول الأرض في مدار دائري بحيث تكون مدة دورته 24 hour؛ فإن بعده عن الأرض:

- a. 60000 km  
b. 35786 km  
c. 20000 km  
d. 400 km

## أسئلة بنائية

مستعيناً بالجدول الآتي أجب عن السؤال:

الكوكب	الفترة المدارية T (year)	نصف المحور الأكبر AU
عطارد	0.24	0.39
الزهرة	0.61	0.72
الأرض	1.00	1.00
المريخ	1.88	1.52
المشتري	11.9	5.20

15. فسر سبب طول الفترة المدارية لكوكب المشتري؟
16. اشرح سبب عدم إفلات الطائرات الحربية النفاثة من جاذبية الأرض (ابحث عن سرعة هذه الطائرات) وحوّلها بوحدتي km/s.
17. صف طريقة توصيل المؤونة إلى رواد الفضاء بالمحطة الدولية للفضاء مبيّناً التقنيات الفضائية المستخدمة.

## التفكير الناقد

18. استطاع تلسكوب جيمس ويب من التقاط صورٍ للمذنب قصير الفترة المدارية، يتحرك خلال مدارات كواكب النظام الشمسي في مسار قطع ناقص، مما قد ينتج عنه اصطدامٌ بكوكب الأرض. مستعيناً بقوانين كبلر وقانون الجذب العام، ادرس العوامل التي تؤثر في مساره مما تعطي العلماء أملاً في تجنب الاصطدام به.



# اختبار مقنن

## اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. إذا علمت أن متوسط نصف قطر مدار "تيتان" أكبر أقمار كوكب زحل يبلغ  $1.22 \times 10^9$  m وفترته المدارية 15.95 day. وهايبيريون قمر آخر من أقمار زحل يدور حوله بنصف قطر متوسط  $1.48 \times 10^9$  m. فإن الفترة المدارية لـهايبيريون بالأيام:  
a. 23 day  
b. 60 day  
c. 120 day  
d. 13 day

2. يدور كوكب عطارد حول الشمس بمتوسط نصف قطر مداري يبلغ  $5.8 \times 10^{10}$  m. فإذا كانت كتلة الشمس  $1.99 \times 10^{30}$  kg. فإن الكوكب يستغرق للدوران حول الشمس مدة تقدر بـ:  
a. 65 day  
b. 39 day  
c. 88 day  
d. 48 day

3. إذا كان نصف قطر كوكب المشتري 71492 km وكانت كتلته  $(1.898 \times 10^{27}$  kg)، فإن سرعة هروبه:  
a. 59.2 km /s  
b. 45 km /s  
c. 68 km /s  
d. 77 km /s

4. أول رائد فضاء هبط على أرض القمر هو:

- a. باز الدرين.
- b. آن ماكلين.
- c. نيل آرموسترونج.
- d. آلان شيبارد.

5. يمكن تطبيق قانون العام للجاذبية بين:

- a. الكواكب فقط.
  - b. أي جسمين.
  - c. الكواكب وأقمارها.
  - d. الأقمار الصناعية والأرض.
6. من الأمثلة على المركبات غير المأهولة:

- a. القمر الصناعي.
- b. محطة الفضاء الدولية.
- c. منظار هابل.
- d. a، c، معًا.

## أسئلة الإجابات القصيرة

7. ما أول كائن تم إرساله في تجربة للفضاء؟
8. ما أقصى ارتفاع لوضع الأقمار الصناعية في المدار الثابت الأرضي؟
9. ما العوامل المؤثرة لحساب قيمة سرعة هروب جرم ما من كوكب؟
10. كيف تأكد كبلر من صحة قوانينه الثلاث؟
11. ما العلاقة بين زمن دورة الكواكب المدارية حول الشمس وبعدها عنها؟



## القراءة والاستيعاب

يهدف برنامج تطوير نظام الإقلاق القابل لإعادة الالاسخدام إلى تطوير مجموعة من التقنيات الجديدة لنظام إقلاق مداري يمكن إعادة استخدامه عدة مرات بطريقة مشابهة لقابلية إعادة استخدام المركبات الجوية. وبدأت شركة سيسيس إكس في تطوير هذه التقنيات عبر سنوات عديدة لتسهل وتسرع من إمكانية إعادة استخدام مركبات الإقلاق للفضاء. تشمل الأهداف طويلة الأمد لهذا المشروع على العودة بالمرحلة الأولى من مركبة الإقلاق إلى موقع الإقلاق بعد دقائق من إقلاق المركبة، والعودة بالمرحلة الثانية إلى منصة الإقلاق بعد محاذاة المركبة مدارياً مع موقع الإقلاق ثم دخول الغلاف الجوي في مدة أقصاها ٢٤ ساعة. ويعدّ الهدف طويل الأمد لشركة سيسيس إكس هو تصميم مرحلتي مركبة الإقلاق المداري بشكل يسمح بإعادة استخدامها بعد بضع ساعات من العودة.

12. اعتماداً على النص السابق، ما المردود الإيجابي لهذا النظام؟

- a. تقليل مدة الرحلات الفضائية.
- b. ترشيد اسقهلاك الوقود.
- c. إعادة استخدام المركبة عدة مرات.
- d. تقليل وزن المركبة.

13. يفيد هذا النظام في:

- a. الرحلات الفضائية للكواكب.
- b. الرحلات المدارية القصيرة.
- c. الرحلات المدارية الطويلة.
- d. كل ما سبق.





**الفكرة العامة** المعادن جزء ضروري في حياتنا اليومية.

### 3-1 ما المعدن؟

**الفكرة الرئيسية** المعدن مادة صلبة غير عضوية توجد في الطبيعة، لها تركيب كيميائي، وشكل بلوري ثابت.

### 3-2 أنواع المعادن وأهميتها

**الفكرة الرئيسية** تصنف المعادن اعتماداً على خواصها الكيميائية والفيزيائية.

### حقائق جيولوجية

- المعدل الزمني لتكوّن الهوابط في الكهوف يساوي آلاف السنين. وتفيد بعض التقديرات أن الهوابط تنمو بمعدل 10 cm كل 1000 عام؛ أي ما يعادل 0.1 mm كل عام.
- قد يعادل قطر أحد أنواع الهوابط الذي يسمى Soda Straw قطرة الماء التي تسقط منه بينما قد يتجاوز طوله تسعة أمتار.

الهوابط

ترسيب كربونات الكالسيوم

بلورات أراجونيت



## نشاطات تمهيدية

### تعرف المعادن

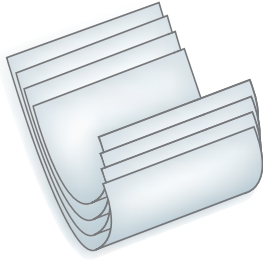
اعمل المطوية الآتية، وسجل فيها الخواص الفيزيائية التي تستخدم في تعرف المعادن.

### المطويات

#### منظمات الأفكار



**الخطوة 1:** ضع أربع أوراق من دفتر الملاحظات بعضها فوق بعض، متباعدة إحداها عن الأخرى بمقدار 2cm كما في الشكل المجاور.



**الخطوة 2:** اثن الطرف السفلي للأوراق لتكوين سبعة ألسنة متساوية. ثم اضغط بقوة على الجزء المطوي لتثبيت الألسنة في أماكنها.

**الخطوة 3:** ثبت الأوراق المطوية معاً بالدبابيس من الأعلى كما في الشكل المجاور.



**الخطوة 4:** اكتب الخواص الفيزيائية المستعملة في تعرف المعادن على كل لسان.

استخدم هذه المطوية في القسم 1-3، مع قراءتك هذا الدرس، صف الخواص الفيزيائية والكيميائية للمعادن المستعملة في كل فحص.

## تجربة استهلاكية

### ما الأشكال التي تتخذها المعادن؟

رغم وجود آلاف المعادن في القشرة الأرضية، إلا أن لكل معدن خصائص فريدة تميزه عن غيره من المعادن. تدل هذه الخصائص على مكونات المعدن وعلى الطريقة التي تكوّن بها، وتستعمل الخواص الفيزيائية في التمييز بين المعادن.



### الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. ضع قليلاً من حبيبات ملح الطعام (معدن الهاليت) على شريحة المجهر. ضع الشريحة على منضدة المجهر، أو شاهد الحبيبات باستخدام العدسة المكبرة.
3. ركز على حبيبة واحدة في كل مرة. عدّ أوجه كل حبيبة، ثم ارسمها.
4. اختبر بلورة كوارتز بعد ذلك باستخدام المجهر أو العدسة المكبرة. عدّ جوانب البلورة، ثم ارسمها. (قد لا تحتاج إلى عدسة مكبرة إذا كانت بلورة الكوارتز أو الهاليت كبيرة الحجم).

### التحليل

1. قارن بين شكل بلورة الكوارتز وبلورة الهاليت.
2. صف خواص أخرى لعيناتك المعدنية.
3. استنتج سبب الفروق التي شاهدها.





# 3-1

## الأهداف

تعرف على المعدن.

تصف كيف تتكون المعادن.

تصنف المعادن حسب خصائصها الكيميائية والفيزيائية.

## مراجعة المفردات

العنصر: مادة نقية لا يمكن تفكيكها إلى مواد أبسط بطرائق فيزيائية أو كيميائية.

## المفردات الجديدة

المعدن

البلورة

البريق

القساوة

الانقسام

المكسر

المخدش

الوزن النوعي

## ما المعدن؟ What is a mineral?

**الفكرة الرئيسية** المعدن مادة صلبة غير عضوية توجد في الطبيعة، لها تركيب كيميائي، وشكل بلوري ثابت.

**الربط مع الحياة.** انظر حولك في غرفة صفك، لتجد الفلز في مقعدك والجرافيت في قلمك الرصاص، والزرجاج في النوافذ. هذه الأشياء أمثلة على استعمال الإنسان المعاصر لمواد مصنوعة من المعادن.

## الخصائص العامة للمعادن Mineral Characteristics

تتكون القشرة الأرضية من 3000 معدن تقريباً، والمعدن **Mineral** مادة طبيعية، صلبة، غير عضوية، لها مكونات كيميائية معينة، وبناء بلوري محدد، انظر الشكل 1-3. وهذه المعادن كونت الصخور وشكلت سطح الأرض. وقد ساعدت بعض المعادن في تشكيل الحضارة الإنسانية؛ فقد حدث تقدم في مرحلة ما قبل التاريخ عندما تمكن الإنسان وقتئذٍ من استخراج فلز الحديد، واستعماله في صنع أدواته. وقد قال تعالى في محكم آياته: ﴿لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنْفَعٌ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مِنْ يَضُرُّهُ وَيُؤْتِيهِ اللَّهُ مِنَ الْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ﴾ سورة الحديد الآية 25.

## تتكون بشكل طبيعي وغير عضوي

### Naturally occurring and inorganic

تتكون المعادن بطرائق طبيعية. لذا، فإن الألماس الصناعي والمواد الأخرى التي تم تحضيرها في المختبرات لا تعدُّ معادن.



الكالسيت



البيريت

الشكل 1-3 تعكس أشكال بلورات المعادن الترتيب الداخلي لذراتها.



الشكل 2-3 تبلورت هذه القطعة من الكوارتز في حيز محصور ضمن كسر أو شق في الصخر.

### المفردات

### مفردات أكاديمية

### محصور

حيز صغير محدد



الكبريت



النحاس



الفضة

الشكل 3-3 بعض المعادن ومنها الكبريت والنحاس والفضة مكونة من عنصر واحد.



والمعادن مواد غير عضوية؛ فليست مكونة من مادة حية، ولا من مادة كانت حية، أو ناشئة عن نشاط حيوي. وبناء على هذه الخاصية يعدُّ الملح معدناً، أما السكر الذي يستخرج من النبات فليس معدناً. ماذا عن الفحم الحجري مثلاً؟ الفحم الحجري ليس معدناً؛ لأنه تكون من مواد عضوية قبل ملايين السنين.

**بناء بلوري محدد Definite crystalline structure** المعدن له بناء بلوري محدد، وهذا يعني أن الذرات مرتبة في بناء هندسي منتظم ومتكرر، وينتج عن هذا البناء البلورة. والبلورة **Crystal** جسم صلب تترتب فيه الذرات بنمط متكرر. وغالباً ما يمثل البناء الداخلي المنتظم شكل البلورة نفسها الشكل 1-3 والشكل 2-3.

✓ **ماذا قرأت؟** صف الترتيب الذري لبلورة ما.

### مواد صلبة ذات تراكيب محددة Solids with specific compositions

المواد الصلبة لها شكل وحجم محددان، أما السوائل والغازات فليس لهما ذلك، لذا لا يعدان من المعادن.

لكل نوع من المعادن مكونات كيميائية خاصة به، وقد تكون هذه المكونات محددة أو متغيرة إلى حد ما. والقليل من المعادن ومنها المعادن الحرة (الأصلية) - وتشمل النحاس والفضة والكبريت - مكون من عنصر واحد فقط انظر الشكل 3-3، أما معظم المعادن فمكون من مركبات؛ فمعدن الكوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) مثلاً؛ مكون من ذرتين من الأكسجين وذرة واحدة من السيليكون. ورغم وجود معادن أخرى تحتوي على السيليكون والأكسجين، إلا أن نسب هذين العنصرين وترتيبهما في الكوارتز خاصيتان ينفرد بهما هذا المعدن.

### التغيرات في المكونات الكيميائية Variation in composition

المكونات الكيميائية لبعض المعادن قليلاً تبعاً للظروف التي تتكوّن عندها بلوراتها. فمعدن الفلسبار البلاجيوكليزي مثلاً في الشكل 4-3 تتفاوت مكوناتها من معدن الأليبت الغني بالصوديوم الذي يتكون في درجات حرارة منخفضة، إلى معدن



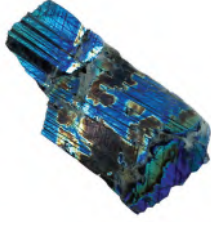
الفلوريت



الكوارتز



الأنورثيت



اللابرادوريت



الأوليغوكليز



الآبيت



الشكل 3-4 مدى التغير في المكونات الكيميائية وما يتبعه من تغير في المظهر الخارجي كافيان لتعرف أنواع معادن الفلسبار المتعددة بدقة.

الأنورثيت الغني بالكالسيوم الذي يتكون في درجات حرارة مرتفعة. وعندما يتبلور المعدن عند درجات حرارة متوسطة يدخل كل من الصوديوم والكالسيوم في البناء البلوري مُنتِجَيْن طبقات متبادلة تسمح للضوء بالانكسار والتشتت، مسبباً ظهور المعدن بألوان متدرجة، كما في معدن اللابرادوريت، انظر الشكل 3-4. وينتج عن هذا التغير الطفيف في مكونات المعدن الكيميائية تغيراً في مظهره الخارجي.

## الصخور تتكون من معادن Rock-Forming minerals

رغم وجود ثلاثة آلاف معدن تقريباً في القشرة الأرضية، إلا أن ثلاثين معدناً فقط هي الأكثر شيوعاً. وتشكّل ثمانية إلى عشرة من هذه المعادن معظم صخور القشرة الأرضية. لذا يشار إليها أنها المعادن المكونة للصخور، وهي مكونة من ثمانية عناصر هي الأكثر شيوعاً في القشرة الأرضية وهي الأكسجين والسيلكون والألومنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والماغنسيوم.

**معادن تتبلور من الصهارة Minerals from magma** تسمى المادة المصهورة التي تتكون وتتجمع تحت سطح الأرض الصهارة. وهي أقل كثافة من الصخور الصلبة المحيطة بها، لذا يمكنها الصعود نحو طبقات الأرض العليا الباردة ثم تتبلور.

إذا بردت الصهارة ببطء في الأعماق فسوف يكون لدى الذرات وقت كاف لترتب نفسها في بلورات كبيرة الحجم، كما في صخر الجرانيت المين في الشكل 3-5. أما إذا وصلت إلى سطح الأرض ولامست الماء أو الهواء فإنها تبرد بسرعة، وتتكون بلورات صغيرة. ويسهم عدد العناصر الموجودة في الصهارة ونوع هذه العناصر في تحديد نوع المعدن المتكون.

✓ **ماذا قرأت؟** صنف أنواع المعادن المتبلورة من المحاليل؟





الجرانيت



الملح الصخري

الشكل 5-3 تكونت البلورات في هاتين العينتين بطرائق مختلفة. صف الفرق بين هاتين العينتين.

**المعادن المتبلورة من المحاليل Minerals from solutions** تذوب الأملاح في مياه المحيطات مكونة محلولاً ملحيًا، وعندما يصبح المحلول مشبعًا بزيادة مذابة فلا يمكنه إذابة المزيد منها، فإذا ذابت كمية أكبر يصبح فوق المشبع، وعندئذٍ تنهياً الظروف لتكوين المعادن؛ حيث ترتبط الذرات المنفردة بعضها مع بعض، وترسب مكونةً بلورات المعادن.

وقد تتبلور المعادن من المحاليل أيضًا عند تبخر الماء؛ حيث ترسب المعادن المذابة في المحلول. وتسمى المعادن المتكونة من تبخر السوائل المتبخرات. ومن ذلك تكوّن الملح الصخري كما في الشكل 5-3 بفعل عملية التبخر. ويوضح الشكل 6-3 تكوّن المتبخرات الملحية في سبخة القصب في المملكة العربية السعودية.

## تعرف المعادن Identifying Minerals

يجري الجيولوجيون كثيرًا من الاختبارات لتعرف المعادن. وتعتمد هذه الاختبارات على الخواص الفيزيائية والكيميائية للمعادن، ومنها: الشكل البلوري والبريق، والقساوة والانقسام والمكسر والمخدش واللون والنسيج والكثافة والوزن النوعي، وبعض الخواص الأخرى.

**الشكل البلوري Crystal Form** بعض المعادن تمتاز بأشكال بلورية مميزة يمكن تعرفها بسهولة. فالهاليت (ملح الطعام) غالبًا ما تكون بلوراته المكعبة كاملة الأوجه، وبلورات الكوارتز ذات النهايتين المدببتين والمحاطة بستة أوجه جانبية تمثل ميزة لها تسهل تعرفها، انظر الشكل 7-3. ولأن البلورات المكتملة النمو نادرة التشكل، لذا يندر تعرف المعدن اعتمادًا على شكل بلوراته.

**البريق Luster** تسمى الكيفية التي يعكس بها المعدن الضوء الساقط على سطحه **البريق Luster**. ويوجد نوعان من البريق: الفلزي واللافلزي. فالفضة والذهب والنحاس والجالينا لها سطوح لامعة تعكس الضوء، كما تعكس قطع السيارة



الشكل 6-3 تكونت هذه المتبخرات بسبب تبخر الماء المالح المتجمع في السبخة.



المصنوعة من الكروم الضوء الساقط عليها، لذا يقال إن هذه المعادن بريقًا فلزيًا. والمعادن ذات البريق الفلزي ليست جميعها فلزات، ولكن سطحها لامع كالفلزات. أما المعادن ذات البريق اللافلزي - ومنها الكالسيت والجبس والكبريت والكوارتز - فلا تلمع كالفلزات. ويوصف البريق اللافلزي بأنه باهت أو لؤلؤي أو شمعي أو حريري أو أرضي (مطفي). ويوضح الشكل 8-3 الفرق في البريق الناتج بسبب الاختلافات في المكونات الكيميائية للمعدنين.

✓ **ماذا قرأت؟** عرّف مصطلح البريق.

**القساوة Hardness** أكثر الاختبارات مصداقية واستخدامًا في تعرّف المعادن هو **القساوة Hardness** وهو مقياس لقابلية المعدن للخدش. وقد طور الجيولوجي الألماني فريدريك موهس مقياسًا لتعرف قساوة المعادن المجهولة، بمقارنتها بقساوة عشرة معادن معلومة القساوة. والمعادن المختارة في مقياس موهس يمكن تعرّفها بسهولة، ويكثر وجودها في الطبيعة إلا الألماس.

✓ **ماذا قرأت؟** وضح ماذا تقيس القساوة؟

يمثل معدن التلك الدرجة رقم 1 في مقياس موهس للقساوة؛ لأنه من أطرى المعادن، ويمكن خدشه بظفر الأصبع. وفي المقابل فإن الألماس يمثل الرقم 10 في المقياس نفسه. لذا يستخدم لجعل أدوات القطع ومنها مثقاب الحفر ومعدات الصقل أكثر حدة. ويوضح الشكل 9-3 معدني الماس والكورندوم.

ويستخدم المقياس المبين في الجدول 1-3 بالطريقة الآتية: المعدن الذي يُخدش بظفر الإصبع قساوته تعادل 2 أو أقل، والمعدن الذي لا يُخدش بظفر الإصبع ويُخدش قطعة نحاسية تتراوح قساوته بين 2.5 - 3.5. أما المعدن الذي يُخدش قطعة نحاسية فقساوته أكبر من 3.5. ويمكن أن تستخدم مواد أخرى شائعة كتلك المدوّنة في الجدول. ويوضح الشكل 10-3 معدنين مختلفين في قساوتهما.



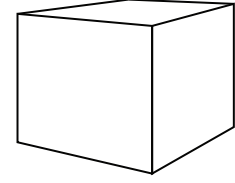
الكأولينيت



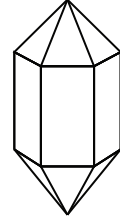
التلك



الشكل 8-3 المظهر الصفيحي اللامع للتللك يكسبه بريقه اللؤلؤي، في حين أن الكأولينيت - وهو أيضًا معدن أبيض لكنه على النقيض من التلك - ذو بريق أرضي.



بلورة مكعبة الشكل



بلورة سداسية الأوجه

الشكل 7-3 توجد المعادن المكتملة بأشكال بلورية مميزة لها يمكن من خلالها تعرّفها.

### مهنة مرتبطة بالمعادن

**مهندس التعدين** : يقوم بعمليات استخراج المعادن وتقييم جدوى مواقع التعدين وتحديد مدى إمكانية الاستفادة من موقع التعدين والمناجم من الناحية التجارية والأشرف على عمليات التنقيب التي تحدث داخل الأرض .





الألماس



الكورندوم

الشكل 9-3 أكثر المعادن قساوة هما معدني الألماس والكورندوم ودرجتا قساوتهما 10 و 9 بالترتيب.



الشكل 10-3 المعدن العلوي يمكن خدشه بظفر الأصبع. والمعدن الشفاف السفلي لا يمكن خدشه بظفر الأصبع ولكن يخدشه معدن آخر.

حدد أي المعدنين أكثر قساوة؟

### مقياس موهس للقساوة

### الجدول 1-3

المعدن	القساوة	قساوة بعض المواد الشائعة
التلك	1	
الجبس	2	ظفر الأصبع = 2.5
الكالسيت	3	قطعة نحاسية = 3.5
الفلوريت	4	مسار حديدي = 4.5
الأباتيت	5	الزجاج = 5.5
الفلسبار	6	نصل السكين = 6.5
الكوارتز	7	قطعة بورسلان = 7
التوباز	8	
الكورندوم	9	
الألماس	10	

### الانقسام والمكسر Cleavage and Fracture

يُحدّد البناء البلوري كيف تنكسر المعدن، فهي تنكسر بسهولة عند المستويات التي تكون الروابط الذرية على طولها ضعيفة. ويقال عن المعدن الذي ينقسم بسهولة وبشكل مستوي في اتجاه واحد أو أكثر أن له انقسامًا **Cleavage**. ولتعرف المعدن حسب انقسامه يقوم الجيولوجيون بعدّ مستويات الانقسام، ودراسة الزوايا بينها. فعلى سبيل المثال، لمعدن المايكا انقسام بمستوى واحد إذ ينقسم إلى رقائق بسبب ضعف الروابط الذرية له.

الشكل 11-3 يوضح انقسام مكعب تام لمعدن الهاليت؛ بمعنى أنه يفصل بمستويات ثلاثة؛ بسبب ضعف التجاذب الذري على طول هذه المستويات.

أما معدن الكوارتز فينكسر بدون انتظام بحواف متعرجة بسبب الترابط الذري المحكم. ويقال عن المعدن التي تنكسر بحواف خشنة متعرجة إن لها مكسرًا **Fracture**. فالصوان والجاسبر والكالسيدوني (أنواع مختلفة من الكوارتز المجهرية البلورات) تظهر مكسرًا فريدًا بأشكال قوسية تشبه زخارف أصداف المحار، ويسمى هذا المكسر مكسرًا محاريًا.

**المخدش Streak** يترك المعدن الذي يُخدش بقطعة البورسلان مسحوقًا ملونًا على سطحها. والمخدش **Streak** هو لون مسحوق المعدن، ويكون مخدش المعدن اللافلزية في العادة أبيض اللون، لذا يكون المخدش مفيدًا جدًا في تعرّف المعدن الفلزية أكثر من المعدن اللافلزية، وقد لا يشبه مخدش المعدن الفلزّي لونه الخارجي، كما في الشكل 12-3. فعلى سبيل المثال يوجد معدن الهيماتيت بهيئتين ينجم عنهما مظهران مختلفان. فالهيماتيت الذي يتكون بفعل التجوية والتعرض للهواء والماء يكون مظهره صديئًا، وبريقه أرضيًّا، بينما الهيماتيت الذي تكوّن من الصهارة لونه فضي، ومظهره فلزي، أما مخدشها فأحمر إلى بني. ولا يمكن أن نستخدم المخدش إلا مع المعدن الأظري من قطعة الخزف، وهذا سبب آخر يجعل استعمال المخدش في تعرّف المعدن محدودًا.





الصوان



الكوارتز



الهاليت

الشكل 11-3 للهاليت انفصام مكعب تام؛ فهو ينكسر إلى قطع بزوايا 90 درجة. أما معدن الكوارتز فإن الروابط القوية فيه تمنع حدوث الانفصام. أما المكسر المحاري فيميّز المعادن التي تتكون من بلورات لا ترى بالعين المجردة مثل الصوان.

✓ **ماذا قرأت؟** فسر أي نوع من المعادن يمكن تعرّفه باستعمال المخدش؟

**اللون Color** من أهم الخصائص الملاحظة في المعدن، ولكنه أقل الخصائص في تعرّف المعادن. وينتج اللون أحياناً من وجود بعض العناصر النادرة أو المركبات داخل المعدن. فعلى سبيل المثال، يكون الكوارتز أبيض اللون كما في الشكل 2-3

## تجربة

### تعرّف الانفصام والمكسر

كيف يستخدم الانفصام في تعرف المعادن؟ يتكون الانفصام عندما ينكسر المعدن في مستويات الروابط الضعيفة، وإن لم يكن للمعدن انفصام يظهر مكسراً. وتعد طريقة تعرف وجود انفصام أو عدم وجوده وتحديد عدد مستويات الانفصام طريقة ذات مصداقية في تعرف المعادن.

### خطوات العمل

#### الجزء الأول

1. اقرأ نموذج السلامة العامة في كراسة التجارب العملية.
2. احصل على عينات لخمسة معادن من معلمك، و صنفها في مجموعتين: الأولى المعادن التي لها انفصام، والأخرى المعادن التي لا انفصام لها.
3. رتب المعادن التي لها انفصام إلى مستويات من الانفصام الأقل إلى الأكثر. ما عدد المستويات التي تُظهرها كل عينة؟ عرّف هذه المعادن إن استطعت.

#### التحليل

1. سجّل عدد مستويات الانفصام، أو وجود مكسر في العينات السبع.
2. قارن بين زوايا الانفصام للعينتين 6، 7. وهل تمثل العينتان نفس المعدن أم لا؟
3. توقع نتيجة ما يحصل لكل معدن منها لو ضرب بمطرقة.





الشكل 12-3 رغم أن هاتين القطعتين من الهيماتيت مختلفتان في المظهر، إلا أن مחדشهما واحد (لون المسحوق نفسه)؛ لأن مكوناتها الكيميائية واحدة.

#### المطويات

ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

السابق ولكنه أيضًا يوجد بألوان مختلفة، كما في الشكل 13-3؛ بسبب وجود عناصر نادرة فيه. فالجاسبر الأحمر والجمشت الأرجواني والسترين البرتقالي تحتوي على كميات وأشكال مختلفة من الحديد. أما الكوارتز الوردى فيحتوي على المنجنيز أو التيتانيوم. وسبب ظهور الكوارتز بلون حليبي أنه يحتوي على فقاعات من الغازات والسوائل المحصورة في البلورة.

**الكثافة والوزن النوعي Density and specific gravity** قد يكون لمعدنين أحيانًا الحجم نفسه، إلا أن كليهما مختلفان بسبب اختلاف كثافتهما. فإذا كان لديك عيتان من الذهب والبيريت لهما الحجم نفسه، فسوف تكون كتلة الذهب أكبر؛ لأن كثافته أكبر. والكثافة انعكاس للكتلة الذرية وبنائية المعدن، فكثافة البيريت  $5.2 \text{ g/cm}^3$ ، وكثافة الذهب  $19.3 \text{ g/cm}^3$ . ويمكن حساب الكثافة من خلال العلاقة:  $D = \frac{M}{V}$  حيث  $D$  الكثافة،  $M$  الكتلة، و  $V$  الحجم. ولأن الكثافة لا تعتمد على شكل أو حجم المعدن فإنها وسيلة ناجحة لتعرّف المعادن. ويسمى مقياس الكثافة الأكثر استخدامًا من قِبَل الجيولوجيين **الوزن النوعي Specific gravity**، وهو النسبة بين كتلة المادة إلى كتلة حجمها من الماء في درجة حرارة  $4^\circ \text{C}$ . فمثلاً، الوزن النوعي للبيريت 5.2، والوزن النوعي للذهب النقي 19.3.

**النسيج Texture** يصف النسيج ملمس المعدن، وتعدّ هذه الخاصية غير مميزة للمعادن، مثلها في ذلك مثل خاصية البريق، ويمكن وصف النسيج بأنه ناعم أو خشن أو متعرج أو شحمي أو صابوني. فمثلاً، نسيج الفلوريت في الشكل 14-3 ناعم، بينما نسيج التلك في الشكل 8-3 شحمي.

✓ **ماذا قرأت؟** فسر العلاقة بين الوزن النوعي والكثافة.



الكوارتز الوردى



السترين



الجمشت



الجاسبر الأحمر (اليشب)

الشكل 13-3 تحتوي هذه العينات المختلفة وجميعها من الكوارتز على السيليكون والأكسجين، وتحدد الشوائب لون العينة.





الشكل 14-3 يختلف الإحساس بالنسيج من شخص لآخر. توصف عينة الفلوريت هذه بأنها ناعمة.

**صفات خاصة Special Properties** هناك الكثير من الصفات الخاصة التي يمكن استعمالها في تعرف المعادن، ومنها: المغناطيسية، والانكسار المزدوج وتتصاعد الفقاعات الغازية عند تفاعلها مع حمض الهيدروكلوريك والفلورة، كما في الجدول 2-3.

الجدول 2-3 صفات خاصة ببعض المعادن				
الخصائص	الانكسار المزدوج يحدث عندما يمر شعاع ضوئي عبر معدن وينقسم إلى شعاعين.	الفسوران يحدث عندما يتفاعل حمض الهيدروكلوريك مع الكالسييت فتتصاعد الفقاعات محدثة صوتاً للفسوران.	المغناطيسية تحدث بين المعادن المحتوية على الحديد.	تعدد الألوان سببه انكسار الأشعة الضوئية.
المعدن	سبار أيسلند (كالسييت شفاف).	الكالسييت	الماجنيتيت البيروتيت	لابرادورايت
مثال				
				التضوء (الفلورة) تحدث عندما تتعرض بعض المعادن للأشعة فوق البنفسجية التي تجعلها تتوهج في الظلام.
				الفلوريت الكالسييت



## التقويم 1-3

### الخلاصة

- المعدن مادة صلبة غير عضوية توجد في الطبيعة، ولها مكونات كيميائية محددة، وترتيب ذريّ داخليّ منتظم.
- البلورة مادة صلبة، تترتب الذرات فيها وفق ترتيب معين بصورة متكررة.
- تتكون المعادن من الصهارة أو من محاليل فوق مشبعة.
- يتمّ تعرف المعادن اعتماداً على خواصها الفيزيائية والكيميائية.
- لتعرّف نوع المعدن بشكل دقيق نحتاج إلى إجراء اختبارات متعددة له منها: تحديد القساوة، وتحديد الوزن النوعي.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. اذكر سببين لعدم اعتبار النفط معدناً.
2. عرف المقصود بأن المعادن تتشكل بصورة طبيعية.
3. قارن بين تكون المعادن من الصهارة، ومن المحاليل.
4. ميز بين الخواص الأكثر مصداقية والأقل مصداقية للمعادن.

### التفكير الناقد

5. وضح كيف يمكنك فحص قساوة معدن الفلسبار باستخدام كل مما يأتي: قطعة زجاج، عملة نحاسية، قطعة بورسلان.
  6. توقع مدى نجاح الفحص المخبري الذي يقوم به الطلاب لمقارنة المخدش واللون لكل من الفلوريت والكوارتز والفلسبار.
- الرياضيات في الجيولوجيا
7. احسب حجم 5 g من الذهب النقي، إذا علمت أن كثافة الذهب  $19.3 \text{ g/cm}^3$ .







## أنواع المعادن وأهميتها

### Types and importance of Minerals

**الفكرة الرئيسية** تُصنف المعادن اعتمادًا على خواصها الكيميائية والفيزيائية.

**الربط مع الحياة.** يُصنف كل شيء في العالم إلى مجموعات مختلفة، فالطعام والحيوانات والنباتات وغيرها تُصنف في مجموعات اعتمادًا على بعض صفاتها أو خصائصها. ولا تختلف المعادن في ذلك؛ حيث تُصنف هي أيضًا في مجموعات.

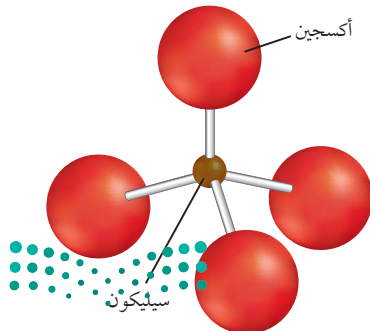
### مجموعات المعادن Minerals Groups

ترتبط العناصر بعضها مع بعض بطرائق وأشكال ونسب مختلفة، وينتج عن ذلك تكوّن آلاف المعادن. ولتسهيل دراسة المعادن وفهم خواصها صَنَّفَهَا الجيولوجيون إلى مجموعات، ولكل مجموعة طبيعة كيميائية محددة وخصائص مميزة.

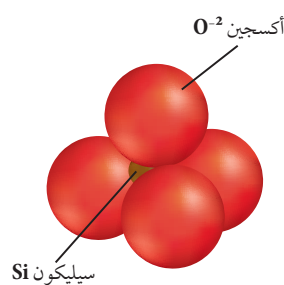
**السيليكات Silicate** يُعد الأكسجين أكثر العناصر شيوعًا في القشرة الأرضية، يليه السيليكون، وتسمى المعادن المحتوية على الأكسجين والسيليكون وعنصر آخر أو أكثر - في الغالب - **السيليكات Silicate**. وتشكل السيليكات 96% تقريبًا من المعادن الموجودة في القشرة الأرضية. ويتبع المعدنان الأكثر شيوعًا (الفلسبار والكوارتز) مجموعة السيليكات.

وحدة البناء الأساسية للمعادن السيليكاتية هي سيليكات الهرم الرباعي الأوجه المبين في الشكل 3-15. **والهرم الرباعي الأوجه Tetrahedron** جسم صلب محاط بأربعة أوجه من مثلثات متساوية الأضلاع على شكل هرم، لذا يمكن تسميته هرم السيليكات. من المعروف أن الإلكترونات في مستويات الطاقة الأخيرة في الذرة تسمى إلكترونات التكافؤ. ويحدد عدد إلكترونات التكافؤ نوع وعدد الروابط الكيميائية التي تشكلها الذرة، ولأن لذرة السيليكون أربعة إلكترونات تكافؤ، فلديها القدرة على الارتباط بأربع ذرات أكسجين بطرائق متعددة، مما يسمح بوجود معادن السيليكات بتراكيب متنوعة، وخصائص مختلفة. كما في الشكل 3-16 والشكل 3-17.

نموذج هرم رباعي الأوجه



منظر مصمت لهرم سيليكات رباعي الأوجه



### الأهداف

- تتعرف مجموعات المعادن المختلفة.
- توضح مجسم السيليكات الرباعي الأوجه.
- تناقش كيف تستعمل المعادن؟

### مراجعة المفردات

رابطة كيميائية: القوة التي تربط ذرتين إحداهما بالأخرى.

### المفردات الجديدة

السيليكات

الهرم الرباعي الأوجه

الخام

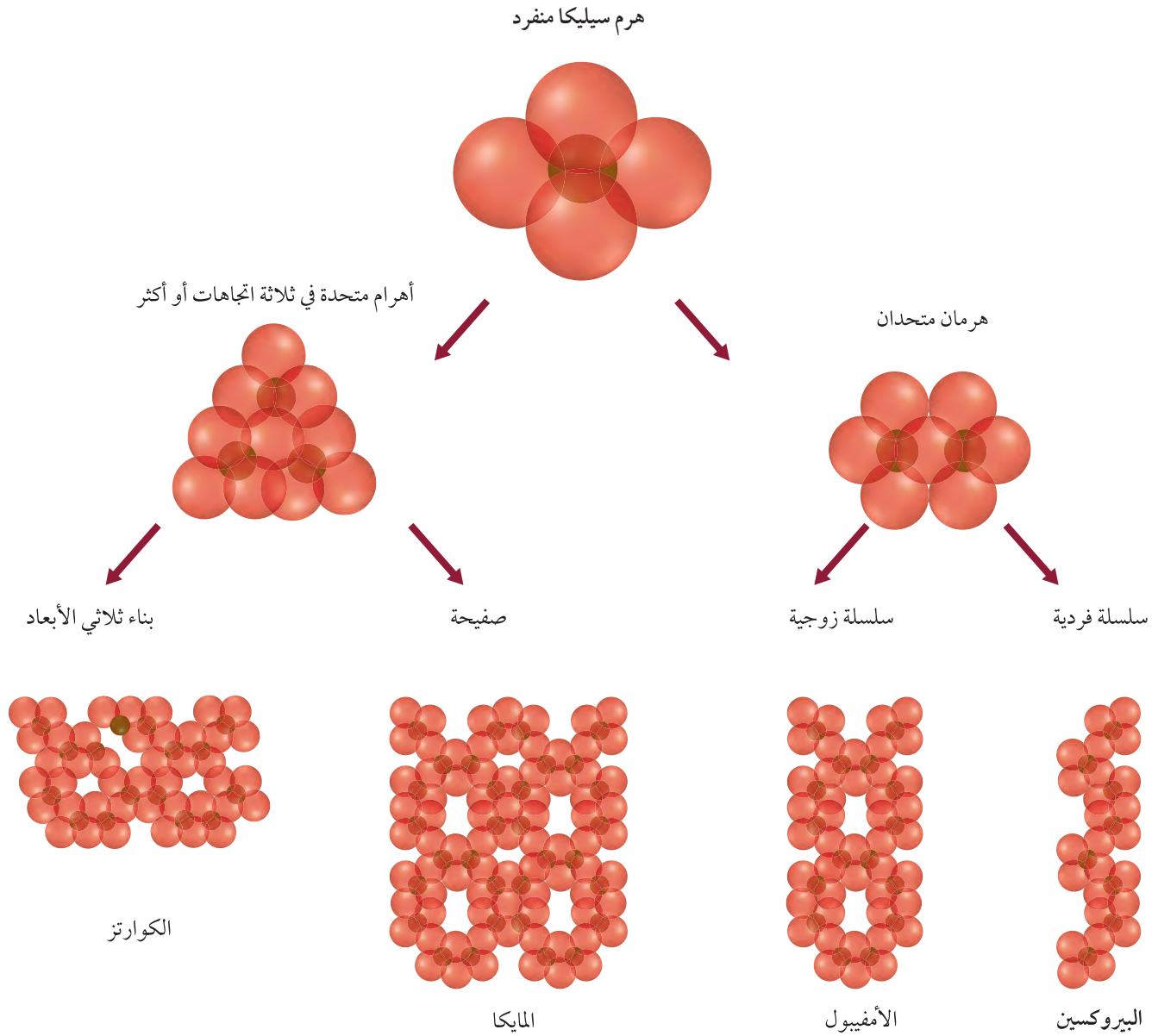
الأحجار الكريمة

**الشكل 3-15** يشكل أيون السيليكات  $\text{SiO}_4^{4-}$  ما يسمى سيليكات رباعي الأوجه (هرم السيليكات)؛ حيث توجد ذرة السيليكون في مركزه الذي يرتبط برابطة تساهمية مع أيونات الأكسجين.

**حدد** عدد الذرات في الهرم الواحد.

# أهرامات السيليكا Silica Tetrahedron

الشكل 16-3 تحتوي أهرامات السيليكا على أربعة أيونات أكسجين مرتبطة مع ذرة سيليكون مركزية، وتتحد أهرامات السيليكا، بعضها مع بعض على شكل سلاسل وصفائح وتراكيب معقدة، وتصبح هذه التراكيب معادن سيليكاتية متعددة في الأرض.



**الكربونات Carbonates** تختلف المعادن السيليكاتية اعتمادًا على ترتيب أهرامات السيليكات فيها. فمثلًا ترتبط أهرامات السيليكات على شكل سلاسل زوجية في الإسبستوس بينما ترتبط على شكل صفائح في المايكا. وفي كلا النوعين تكون الروابط ضعيفة بين السلسلتين وبين كل صفيحتين. يتحد الأكسجين بسهولة مع معظم العناصر تقريبًا مكونًا مجموعات معدنية منها الكربونات. والكربونات معادن مكونة من أيونات فلز أو أكثر موجبة الشحنة متحدة مع أيون الكربونات  $CO_3^{-2}$  سالبة الشحنة.

ومن أمثلة الكربونات: الكالسيوم والدولوميت والرودوكروزييت. وتوجد معادن الكربونات في الصخور الجيرية والرخام، وتمتاز بعض معادن الكربونات ومنها الكالسيوم بتعدد ألوانها بسبب وجود شوائب فيها، كذلك يتميز معدن الرودوكروزييت بلونه الوردى المبين في الشكل 18-3.

**الأكاسيد Oxides** مركبات تتألف من أكسجين وفلز. وتعد معادن الهيماتيت  $Fe_2O_3$  والماجنتيت  $Fe_3O_4$  أكاسيد حديد شائعة، ومصدرًا جيدًا للحديد. ومعدن اليورانينيت  $UO_2$  معدن قيم؛ لأنه يشكل المصدر الرئيس لليورانيوم المستخدم في إنتاج الطاقة النووية.

**الفوسفات Phosphate** معادن تحتوي على أيون الفوسفات  $(Ph_4)^{3-}$  ضمن تركيبها الكيميائي. ومن أشهر معادن هذه المجموعة الأباتيت  $(F, Cl, OH)$   $Ca_5(PO_4)$ ، وتستخدم الفوسفات في صناعة الأسمدة وإنتاج حامض الفوسفوريك.

**المجموعات الأخرى Other groups** هناك مجموعات معدنية رئيسية أخرى، ومنها الكبريتات والكبريتيدات والهاليدات والعناصر الحرة (الأصلية). فالكبريتيدات - ومنها البيريت  $FeS_2$  - مركبات تتألف من الكبريت وعنصر واحد أو أكثر. أما الكبريتات - ومنها الأنهدريت  $CaSO_4$  - فهي مركبات لعناصر متحدة مع أيون الكبريتات  $SO_4^{2-}$ . وتتكون الهاليدات - ومنها معدن الهاليت  $NaCl$  - من أيونات الكلوريد أو الفلوريد متحدة مع كالسيوم أو صوديوم أو



الإسبستوس



المايكا

الشكل 17-3 بعض المعادن السيليكاتية.

الشكل 19-3 استعمالات المعادن عبر الزمن تغيرت قيم المعادن واستعمالاتها عبر الزمن.

800 ق. م استعمل الألماس في الهند، ومنها انتشر إلى أماكن أخرى في العالم، في القطع، والحفر، وفي الخلي.



3000-3300 ق. م شاعت الأسلحة البرونزية في منطقة الشرق الأدنى مع بزوغ فجر الإمبراطوريات القوية.

500 قبل الميلاد

3000 قبل الميلاد

10000 قبل الميلاد

506 ق. م سيطرت روما على صناعة الملح في أوستايا. وقد دفعت روما رواتب الجنودها على شكل حصص من الملح التعليم



1000-1200 ق. م أصبح البرونز في الشرق الأدنى نادرًا، واستعمل الحديد بدلاً منه في صناعة الأدوات والأسلحة.



9000-12000 ق. م أدى الطلب على الأوبسيديان وهو زجاج بركاني يستخدم في صنع الأدوات إلى تشكل أول طريق تجاري طويل.



بوتاسيوم. والعناصر الحرة - ومنها الفضة Ag أو النحاس Cu - مكونة من عنصر واحد فقط كما في الشكل 3-3 السابق.

## المعادن الاقتصادية Economic Minerals

تستعمل المعادن في صناعة الحواسيب والسيارات والتلفزيونات والمكاتب والطرق والبنيات والمجوهرات والدهانات وأدوات الرياضة والأدوية، وفي صناعات أخرى كثيرة. وتوضح الاستعمالات المختلفة للمعادن عبر التاريخ بدراستك المخطط الزمني في الشكل 3-19.

**الرخامات Ores** كثير من المواد التي سبق ذكرها مصنوع من الخامات. ويسمى المعدن **خامًا Ore** إذا احتوى على مواد قيمة يمكن تعدينها، بحيث تكون مجدية اقتصاديًا. فالهيماتيت على سبيل المثال خام يحتوي على عنصر الحديد، فالمواد المصنوعة من الحديد في غرفة صفك مصدرها على الأغلب خام الهيماتيت، والمواد المصنوعة من الألومنيوم مصدرها خام البوكسيت، والدراجه النارية في الشكل 3-20 مصنوعة من فلز التيتانيوم الذي يستخرج من معدن الإلمنت.

ويتم استكشاف المعادن الاقتصادية بطرق مختلفة منها الاستشعار عن بُعد Remote Sensing؛ وتستخدم هذه الطريقة من خلال الأقمار الاصطناعية أو طائرات تحمل معدات خاصة؛ لجمع بيانات ومعلومات عن الخامات المعدنية، أو التراكيب الجيولوجية المصاحبة للتجمعات المعدنية على سطح الأرض. وتعتمد هذه الطريقة على قياس مقدار الطاقة الكهرومغناطيسية المنبعثة أو المنعكسة عن الأجسام المراد دراستها، ثم معالجتها باستخدام برمجيات خاصة، ورسم صور وخرائط للأجسام المدروسة. ومن الخامات المعدنية التي يتم استكشافها بهذه الطريقة: النحاس، والذهب، وخامات الحديد.

ويوجد في المملكة العربية السعودية الكثير من الخامات الاقتصادية، من أهمها الذهب الذي يستخرج من مناجم مهد الذهب والصخيبرات والحجار والأمار. ومن الخامات الأخرى: الفضة والنحاس والنيكل والكروم والزنك.



الرودوكروزيت



الكالسيت

الشكل 3-18 من الأمثلة عن الكربونات الرودوكروزيت والكالسيت.

800-900 م استعمل الكيميائيون

الصينيون الملح الصخري وعنصري الكبريت والكربون في صناعة ملح البارود الذي استعمل للمرة الأولى في الألعاب النارية، واستعمل في وقت لاحق في الأسلحة.



1546 م ساعدت مناجم الفضة في أمريكا الجنوبية الأسبان على تأسيس تجارة عالمية قوية، وتوفير الفضة اللازمة في صك النقود.

2006 م هنالك 242 محطة طاقة نووية وقودها اليورانيوم تعمل عبر العالم بقدرة كلية مقدارها 369.566 جيجا وات.

2000 ميلادية

1500 ميلادية

500 ميلادية

1927 م حققت أول ساعة كوارتز

نجاحًا في الحفاظ على دقة الوقت، وقد ساهمت خصائص الكوارتز في تطوير

صناعة المذياع والرادار والحاسوب.



200-400 م مكنت أدوات الزراعة والأسلحة

الحديدية الناس من الهجرة عبر إفريقيا لاستصلاح الأراضي وإقامة المستوطنات والحلول محل مجتمعات الصيد.

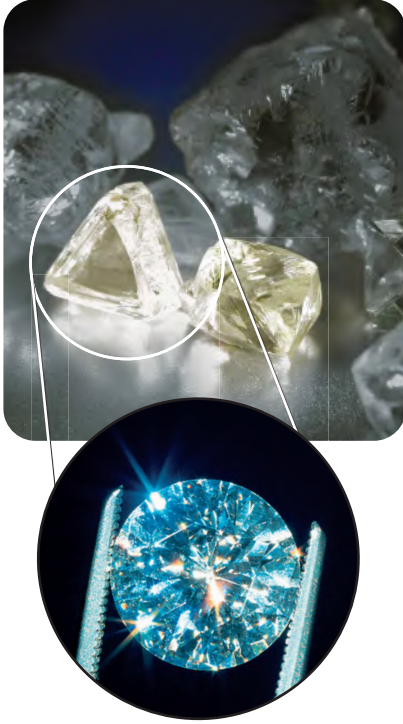


يلخص الجدول 3-3 مجموعات المعادن واستعمالاتها الرئيسية.

مجموعات المعادن الرئيسية		الجدول 3-3
الاستعمالات الاقتصادية	الأمثلة	المجموعة
نوافذ الأفران الأحجار الكريمة (بيروت) صناعة الزجاج يضاف لتربة الأرص	المايكا (بيوتيت) أوليفين $Mg_2SiO_4$ الكوارتز $SiO_2$ الفيرميكوليت	السيليكات
صناعة حمض الكبريتيك مجوهرات خام الرصاص خام الزنك	البيريت $FeS_2$ المركزيت $FeS_2$ الجالينا $PbS$ السفاليريت $ZnS$	الكبريتيدات
خام حديد، صبغة حمراء حجر جملخ، مجوهرات (الياقوت، زفير) مصدر لليورانيوم مصدر للتيتانيوم، صبغة، يستعاض به عن الرصاص في الدهانات مصدر للكروم، وصلات سباكة، إضافات للسيارات.	الهيماتيت $Fe_2O_3$ الكوروندم $Al_2O_3$ اليورانينيت $UO_2$ الإلمنيت $FeTiO_3$ الكروميت $FeCr_2O_4$	الأكاسيد
أعمال المسح، مثبت لتصلب الأسمنت أعمال المسح الجيولوجية.	الجبس $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ الأنهيدريت $CaSO_4$	الكبريتات
ملح الطعام، علف للمواشي، قاتل للأعشاب، إعداد الأطعمة وحفظها صناعة الفولاذ، صناعة أدوات الطهي صناعة الأسمدة	الهاليت $NaCl$ الفلوريت $CaF_2$ السلفيت $KCl$	الهاليدات
صناعة الأسمدة	الآباتيت $Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)_2$	الفوسفات
صناعة الأسمنت والجير والطباشير صناعة الأسمنت والجير، مصدر للكالسيوم والماغنسيوم في الفيتامينات	الكالسيت $CaCO_3$ الدولوميت $CaMg(CO_3)_2$	الكربونات
العملات المعدنية والمجوهرات العملات المعدنية والأسلاك الكهربائية والمجوهرات العملة والمجوهرات والتصوير الأدوية والصناعات الكيميائية (أعواد الثقاب والألعاب النارية) أقلام الرصاص والتشحيم	الذهب $Au$ النحاس $Cu$ الفضة $Ag$ الكبريت $S$ الجرافيت $C$	العناصر الحرة الطبيعية (الأصلية)



الشكل 20-3 أجزاء من هذه الدراجة مصنوعة من التيتانيوم،  
لخفة وزنه ومتانته الجيدة، مما يجعله فلزاً مثاليًا للاستخدام.



الشكل 21-3 يظهر جمال الأحجار الكريمة الحقيقي بمجرد قطعها وصلقلها.

**الأحجار الكريمة Gems** ما الذي يجعل الياقوت أكثر قيمة من المايكا؟ لندرته، ولكونه أكثر جمالاً من المايكا، لذا يعتبر الياقوت من الأحجار الكريمة. والأحجار الكريمة Gems معادن ثمينة ونادرة وجميلة، فضلاً عن قساوتها ومقاومتها للخدش. والأحجار الكريمة تصقل، وتستعمل في صناعة المجوهرات. ويوضح الشكل 21-3 أماساً مصقولاً وآخر غير مصقول.

يؤدي وجود بعض الشوائب أحياناً في أحد المعادن إلى جعله ذا لون مختلف، وأعلى ثمناً من المعدن النقي نفسه. فالجُمشت حجر كريم من الكوارتز حيث يحتوي على كمية من الحديد الذي يجعل لونه بنفسجياً، ومعدن الكوروندم الذي يستعمل في جعل أدوات القطع أكثر حدةً يوجد أيضاً في شكلين من الأحجار الكريمة هما: الياقوت ruby والزفير Sapphir؛ حيث يحتوي الياقوت على كميات نادرة من عنصر الكروم، بينما يحتوي الزفير على مقدار ضئيل من الكوبالت والتيتانيوم.

## التقويم 2-3

### الخلاصة

- ترتبط ذرة من السيليكون مع أربع ذرات من الأكسجين لتكوين هرم رباعي الأوجه.
- مجموعات المعادن الرئيسة تتضمن السيليكات والكربونات والأكاسيد والكبريتات والفوسفات والكبريتيدات والهاليدات والعناصر الحرة.
- يحتوي الخام على مادة قيمة، تعدينها مُجدِّ اقتصادياً.
- الأحجار الكريمة معادن قيمة لندرته وجمالها.

### فهم الأفكار الرئيسة

1. صغ جملة توضح العلاقة بين العناصر الكيميائية وخواص المعادن.
2. اعمل قائمة توضح العنصرين الأكثر شيوعاً في القشرة الأرضية، واذكر اسم المجموعة المعدنية التي يشكلانها.

### التفكير الناقد

3. كوّن فرضية تفسر لماذا لا يعد الأوبال معدناً.
4. قوم أي الفلزات الآتية يفضل استخدامه في الأدوات الرياضية وفي التطبيقات الطبية: التيتانيوم الذي وزنه النوعي 4.5 ويحتوي على Ti فقط، أم الفولاذ الذي وزنه النوعي 7.7 ويحتوي على Cr و O و Fe؟

### الكتابة في الجيولوجيا

5. صمّم إعلاناً لبيع معدن من اختيارك. يمكنك اختيار أحجار كريمة أو معدن مهم صناعياً، وضمّن الإعلان أي معلومات تظن أنها تساعدك على بيع المعدن.



# السياحة الجيولوجية

## في الميدان

### الدحول في المملكة العربية السعودية

تعتبر الدحول الصحراوية في المملكة العربية السعودية واحدة من أجمل وأروع المناطق السياحية الطبيعية في الصحراء. وقد تكونت هذه الدحول ببطء عبر مئات الألوف من السنين. وتقوم هيئة المساحة الجيولوجية السعودية بدراسة الدحول، ومنها الواقعة في منطقة الصمان شمال شرق الرياض، واتخاذ الإجراءات اللازمة للمحافظة عليها.

والدحول - مفردها دحل - فتحات في الأرض، أشبه بالأنفاق، يصل قطر فوهة بعضها إلى حوالي ٢٠ مترًا. وتتكون الدحول نتيجة تسرب المياه عبر الشقوق في الصخور، ومع مرور الزمن يذوب الصخر وتتكون الدحول. وتنمو في الدحول بلورات من معدني الكالسيت والجبس بأشكال وألوان مميزة، وتختلف البلورات في أطوالها حيث يتجاوز بعضها المتر أحيانًا.

كيف تكونت هذه البلورات؟ تحتاج البلورات إلى أشياء عدة لكي تتكون، أولها الفراغ وهو الدحل، وتحتاج البلورات في تكوينها أيضًا إلى مصدر من الماء غني بالمعادن الذائبة. وهناك عوامل أخرى أيضًا، منها: الضغط، درجة الحرارة، مستوى الماء في الكهف، كيميائية المياه الغنية بالمعادن.

ومن الدحول المشهورة في المملكة العربية السعودية: دحل سلطان الذي يقع بالقرب من قرية المعاقلة في منطقة الصمان الذي يتميز بمدخل ضيق، يقود إلى بهو رائع، تتدلى من سقفه الهوابط الجميلة. وفيه ممرات عديدة، ممتدة، ويمتلئ في الشتاء بالمياه.



ومن الدحول أيضًا دحل درب نجم، في صحراء المجموعة الشرقية وهو أقدم الدحول المكتشفة، ودحل هيت في جبال الجبيل بالقرب من الخرج وهو من أعجب وأغرب الدحول في المملكة العربية السعودية؛ حيث اكتشف في باطنه بحيرة تقع على عمق مئة متر تقريبًا تحت سطح الأرض. كذلك دحل المربع ودحل المفاجأة في منطقة الصمان الذي يوصف بأنه أجمل الدحول على الإطلاق؛ لما فيه من مناظر خلابة ناتجة عن تبلور معدن الكالسيت على شكل هوابط وصواعد وأعمدة في غرفتي الثريا والأنياب.

### الجيولوجيا

#### الكتابة في

يبحث؛ ابحث في الإنترنت والموسوعات العلمية حول أحد الدحول أو الكهوف الشهيرة، أو زر - مصطحبًا معلمك - أحد الدحول القريبة من منطقتك، ووثق زيارتك بصور أو عينات صخرية تجمعها ثم اكتب تقريرًا يتضمن المعلومات التي حصلت عليها





## دليل مراجعة الفصل

المعادن جزء ضروري في حياتنا اليومية. **الفكرة العامة**

المفردات	المفاهيم الرئيسية
3-1 ما المعدن؟	<p><b>الفكرة الرئيسية</b> المعدن مادة صلبة غير عضوية توجد في الطبيعة، لها تركيب كيميائي، وشكل بلوري ثابت.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>المعادن مادة طبيعية، صلبة، غير عضوية، لها مكونات كيميائية معينة، وبناء بلوري محدد.</li> <li>البلورة جسم صلب تترتب فيه الذرات بنمط متكرر. وغالبًا ما يمثل البناء الداخلي المنتظم للمعدن شكل البلورة.</li> <li>المعادن تتبلور من الصهارة، ومن المحاليل فوق المشبعة.</li> <li>لتمييز المعادن بطريقة صحيحة لا بد من اختبار أكثر من خاصية.</li> </ul> 
المعدن البلورة البريق القساوة الانفصام المكسر المخدش الوزن النوعي	
3-2 أنواع المعادن وأهميتها	<p><b>الفكرة الرئيسية</b> تُصنف المعادن اعتمادًا على خواصها الكيميائية والفيزيائية.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>تحاط ذرة السيليكون في مجموعة السيليكات بأربع ذرات أكسجين لتشكل هرم السيليكات.</li> <li>مجموعات المعادن الرئيسية هي: السيليكات والكربونات والأكاسيد والفوسفات والكبريتيدات والكبريتات والهاليدات والعناصر الحرة.</li> <li>الخام يحتوي على مواد قيّمة يمكن تعدينها بحيث تكون مجدية اقتصاديًا.</li> <li>يمكن تصنيف المعادن اعتمادًا على صفاتها الكيميائية وخصائصها الفيزيائية.</li> <li>الأحجار الكريمة معادن ثمينة ونادرة وجميلة، فضلًا عن قساوتها ومقاومتها للخدش.</li> </ul> 
سيليكات هرم رباعي الأوجه الخام الأحجار الكريمة	

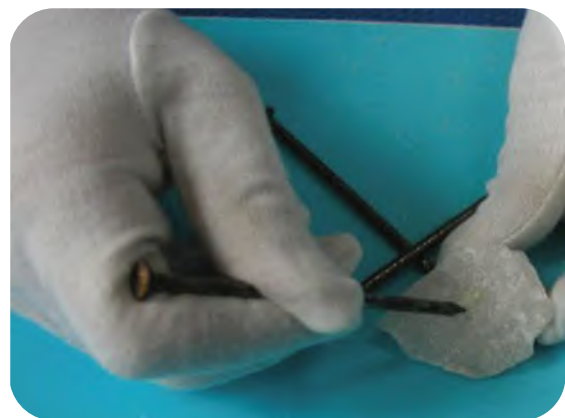


## مراجعة المضردات

- لتحديد المصطلح الذي يصف كلاً من العبارات الآتية استعن بما ورد في دليل مراجعة الفصل:
1. العنصر أو المركب غير العضوي الصلب الذي يوجد في الطبيعة.
  2. الأشكال الهندسية المنتظمة والمرتبطة بنمط متكرر في المعادن.
  3. مجموعة المعادن المحتوية على السيليكون والأكسجين.
- وضّح العلاقة بين المصطلحات الآتية في كل زوج مما يأتي:
4. خام، حجر كريم.
  5. سيليكات، هرم رباعي الأوجه.
- أكمل الجمل الآتية بالمفردات المناسبة:
6. تُظهر المعادن التي تنكسر عشوائياً .....
  7. فحص الـ ..... يحدد المواد التي يחדشها المعدن.

## تثبيت المفاهيم الرئيسة

استعمل الصورة أدناه في الإجابة عن سؤال 8.



8. ما الخاصية المعدنية التي يتم فحصها؟
  - a. النسيج
  - b. المكسر
  - c. الانفصام
  - d. القساوة
9. ما الخاصية التي تؤدي إلى تكسر معدن الجالينا إلى مكعبات صغيرة؟
  - a. الكثافة
  - b. البناء البلوري
  - c. القساوة
  - d. البريق
10. ما الخاصية المستعملة في تصنيف المعادن إلى مجموعات منفردة؟
  - a. البناء الذري الداخلي.
  - b. وجود أهرامات السيليكا أو عدم وجودها.
  - c. المكونات الكيميائية.
  - d. الكثافة والقساوة.
11. معدن كتلته 100 g وحجمه  $50 \text{ cm}^3$ . ما كثافته؟
  - a.  $5000 \text{ g/cm}^3$
  - b.  $2 \text{ g/cm}^3$
  - c.  $5 \text{ g/cm}^3$
  - d.  $150 \text{ g/cm}^3$
12. ما الصيغة الكيميائية الصحيحة لهرم السيليكا؟
  - a.  $\text{SiO}_2$
  - b.  $\text{Si}_2\text{O}_2^{+4}$
  - c.  $\text{SiO}_4^{-4}$
  - d.  $\text{Si}_2\text{O}_2$



17. المعدن السائد في الحجر الجيري هو الكالسيوم. فإلى

أي مجموعة معدنية ينتمي؟

a. السيليكات c. الأكاسيد

b. الكربونات d. الكبريتات

18. أي معدن تتصاعد منه فقاعات غازية (فوران) عند

ملامسته حمض الهيدروكلوريك؟

a. الكوارتز c. الجبس

b. الكالسيوم d. الفلوريت

19. ما الخاصية التي تصف المصطلحات الآتية: باهت،

حريري، شمعي، لؤلؤي، أرضي؟

a. البريق c. اللون

b. المخدش d. الانفصام

20. ماذا يتطلب المعدن لكي يعتبر خامًا؟

a. أن يكون شائعًا.

b. ألا يسبب إنتاجه تلوثًا.

c. أن يوجد بصورة تلقائية في الطبيعة.

d. أن يحقق إنتاجه ربحًا اقتصاديًا.

### أسئلة بنائية

21. فسّر لماذا يختلف لون حجر الياقوت عن لون الزفير

رغم أنها شكلان لمعدن الكورندوم؟

22. صف الأثر الضوئي الناجم عن وضع قطعة شفافة

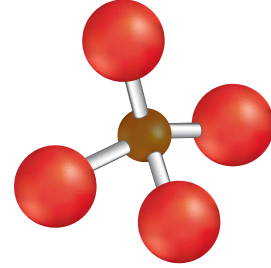
من معدن سبار أيسلندا (نوع من معدن الكالسيوم)

فوق كلمة جيولوجيا في كتاب ما.

23. لخص عملية تكون بلورات سكر في كأس من الشاي

الساخن محلي بالسكر.

استعمل الشكل أدناه في الإجابة عن السؤالين 13 و 14



13. أين يرتبط رباعي الأوجه بعضه مع بعض؟

a. في مركز ذرة السيليكون.

b. عند أي ذرة أكسجين.

c. عند ذرة الأكسجين العلوية فقط.

d. عند ذرات الأكسجين السفلية فقط.

14. أي مجموعات المعادن الآتية تتكون بشكل رئيس من

شكل رباعي الأوجه؟

a. السيليكات c. الكربونات

b. الأكاسيد d. الكبريتات

15. أي المعادن الآتية لا يمكن تحديد مخدشه باستعمال

صفيحة البورسلان؟

a. الهيماتيت c. الفلسبار

b. الذهب d. الماجنيتيت

16. أي من العناصر الآتية أكثر شيوعًا في القشرة

الأرضية؟

a. الصوديوم c. الحديد

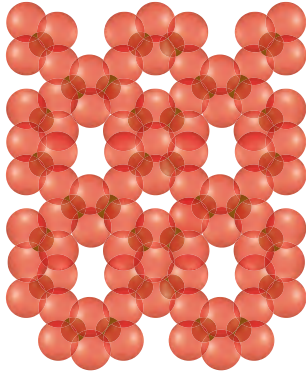
b. السيليكون d. الكربون



30. قوّم تخيل أنه تم اكتشاف حجر كريم أكثر إبهارًا من الألماس والياقوت. قوّم العوامل التي ستؤخذ بعين الاعتبار لتقدير قيمة الحجر الكريم الجديد مقارنةً بالأحجار الكريمة المعروفة.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 31 و32 :

31. استنتج المايكا معادن سيليكاتية صفائحية تترتب ذراتها، كما في الشكل أعلاه. ما الذي يربط هذه الصفائح التي تتكون من هرم رباعي الأوجه سالب الشحنة؟



32. صف نوع الانفصام في المعادن التي لها التركيب الذري الموضح في الشكل.

24. كوّن فرضية أي الخواص المعدنية نتيجة مباشرة لترتيب الذرات أو الأيونات في البلورات؟ وضح إجابتك.

25. قارن للألماس والجرافيت المكونات الكيميائية نفسها. ما أوجه الشبه والاختلاف بين هذين المعدنين؟ ولماذا يعد الألماس حجرًا كريمًا بخلاف الجرافيت؟

### التضكير الناقد

استعمل الصورة أدناه في الإجابة عن السؤال 26.



26. ارسم كيف يكون التركيب الذري لبلورة هذا المعدن إذا كان شكل البلورة انعكاسًا خارجيًا له؟

27. اقترح أفضل المعادن - ما عدا الألماس - التي يمكن أن تُستخدم في صنع ورق الصنفرة؟ وضح إجابتك مستخدمًا الجدول 1-3.

28. قرّر أيّ المواد الآتية ليست معادن؟ النفط، الخشب، الفحم، الفولاذ، الأسمت، الزجاج. ولماذا؟

29. استدل كيف استعمل المنقبون الأوائل في المناجم الكثافة في تحديد إذا كان المعدن الذي وجدوه بيريتًا أم ذهبًا؟



## خريطة مفاهيمية

33. ارسم خريطة مفاهيمية مستعملاً المصطلحات الآتية:  
سيليكات، أكاسيد، هاليدات، كبريتات، كربونات،  
كبريتيدات، فوسفات، عناصر حرة (أصلية)، أصف  
أي مصطلحات مساعدة.

## سؤال تحفيز

34. رتب بالإضافة إلى السيليكات الصفائحية هناك  
سيليكات السلاسل والسيليكات الثلاثية الأبعاد  
والسيليكات الحلقية. رتب ستة أهرامات سيليكات  
على شكل سيليكات حلقية، وتأكد من ربط ذرات  
الأكسجين بدقة.





استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 5 و 6:

المعدن	القساوة	المعدن	القساوة
التلك	1	الفلسبار	6
الجبس	2	الكوارتز	7
الكالسييت	3	التوباز	8
الفلوريت	4	كوردوم	9
الأباتيت	5	الألماس	10

5. بم تصف الألماس من واقع البيانات الواردة في الجدول؟

- المعدن الأثقل.
  - المعدن الأبطأ في التكون.
  - الأكثر انتظاماً في البناء البلوري.
  - لا يمكن خدشه بأي معدن آخر.
6. أي معدن يخدش الفلسبار ولا يخدش التوباز؟
- الكوارتز
  - الكالسييت
  - الأباتيت
  - الألماس
7. التخطيط الجيد لإجراء تجربة لا يشترط بالضرورة وجود واحد من العناصر الآتية:
- التقنية.
  - تحديد المتغيرات.
  - صياغة الفرضيات.
  - جمع البيانات.

## اختيار من متعدد

1. أي العناصر الآتية ترتيبه الثاني من حيث وفرة في القشرة الأرضية؟
- النيتروجين
  - الأكسجين
  - السيليكون
  - الكربون

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 2 و 3:

المعدن	القساوة	الوزن النوعي	البريق / اللون
الفلسبار	6-6.5	2.5-2.8	لافلزي / شفاف أو أبيض
الفلوريت	4	3-3.3	لافلزي / أزرق، أصفر، بنفسجي، أخضر، بني
الجالينا	2.5-2.75	7.4-7.6	فلزي / رمادي، أسود
الكوارتز	7	2.65	لافلزي، شفاف عندما يكون نقياً

2. أي المعادن الآتية أكثر قساوة؟
- الفلسبار
  - الفلوريت
  - الجالينا
  - الكوارتز
3. أي المعادن الآتية ذات لمعان فلزي؟
- الفلسبار
  - الفلوريت
  - الجالينا
  - الكوارتز
4. أي الخصائص الآتية أكثر مصداقية لتعرف المعادن؟
- اللون
  - المخدش
  - القساوة
  - البريق



## اختبار مقنن

صناعة الأجهزة الإلكترونية، ويوجد السيليكون في الطبيعة بأشكال متعددة؛ فهو موجود في الكثير من الصخور، وأحياناً في المياه، وفي الهواء على شكل دقائق غبار، وفي هياكل بعض المخلوقات الحية، ويوجد أيضاً في الكواكب والنجوم. لا يوجد السيليكون منفرداً في الطبيعة، بخلاف الذهب أو الفضة، بل يوجد دائماً متحداً مع عناصر؛ منها الأكسجين O والألومنيوم Al والمغنسيوم Mg والكالسيوم Ca والصوديوم Na والبوتاسيوم K والحديد Fe، وغيرها من العناصر، ويكون مجموعة السيليكات، وهي أكبر المجموعات الكيميائية، وأكثرها تعقيداً.

لون السيليكون رمادي باهت، ووزنه النوعي 2.42، وتكافؤة مثل تكافؤ الكربون، وقد دخل السيليكون في مجموعة من الصناعات الكيميائية، منها كريد السيليكون الذي يستعمل لشحذ أدوات القطع، ومطاط السيليكون المستعمل في السدادات، والزيوت والدهانات. والسيليكون من العناصر شبه الموصلة، لذا يستعمل في الخلايا الشمسية لتوليد التيار الكهربائي من الضوء، ويستعمل في صنع الرقائق الإلكترونية والترانزستورات.

14. اعتماداً على النص السابق؛ أيُّ خصائص السيليكون الآتية تشكل تحدياً لاستخدامه؟
- يحيط به هالة من الإلكترونات.
  - لونه رمادي باهت.
  - لا يوجد منفرداً في الطبيعة.
  - واسع الانتشار في أماكن عديدة.
15. أيُّ الصناعات الآتية لا تعتمد على الحالة الكيميائية للسيليكون؟

- مطاط السيليكون والسدادات.
  - كريد السيليكون والحجارة التي تشحذ أدوات القطع.
  - الرقائق الإلكترونية.
  - الزيوت والدهانات.
16. لماذا لم يكن السيليكون معروفاً بشكل واسع قبل انتشار الأجهزة الإلكترونية؟



### أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل معامل التحويل والجدول الآتي للإجابة عن الأسئلة 8-10:  
1.0 قيراط = 0.2g

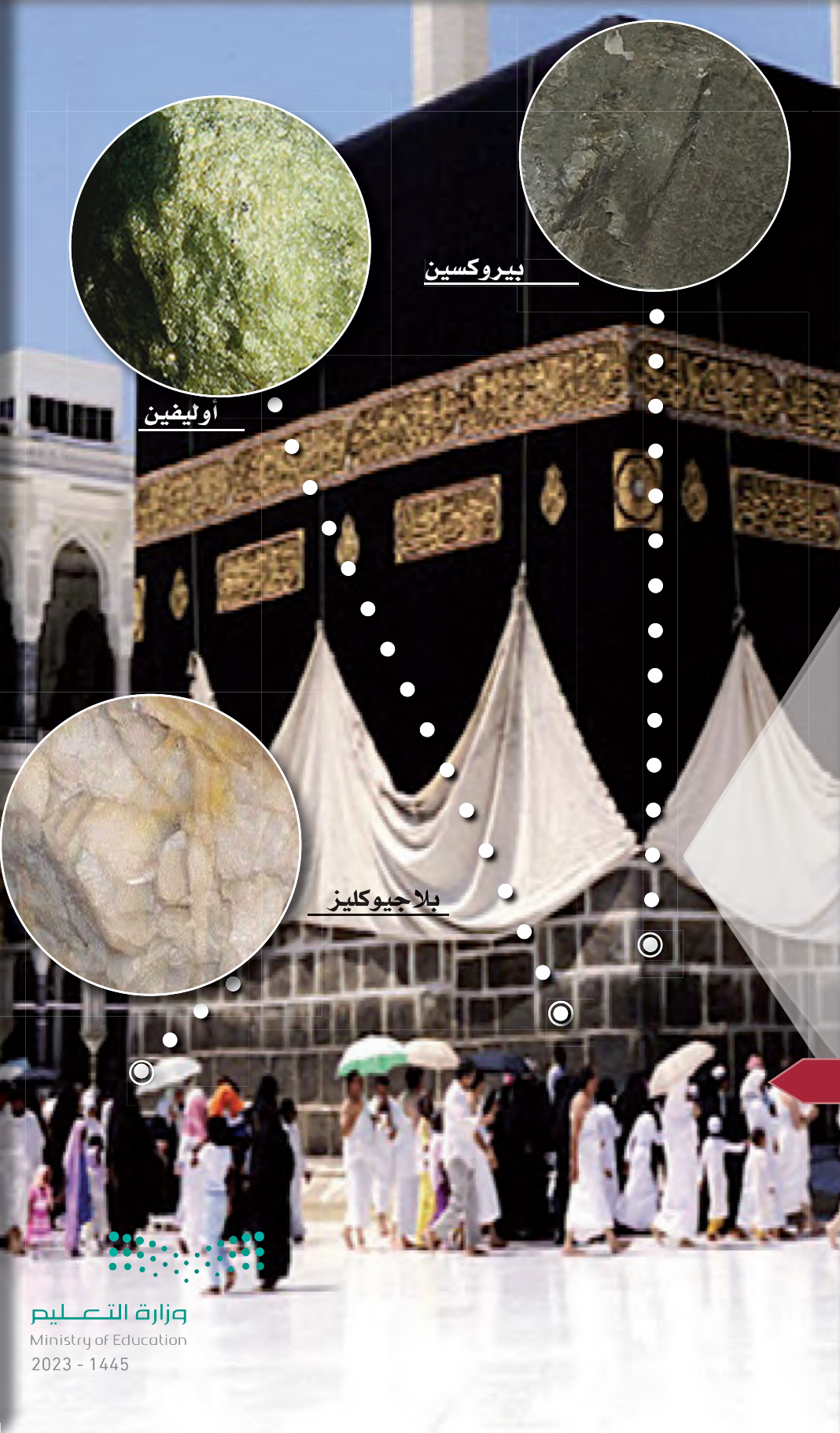
ألماس	قيراط	جرام
ماسة سام: أكبر ماسة في العالم وجدت في الولايات المتحدة	40.4	؟
ماسة بنش جون: ثاني أكبر ماسة في العالم	؟	6.89
ماسة تريزا: اكتشفت عام 1888م	21.5	4.3
مجمّل إنتاج غرب أستراليا من الألماس في العام 2001 م	21,679,930	؟

- رتّب الماسات الثلاث من الأصغر إلى الأكبر حسب أوزانها بالقيراط وسجّل وزن كل منها.
- كم كيلو جراماً من الألماس أنتجت غرب أستراليا في العام 2001 م؟
- لماذا يحول منقبو الألماس قياساتهم من القيراط إلى الجرام؟
- لماذا يعاد تصنيف بعض المعادن من خام اقتصادي إلى معدن غير اقتصادي؟
- عرّف البريق، ويّن لماذا يصعب استعمال البريق في تعرف المعادن؟
- لماذا تصنف بعض المعادن خامات، ولا تصنف معادن أخرى كذلك؟

### القراءة والاستيعاب

#### السيليكون

السيليكون Si ثاني أكثر العناصر انتشاراً في القشرة الأرضية. إلا أن الاهتمام به زاد بشكل واسع بعد استعماله في



بيروكسين

أوليفين

بلاجيوكليز

**الفكرة العامة** تقسم الصخور الى ثلاثة أنواع؛ هي الصخور النارية، والصخور الرسوبية، والصخور المتحولة.

#### 1-4 ما الصخور النارية؟

**الفكرة الرئيسية** الصخور النارية صخور تتكون عندما تبرد المواد المنصهرة في باطن الأرض أو على سطحها ثم تتبلور.

#### 2-4 تصنيف الصخور النارية

**الفكرة الرئيسية** يعتمد تصنيف الصخور النارية على مكوناتها المعدنية وحجم بلوراتها ونسيجها.

#### 3-4 تشكل الصخور الرسوبية

**الفكرة الرئيسية** تنشأ الصخور الرسوبية عن تصخر الرسوبيات الناتجة عن عمليتي التجوية والتعرية.

#### 4-4 أنواع الصخور الرسوبية

**الفكرة الرئيسية** تصنف الصخور الرسوبية بناء على طرائق تشكيلها.

#### 5-4 الصخور المتحولة

**الفكرة الرئيسية** تنشأ الصخور المتحولة عندما تتعرض صخور سابقة لها لزيادة الضغط والحرارة والمحاليل الحرارية المائية.

#### حقائق جيولوجية

- بنيت الكعبة المشرفة في عهد نبي الله إبراهيم عليه السلام.
- تم بناؤها باستخدام الصخور البازلتية المتوافرة في مكة المكرمة.
- تبلغ مساحة الكعبة المشرفة تقريباً 145 m<sup>2</sup>، وارتفاعها 14 m.



## نشاطات تمهيدية

### أنواع الصخور

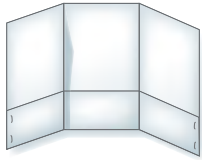
اصنع المطوية الآتية للمقارنة بين أنواع الصخور الثلاثة.

### المطويات

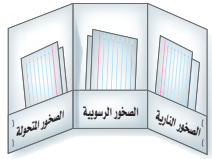
منظمات الأفكار



**الخطوة 1** اثن الطرف السفلي للورقة طولياً بمقدار 3 cm، ثم اضغط على الجزء المطوي إلى أعلى.



**الخطوة 2** اثن الورقة إلى ثلاثة أجزاء متساوية.



**الخطوة 3** ألصق الجزء المثني من الورقة من الجوانب لعمل ثلاثة جيوب، وعلونها على النحو الآتي: الصخور النارية، والصخور الرسوبية، والصخور المتحولة.

استخدم هذه المطوية مستعملاً لثك ورقة تكتب فيها ملخصاً عن كيفية تكوّن كل نوع من الصخور مع إعطاء أمثلة.

**المجهر المستقطب** يختص بدراسة المعادن والصخور وذلك بقياس خصائصها البصرية لتحديد التركيب المعدني لها من خلال عينات يتم صقلها لتكون شرائح رقيقة ينفذ الضوء من خلالها.

## تجربة استهلاكية

### كيف نتعرف الصخور؟

تتكون الصخور النارية من معادن مختلفة، ويمكن تمييز تلك المعادن في بعض أنواع الصخور النارية التي تتكون من بلورات معدنية كبيرة.

### الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. افحص عيّنة من الجرانيت بالعين المجردة، وسجّل ملاحظاتك من خلال المجهر المستقطب.
3. استعمل عدسة مكبرة أو مجهرًا مستقطب لمشاهدة عيّنة الجرانيت، وسجّل ملاحظاتك.
4. استعمل مجهرًا مستقطبًا لمشاهدة شرائح رقيقة من عينة الجرانيت وتعرف على المحتوى المعدني.



### التحليل

1. وضح ما شاهدته من خلال العدسة المكبرة أو المجهر المستقطب. ضمّن رسمك مقياسًا للرسم توضح من خلاله النسبة بين حجم البلورات في العينة وحجمها على الرسم.
2. عدّد أنواع المعادن التي شاهدتها في عيّنتك.
3. صف أشكال بلورات المعادن وحجمها.
4. اكتب أي دليل يفيد أن هذه البلورات تكوّنت من صخر مصهور.







## ما الصخور النارية؟

### What are Igneous Rocks?

**الفكرة الرئيسية** الصخور النارية صخور تتكوّن عندما تبرد المواد المنصهرة في باطن الأرض أو على سطحها ثم تبلور.

**الربط مع الحياة.** تستخدم الصخور النارية في العديد من المجالات ومنها: مجال البناء وفي المطابخ وواجهات المباني ورصف الشوارع.

### تكوّن الصخور النارية Igneous Rocks Formation

لو أنك تابعت فيلمًا عن بركان نشط لشاهدت كيف تتكون الصخور النارية. وكما درست سابقًا، فإن الصهارة صخور منصهرة توجد تحت سطح الأرض. أما **اللابة Lava** فهي صهارة تتدفق على سطح الأرض. تتكون **الصخور النارية Igneous Rock** عندما تبرد الصهارة أو اللابة وتبلور المعادن.

تمكّن العلماء من صهر معظم أنواع الصخور في المختبر بتسخينها إلى درجات حرارة تتراوح بين  $800^{\circ}\text{C}$  و  $1200^{\circ}\text{C}$ . وتتوافر درجات الحرارة هذه في الطبيعة في الجزء السفلي من القشرة الأرضية، وفي الجزء العلوي من الستار. ما هو مصدر هذه الحرارة؟ يعتقد العلماء أن مصدر الطاقة الحرارية الأرضية هما: الطاقة المتبقية من تكوّن الأرض من الصهير الأولي، وطاقة التحلل الإشعاعي للعناصر.

**مكونات الصهارة Composition of magma** يعتمد نوع الصخر الناري المتكوّن على مكونات الصهارة، والصهارة خليط من صخر مصهور وغازات مذابة وبلورات معدنية، والعناصر الشائعة في الصهارة هي نفسها العناصر الرئيسية في القشرة الأرضية: الأكسجين O، والسيليكون Si، والألومنيوم Al، والحديد Fe، والكالسيوم Ca، والصوديوم Na، والبوتاسيوم K، والمغنيسيوم Mg. ومن بين جميع المركبات الموجودة في الصهارة، تعد السيليكا من أكثرها شيوعًا وتأثيرًا في خصائصها.

### الأهداف

- تتلخص تكون الصخور النارية.
- تصف مكونات الصهارة.
- تعرف العوامل التي تؤثر في كيفية انصهار الصخور وتبلورها.

### مراجعة المفردات

السيليكات: معادن تحتوي على السيليكون والأكسجين، مع وجود واحد أو أكثر من عناصر أخرى غالبًا.

### المفردات الجديدة

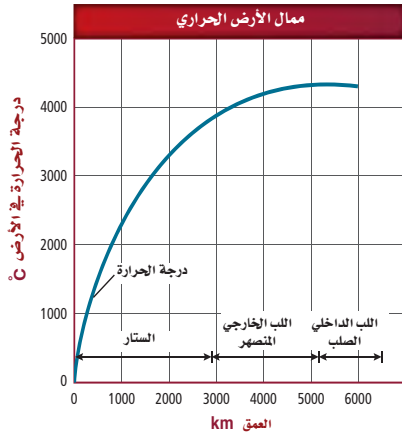
اللابة

الصخور النارية

الانصهار الجزئي

التبلور الجزئي





الشكل 1-4 متوسط الممال الحراري في القشرة الأرضية  $25^{\circ}\text{C}/\text{km}$  تقريباً، ويعتقد العلماء أنها تهبط بشدة إلى  $1^{\circ}\text{C}/\text{km}$  في الستار.



الشكل 2-4 تصادف آلة الحفر عند عمق 3Km صخوراً درجة حرارتها قريبة من درجة غليان الماء، وتزداد درجة حرارة الجزء العلوي من القشرة مع زيادة العمق  $30^{\circ}\text{C}/\text{Km}$  تقريباً.

## أنواع الصهارة

الجدول 1-4

نوع الصهارة	المحتوى من السيليكا	مثال
بازلتية	42 – 52%	حرات المدينة المنورة
أنديزيتية	52 – 66%	جبال الأنديز
ريولايتية	أكثر من 66%	متنزه يلوستون - أمريكا

وتصنف الصهارة اعتماداً على محتواها من السيليكا - كما هو مبين في الجدول 1-4 إلى بازلتية أو أنديزيتية أو ريولايتية. ويؤثر محتوى الصهارة من السيليكا في درجة انصهارها وسرعة تدفقها.

وعندما تتحرر الصهارة من الضغط الواقع عليها من الصخور المحيطة بها تتمكن الغازات الذائبة فيها من الانطلاق إلى الغلاف الجوي. لذا تختلف مكونات اللابة الكيميائية قليلاً عن المكونات الكيميائية للصهارة التي نتجت اللابة عنها.

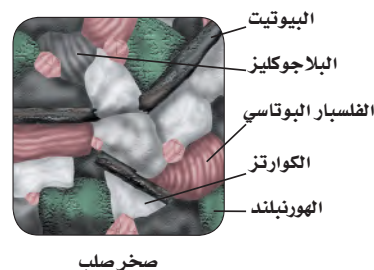
**تكوّن الصهارة Magma formation** تتكون الصهارة بانصهار قشرة الأرض، أو مادة الستار. وهناك أربعة عوامل رئيسية تؤثر في تكوّن الصهارة، هي: درجة الحرارة، الضغط، المحتوى المائي، المحتوى المعدني لمادة القشرة أو الستار. وتزداد درجة الحرارة عادة كلما تعمقنا في القشرة الأرضية، وتسمى هذه الزيادة في درجة الحرارة الممال الحراري، وهي ممثلة في الشكل 1-4. ولدى حفاري آبار النفط خبرة مباشرة في الممال الحراري الأرضي؛ فآلات الحفر -كتلك المبينة في الشكل 2-4 يمكن أن تصادف درجات حرارة تزيد على  $200^{\circ}\text{C}$  في أثناء حفر آبار النفط العميقة. يزداد الضغط أيضاً مع زيادة العمق، وهذا ناجم عن وزن الصخور العلوية. وتفيد التجارب المختبرية أنه مع ازدياد الضغط الواقع على الصخور تزداد درجة الانصهار. لذلك فإن الصخر الذي ينصهر عند  $1100^{\circ}\text{C}$  على سطح الأرض ينصهر عند درجة  $1400^{\circ}\text{C}$  على عمق 100 km.

أما العامل الثالث الذي يؤثر في تكوين الصهارة فهو المحتوى المائي الذي يغير من درجة انصهار الصخور التي تقل بازدياد المحتوى المائي.

📌 **ماذا قرأت؟** عدد العوامل الرئيسية المؤثرة في تكوين الصهارة.



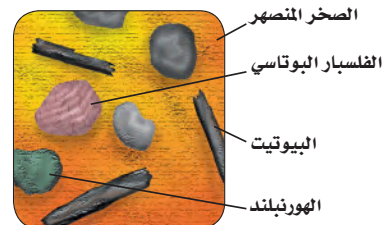
**المحتوى المعدني Mineral content** لكي نفهم كيف تعتمد الصهارة على عناصرها ومركباتها؛ من المفيد إلقاء الضوء على المحتوى المعدني للصهارة. المعادن المختلفة لها درجات انصهار مختلفة؛ فعلى سبيل المثال تنصهر صخور البازلت التي تتكون من معادن الأوليفين والفلسبار الكلسي والبيروكسين عند درجات حرارة أعلى، مقارنة بصخور الجرانيت أو الريولايت التي تتكون من الكوارتز والفلسبار البوتاسي.



صخر صلب

إن درجة انصهار صخر الجرانيت أقل من درجة انصهار صخر البازلت؛ لأنه يحتوي على ماء أكثر، ولعادته درجات انصهار أقل.

وعموماً تنصهر الصخور المحتوية على الحديد والماغنيسيوم -ومنها البازلت- عند درجات حرارة أعلى، مقارنة بالصخور المحتوية على نسب أعلى من السيليكون، ومنها الجرانيت.



صخر منصهر جزئياً

**الانصهار الجزئي Partial melting** افترض أنك جمدت شمعاً منصهراً وماء في قالب مكعبات جليد، وأخذت هذا القالب خارج الثلاجة وتركته في درجة حرارة الغرفة؛ سوف ينصهر الجليد، ولكن الشمع لن ينصهر. والسبب في ذلك هو اختلاف درجتي انصهارهما. تنصهر الصخور بالطريقة نفسها لاختلاف درجات انصهار المعادن التي تحتويها. لذلك لا تنصهر جميع أجزاء الصخر عند درجة الحرارة نفسها. وهذا يفسر لماذا تُكوّن الصهارة غالباً مزيجاً من بلورات ومصهور صخري. وتسمى عملية انصهار بعض المعادن عند درجات حرارة منخفضة مع بقاء معادن أخرى صلبة **الانصهار الجزئي Partial Melting**. انظر الشكل 3-4. ويضاف مع صهر كل مجموعة معدنية عناصر جديدة إلى خليط الصهارة، مما يؤدي إلى تغير في مكوناتها، وإذا لم تكن درجات الحرارة كافية لصهر الصخر بأكمله فإن مكونات الصهارة الناتجة ستختلف عن مكونات الصخر الذي تكونت منه، وهذه إحدى الطرائق التي تتكون بها الأنواع المختلفة من الصخور النارية.

الشكل 3-4 تبدأ المعادن في الانصهار في منطقة ما عندما تبدأ درجة الحرارة بالإرتفاع. **حدد** ماذا تتوقع أن تكون درجة انصهار الكوارتز اعتماداً على هذا الشكل؟

✓ **ماذا قرأت؟** لخص لماذا تختلف مكونات الصهارة الكيميائية عن المكونات الكيميائية للصخر الأصلي؟

## التبلور الجزئي Fractional Crystallization

عندما تبرد الصهارة تتبلور معادنها بترتيب عكس ترتيب انصهار بلورات المعادن في حالة الانصهار الجزئي، بمعنى أن آخر المعادن انصهاراً تكون أولها تبلوراً.

وتسمى عملية تصلب بلورات المعادن وانفصالها **التبلور الجزئي Fractional crystallization**. وتشبه هذه العملية عملية الانصهار الجزئي في أن تركيب الصهارة يتغير في كل منهما. وفي هذه الحالة تنفصل البلورات التي تتكون في البداية عن الصهارة، ولا تستطيع التفاعل معها، فتصبح الصهارة المتبقية غنية بالسيليكا.



# تجربة

## مقارنة الصخور النارية

كيف تختلف الصخور النارية بعضها عن بعض؟ للصخور النارية خصائص كثيرة مختلفة. فاللون وحجم البلورات تعدّ من المعالم التي نستطيع من خلالها تمييز الصخور النارية بعضها عن بعض.

### خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر الموجود في دليل التجارب العملية، واملأه.
2. احصل على مجموعة من عينات صخرية نارية من معلمك.
3. لاحظ الخصائص الآتية لكل صخر: مجمل اللون، حجم البلورات، والمكونات المعدنية (إن أمكن).
4. صمّم جدول بيانات لتدوين ملاحظتك.

## التحليل

1. صنّف عيناتك إما بازلتية وإما أنديزيتية وإما ريوليتية. [تلميح: كلما زاد محتوى الصخر من السيليكا يصبح لونه فاتحًا].
2. قارن بين عيناتك باستخدام جدول البيانات. كيف تختلف؟ ما الخصائص التي تشترك فيها المجموعات؟
3. خنّ الترتيب الذي تبلورت به العينات.

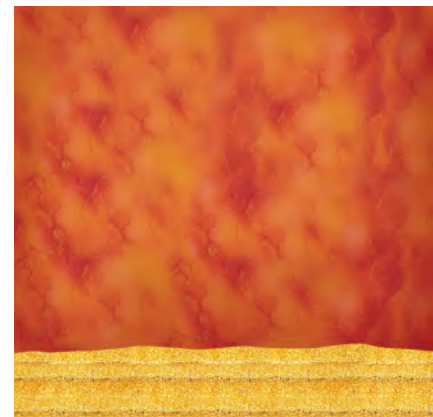
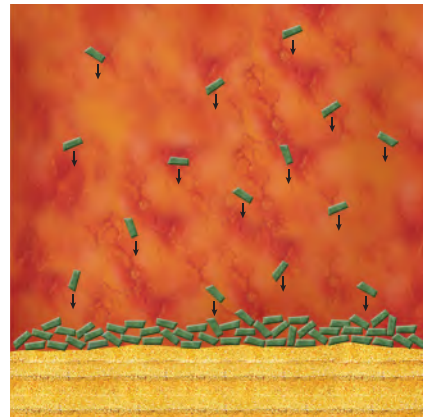
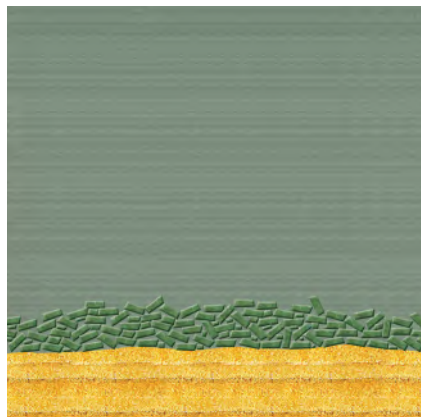
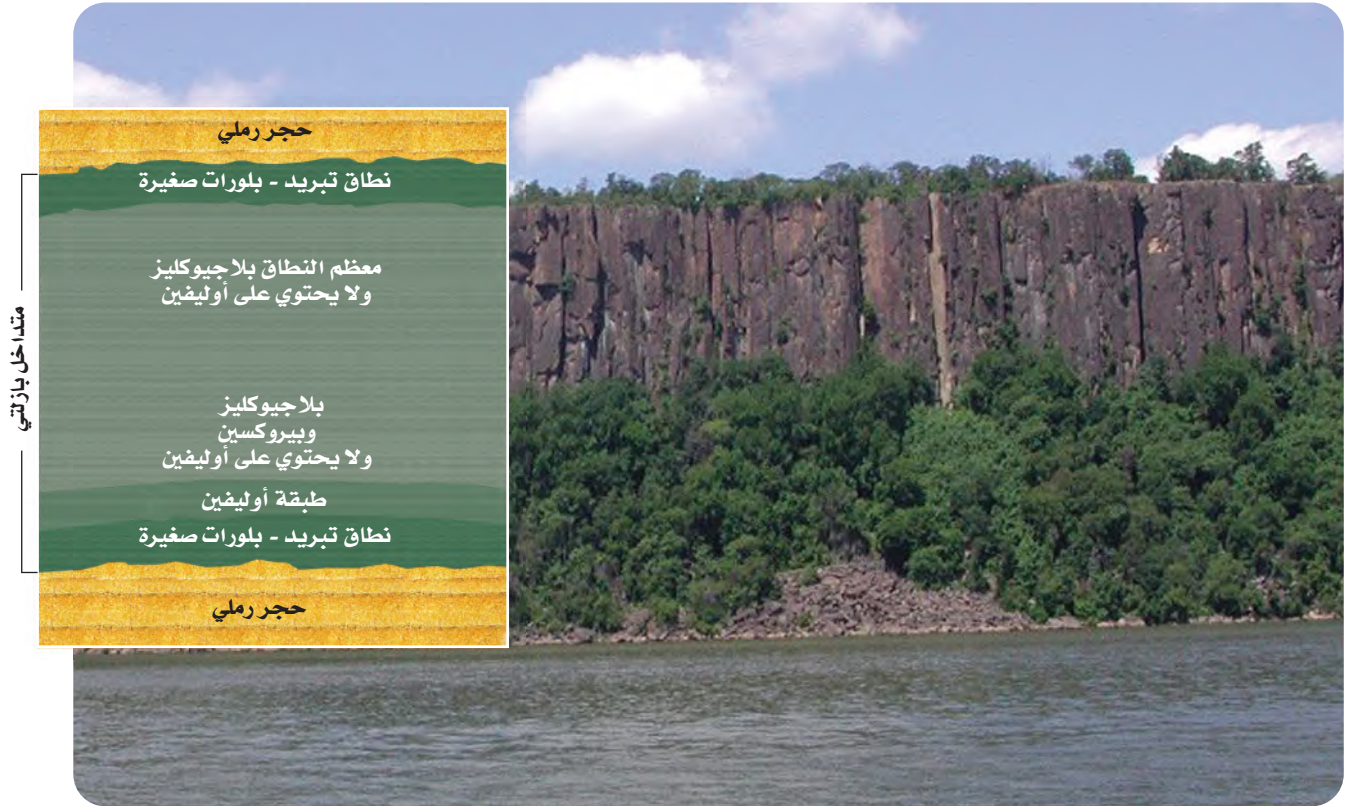




# التبلور الجزئي وترسب البلورات

## Fractional Crystallization and Crystal Settling

الشكل 4-4 تعد عتبة باليسيد (Palisade Sill) في وادي نهر هدسون (Hudson) في نيويورك ونيوجيرسي مثالاً على عملية التبلور الجزئي وترسيب البلورات. ففي العتبة البازلتية تكونت بلورات صغيرة في نطاق التبريد؛ لأن الأجزاء الخارجية من هذا الجسم البازلتية بردت بسرعة أكبر من الأجزاء الداخلية.



مع بدء تبريد الصهارة التي اخترقت الطبقات الصخرية تتكون البلورات وتستقر في القاع، وتسمى هذه الطبقة في توزيع البلورات التبلور الجزئي.





الشكل 4-5 تمثل عروق الكوارتز هذه آخر ما برد وتبلور من الجسم الصهاري المتبقي.

### آلية التبلور الجزئي Mechanism of partial crystallization

إذا تحول الأوليفين إلى بيروكسين فلماذا نجد الأوليفين في الصخر؟ يفترض الجيولوجيون أنه في ظروف خاصة تنفصل البلورات المتكونة من الصهارة فيتوقف التفاعل بين الصهارة والمعدن، ويمكن أن يحدث هذا عندما تستقر البلورات في قاع الجسم الصهاري، وعندما ينفصل سائل الصهارة عن البلورات يتكون جسمان ناريان مختلفان في مكوناتهما. ويوضح الشكل 4-4 هذه العملية، كما يوضح مفهوم التبلور الجزئي من خلال عرض مثال عتبة باليسيد، وهذه إحدى الطرق التي تتكون بها الصهارة المشار إليها في الجدول 1-4.

وباستمرار التبلور الجزئي وانفصال بلورات أخرى من المعادن تصبح الصهارة أغنى بالسيليكا وعناصر الألومنيوم والبوتاسيوم. لذا، فإن آخر معدنين يتبلوران هما: الفلسبار البوتاسي والكوارتز. والفلسبار البوتاسي أكثر أنواع الفلسبار شيوعاً في القشرة الأرضية، بينما تحتوي العروق على الكوارتز غالباً كما في الشكل 4-5؛ لأنه يتبلور في أثناء اندفاع الجزء السائل المتبقي من الصهارة في الشقوق الصخرية.

## التقويم 1-4

### الخلاصة

- تتكون الصهارة من صخور منصهرة وغازات مذابة وبلورات معدنية.
- تُصنّف الصهارة إلى بازلتية أو أنديزيتية أو ريوليتية اعتماداً على كمية السيليكا التي تحتويها.
- تنصهر المعادن المختلفة وتبلور عند درجات حرارة مختلفة.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. توقع المظهر الذي سيبدو عليه صخر ناري تكون من صهارة خرجت إلى السطح فبدأت تبرد بسرعة، ثم قلّت سرعة تبريدها مع الوقت.
2. اعمل قائمة بالعناصر الثمانية الرئيسية الموجودة في معظم أنواع الصهارة. أضف الرمز الكيميائي لكل عنصر.
3. لخص العوامل التي تؤثر في تكوين الصهارة.
4. قارن بين الصهارة واللابة.

### التفكير الناقد

5. توقع إذا كانت درجة الحرارة تزداد نحو مركز الأرض، فلماذا يصبح مركز الأرض صلباً؟
6. استدل على محتوى السيليكا في صهارة مشتقة من الانصهار الجزئي لصخر ناري. هل سيكون أكثر، أم أقل، أم مساوياً لمحتوى الصخر نفسه؟ وضح إجابتك.

### الكتابة في الجيولوجيا

7. ادّعى أحد هواة جمع الصخور أنه وجد أول مثال على البيروكسين والفلسبار الغني بالصدوديوم في الصخر نفسه. اكتب تعليقاً على هذا الادّعاء.





# 4-2

## الأهداف

- تصنف الصخور النارية وفق مكوناتها المعدنية وأنسجتها.
- تعرف أثر معدلات التبريد في أحجام البلورات في الصخور النارية.
- تصف بعض استخدامات الصخور النارية.

## مراجعة المفردات

### التبلور الجزئي

عملية متعاقبة يتم في أثناءها فصل أول البلورات المتكونة من الصهير، فلا تتفاعل مع الصهارة المتبقية.

## المفردات الجديدة

- الصخور الجوفية
- الصخور السطحية
- الصخر البازلتي
- الصخر الجرانيتي
- الصخور المتوسطة
- الصخور فوق القاعدية
- النسيج
- النسيج البورفيرى
- النسيج الفقاعي
- البيجماتيت
- الكمبرليت

## تصنيف الصخور النارية

### Classification of Igneous Rocks

**الفكرة الرئيسية** يعتمد تصنيف الصخور النارية على مكوناتها المعدنية وحجم بلوراتها ونسيجها.

**الربط مع الحياة.** هناك شيء مشترك بين الأرضيات والمباني والجدران؛ فالعديد منها من النوع الصخري المعروف بالجرانيت، وهو صخر شائع في القشرة الأرضية.

## المكونات المعدنية للصخور النارية

### Mineral Composition of Igneous Rocks

تُصنف الصخور النارية عموماً إلى صخور جوفية (متداخلة)، وأخرى سطحية (بركانية)؛ فعندما تبرد الصهارة وتبلور تحت سطح الأرض تتكوّن **الصخور الجوفية Intrusive Rocks**، وتكون بلورات الصخور الجوفية كبيرة عادة، بحيث يمكن رؤيتها بالعين المجردة. وتشكل الصهارة التي تبرد وتبلور على سطح الأرض **صخوراً سطحية Extrusive Rocks**، ويشار إليها أحياناً بالحرث أو الطفوح البازلتية مثل حرة الحرة. والبلورات التي تتكون في هذه الصخور صغيرة ويصعب رؤيتها بالعين المجردة، ويُصنّف الجيولوجيون هذه الصخور حسب مكوناتها المعدنية، بالإضافة إلى الخصائص الفيزيائية ومنها حجم البلورات والنسيج وهذا يمثل مؤشراً لتعرف أنواع الصخور النارية المتنوعة.

تُصنّف الصخور النارية حسب مكوناتها المعدنية؛ فالصخور البازلتية **Basaltic Rocks** ومنها الجابرو - لوها غامق، ومحتواها من السيليكا قليل، وتتكون في غالبيتها من البلاجيوكليز والبيروكسين. أما **الصخور الجرانيتية Granitic Rock** - ومنها الجرانيت - فهي فاتحة اللون ومحتواها من السيليكا كثير، ويتكون معظمها من الكوارتز والفلسبار البوتاسي والبلاجيوكليز. وتسمى الصخور ذات المكونات المتوسطة بين البازلت والجرانيت **الصخور المتوسطة Intermediate Rocks**، ويتكون معظمها من البلاجيوكليز والهورنبلند، ويعد الديوريت مثلاً جيداً على هذا النوع. ويوضح الشكل 6-4 أمثلة على الأنواع الثلاثة من الصخور النارية.



الجابرو



الجرانيت

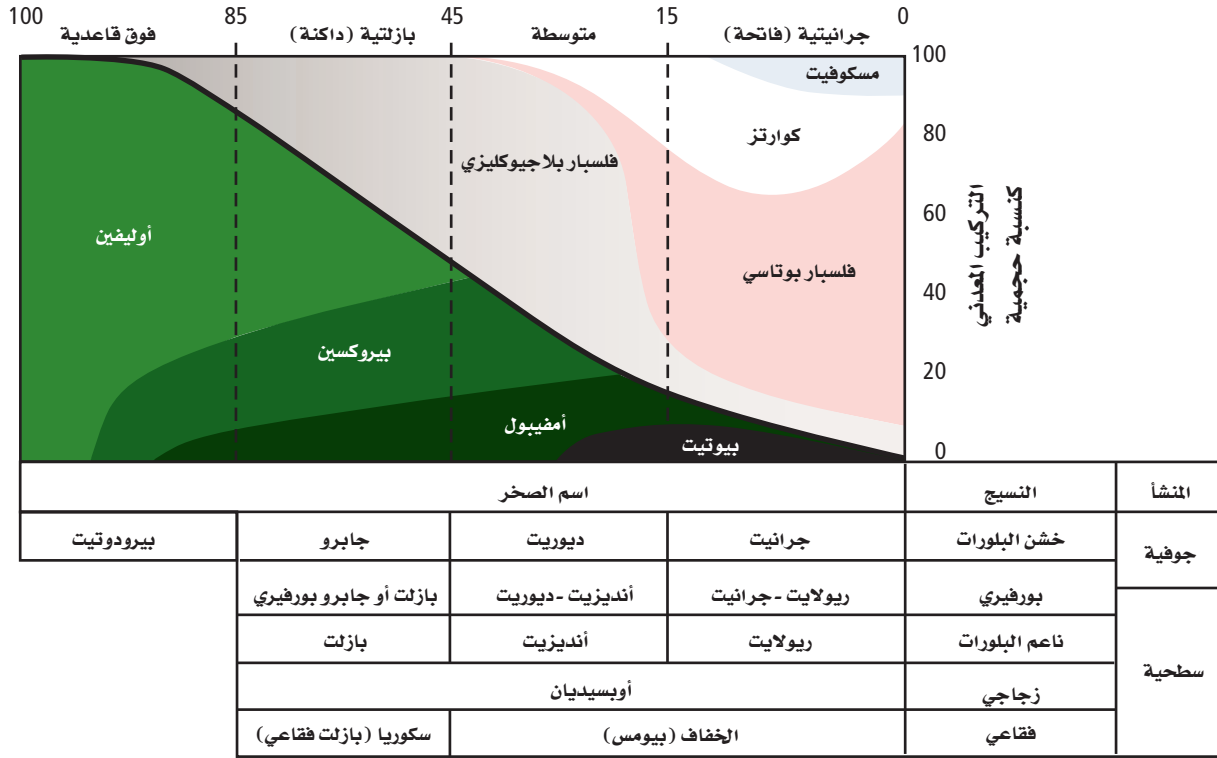


الديوريت

الشكل 6-4 يمكن ملاحظة الفروق في مكونات الصهارة في الصخور التي تتكون عندما تبرد الصهارة وتبلور. لاحظ. صف الفروق التي تشاهدها في هذه الصخور.

## تعرف الصخور النارية

### نسبة المعادن الرئيسية



الشكل 7-4 أنواع الصخور النارية يمكن تعرفها من خلال نسب المعادن فيها.

### المطويات

ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

وهناك مجموعة رابعة من الصخور تدعى **فوق القاعدية Ultrabasic**، منها صخر البيروودوتيت، وتحتوي هذه الصخور فقط على معادن غنية بالحديد مثل الأوليفين والبيروكسين، وهي دائماً داكنة اللون. ويلخص الشكل 7-4 آلية تعرف الصخور النارية.

## النسيج Texture

كما تختلف الصخور النارية في مكوناتها المعدنية، وتختلف أيضاً في حجوم بلوراتها، ويشير **النسيج Texture** إلى حجم البلورات التي يتكون منها الصخر، وإلى شكلها وتوزيعها. فعلى سبيل المثال يمكن وصف نسيج الريولايت الميّن في الشكل 8-4 بأنه ناعم البلورات، أما الجرانيت فيوصف بأنه خشن البلورات، ويرجع الاختلاف في حجم البلورات إلى أن أحدهما صخر سطحي، والآخر صخر جوفي (متداخل).



الريولايت



الجرانيت



الأوبسيديان

الشكل 8-4 للريولايت والجرانيت والأوبسيديان أنسجة مختلفة لأنها تكونت بطرائق مختلفة.



## حجم البلورة ومعدلات التبريد Crystal size and cooling rates

**cooling rates** عندما تتدفق اللابة على سطح الأرض تبرد بسرعة، ولا تتهيأ الفرصة لتشكيل بلورات كبيرة، فتنتج صخوراً نارية سطحية كالريولايت المين في الشكل 8-4. بلوراتها صغيرة لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، وأحياناً يحدث التبريد بسرعة كبيرة جداً، بحيث لا تتهيأ الفرص لتكوّن البلورات، وينتج زجاج بركاني يسمى أوبسيديان كما في الشكل 8-4. وفي مقابل ذلك يمكن للصخور الجوفية - ومنها الجرانيت والديوريت والجابرو- التي تبرد ببطء أن تكون بلوراتها بحجم أكبر من 1 cm.

**النسيج البورفيرى Porphyritic texture** انظر إلى أنسجة الصخور في الشكل 9-4. توضح الصورة العلوية صخوراً يحتوي على بلورات بحجمين مختلفين، ويظهر هذا الصخر نسيجاً بورفيرياً **Porphyritic Texture** يتميز بوجود بلورات كبيرة واضحة المعالم، محاطة ببلورات صغيرة من المعدن نفسه أو من معادن مختلفة. ما الذي جعلها تتكون في صورة بلورات صغيرة وأخرى كبيرة وكتاهما في صخر واحد؟ تدل الأنسجة البورفيرية أن جزءاً من الصهارة مرّ في البداية بتبريد بطيء في باطن الأرض، حيث نمت عليه البلورات الكبيرة الحجم، ثم قذفت فجأة إلى مواقع أعلى في القشرة الأرضية أو على سطح الأرض، وبدأت الصهارة المتبقية تبرد بسرعة مكونة بلورات صغيرة الحجم تحيط بالبلورات الكبيرة التي تبلورت من قبل.

**النسيج الفقاعي Vesicular texture** تحتوي الصهارة على غازات ذائبة، تأخذ في التصاعد عندما ينحسر الضغط عنها، فتصبح عندئذ لابة؛ فإذا كانت اللابة شديدة القوام، فإنها تمنع تصاعد الفقاعات الغازية بسهولة، فتترك الغازات ثقوباً في الصخر تسمى فقاعات، ويبدو الصخر إسفنجياً، ويسمى هذا المظهر الإسفنجي نسيجاً فقاعياً **Vesicular Texture**. ويعود كل من الخفاف والبازلت الفقاعي أمثلة على ذلك. انظر الشكل 9-4

✓ **ماذا قرأت؟** فسّر سبب تكون الثقوب في الصخور النارية.



أنديزيت (النسيج البورفيرى)



بازلت فقاعي

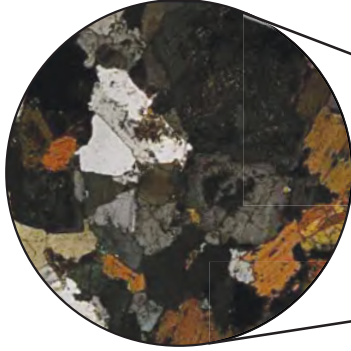


الخفاف (بيومس)

الشكل 9-4 تعطي أنسجة الصخور معلومات عن كيفية تكون الصخر؛ حيث تحتفظ أنسجة هذه الصخور بأدلة عن معدلات التبريد، وكذلك تدلّ على وجود الغازات المذابة فيها أو عدم وجودها.



## جرانيت تحت المجهر



## صخر الجرانيت



الشكل 10-4 يمكن تعرّف المعادن المكونة للجرانيت باستعمال شرائح رقيقة تحت المجهر المستقطب.

## الشرائح الرقيقة Thin Sections

لتعرّف الصخر يفحص الجيولوجيون بلورات المعادن في العينات الصخرية في صورة شرائح رقيقة تحت أنواع خاصة من المجاهر (المجهر المستقطب). والشريحة الرقيقة قطعة من الصخر سمكها 0.03 mm تقريباً، مثبتة على قطعة زجاجية بحيث تسمح بنفاذ الضوء خلالها. ويوضح الشكل 10-4 مقطع من الجرانيت تحت المجهر المستقطب.

## الصخور النارية موارد طبيعية Igneous rocks as Resources

للصخور النارية أهمية اقتصادية كبيرة في حياتنا؛ فالعديد من المعادن التي تستخدم في المجوهرات تبلور فيها، ويمكن أن يستخلص منها العديد من العناصر المفيدة ومنها الليثيوم وغيره مما يدخل في مجالات عديدة في حياتنا، وتستخدم الصخور النارية أيضاً في المباني. وتوضح الفقرات الآتية بعض هذه الاستخدامات:

**العروق Viens** تحتوي الموائع المتبقية من تبلور الصهارة على تراكيز عالية من السيليكا والماء، كما تحتوي على شوائب أو بقايا من عناصر لم تصنف ضمن الصخور النارية؛ فالذهب والفضة والرصاص والنحاس من الفلزات التي لم تتضمنها المعادن الشائعة. وتحرر هذه العناصر من السيليكا المذابة في نهاية عملية تبلور الصهارة، على هيئة موائع ساخنة غنية بالعناصر، تملأ الشقوق والفراغات في الصخور المجاورة. وتتصلب هذه الموائع مكونة عروقاً غنية بمعادن أو فلزات ذات قيمة اقتصادية، ومنها عروق الكوارتز الحاملة للذهب في مهد الذهب في المملكة العربية السعودية. ويبين الشكل 11-4 ذهباً متكوناً في عروق الكوارتز.

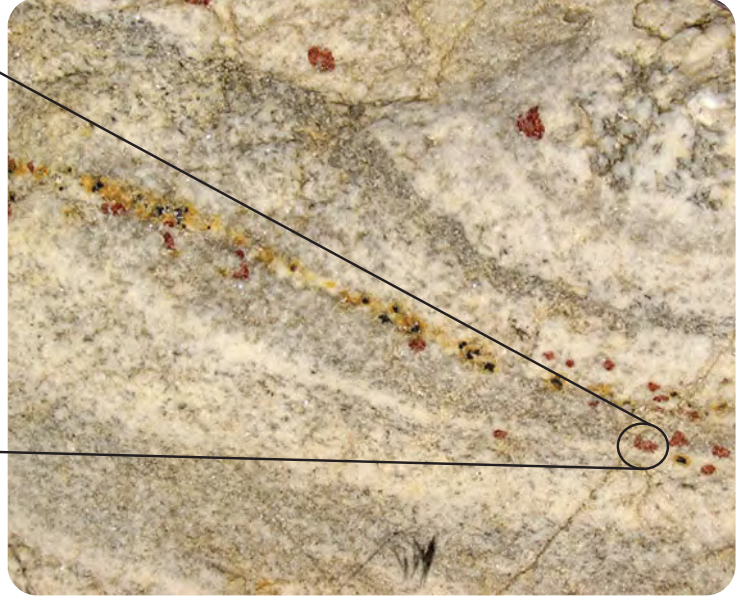
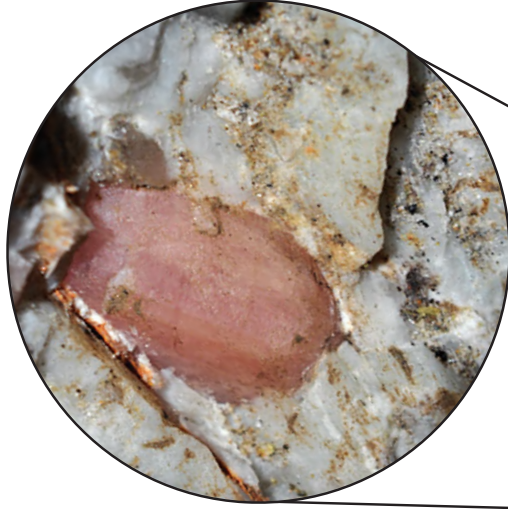
✓ **ماذا قرأت؟** وضح لماذا تحتوي العروق على كميات كبيرة من الكوارتز؟



الشكل 11-4 يستخرج الذهب والكوارتز معاً من المناجم، ثم يفصلان لاحقاً. استدل ما الذي يمكنك تحديده من هذه الصورة عن درجة انصهار الذهب؟







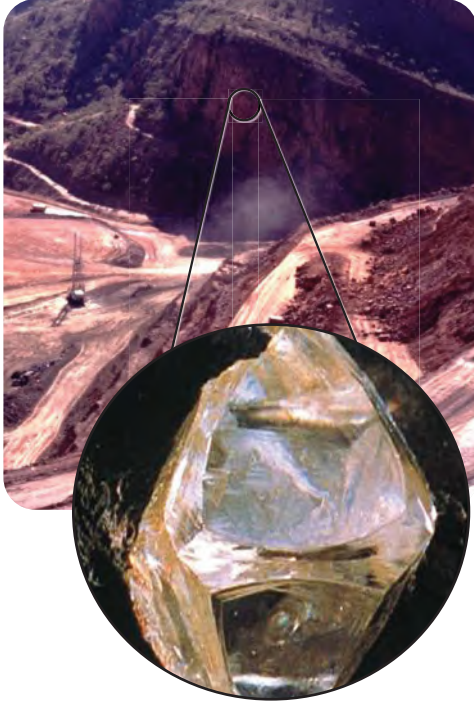
**البيجماتيت Pegmatites** تسمى الصخور التي تتكون من بلورات خشنة جداً **بيجماتيت Pegmatites**. وتوجد صخور البيجماتيت على شكل عروق تحتوي على العديد من الفلزات والعناصر الأخرى القيمة. ويمكن أن تحتوي صخور البيجماتيت على خامات العناصر النادرة، ومنها الليثيوم Li والبيريليوم Be، فضلاً عن احتوائها على بلورات جميلة كما يتضح في الشكل 4-12. ولأن هذه العروق تملأ الكهوف وشقوق الصخور فإن المعادن تنمو في الفراغات محتفظة بأشكالها؛ حيث وجدت معظم المعادن النفيسة في العالم في صخور البيجماتيت. ويوجد البيجماتيت في مناطق مختلفة جنوب المملكة العربية السعودية وغيرها على هيئة قواطع في صخور جرانيتية.

**الكمبرليت Kimberlites** الألماس معدن قيّم، نادر الوجود، يوجد في الصخور فوق القاعدية المسماة **كمبرليت Kimberlite**، نسبة إلى مدينة كمبرلي في جنوب إفريقيا، وتعد هذه الصخور غير العادية أحد أنواع البيرودوتيت. وتتكون هذه الصخور في أعماق القشرة الأرضية، أو في الستار على أعماق تتراوح بين 150 km و 300 km؛ لأن الألماس الذي تحويه هذه الصخور مع معادن أخرى لا يمكن أن يتكون إلا تحت ضغط عال جداً.

وقد وضع الجيولوجيون فرضية مفادها أن صهارة الكمبرليت قد حُقنت بسرعة إلى أعلى في اتجاه سطح الأرض، مشكّلةً تراكيب طويلة ضيقة في صورة أنابيب، تمتد عدة كيلومترات في القشرة الأرضية، وتتراوح أقطارها بين 100 m و 300 m ومعظم ألماس العالم يأتي من مناجم جنوب إفريقيا. انظر الشكل 4-13.

الشكل 4-12 عرق بيجماتيت يخترق صخور الجرانيت، وفيه بلورات جميلة.





الشكل 13-4 يستخرج الألماس من الكمبرليت في منجم في جنوب إفريقيا.

## الصخور النارية في البناء **Igneous rocks in construction**

للصخور النارية عدة خصائص تجعلها مناسبة للبناء؛ فنسيج بلوراتها المتداخل يجعلها قوية، بالإضافة إلى احتوائها على العديد من المعادن المقاومة للتجوية. والجرانيت من أكثر الصخور النارية ثباتاً ومقاومة للتجوية، ولعلك شاهدت الكثير منه يستخدم بلاطاً للأرضيات، وفي المطابخ والرفوف، وأسطح المكاتب، وفي تزيين أوجه البنايات.

وتستخدم الصخور النارية - ومنها الجرانيت والجابرو- في المملكة العربية السعودية بوصفها أحجار زينة، وتستخرج من مناطق الدرع العربي غربي المملكة العربية السعودية.

## التقويم 2-4

### الخلاصة

- يعتمد تصنيف الصخور النارية على ثلاث خصائص رئيسة هي: التركيب المعدني والنسيج وحجم البلورات.
- يحدد معدل التبريد حجم البلورة.
- يكثر وجود الخامات في البيجماتيت. ويوجد الألماس في الكمبرليت.
- تستخدم بعض الصخور النارية كمواد بناء؛ بسبب متانتها وجمالها.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. استنتج لماذا التركيب الكيميائي للأوبسيديان الأسود أو الأحمر تركيباً جرانيتياً؟
2. صف مجموعات الصخور النارية الثلاث الرئيسية.
3. طبق ما تعرفه عن معدلات التبريد في توضيح الاختلاف في أحجام البلورات.
4. ميّز بين الأنديزيت والديوريت من خلال خاصيتين فيزيائيتين من خصائص الصخور النارية.

### التفكير الناقد

5. حدّد أيها أكثر قابلية لتكوين بلورات مكتملة الأوجه في الصخور النارية: الكوارتز أم فليشبار البلاجيوكليز؟ وضح إجابتك.





# الجيولوجيا والبيئة

تفاعلات باون معادن فلسبار البلاجيوكليز التي تخضع لتغير مستمر في مكوناتها، فمع تبريد الصهارة يتكون أكثر معادن البلاجيوكليز غنى بالكالسيوم. ويتفاعل هذا المعدن مع الصهارة، وتتغير مكوناته ليصبح غنياً بالصوديوم، وفي بعض الحالات عندما يتم التبريد سريعاً تصبح أنوية الفلسبار الغنية بالكالسيوم غير قادرة على



الشكل 15-4 عندما تبرد الصهارة بسرعة قد لا تجدد بلورة الفلسبار الوقت الكافي للتفاعل تماماً مع الصهارة فتبقى على أنوية غنية بالكالسيوم. والنتيجة تكون بلورات بنطاقات تتميز بغناها بالكالسيوم وأخرى بالصوديوم.

التفاعل تماماً مع الصهارة، فتكون النتيجة هي تكون بلورة ذات نطاقات غنية بالكالسيوم وأخرى بالصوديوم كما في الشكل 15-4.

قام الجيولوجي الكندي باون في مطلع القرن العشرين بتوضيح كيف تبرد الصهارة وتتبلور المعادن فيها، بترتيب منتظم في عملية تعرف الآن بسلاسل تفاعلات باون **Bowen's Reaction Series**. ويوضح الشكل 14-4 العلاقة بين درجة حرارة الصهارة في أثناء تبريدها والمعادن السيليكاتية التي تشكل الصخور النارية. وقد اكتشف باون نمطين للتبلور؛ الطرف الأيمن ويتميز بتغير متدرج ومستمر في مكونات المعدن في مجموعة الفلسبار، أما الطرف الأيسر الموازي فيتميز بتغير مفاجئ وغير مستمر في المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم.

## المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم Iron

**magnesium rich mineral** - يمثل الطرف الأيسر من سلسلة تفاعلات باون المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم، والتي تخضع لتغيرات مفاجئة مع تبريد الصهارة وتبلورها؛ ففي البداية يتبلور معدن الأوليفين من الصهارة، وعندما تبرد الصهارة بما يكفي لبدء تبلور معدن جديد يتشكل البيروكسين من تفاعل الأوليفين مع الصهارة، ومع استمرار انخفاض درجة الحرارة تحدث تفاعلات مشابهة منتجة الأمفيبول والبيوتيت وهي أقل المعادن احتواءً على الحديد والماغنسيوم.

## الفلسبار Feldspar

يمثل الطرف الأيمن من سلسلة تبلور متزامن

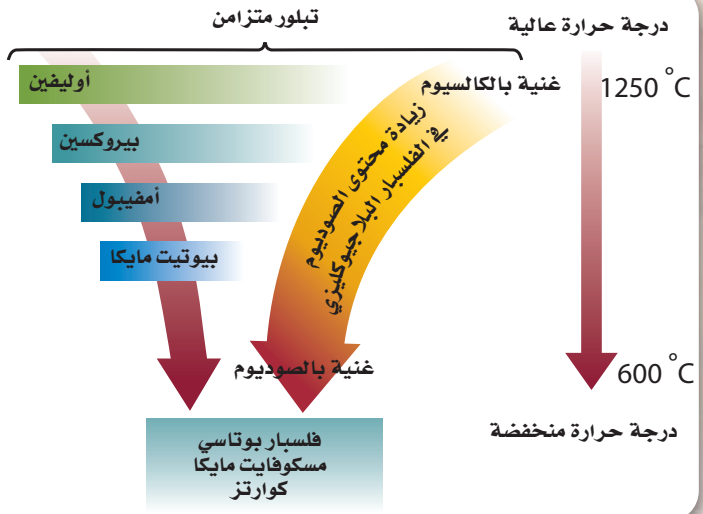
الشكل 14-4 في الطرف الأيسر من سلاسل تفاعلات باون، تتغير المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم بشكل مفاجئ مع انخفاض درجة حرارة الصهارة. **قارن** كيف يمكن مقارنة ذلك مع الفلسبار في الطرف الأيمن من الشكل؟

أنواع الصهارة

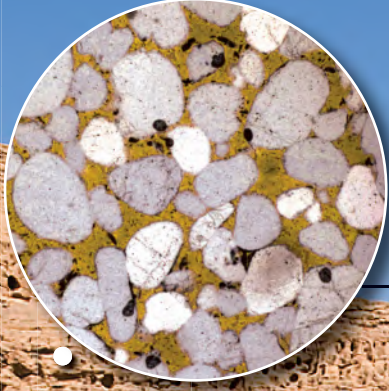
بازلتية (فقيرة بالسليكا)

أندزيتية

ريوليتية (غنية بالسليكا)



# مدائن صالح



الحجر الرملي

## حقائق جيولوجية

### مدائن صالح

- تقع مدائن صالح أو ما يُعرف بالحجر على بعد 22 km شمال شرق مدينة العُلا التابعة لمنطقة المدينة المنورة.
- تتكون صخور مدائن صالح من الحجر الرملي.
- أعلنت منظمة الأمم المتحدة للعلوم والتربية والثقافة عام 2008 أن مدائن صالح موقع تراث عالمي.

الربط مع رؤية ٢٠٣٠



رؤية 2030

المملكة العربية السعودية

KINGDOM OF SAUDI ARABIA

● من أهداف الرؤية: المحافظة على تراث المملكة

الإسلامي والعربي والوطني والتعريف به.







## تشكل الصخور الرسوبية

### Formation of Sedimentary Rocks

الفكرة الرئيسية تنشأ الصخور الرسوبية عن تصخر الرسوبيات الناتجة عن عمليتي التجوية والتعرية.

**الربط مع الحياة.** قد ترى كمية من الرمل والترربة أو قطعاً مكسرة من الصخر على الأرض. ما الذي حدث لهذه المواد؟ وماذا سيحدث لها مستقبلاً؟

### التجوية والتعرية Weathering and Erosion

**الرسوبيات Sediment** قطع صغيرة من الصخر انتقلت وترسبت بفعل المياه والرياح والجليديات والحادبية. وتتسبب مجموعة من العمليات الفيزيائية والكيميائية، إضافة إلى التجوية والتعرية، في تفتيت الصخور المتكشفة فوق سطح الأرض إلى قطع أصغر فأصغر، تتحرك مع التيارات المائية، ومع مرور الوقت تتراكم وترسب وتلتحم معاً وتتصلب فتكوّن صخوراً رسوبية.

**التجوية Weathering** تُنتج التجوية فتاتاً من الصخور والمعادن يعرف بالرسوبيات. ويتراوح حجم هذه الرسوبيات بين كتل ضخمة وحبيبات مجهرية. وتقسم التجوية إلى قسمين: تجوية كيميائية تحدث عندما تدوب أو تتغير معادن الصخر الأقل استقراراً كيميائياً. وتجووية فيزيائية تنفصل فيها الحبيبات أو البلورات الأكثر مقاومة عن الصخر على شكل حبيبات أصغر حجماً، دون أن تتغير كيميائياً. ويوضح الشكل 16-4 صخوراً تجوى كيميائياً وفيزيائياً. ترى، ما الذي يحدث للمعادن الأكثر مقاومة للتجوية؟

### الأهداف

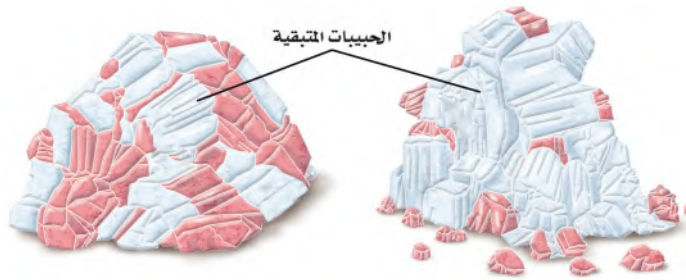
- تتبع تشكّل الصخور الرسوبية.
- توضح عملية التصخر.
- تصف مظاهر الصخور الرسوبية.

### مراجعة المفردات

النسيج: المظهر الفيزيائي للصخر أو ملمسه.

### المفردات الجديدة

- الرسوبيات
- التصخر
- التراص
- السمتة
- مادة لاحمة
- التطبّق
- التطبّق المتدرّج
- التطبّق المتقاطع



الشكل 16-4 عندما يتعرض الجرانيت لنوعي التجوية الكيميائية والفيزيائية يفتت في النهاية، ويمكن أن يتحلل، كما شاهدها في الشكل الجاور.

فسّر أي المعادن أكثر مقاومة للتجوية: الكوارتز، أو الفلسبار، أو المايكا؟

**التعرية Erosion** تسمى عملية إزالة الرسوبيات ونقلها التعرية. ويوضح الشكل 17-4 عوامل التعرية الأربعة: الرياح والمياه الجارية والجازبية والجليديات. وتعد الرياح أكثر عوامل التعرية تأثيراً في المملكة العربية السعودية؛ وذلك بسبب انتشار المناطق الصحراوية وقلة الغطاء النباتي فيها. وعندما تعصف الرياح على تلك المناطق تزيل الرمال والفتات الصخري وتحملها معها إلى أماكن أخرى ثم ترسبها على شكل كثبان رملية. وتؤثر المياه الجارية أيضاً على أراضي المملكة العربية السعودية، وعلى الرغم من قلة كميات الأمطار الساقطة عليها إلا أن مياه الأمطار تتجمع على شكل سيول وجداول بعد العواصف المطرية. ومن العلامات التي تدل بوضوح على حدوث التعرية تعكر مياه السيول بسبب اختلاط حبيبات الطين الناتجة عن التعرية مع المياه الجارية. وبعد تجوية الصخور تنتقل غالباً إلى أماكن جديدة من خلال عملية التعرية، حيث تُحمل المواد وتنتقل دائماً نحو المناطق المنخفضة أسفل المنحدر بتأثير الجاذبية الأرضية. وتعمل الجليديات أيضاً وهي كتل ضخمة من الجليد تتحرك عبر اليابسة على تعرية سطح الأرض. ولعلك لاحظت صورة مدائن صالح في بداية الفصل كيف أثرت التعرية على ارتفاع مستوى الأبواب عن سطح الأرض.

✓ **ماذا قرأت؟** لخص ما يجري في أثناء عملية التعرية.



المياه الجارية



الرياح



الجليديات



الجازبية

الشكل 17-4 تتعرض الصخور المجوّاة والرسوبيات للتعرية والنقل بتأثير عوامل التعرية الرئيسة: الرياح والمياه الجارية والجازبية الأرضية والجليديات.



## تجربة

### نموذج لتطبّق الرسوبيات

كيف تتشكّل الطبقات في الصخور الرسوبية؟  
توجد الصخور الرسوبية عادة على شكل طبقات.  
ستلاحظ في هذا النشاط كيف تتشكّل الطبقات من  
ترسب حبيبات في الماء.

### خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. احصل على  $100 \text{ cm}^3$  من الرسوبيات من مكان  
يحدده معلمك.
3. ضع الرسوبيات في قنينة لها غطاء سعته  
200 mL.
4. ضع ماءً في القنينة إلى ثلاثة أرباعها.
5. أحكم إغلاق القنينة بالغطاء.
6. احمل القنينة بكلتا يديك واقبها عدة مرات لخلط  
الماء والرسوبيات معاً، ودع القنينة مقلوبة قبل أن  
تضعها معتدلة على سطح مستوٍ، ثم اتركها مدة  
5 دقائق تقريباً.
7. لاحظ عملية الترسب.

### التحليل

1. وضح ما لاحظته على شكل مخطط.
2. صف نوع الحبيبات التي ترسبت أولاً في قاع القنينة.
3. صف نوع الحبيبات التي تكوّن الطبقات العليا.

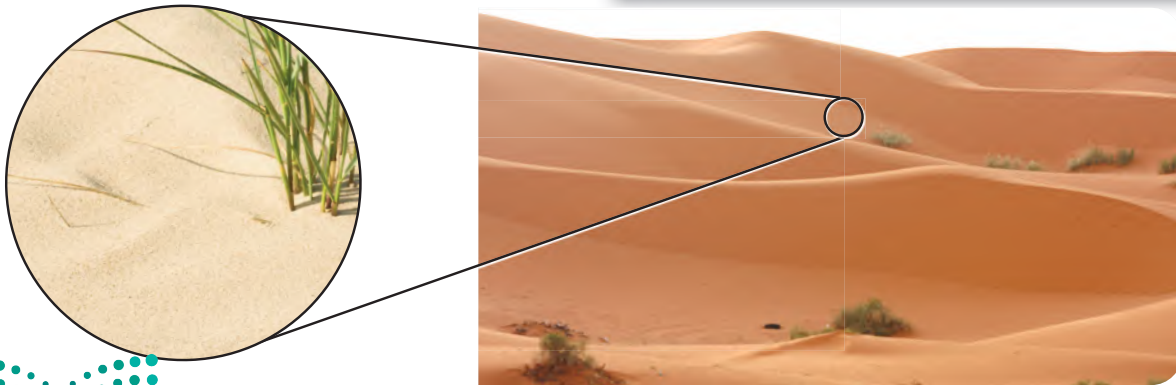
**الترسيب Deposition** يحدث الترسب عندما تستقر  
الرسوبيات المنقولة على سطح الأرض، أو تهبط في قاع حوض  
مائي. ما الذي حدث في التجربة عندما توقفت عن قلب القنينة  
المليئة بالماء والرسوبيات؟ هبطت الرسوبيات إلى القاع وترسبت  
في طبقات، بحيث استقرت الحبيبات الكبرى في الأسفل  
والحبيبات الصغرى فوقها. وبالمثل، ترسب الرسوبيات في  
الطبيعة عندما يتوقف عامل النقل أو تقل سرعته.

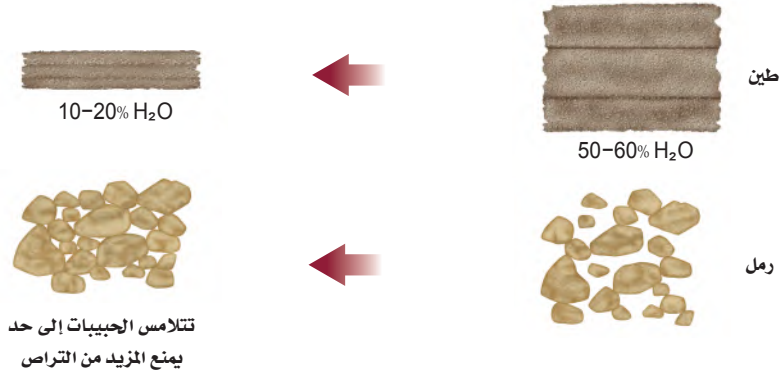
### طاقة عوامل النقل Energy of transporting agents

تستطيع المياه السريعة أن تنقل حبيبات كبيرة الحجم أفضل  
من المياه البطيئة الحركة؛ فعندما تقل سرعة المياه ترسب أولاً  
الحبيبات الكبرى، ثم الصغرى وهكذا، بحيث تُفرز الحبيبات  
المتساوية الحجم في طبقات. أما الرياح فلا تحرك إلا الحبيبات  
الصغيرة. ولهذا تتكون الكثبان الرملية في العادة من رمل  
ناعم جيد الفرز، كما في الشكل 18-4. ولكن ليست جميع  
الرسوبيات مفروزة؛ فالجليديات مثلاً تحمل جميع المواد على  
اختلاف حجمها بالقدر نفسه؛ فتحمل الصخور الكبيرة  
والرمل والطين، وعندما تنصهر الجليديات فإنها تلقيها دفعة  
واحدة على هيئة كومة غير مفروزة.

### التصخر Lithification

تستقر معظم الرسوبيات في النهاية في المناطق المنخفضة على  
سطح الأرض، ومنها الأودية والأحواض. ومع استقرار  
المزيد من الرسوبيات بعضها فوق بعض في المنطقة نفسها  
يزداد الضغط على الطبقات السفلى، فتزداد درجة حرارتها، مما  
يؤدي إلى تصخر الرسوبيات. والتصخر **Lithification** عمليات  
فيزيائية وكيميائية تؤدي إلى تماسك الرسوبيات وتكوّن  
صخر رسوبي.

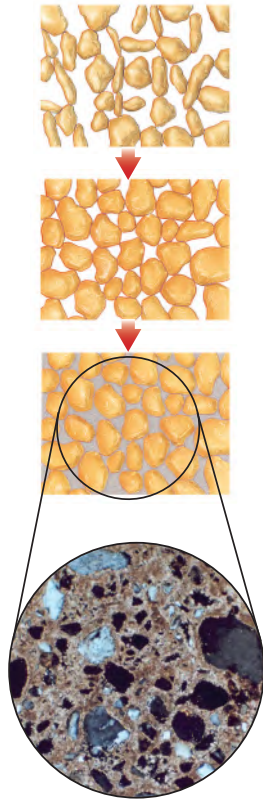




الشكل 19-4 يؤدي محتوى رسوبيات الطين المرتفع من الماء وشكل حبيباتها الأفقي إلى تراص كبير عندما تخضع لثقل الرسوبيات التي فوقها.

### المطويات

ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.



الشكل 20-4 تترسب المعادن من المياه في أثناء تدفقها عبر مسامات الرسوبيات. تشكّل هذه المعادن مادة لائحة تعمل على ربط الرسوبيات بعضها مع بعض.

**التراصّ Compaction** تشمل عملية التصخر مجموعة من العمليات تبدأ بعملية التراصّ **Compaction**؛ وهي تقارب حبيبات الرسوبيات بسبب الضغط الناتج عن وزن الرسوبيات التي تعلوها، ويترتب على ذلك تغيرات فيزيائية، كما في الشكل 19-4. فطبقات الطين تحتوي على 60% من حجمها ماء تقريباً. لذا ينقص حجمها عندما يخرج الماء منها بتأثير الضغط. أما الرمل فلا ينضغط بقدر انضغاط الطين في أثناء عملية الدفن؛ وذلك لأن حبيبات الرمل تتكون في العادة من الكوارتز، وهي غير قابلة للتشوّه تحت ظروف الدفن العادية. يشكل تلامس حبيبات الرمل بعضها بعضاً هيكلًا داعماً يعمل على بقاء الفراغات بين الحبيبات، حيث توجد المياه الجوفية والنفط والغاز الطبيعي في هذه الفراغات في الصخور الرسوبية.

**السمتة Cementation** لا يشكل الضغط القوة الوحيدة التي تربط الحبيبات معاً. حيث تحدث **السمتة Cementation** وهي عملية يتم فيها ترسب معادن جديدة كانت مذابة ضمن المياه الجوفية بين الحبيبات الرسوبية مما يؤدي إلى التحام حبيبات الرسوبيات معاً مشكلةً صخرًا صلبًا. ويحدث هذا عندما تترسب مواد لائحة **Cementing materil** ومنها: معدن الكالسيت  $CaCO_3$  أو أكسيد الحديد  $Fe_2O_3$  بين الحبيبات الرسوبية بالكيفية نفسها التي تترسب بها المعادن المذابة من المياه الجوفية. ويوضح الشكل 20-4 كيف تحدث هذه العملية.

## معالم الصخور الرسوبية Sedimentary Features

كما تحتوي الصخور النارية على معلومات عن تاريخ نشأتها، فإن للصخور الرسوبية معالمها وخصائصها التي تساعد الجيولوجيين على تفسير نشأتها وتاريخ المنطقة التي شكّلت فيها.

**التطبّق Bedding** يسمى ترّتب الصخور على هيئة طبقات أفقية **التطبّق Bedding**. ويعدّ الطبّق الأفقي هو الغالب والشائع في الصخور الرسوبية، ويحدث نتيجة للطريقة التي تترسب بها الرسوبيات بتأثير المياه أو الرياح. ويتراوح سمك الطبقة الواحدة بين ملمترات وعدة أمتار. وهناك نوعان



الشكل 21-4 توضح الصورة كيف تم تسجيل التطبق المتدرج في أثناء انخفاض سرعة المياه وفقدان طاقتها الترسيبية.

مختلفان من التطبق، يعتمد كل منهما على طريقة النقل. أما حجم الحبيبات ونوع المادة المكوّنة للطبقات فتعتمد على عوامل أخرى.

**التطبق المتدرج Graded bedding** يسمى نوع التطبق الذي تصبح فيه الحبيبات أثقل وأكبر حجماً كلما اتجهنا إلى أسفل **التطبق المتدرج Graded bedding**. وغالباً ما يلاحظ التطبق المتدرج في الصخور الرسوبية البحرية، فعندما تقل سرعة التيارات البحرية تفقد طاقتها على حمل الفتات الصخري، فتترسب المواد الأثقل والأكبر حجماً أولاً، ثم تترسب بعدها بالتدرج المواد الأصغر. ويوضح الشكل 21-4 مثالاً على التطبق المتدرج.

**التطبق المتقاطع Cross – bedding** مظهر آخر يميز للصخور الرسوبية. ينشأ **التطبق المتقاطع Cross bedding**، كالذي يظهر في الشكل 22-4، عندما تترسب طبقات مائلة نسبة إلى بعضها البعض، وبعد تصخر هذه الرسوبيات، يحتفظ الصخر بالتطبق المتقاطع. ويوضح الشكل 22-4 هذه العملية.

**علامات النيم Ripple marks** تتشكل علامات النيم - كما هو موضح في الشكل 23-4 - عندما تترسب الرسوبيات في توجات صغيرة تكونت بفعل الرياح أو الأمواج أو التيارات النهرية. وتحفظ هذه العلامات في الصخر الصلب إذا طمرت بهدوء ودون اضطراب أو اختلاط برسوبيات أخرى.

## المهنة في علم الأرض

**عالم الرسوبيات** : مهنة عالم الرسوبيات هي دراسة أصل الرسوبيات وترسيبها وتحويلها إلى صخور رسوبية. وغالباً ما يشغل علماء الرسوبيات في البحث عن البترول والغاز الطبيعي والمعادن المهمة اقتصادياً والحصول عليها.

تسعى هيئة المساحة الجيولوجية السعودية لتأمين مصادر وطنية كافية من الثروات المعدنية والمياه، وكذلك على حماية بيئتنا، ومراقبة جميع المخاطر الطبيعية لتحقيق الحياة الأفضل التي يصبو إليها مجتمعنا.



الشكل 22-4 تطبق متقاطع كبير الحجم في كثبان قديمة تشكلت بالرياح.



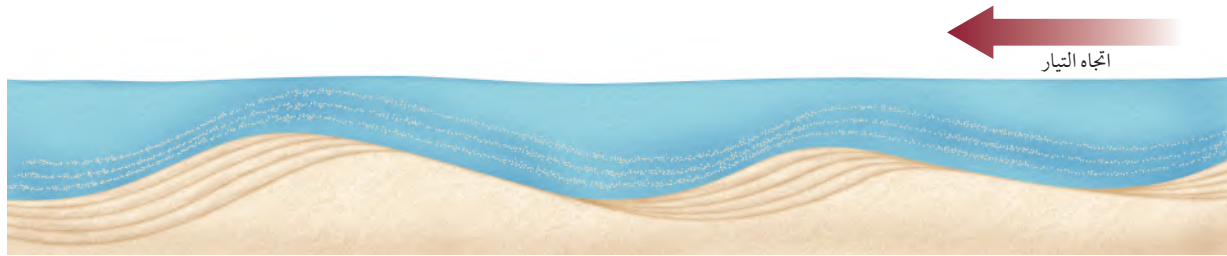
# التطبيق المتقاطع وعلامات النيم

## Cross-Bedding and Ripple Marks

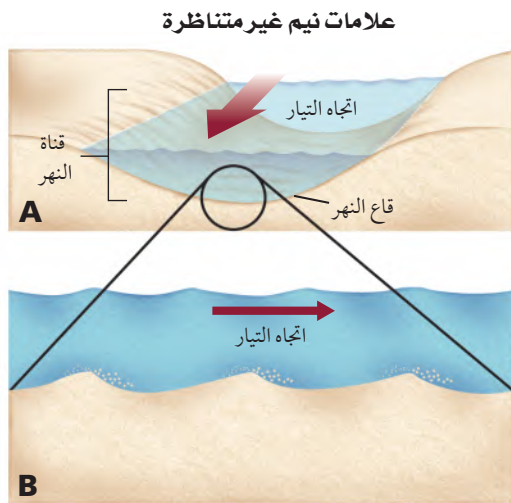
الشكل 23-4 ينتج عن حركة المياه والرسوبيات المفككة تكوّن تراكيب رسوبية كالتطبيق المتقاطع وعلامات النيم.



يستقر الرمل الذي تحمله الرياح على جانب الكثيب البعيد عن اتجاه الرياح، وعندما تغير الرياح اتجاهها يتكون التطبيق المتقاطع الذي يُظهر حادثة تغيير الاتجاه.

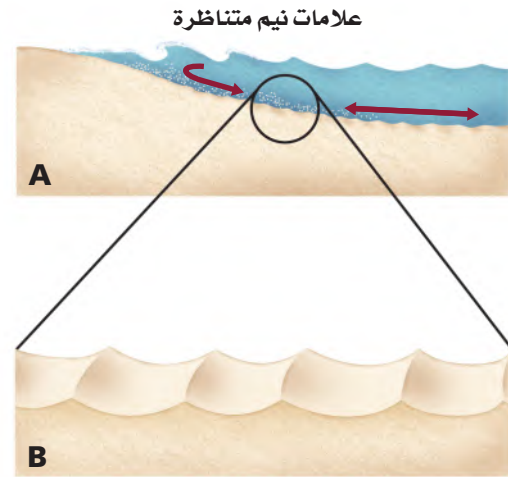


تُدفع رسوبيات قاع النهر بفعل حركة التيارات مشكّلةً تلالاً صغيرة وتموجات، فإذا تلاها استقرار رسوبيات أخرى بزاوية معينة فوق الجانب المائل لهذه التلال في اتجاه التيار فعندئذ يتشكل التطبيق المتقاطع. وفي النهاية تستوي المنطقة أو تتشكّل تلال جديدة، وتبدأ العملية من جديد.



تقوم التيارات التي تجري في اتجاه واحد - كتلك التي في الأنهار - بدفع رسوبيات القاع لتشكيل علامات نيم غير متناظرة؛ حيث يكون الجانب المعاكس لاتجاه التيار أكثر انحداراً، ويجوي الرسوبيات الأخشن.

لاحظ أن التيار المائي يسير من المنبع إلى المصب.



تؤدي حركة الأمواج على الشاطئ ذهاباً وإياباً إلى دفع رمل القاع، فتشكل علامات نيم متناظرة؛ إذ تتوزع حبيبات الرمل على جانبي قمم التلال بانتظام.





**الفرز والاستدارة Sorting and rounding** تعد درجة فرز واستدارة الحبيبات أحد معالم الصخور الرسوبية حيث يُظهر التفحص الدقيق لحواف حبيبات الرمل أن بعضها مدبب الحواف، والبعض الآخر مستدير. فعندما يتكسر الصخر يكون لشكل حواف القطع في بادئ الأمر زوايا حادة. وفي أثناء عملية النقل تصطدم الحبيبات معاً، فتتكسر الحواف الحادة، ومع الزمن تستدير حواف القطع الصخرية. وتتأثر درجة الاستدارة بمسافة نقل الرسوبيات وقساوة معادن الصخر؛ فكلما كان المعدن أكثر قساوة زادت فرصة استدارته قبل أن يتكسر ويصغر حجمه كما يوضح الشكل 24-4.



الشكل 24-4 حبيبات الرمل الكربوناتي المنقولة من مسافات قريبة حادة، مدببة الحواف، وليس لها استدارة أو نعومة كحبيبات الرمل الكوارتزي المنقولة من مسافات بعيدة.

**أدلة من الماضي (الأحافير) Evidence of past life (Fossils)** قد يكون أفضل دليل على تحديد الصخور الرسوبية احتواؤها على الأحافير؛ وهي كل ما يحفظ من بقايا أو طبقات أو أي آثار لمخلوقات عاشت في الماضي. فعندما يموت مخلوق حي ويدفن قبل أن يتحلل قد يحفظ على شكل أحفورة حفظاً كاملاً دون تغير في تركيبه الكيميائي، وقد تحل معادن ذائبة في أثناء تكون الأحفورة محل الهيكل الصلب، فتغير تركيبه الكيميائي دون تغيير شكله الأصلي، ومنها تغير الأصداف المكونة من الكالسيت إلى سيليكات. ويهتم علماء الأرض بالأحافير؛ لأنها تزودهم بأدلة على أنواع المخلوقات الحية التي عاشت في الماضي البعيد، وكيف تغيرت عبر الزمن، وكذلك عن البيئات القديمة وقتئذٍ.

## التقويم 3-4

### الخلاصة

- تشكّل الصخور الرسوبية بعمليات التجوية والتعرية والترسيب والتصخر.
- تصبح الرسوبيات - بعمليتي التراصّ والسمنتة - صخوراً.
- الأحافير بقايا أو آثار لمخلوقات حية كانت تعيش في الزمن الماضي، وتكون محفوظة - في الغالب - في الصخور الرسوبية.
- قد تحوي الصخور الرسوبية معالم مميزة، ومنها التطبّق المتدرج، والتطبّق المتقاطع، وعلامات النيم، واستدارة الحبيبات، واحتواؤها على الأحافير.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. صف كيف تتج الرسوبيات عن التجوية والتعرية؟
2. ارسم مخططاً. لتوضيح لماذا تستقر الرسوبيات في طبقات؟
3. وضح كيف يتشكّل التطبّق المتدرج باستخدام الرسم؟
4. قارن علاقة درجة الحرارة والضغط على سطح الأرض وما تحته بعملية التصخر.

### التفكير الناقد

5. قوّم هذه العبارة: قد يكون هناك تطبّق متقاطع وتطبّق متدرج في طبقة واحدة.
6. حدد في أي اتجاه تسير: نحو أعلى جدول جبلي جاف، أم نحو أسفله، بحيث تلاحظ أن شكل حبيبات الرسوبيات يصبح مدبباً أكثر باستمرار السير؟ فسر ذلك.

### الكتابة الجيولوجيا

7. تخيل أنك تصمم عرضاً لمتحف يتضمن صخوراً رسوبية تحوي أحافير المرجان وحيوانات بحرية أخرى. ارسم صورة البيئة التي تتوقع أنها كانت تعيش فيها. ثم اكتب وصفاً مرافقاً للصورة.



# 4-4

## الأهداف

- تصف أنواع الصخور الرسوبية الفتاتية.
- توضح كيفية تشكّل الصخور الرسوبية الكيميائية.
- تصف الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية.

## مراجعة المفردات

محلول مشبع: أعلى محتوى ممكن من المعادن الذائبة في محلول.

## المفردات الجديدة

الصخور الرسوبية الفتاتية  
الفتاتي  
المسامية

الصخور الرسوبية الكيميائية (المتبخرات)  
الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية

## أنواع الصخور الرسوبية

### Types of Sedimentary Rocks

**الفكرة الرئيسية** تُصنّف الصخور الرسوبية بناءً على طرائق تشكّلها.

**الربط مع الحياة.** إذا مشيت على طول شاطئ أو ضفة نهر فقد تلاحظ حجوماً مختلفة من الرسوبيات. يُحدد حجم حبيبات الرسوبيات نوع الصخر الرسوبي الذي يمكن أن يتشكّل منها.

### الصخور الرسوبية الفتاتية

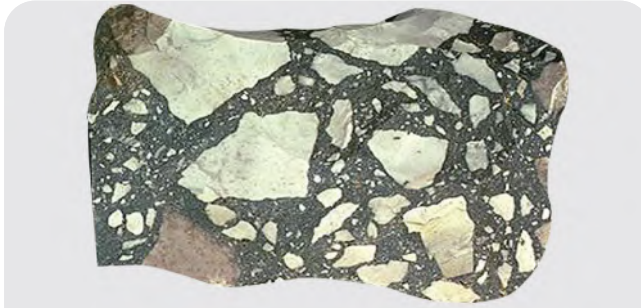
### Clastic Sedimentary Rocks

أكثر أنواع الصخور الرسوبية شيوعاً **الصخور الرسوبية الفتاتية Clastic Sedimentary Rocks** التي تتشكّل من تراكم الرسوبيات المفككة على سطح الأرض. وكلمة **Clastic** مأخوذة من كلمة klastos اليونانية بمعنى مكسّرة. وتُصنّف هذه الصخور بناءً على حجم حبيباتها. انظر إلى الجدول 3-1 في الصفحة الآتية، الذي يلخص تصنيف الصخور الرسوبية بناءً على حجم حبيباتها وطريقة تشكّلها ومكوناتها المعدنية.

### الصخور الرسوبية الخشنة الحبيبات Coarse – grained rocks

تصنّف الصخور الرسوبية المكونة من فتات الصخر والمعادن التي بحجم الحصباء على أنها صخور خشنة الحبيبات، كما في الشكل 25-4. وبسبب كتلتها الكبيرة نسبياً، تُنقل الحصباء بالتيارات المائية العالية الطاقة، كتلك التي تتولد في الجداول الجبلية، والأنهار الفائضة، ومياه الانصهار الجليدي. وفي أثناء عملية النقل تحتك الحبيبات بعضها ببعض، فتصبح مستديرة. وهذا هو سبب الاستدارة الجيدة لحصباء الشواطئ والأنهار وهذا يدل - كما ذكر سابقاً - على زيادة مسافة النقل. وتحوّل عملية التصخر هذه الرسوبيات إلى صخر يسمى الكونجلوميرات.

وعلى نقيض الكونجلوميرات، تتكون البريشيا من حبيبات مدببة الحواف في حجم الحصباء. وتشير الحواف المدببة إلى أن الرسوبيات التي شكلت البريشيا لم تأخذ الوقت الكافي لتصبح مستديرة. ويدل هذا على أن هذه الحبيبات قد نقلت مسافة قصيرة واستقرت قريباً من مصدرها. انظر الجدول 2-4.



البريشيا



الكونجلوميرات

الشكل 25-4 تتكوّن صخور الكونجلوميرات والبريشيا من الرسوبيات الخشنة التي نقلت بمياه عالية الطاقة.

استدل على الظروف التي يمكن أن تسبب أنواع النقل اللازمة لتكوين هذين الصخرين.

التصنيف	النسيج / حجم الحبيبات	المكونات	اسم الصخر
الفتاتية	خشن ( $> 2 \text{ mm}$ )	قطع من أي صخر - كوارتز و صوّان وكوارتزيت هي الشائعة.	كونجلوميرات (مستديرة) بريشيا (مدببة الحواف)
	متوسطة ( $\frac{1}{16} \text{ mm} - 2\text{mm}$ )	كوارتز و قطع صخرية كوارتز و فلبسبار بوتاسي و قطع صخر	حجر رملي حجر رملي أركوزي
	ناعمة ( $\frac{1}{256} \text{ mm} - \frac{1}{16} \text{ mm}$ )	كوارتز و طين	حجر الطمي
	ناعمة جداً ( $> \frac{1}{256} \text{ mm}$ )	كوارتز و طين	الطّفّل
الكيميائية	ناعمة إلى خشنة التبلور	كالكسيت $\text{CaCO}_3$	حجر جيرى متبلور
	ناعمة إلى خشنة التبلور	دولوميت $(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$ (يتفاعل مع الحمض إذا كان مسحوقاً)	دولوميت
	ناعمة التبلور جداً	كوارتز $\text{SiO}_2$ بلونيه الفاتح والغامق	صوّان
	ناعمة إلى خشنة التبلور	جبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	الجبس الصخري
الكيميائية الحيوية	ناعمة إلى خشنة التبلور	هاليت $\text{NaCl}$	الملح الصخري
	بلورات دقيقة مع تشققات محارية	كالكسيت $\text{CaCO}_3$	مكرايت
	أحافير كثيرة في أرضية من المكرايت	كالكسيت $\text{CaCO}_3$	حجر جيرى أحفوري
	أوليت (كرات صغيرة من كربونات الكالسيوم)	كالكسيت $\text{CaCO}_3$	حجر جيرى أوليتي
	أصداف وأصداف مكسرة مفككة	كالكسيت $\text{CaCO}_3$	كوكينا
	أصداف مجهرية وصلصال	كالكسيت $\text{CaCO}_3$	طباشير
	قطع مختلفة الحجم	بقايا نبات متفحمة مع بعض الأحافير النباتية	فحم

### الصخور الرسوبية المتوسطة الحبيبات Medium-grained rocks

غالبًا ما تحوي قنوات الجداول المائية والأنهار والشواطئ والصحارى كميات وفيرة من الرسوبيات بحجم حبيبات الرمل. تصنف الصخور الرسوبية التي تتكوّن من قطع صخرية أو معدنية بحجم الرمل على أنها صخور فتاتية متوسطة الحبيبات. انظر إلى الجدول 4-2. وتحوي الصخور الرملية في الغالب مجموعة من المعالم التي تهم العلماء. فمثلاً تشير علامات النيم والتطبق المتقاطع إلى اتجاه تدفق التيار. لذا يستعمل الجيولوجيون طبقات الصخور الرملية لعمل خرائط للجدول المائية القديمة وقنوات الأنهار.

### المفردات

#### مفردات أكاديمية

#### خزان جوفي

هو طبقات من الصخور تحت السطحية، بها قدر كاف من المسامية تسمح بتراكم كمية من النفط أو الغاز الطبيعي أو الماء. ومن الأمثلة على الخزانات الجوفية في السعودية خزان الساق الذي يتكون من الحجر الرملي.







الشكل 26-4 ترسبت الرسوبيات الناعمة جداً في مياه هادئة وشكلت طبقات رقيقة من الطين.

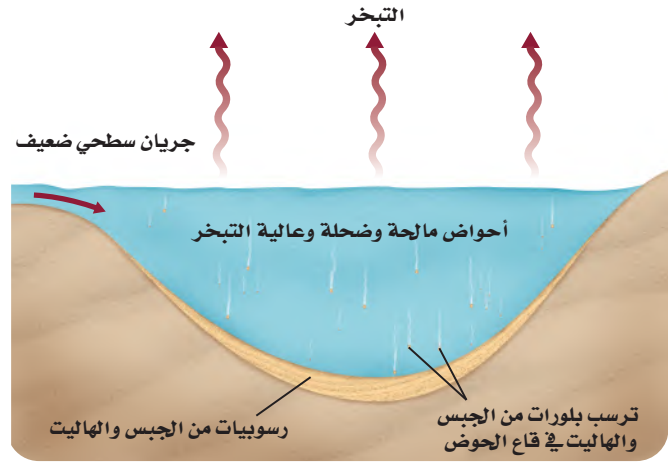
من خصائص الصخور الرملية المهمة أن مساميتها عالية نسبياً. و **المسامية Porosity** هي النسبة المئوية للفراغات الموجودة بين الحبيبات المكونة للصخر. وقد تصل مسامية الرمل المفكك إلى 40%. ويمكن المحافظة على هذه الفراغات في أثناء تحول الرمل إلى حجر رملي، مما يؤدي غالباً إلى وجود مسامية قد تصل نسبتها إلى 30%. وعندما تكون المسام بعضها متصلاً ببعض تستطيع الموائع ومنها المياه أن تتحرك خلال الحجر الرملي بسهولة. وهذه الخاصية تجعل طبقات الصخور الرملية مهمة بوصفها خزانات تحت سطحية للنفط والغاز الطبيعي والمياه الجوفية.

**الصخور الرسوبية الناعمة الحبيبات Fine-grained rocks** تتكون هذه الصخور من حبيبات صغيرة بحجم حبيبات الطمي والطين. ومنها حجر الطمي والطفل. وتمثل هذه الصخور بيئات مياه ساكنة أو بطيئة الحركة كالمستنقعات والبرك. وفي غياب التيارات القوية وتأثير الأمواج تهبط هذه الرسوبيات إلى القاع، وترسب في طبقات أفقية رقيقة. وعادة ما ينكسر الطفّل على طول الطبقات الرقيقة، كما في الشكل 26-4. وعلى النقيض من الحجر الرملي، تعمل الصخور الرسوبية الناعمة الحبيبات ذات النفاذية المنخفضة بوصفها حواجز تعيق حركة المياه الجوفية والبتترول. **ماذا قرأت؟** وضح أنواع البيئات التي تتشكل فيها الصخور الناعمة الحبيبات.

## الصخور الرسوبية الكيميائية والحيوية

### Chemical and Biochemical Sedimentary Rocks

يتطلب تشكّل الصخور الكيميائية والحيوية اشتراك عمليتي التبخر وترسيب المعادن. ففي أثناء عملية التجوية تذوب المعادن وتُحمل إلى البحيرات والمحيطات. وعندما تتبخر المياه من البحيرات والمحيطات تُترك المعادن الذائبة في المياه الباقية. وفي الأقاليم الجافة يمكن لمعدلات التبخر العالية أن تزيد تركيز المعادن الذائبة في المسطحات المائية. ويمثل الشكل 27-4 سبخة القصب غرب الرياض.



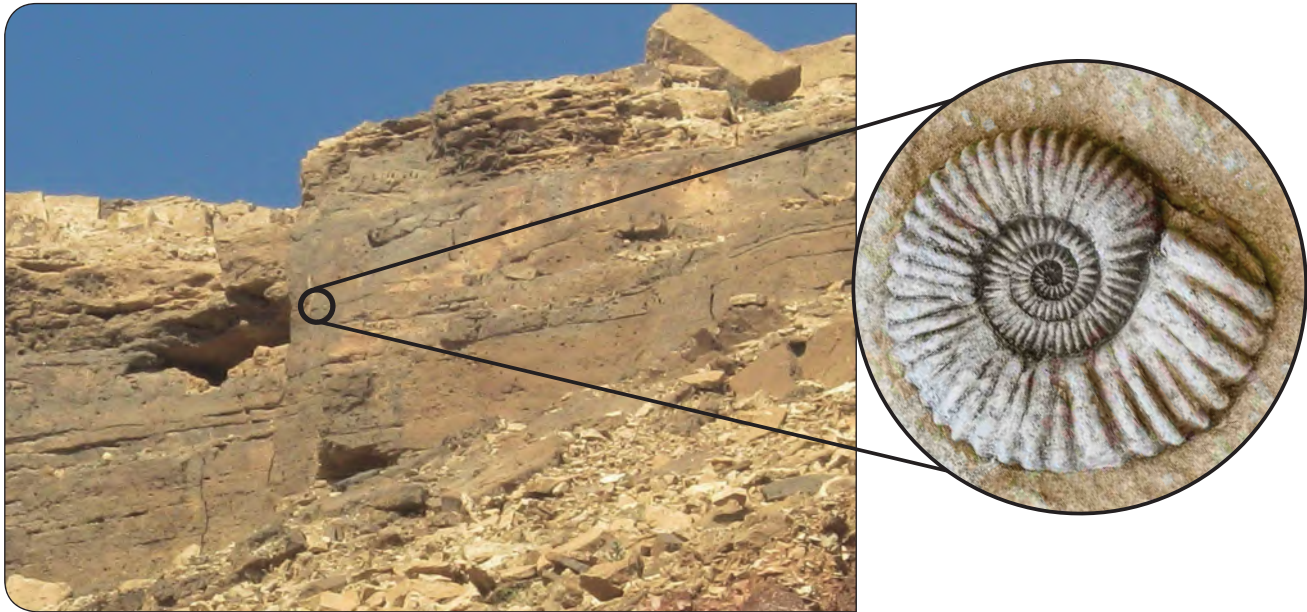
الشكل 27-4 يؤدي التبخر المستمر من مسطح مائي مالح إلى ترسيب كميات كبيرة من الملح. كما في سبخة القصب غرب الرياض.



**الصخور الرسوبية الكيميائية Chemical sedimentary rocks** عندما يزيد تركيز المعادن الذائبة في سطح مائي عن حد الإشباع تترسب بلورات المعادن من المحلول، وتهبط إلى القاع. ونتيجة لذلك تتشكل طبقات من **الصخور الرسوبية الكيميائية Chemical sedimentary rocks** تسمى **المتبخرات Evaporites**. تتشكل المتبخرات في معظم الأحيان في الأقاليم الجافة، وفي أحواض التصريف المائي ذات التدفق المنخفض في القارات. وبسبب قلة المياه العذبة التي تتدفق إلى هذه المناطق يبقى تركيز المعادن المذابة مرتفعاً. وعلى الرغم من دخول المزيد من المعادن المذابة إلى هذه الأحواض يستمر تبخر المياه العذبة، مما يحافظ على تراكيز مرتفعة للمعادن. ومع مرور الزمن يمكن أن تتراكم طبقات سميكة من معادن المتبخرات على أرضية الحوض كما في الشكل 28-4. ومن الأمثلة على هذه المعادن الجبس، الذي يتوافر في مناطق متعددة من المملكة العربية السعودية، ومنها منطقة مقنا شمال غرب المملكة العربية السعودية، ومنطقة الخرج، والقرب من مدينة بريدة.

### **الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية Biochemical sedimentary rocks**

تتكون **الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية Biochemical sedimentary rocks** من بقايا مخلوقات حية كانت تعيش في الماضي. وأكثر هذه الصخور شيوعاً هو الحجر الجيري المكون أساساً من معدن الكالسيت. وتستعمل بعض المخلوقات الحية التي تعيش في المحيط ككربونات الكالسيوم الذائبة في المياه لبناء أصدافها. وعندما تموت هذه المخلوقات الحية تهبط أصدافها إلى قاع المحيط فتشكل طبقات سميكة من رواسب الكربونات. وفي أثناء عملية الدفن والتصخر تترسب كربونات الكالسيوم من المياه وتبلور بين الأصداف وتشكل الحجر الجيري.



الشكل 28-4 يمكن لصخر الحجر الجيري أن يحوي أنواعاً كثيرة ومختلفة من الأحافير. ويستطيع الجيولوجيون أن ينفصوا الأبن وبنجي بشكل الحجر الجيري من دراسة الأحافير الموجودة فيه.



ويستخرج الحجر الجيري من مناطق متعددة في المملكة العربية السعودية، ومنها منطقة أم الغربان شرق مدينة الخرج، ومنطقة سدوس، وشمال الدرعية بالقرب من الرياض. ومن الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية الأخرى في المملكة العربية السعودية الفوسفات الذي يوجد في حزم الجلاميد بالقرب من مدينة عرعر. انظر الشكل 29-4.

يكثُر وجود الحجر الجيري في البيئات البحرية الضحلة، ومن ذلك الشعاب المرجانية التي تنتشر بطول البحر الأحمر في مياه عمقها بين 15-20 m غير بعيدة عن الشاطئ. وتتراكم هياكل وأصداف المخلوقات الميتة مكونة حجراً جيرياً. وتحتوي أنواع كثيرة من الحجر الجيري على أدلة على أصلها العضوي على هيئة أحافير وفيرة، كما في الشكل 28-4.

الشكل 29-4 أحد منكشفات صخور الفوسفات في حزم الجلاميد شرق عرعر في المملكة العربية السعودية.

## التقويم 4-4

### الخلاصة

- الصخور الرسوبية فتاتية أو كيميائية أو كيميائية حيوية.
- تتشكّل الصخور الفتاتية من الرسوبيات، وتصنف على أساس حجم الحبيبات وشكلها.
- تتكون الصخور الكيميائية أساساً من المعادن التي تترسب من المياه في مناطق ذات معدلات تبخر مرتفعة.
- تتكون الصخور الكيميائية الحيوية من بقايا مخلوقات عاشت في الزمن الماضي.
- تزود الصخور الرسوبية الجيولوجيين بمعلومات عن ظروف سطح الأرض التي سادت في الزمن الماضي.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. اذكر نوع الصخر الرسوبي الذي يتشكّل من تعرية ونقل الحبيبات والقطع الصخرية وترسيبها.
2. وضح لماذا يعد الحجر الجيري صخوراً رسوبياً كيميائياً حيوياً؟
3. حلل الظروف البيئية التي تفسّر تشكّل معظم الصخور الرسوبية الكيميائية في مناطق ذات معدلات تبخر مرتفعة.

### التفكير الناقد

4. اقترح سيناريو يفسر إمكانية تشكّل طبقات متعددة من المتبخرات من مسطح مائي بحري، علماً بأن الكمية الأصلية من المعادن المذابة فيه تكفي فقط لتكوين طبقة رقيقة من المتبخرات.
5. تفحص طبقات الطين في الشكل 28-4، وفسر عدم احتوائها على التطبق المتقاطع أو علامات النيم.

### الرياضيات في الجيولوجيا

6. افترض أن طبقة من الطين سينقص حجمها بمقدار 35% في أثناء الترسيب والتراص، فإذا كان السمك الأصلي للطبقة هو 30 cm، فكم يصبح سمكها بعد عملية التراص؟



## الصخور المتحولة

### Metamorphic Rocks

**الفكرة الرئيسية** تنشأ الصخور المتحولة عندما تتعرض صخور سابقة لزيادة الضغط والحرارة والمحاليل الحرارية المائية.

**الربط مع الحياة.** عند صناعة وطبخ المخبوزات تتحول جميع مكوناتها الأولية إلى شيء جديد. وكذلك تتغير خصائص الصخور إلى شيء جديد عندما تتعرض لدرجات الحرارة المرتفعة، وينتج عن ذلك صخور مختلفة كلياً.

### تعرف الصخور المتحولة

### Recognizing Metamorphic Rocks

يوضح الشكل 30-4 صخوراً تحولت. كيف عرف الجيولوجيون حدوث ذلك؟ تزداد درجة الحرارة والضغط كلما تعمقنا في باطن الأرض، وعندما ترتفعان بقدر كافٍ تنصهر الصخور لتشكل الصهارة. ولكن ما الذي يحدث لو لم تصل الصخور إلى درجة الانصهار؟ عندما تجتمع الحرارة والضغط العالين، ويغيران نسيج الصخر ومكوناته المعدنية أو مكوناته الكيميائية من دون انصهاره يتشكل الصخر المتحول. وكلمة تحول بالإنجليزية metamorphism مشتقة من الكلمة اليونانية meta بمعنى تغير، وكلمة morphe ومعناها شكل؛ إذ يتغير شكل الصخر في أثناء التحول، لكنه يبقى صلباً.

وتتطلب عملية التحول درجات حرارة عالية، مصدرها حرارة باطن الأرض؛ ويتم ذلك بالدفن العميق، أو من الأجسام النارية الجوفية القريبة. أما الضغط العالي الذي تتطلبه عملية التحول فيتوافر بالدفن العميق أيضاً، أو من التضاريس الناتجة في أثناء عملية تكوّن الجبال.



الشكل 30-4 يتطلب طي طبقات هذه الصخور أو ثنيها إلى الشكل الذي هي عليه اليوم وجود قوى كبيرة.

### الأهداف

- تقارن بين أنواع الصخور المتحولة وأسباب تشكلها.
- تميز بين أنسجة التحول.
- تفسر كيفية حدوث التغيرات المعدنية والنسيجية في أثناء عملية التحول.

### مراجعة المفردات

الصخور النارية الجوفية: صخور تشكلت من صهارة بردت وتبلورت ببطء تحت سطح الأرض.

### المفردات الجديدة

متورقة (صفائحية)

غير متورقة (غير صفائحية)

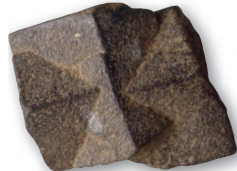
التحول الإقليمي

التحول بالتماس

التحول الحراري المائي

دورة الصخر





الستوروليت



المايكا



الجارنت



التلك

الشكل 31-4 معادن متحولة، منها المايكا والستوروليت والجارنت والتلك وتوجد بلوراتها بألوان وأشكال وأحجام متعددة، قد يكون لونها بين القاتم والفاتح.

**المعادن المتحولة Metamorphic minerals** كيف يمكن أن تتغير المعادن من دون أن تنصهر؟ كما درست سابقاً، تبلور المعادن من صهارة، وتبقى مستقرة ضمن مدى من درجات الحرارة المختلفة، وينطبق هذا المدى أيضاً على المعادن المكونة للصخور المتحولة، التي خضعت لتغيرات وهي في الحالة الصلبة. ففي أثناء التحول تتغير المعادن في الصخر إلى معادن جديدة بفعل ظروف الضغط والحرارة الجديدة. وقد قام العلماء بتجارب لتعرف الظروف التي تؤدي إلى تكوّن معادن جديدة تكرر ظهورها في الصخور المتحولة؛ وذلك لتفسير ما الذي يؤدي إلى تحوّل هذه الصخور داخل القشرة الأرضية. ويوضح الشكل 31-4 بعض المعادن المتحولة الشائعة.

✓ **ماذا قرأت؟** وضح ما المعادن المتحولة؟

**أنسجة الصخور المتحولة Metamorphic textures** تصنف الصخور المتحولة إلى مجموعتين على أساس النسيج: صفائحية (متورقة)، وغير صفائحية (غير متورقة). ويستعمل الجيولوجيون الأنسجة والمكونات المعدنية لتعرف الصخور المتحولة. ويوضح الشكل 32-4 كيفية استعمال هاتين الخاصيتين في تصنيف الصخور المتحولة.

## الصخور المتورقة Foliated rocks

تتميز الصخور المتحولة المتورقة **Foliated** بوجود المعادن في صفائح وأحزمة (خطوط)؛ حيث يتسبب الضغط العالي في أثناء التحول في صفّ المعادن الصفائحية أو الإبرية الشكل، بحيث يكون محورها الطويل متعامداً مع الضغط، كما في الشكل 33-4 في الصفحة الآتية. وينتج عن هذا الاصطفاف المتوازي للمعادن التورق الذي تلاحظه في الصخور المتحولة المتورقة.

مخطط الصخور المتحولة

اسم الصخر	المكونات المعدنية	النسيج
الأردواز	الكوارتز، المايكا، الكوريت	ناعمة الحبيبات
الفيليت	الكوارتز، المايكا، الكوريت	ناعمة الحبيبات
الشيست	الكوارتز، المايكا، الكوريت، الفلسبار، الأفيبول، البيروكسين	خشنة الحبيبات
النائس	الكوارتز، المايكا، الكوريت، الفلسبار، الأفيبول، البيروكسين	خشنة الحبيبات
الكوارتزيت	الكوارتز	ناعمة إلى خشنة الحبيبات
الرخام	الكالسيت أو الدولوميت	ناعمة إلى خشنة الحبيبات

الشكل 32-4 توازي الزيادة في حجم الحبيبات التغير في المكونات وتطور التورق. ولا يعد حجم الحبيبات عاملاً في تصنيف الصخور غير المتورقة.





الشكل 33-4 يتطور التورق عندما يؤثر الضغط في اتجاهين متضادين، ويكون التورق متعامداً على اتجاه الضغط.

## الصخور المتحولة غير المتورقة

### Nonfoliated rocks

تختلف الصخور المتحولة غير المتورقة **Nonfoliated** عن الصخور المتورقة في أنها مكونة من معادن ذات بلورات كتلية الشكل. ويوضح الشكل 34-4 مثالين شائعين على الصخور غير المتورقة، هما الرخام والكوارتزيت. والكوارتزيت صخر قاس، وغالباً ما يكون فاتح اللون، وينشأ عن تحول الحجر الرملي الغني بالكوارتز، بينما ينشأ الرخام عن تحول الحجر الجيري. ونادراً ما تُحفظ الأحافير في الصخور المتحولة. وبعض أنسجة أنواع الرخام ملساء تشكّلت من تداخل حبيبات الكالسيت. وتستعمل أنواع الرخام هذه غالباً في أرضيات المنازل. ويتم استخراج الرخام في المملكة العربية السعودية من عدة أماكن منها جبل خنوقة شمال شرقي عفيف، بينما يستخرج الرخام الأسود من جبل غرور ودمخ شمال غرب حلبان. ويمكن في ظروف معينة أن يكبر حجم المعادن المتحولة الجديدة، بينما تبقى المعادن المحيطة بها صغيرة الحجم. وعلى الرغم من أن هذه البلورات الكبيرة تشبه البلورات الكبيرة جداً في البيجماتيت الجرانيتي، إلا أنها تختلف عنها؛ فبدلاً من أن تتشكّل من الصهارة فإنها تتشكّل في الصخر الصلب من خلال إعادة ترتيب الذرات في أثناء التحول. ويوضح الشكل 34-4 معدن الجارنت الذي تشكل بهذه الطريقة.



بلورات كبيرة من الجارنت



الكوارتزيت



الرخام

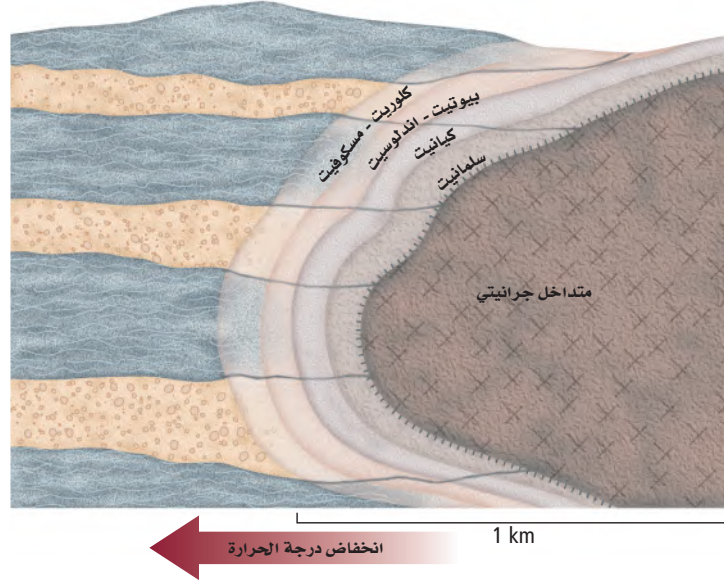
الشكل 34-4 تختلف الصخور المتحولة الظاهرة في الشكل عن الصخور الرسوبية في أنها لا تُظهر وجود الأحافير فيها؛ لأن الحرارة الشديدة التي تعرضت لها أزلت تلك الأحافير. ومع ذلك، لا تؤدي عملية التحول دائماً إلى تدمير التطبيق المتقاطع وعلامات النيم التي يمكن مشاهدتها في بعض أنواع الكوارتزيت.

## درجات التحول Grades of Metamorphism

تؤدي توافقات مختلفة من درجات الحرارة والضغط إلى حدوث درجات تحول مختلفة. يقترن التحول المنخفض الدرجة بدرجات الحرارة والضغط المنخفضين وبمجموعة محددة من المعادن والأنسجة، بينما يقترن التحول العالي الدرجة بدرجات حرارة وضغط مرتفعين وبمجموعة مختلفة من المعادن والأنسجة. أما التحول المتوسط الدرجة فيقع بين التحولين منخفض الدرجة وعالي الدرجة.

## أنواع التحول Types of Metamorphism

يمكن أن تنتج آثار التحول عن التحول بالتماس والتحول الإقليمي والتحول الحراري المائي، وتزودنا المعادن التي تشكلت ودرجة التغير التي حدثت للصخر بمعلومات عن نوع التحول ودرجته.



الشكل 35-4 قد يسبب التحول بالتماس الناتج عن حقن (المتداخل الجرانيتي) تشكل أحزمة (نطق) من المعادن المتحولة. وظّف ما تعلمته عن التحول بالتماس لتحديد نوع الصخر الموجود الآن على حافة الجسم الناري الجوفي.

## التحول الإقليمي Regional metamorphism ينشأ التحول الإقليمي

regional metamorphism عندما تتعرض مناطق واسعة من القشرة الأرضية لدرجة حرارة وضغط مرتفعين، وتتراوح درجة التحول بين منخفض وعالٍ. أما نتائج التحول الإقليمي فتتضمن التغير المعدني ونوع الصخر، بالإضافة إلى طي وتشويه طبقات صخور المنطقة. ويوضح الشكل 35-4 طبقات صخور مطوية عانت من التحول الإقليمي.



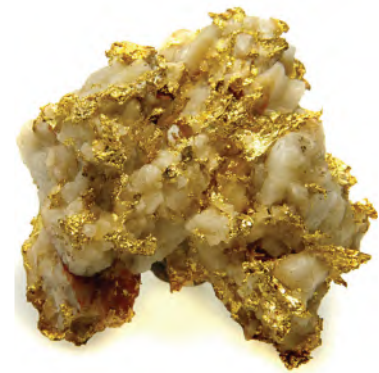
**التحول بالتماس contact meramorphism** عندما تصبح مادة مصهورة كالأجسام النارية الجوفية، في تماس مع صخور صلبة، يحدث تأثير محلي نسميه **التحول بالتماس contact meramorphism** تتشكل مجموعات المعادن المميزة للتحول بالتماس على درجات حرارة عالية وضغط متوسط إلى منخفض. ويوضح الشكل 36-4 نطق معادن مختلفة تحيط بالجسم الناري الجوفي. ولأن درجة الحرارة تنخفض عند الابتعاد عن الجسم الناري الجوفي فإن تأثيرات التحول تنخفض أيضاً مع المسافة. لذا فإن تأثير التحول بالتماس الناتج عن الصخور النارية البركانية يكون محدوداً.

**التحول الحراري المائي hydrothermal metamorphism** يحدث **التحول الحراري المائي hydrothermal metamorphism** عندما تتفاعل مياه ساخنة جداً مع الصخر، فتغير مكوناته الكيميائية والمعدنية. وجملة الحراري المائي بالإنجليزية hydrothermal مشتقة من الكلمتين اليونانيتين hydro بمعنى الماء، و thermal بمعنى حرارة. ولما كانت الموائع في أثناء التحول تهاجر من الصخر وإليه، لذا فإن المكونات الكيميائية والنسيج الأصليين يمكن أن يتغيرا. وتكون التغيرات الكيميائية شائعة في التحول بالتماس بالقرب من الأجسام النارية الجوفية والبراكين النشطة. وغالباً ما تتوضع خامات اقتصادية بهذه الطريقة كالذهب والنحاس والخرصين والتنجستن والرصاص؛ فالذهب المتوضع في الكوارتز في الشكل 36-4 ناتج عن التحول الحراري المائي.

### الأهمية الاقتصادية للصخور والمعادن المتحولة

## Economic Importance of Metamorphic Rocks and Minerals

أدى نمط الحياة الحديث إلى ازدياد استخراج واستخدام موارد الأرض الطبيعية. فنحن مثلاً نحتاج إلى الملح للطهي، والذهب للتجارة، وفلزات أخرى للبناء والأغراض الصناعية، كما نحتاج إلى الوقود الأحفوري للطاقة، وإلى الصخور والعديد من المعادن في المستحضرات التجميلية، إلى غير ذلك من الاستعمالات. ويوضح الشكل 37-4 مثالين لكيفية استعمال الصخور المتحولة في البناء. وينتج الكثير من هذه الموارد المعدنية الاقتصادية من عمليات التحول، ومن بينها: فلزات الذهب والفضة والنحاس والرصاص، بالإضافة إلى موارد غير فلزية مهمة وكثيرة.



الشكل 36-4 تتكون عروق الذهب في الكوارتز عندما يبرد المحلول الحراري المائي.



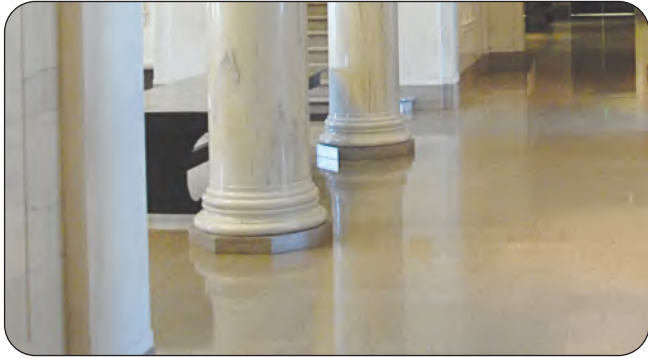




**موارد المعادن الفلزية Metallic mineral resources** توجد الموارد الفلزية غالبًا على شكل خامات معدنية فلزية، وعلى الرغم من اكتشاف توضعات فلزية نقية أحيانًا، فإن الكثير من التوضعات غير النقية تترسب من المحاليل الحرارية المائية، متركزة على هيئة عروق، أو منتشرة في كتلة الصخر. ويكثر وجود توضعات الذهب والفضة والنحاس في العروق الحرارية المائية للكوارتز بالقرب من الأجسام النارية الجوفية. وتوجد معظم التوضعات الفلزية الحرارية المائية على شكل كبريتيدات، ومنها: الجالينا (PbS)، والبيريت (FeS<sub>2</sub>)، أو على شكل أكاسيد ومنها خاما الحديد (الماجنتيت والهيمايت)؛ وهما معدنان تشكلا بالتوضع من محاليل حرارية مائية حاملة للحديد. وفي المملكة العربية السعودية الكثير من المعادن التي توضع من المحاليل الحرارية المائية، ومنها: الذهب، والفضة، والنحاس.

✓ **ماذا قرأت؟** اذكر الموارد الاقتصادية التي تنتجها المحاليل الحرارية المائية.

**موارد المعادن غير الفلزية Nonmetallic mineral resources** يؤدي تحوّل الصخور النارية فوق القاعدية إلى إنتاج معدني التلك والإسبستوس، ولما كانت قساوة التلك تساوي 1 على مقياس موهس، فإنه يستعمل بوصفه مسحوق بودرة، ومُشحمًا، كما يدخل في صناعة الدهانات. أما الإسبستوس فلأنه غير قابل للانفجار، وموصلية الحرارة والكهربائية منخفضة، لذا فإنه يستعمل مضافًا للحريق وفي مواد العزل. وقبل أن تُعرف خصائصه المسببة للسرطان، استُعمل بشكل واسع في صناعة البناء، ولا تزال كثير من البنايات القديمة تحتوي على الإسبستوس. ومن المعادن الأخرى غير الفلزية التي تنتج عن التحوّل معدن الجرافيت، وهو المكوّن الرئيس في صناعة أقلام الرصاص.



الشكل 4-73 الرخام والأردواز صخران متحولان استعملتا في البناء منذ قرون.







# السياحة الجيولوجية

## في الميدان

### الجزيرة العربية عبر العصور

يسافر بعض الناس إلى أماكن قاصية من العالم ليروا أنواعًا مختلفة من الصخور. ولا شك أن جزيرتنا العربية تتمتع بموقع فريد، وطبيعة جيولوجية خلابة تفرس فيها التشكيلات الجيولوجية نفسها؛ وتتكشف فيها سجلات صخرية لمعظم العصور الجيولوجية.

### الرواسب الجليدية



رواسب الجليديات  
بالقرب من القوارة  
بمنطقة القصيم

### الأشجار المتحجرة



تزخر الجزيرة العربية بعدد من مناطق الأشجار المتحجرة، التي تدل على أنها كانت خضراء في العصور التي نمت فيها تلك الأشجار. ومن ذلك الأشجار المتحجرة المكتشفة في المملكة العربية السعودية، والتي تعود إلى العصر البيرمي، منذ 250 مليون سنة، وأخرى يعود عمرها إلى العصر الطباشيري منذ أكثر من 70 مليون سنة.

ومنها كذلك مجموعة من الأشجار المتحجرة لنوع من الصنوبر في بعض أجزاء صحراء الربع الخالي يرجع تاريخها إلى 50 مليون سنة.

وقد أشار رسول الله صلى الله عليه وسلم في حديثه الشريف عن أبي هريرة رضي الله عنه إلى أن أرض الجزيرة العربية كانت في السابق مليئة بالأشجار والمياه، فقال: لن تقوم الساعة حتى تعود أرض العرب مروجًا وأنهارًا.

هل تصدق أن جزيرة العرب مرت عليها عصور جليدية تركت وراءها رواسب جليدية موجودة في وديان جليدية قديمة تشبه تلك الموجودة حاليًا في شمال كندا وشمال أوروبا. وقد تكونت تلك الرواسب الجليدية في العصر الأردو فيش في مناطق مختلفة من الجزيرة العربية، مثل تلك الموجودة في منطقة القصيم في المملكة العربية السعودية، والتي تكونت منذ 450 مليون سنة، وهي تعد من الأمثلة النادرة على العصور الجليدية القديمة.

## الجيولوجيا

### الكتابة في

مطوية تعزيزية: ابحث عن مزيد من المعلومات عن أنواع الصخور الموجودة في منطقتك، والمستعملة في بناء المنشآت. اعمل مطوية تعزيزية تصف فيها رحلة تركز فيها على الجيولوجيا المحلية.

الربط مع رؤية ٢٠٣٠



# مختبر الجيولوجيا (1)

## تفسير التغيرات في الصخور



جدول معلومات العينات						
رقم العينة	1	2	3	4	5	6
اسم الصخر ونوعه						
الخصائص المميزة						
الكتلة						
الحجم						
الكثافة						

- صف كيف تتغير حبيبات الكوارتز في الحجر الرملي في أثناء التحول.
- صف اختلاف النسيج الذي تراه بين الطَّفل والأردواز.
- قارن بين نتائج حساباتك وحسابات زملائك، واستنتج أسباب اختلاف النتائج.
- وضح لماذا يمكن أن يختلف لون الصخور الرسوبية في أثناء عمليات التحول؟
- قوِّم التغير في الكثافة بين كل من الطَّفل والأردواز، الحجر الرملي والكوارتزيت، الحجر الجيري والرخام. هل حدث تغير في جميع العينات؟ فسر نتائجك.

### شارك بياناتك

راجع مع أقرانك. ناقش نتائجك مع المجموعات الأخرى في الصف مع التركيز على المتغيرات: الكتلة والحجم والكثافة.

**خلفية علمية:** مع استمرار دورة الصخور يتغير الصخر من نوع لآخر. بعض التغيرات يمكن ملاحظتها بالعين المجردة إلا أن بعضها الآخر لا يمكن ملاحظته. لون الصخر وحجم الحبيبات والنسيج والتركييب المعدني أشياء يمكن ملاحظتها ووصفها بسهولة. لكن مع تغير المعادن يتغير بناؤها البلوري وكثافتها. كيف يمكن تمثيل ووصف هذه التغيرات؟ ادرس زوجين من عينات الصخور ليتبين لك كيف يتم ذلك.

**سؤال:** كيف تقارن بين خصائص الصخور النارية والرسوبية وبين خصائص الصخور المتحولة؟

### الأدوات

عينات من: صخر رملي، الطَّفل، حجر جيري، جرانيت، كوارتزيت، أردواز، رخام، نايس.

عدسة يدوية

ورق

ميزان

مخبار مدرج حجم 100 mL أو كأس يتسع للعينه والماء.

**إجراءات السلامة**

### خطوات العمل

- اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
- حضر جدولاً لتسجيل البيانات كالجدول المجاور.
- لاحظ كل عينة وسجل ملاحظاتك في الجدول.
- تذكر أن الكثافة =  $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$ . ضع مخططاً لقياس كل من الحجم والكتلة لكل عينة.
- احسب كثافة كل عينة، وسجلها في الجدول.

### التحليل والاستنتاج

- قارن بين الحجر الرملي وبين الكوارتزيت.



## مختبر الجيولوجيا (2)

### صمم بنفسك

### نموذج تكون البلورات



**خلفية علمية:** يعتمد حجم بلوات الصخور النارية على معدل تبريد الصهارة، ومن الصعب مشاهدة تبلور الصهارة؛ لأنها ساخنة جدًا، وكذلك بسبب بطء عملية التبلور. لكن هناك بعض المواد التي تتبلور عند درجات حرارة منخفضة، لذلك يمكن استعمالها لنمذجة عملية تبلور المعادن من الصهارة.

**سؤال:** كيف تتبلور المعادن من الصهارة؟

### الأدوات

أطباق بتري نظيفة	مقياس حرارة
محلول الشب المشبع	مناشف ورقية
كأس زجاجية سعة 200 mL	ماء
عدسة مكبرة	مصدر حراري
ورق مقوى أسود	

5. املاً كل طبق من أطباق بتري إلى نصفه بالمحلول فوق المشبع مع اتباع إجراءات السلامة في أثناء إضافة المحلول.
6. راقب أطباق بتري كل 5 دقائق ولمدة 30 دقيقة، وسجل ملاحظاتك، وارسم البلورات التي بدأت تتكون.

### التحليل والاستنتاج

1. قارن بين طريقة التبريد وبين الطرائق التي استعملتها المجموعات الأخرى. هل تظن أن هناك طريقة أفضل من الأخرى؟ وضح إجابتك.
2. اختبر بلوراتك. كيف تبدو؟ هل حجمها متساوية؟ وهل هي متشابهة في الشكل؟
3. ارسم شكل البلورات الأكثر شيوعاً، وقارن بين رسمك ورسم المجموعات الأخرى. صف أي نمط لاحظته في رسوم المجموعات الأخرى.
4. استنتج العوامل المؤثرة في حجم البلورات (الأطباق المختلفة). كيف عرفت ذلك؟
5. فسّر لماذا يختلف شكل البلورات عند نموها؟
6. قارن بين هذه التجربة وتبلور الصهارة في الطبيعة.
7. قوّم العلاقة بين معدل التبريد وتكون البلورات.

### شارك بياناتك

راجع مع أقرانك. ضع ملخصاً لبياناتك، ثم قارنها مع الطلبة في الصف.

### إجراءات السلامة

**احذر:** عند إضافة محلول الشب في أطباق بتري لأول مرة لأنه ساخن، وقد يسبب تهيئاً للجلد. وإذا لامس المحلول الجلد فاغسله بهاء بارد.

### خطوات العمل

1. اقرأ احتياطات السلامة الخاصة بهذا النشاط.
2. خطّط مع زملائك في المجموعة كيف تغيرون معدل تبريد محلول الشب الساخن في أطباق بتري، كل عضو في المجموعة سيختار طبق بتري في مكان محدد مسبقاً لمراقبته في أثناء الاستقصاء. تأكد من موافقة معلمك على الخطة المقترحة للعمل.
3. ضع ورقة مقواة سوداء على سطح مستو، وتأكد أنك وضعتها في المكان المحدد مسبقاً، وضع أطباق بتري فوق الورقة.
4. استعمل كأساً زجاجية للحصول على حوالي 150 mL من محلول الشب فوق المشبع من معلمك. درجة حرارة المحلول دون درجة الغليان؛ أي حوالي 98°C – 95°C.



## دليل مراجعة الفصل

**الفكرة العامة** تقسم الصخور إلى ثلاثة أنواع؛ هي الصخور النارية، والصخور الرسوبية، والصخور المتحولة.

## المفردات

## المفاهيم الرئيسية

## 4-1 ما الصخور النارية؟

- الفكرة الرئيسية** الصخور النارية هي الصخور التي تتكون عندما تبرد المواد المنصهرة الموجودة في باطن الأرض أو على سطحها ثم تتبلور.
- تتكون الصهارة من صخور منصهرة وغازات مذابة وبلورات معادن.
  - تصنف الصهارة إلى بازلتية وأندزيتية وريولايتية؛ اعتماداً على نسبة السيليكا في كل نوع.
  - المعادن المختلفة تنصهر وتبلور عند درجات حرارة مختلفة.



اللاية

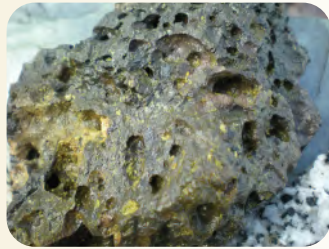
الصخور النارية

الانصهار الجزئي

التبلور الجزئي

## 4-2 تصنيف الصخور النارية

- الفكرة الرئيسية** يعتمد تصنيف الصخور النارية على مكوناتها المعدنية وحجم بلوراتها ونسيجها.
- تصنف الصخور النارية اعتماداً على خصائصها.
  - يعتمد حجم البلورات على معدل التبريد.
  - غالباً توجد الخامات في البيجماتيت، والألماس في الكيمبرليت.
  - تستخدم بعض أنواع الصخور النارية في البناء؛ لصلابتها، وتحملها للضغط، ولجمالها.



الصخور الجوفية

الصخور السطحية

الصخر البازلتي

الصخر الجرانيتي

الصخور المتوسطة

الصخور فوق القاعدية

النسيج

النسيج البورفيرى

النسيج الفقاعي

البيجماتيت

الكمبرليت



# دليل مراجعة الفصل

## 4

## الفصل

### المفاهيم الرئيسية

### المفردات

#### 4-3 تشكل الصخور الرسوبية

- الفكرة الرئيسية** تنشأ الصخور الرسوبية عن تصخر الرسوبيات الناتجة عن عمليتي التجوية والتعرية.
- تتطافر عمليات التجوية والتعرية والترسيب والتصخر لتكوين الصخور الرسوبية.
  - تتصخر الرسوبيات بعملية التراص والسمتة.
  - الأحافير هي كل ما يحفظ من بقايا أو طبقات أو أي آثار لمخلوقات عاشت في الماضي.
  - تحتوي الصخور الرسوبية على معالم مميزة كالتطبق المتدرج والتطبق المتقاطع وعلامات النيم.

الرسوبيات  
التصخر  
التراص  
السمتة  
مادة لاحمة  
التطبق  
التطبق المتدرج  
التطبق المتقاطع

#### 4-4 أنواع الصخور الرسوبية

- الفكرة الرئيسية** تصنف الصخور الرسوبية بناء على طرائق تشكلها.
- الصخور الرسوبية تكون فتاتية أو كيميائية أو كيميائية حيوية.
  - الصخور الرسوبية الفتاتية تتكون من فتات صخري، وتصنف حسب حجم حبيباتها وأشكالها.
  - تتكون الصخور الرسوبية الكيميائية من ترسب معادن مذابة في الماء.
  - تتكون الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية من بقايا مخلوقات كانت تعيش في الزمن الماضي.
  - تفيد الصخور الرسوبية الجيولوجيين في معرفة الظروف التي سادت سطح الأرض في الزمن الماضي.

الصخور الرسوبية الفتاتية  
الفتاتي  
المسامية  
الصخور الرسوبية الكيميائية  
(المتبخرات)  
الصخور الرسوبية الكيميائية  
الحيوية

#### 4-5 الصخور المتحولة

- الفكرة الرئيسية** تنشأ الصخور المتحولة عندما تتعرض صخور سابقة لزيادة الضغط والحرارة والمحاليل الحرارية المائية.
- الأنواع الرئيسية للتحويل هي التحويل الإقليمي والتحويل التماسي والتحويل الحراري المائي.
  - نسيج الصخور المتحولة هما المتورقة وغير المتورقة.
  - في أثناء عملية التحويل تتغير المعادن في صخر ما إلى معادن جديدة مستقرة تحت الظروف الجديدة من الحرارة والضغط.
  - دورة الصخر هي مجموعة العمليات المستمرة التي تؤثر في الصخور وتغيرها من نوع لآخر.

متورقة (صفائحية)  
غير المتورقة (غير صفائحية)  
التحويل الإقليمي  
التحويل بالتماس  
التحويل الحراري المائي  
دورة الصخر

اكتب جملة تستعمل فيها زوج الكلمات في كل مما يأتي:

12. المسامية، الصخر الرسوبي الفتاتي

13. الراسب، التطبق

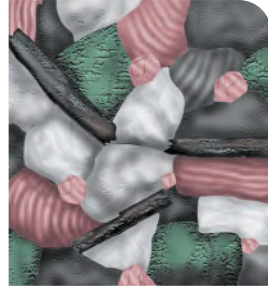
14. فتاتي، المتبخرات

### تثبيت المفاهيم الرئيسية

15. ما أول المعادن التي تتكون عندما تبرد الصهارة؟

- a. الكوارتز  
b. المايكا  
c. الفلسبار البوتاسي  
d. الأوليفين

استعمل الصورتين أدناه في الإجابة عن السؤال 16.



16. ما العملية التي حدثت؟

- a. الانفصال الجزئي  
b. الفصل البلوري  
c. التبلور الجزئي  
d. الانصهار الجزئي
17. أيُّ أنواع الصهارة تحتوي كمية أكبر من السيليكا؟
- a. البازلتية  
b. الأندزيتية  
c. الريولايتية  
d. البيردويتية
18. أيُّ العوامل الآتية لا يؤثر في تكون الصهارة؟
- a. الحجم  
b. درجة الحرارة  
c. الضغط  
d. المكونات المعدنية

### مراجعة المفردات

أكمل الجمل الآتية مستعملاً المفردات المناسبة:

- يسمى النسيج الناري الذي يمتاز باحتوائه على بلورات كبيرة في أرضية من البلورات الصغيرة .....
  - يقال عن الصخور النارية التي تتكون في ظروف تبريد سريعة إنها .....
  - يقال عن الصخور الفاتحة اللون ذات البلورات كبيرة الحجم إنها .....
  - ينتج عن تراص الرسوبيات الفتاتية والتحامها .....
  - تدعى طبقات الصخور الرسوبية التي ترسب مائلة على السطح الأفقي .....
- ضع المصطلح الصحيح بدلاً من الكلمة التي تحتها خط:
- تتصاعد الغازات من الصهارة مع تدفقها على سطح الأرض.
  - يصف مقياس موهس للقساوة الترتيب الذي تتبلور على أساسه المعادن.
  - تتميز الصخور الجرانيتية بلونها الغامق ومحتواها القليل من السيليكا.
  - تتكون اللاية في الأعماق تحت القشرة الأرضية.
  - تحدث السمتة في أثناء استقرار الرسوبيات بتناقص طاقة المياه.
  - تتكوّن الصخور المتحولة الصفائحية من بلورات كتلية الشكل.

23. ما المصطلح الذي يصف الصخور النارية التي تتبلور داخل الأرض؟

a. الصحار c. اللابة

b. الجوفية d. السطحية

24. أيُّ المعدنين أكثر شيوعاً في الجرانيت؟

a. الكوارتز والفلسبار

b. الأوليفين والبيروكسين

c. الفلسبار البلاجيوكليزي وأمفيبول

d. الكوارتز والأوليفين

25. ما الراسب الفتاتي الذي حجم حبيباته أصغر فيما يأتي؟

a. الرمل c. الحصى

b. الطين d. حجر الطمي

26. ما الصخر الفتاتي الخشن الحبيبات الذي يحوي قطعاً مدببة؟

a. الحجر الجيري c. الحجر الرملي

b. الكونجلوميرات d. البريشيا

27. ما الصخر الحيوي الكيميائي الذي يحوي أحافير؟

a. الصوان c. الحجر الرملي

b. الحجر الجيري d. البريشيا

28. أيُّ مما يأتي ليس من عوامل التحول؟

a. التصخر c. الحرارة

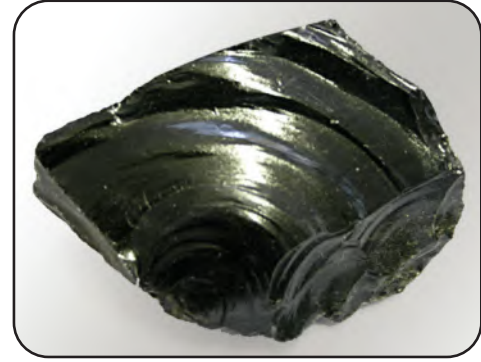
b. المحاليل الحرارية المائية d. الضغط.

19. أي الصخور السطحية الآتية لها مكونات الديوريت نفسها؟

a. الريولايت c. الأوبسيديان

b. البازلت d. الأنديزيت

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤال 20.



20. أيُّ العمليات كوَّنت هذا الصخر؟

a. تبريد بطيء c. تبريد سريع جداً

b. تبريد سريع d. تبريد بطيء ثم سريع

21. أيُّ أنواع الصخور فوق القاعدية تحتوي أحياناً على الألماس؟

a. البيجماتيت c. الجرانيت

b. الكمبرليت d. الريولايت

22. لمعدلات التبريد السريعة أثر في حجم البلورات في الصخور النارية، حيث تكوّن:

a. بلورات صغيرة c. بلورات فاتحة

b. بلورات كبيرة d. بلورات داكنة





## أسئلة بنائية

34. اعمل قائمة ببعض استخدامات الصخور النارية في صناعة البناء.

35. فسّر كيف، ولماذا يختلف الفلسبار البلاجيوكليزي في الصخور البازلتية عنه في الصخور الجرانيتية؟

استعمل الصورتين الآتيتين للإجابة عن السؤالين 36 و 37.



36. ارسم مخططاً انسيابياً لتوثيق عملية تكون الثقوب في عينة البازلت الفقاعي.

37. فكر في الأسباب التي تجعل عينة الخفاف (اليومس) تطفو فوق سطح الماء.

38. وضّح بالرسم كيف يغير التبلور الجزئي مكونات الصحارة من خلال تكون الأوليفين الغني بالحديد.

39. طبق مفاهيم درجة الحرارة والتبلور لتفسير لماذا -في الغالب- توصف الصحارة بأنها مزيج من بلورات وصهير صخري.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين؛ 29 و 30.



29. ما المصطلح الأفضل لوصف نسيج هذا الصخر؟

a. متبلور c. متورق

b. غير متورق d. فتاتي

30. أي صخر ناري يشكل تحوله العينة أعلاه عادة؟

a. الديورايت c. الجرانيت

b. البازلت d. الجابرو

31. أي مما يأتي تتوقع أن تكون مساميته أكبر؟

a. الحجر الرملي c. الحجر الجيري

b. الناييس d. الكوارتزيت

32. أيّ عوامل التعرية ينقل عادة فتاتاً بحجم حبيبات الرمل أو أقل من ذلك فقط؟

a. الانزلاقات الأرضية c. الماء

b. الجليديات d. الرياح

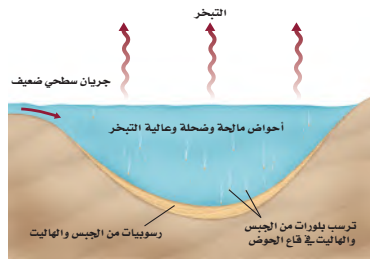
33. أيّ العمليات مسؤولة عن إذابة ونقل المواد من مكان إلى آخر؟

a. التجوية c. الترسيب

b. التعرية d. السمّنة



43. لخص الفرق الرئيس بين صخر الكوكينا والحجر الجيري الأحفوري.
44. احسب كتلة من الحجر الرملي حجمها  $1m^3$ ، ومساميتها 30%. كم لترًا من الماء يمكن أن تستوعب هذه الكتلة؟
45. وضع بالرسم الشرطين الضروريين لتشكّل الصخور المتحولة المتورقة.
46. قارن بين طرائق تصخر الرمل والطين.
47. صنف أنواع الرسوبيات الآتية إلى سيئة الفرز أو جيدة الفرز: رمال الكثبان، مواد الانزلاقات الأرضية، رسوبيات جليدية، رمال الشواطئ.
48. حلل تأثير ترسب معادن الكالسيت أو أكسيد الحديد في الرسوبيات الفتاتية.
49. قارن بين الكونجلوميرات والبريشيا من حيث خصائصها وطرائق تشكّلها.
- استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 50.

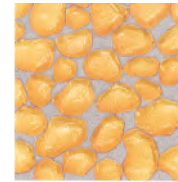


50. قوّم تأثير انفتاح هذه البيئة على المحيط.

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 40 و 41.

مكونات الصخر				
النسبة المئوية للمعدن في الصخر				المعدن
الصخر 4	الصخر 3	الصخر 2	الصخر 1	
0	0	35	5	كوارتز
0	0	15	0	فلسبار بوتاسي
55	0	25	55	فلسبار بلاجيوكليزي
10	0	15	15	بيوتيت
30	0	10	25	أمفيبول
5	40	0	0	بيروكسين
0	60	0	0	أوليفين

40. حلل البيانات في الجدول وفسّر أيّ الصخور أكثر شبهًا بالجرانيت؟
41. استعمل بيانات الصخر 4 وحقيقة أن بلوراته صغيرة، في تحديد اسمه.
- استخدم الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 42.



42. صف كيف تلتصق الحبيبات معًا في الشكل.



## التفكير الناقد

59. مهنة الجيولوجي يعمل بعض علماء الرسوبيات في أماكن استخراج الرمل والحصباء، حيث يخللون هذه المواد لتقرير أفضل الأمكنة، وكيف يستعملونها. استدل على أهمية فهم علماء الرسوبيات لما يحدث لمسامية الرمل إذا اختلطت به رسوبيات ناعمة الحبيبات.
60. وضح بالرسم خزناً بترولياً مكوّناً من طبقات من الرمل والطفل. حدد مكان البترول في الصخور.
61. قوّم ما إذا كانت علامات النيم وآثار أقدام حيوان تعد من الأحافير. فسر إجابتك.
- استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 62 و 63.



62. قوّم الرسوبيات المكونة للطبقات في الشكل السابق. ما نوع هذا التطبق، وهل هو جيد الفرز أم رديء؟ وضح إجابتك.
63. استدل ما عامل التعرية الذي يمكن أن يُنتج الطبقات الموضحة في الشكل؟ وضح ذلك.
64. استنتج لماذا تكون القطع الزجاجية الموجودة على الشاطئ المكون من الرمل الكوارتزي مستديرة، بينما تكون حادة إذا كانت على شاطئ مكون من الرمل الكربوناتي؟

51. قارن بين الأوبسيديان والجرانيت لتوضيح سهولة نحت الجرانيت لعمل لوحات فنيّة.
52. قوّم هذه العبارة: من الممكن أن يكون محتوى الصهارة من السيليكا كبيراً، مقارنة بالصخر الذي تكون منها.
53. طبق ما تعرفه عن قساوة المعادن لتفسير عدم خدش سكاكين الفولاذ غير القابل للصدأ لشفرة قطع الجرانيت.
54. استدل تُعد صخور الكيمبرليت مصدر معظم الألماس. لماذا يدرس العلماء صخور الكيمبرليت ليتعرفوا المزيد عن ستار الأرض؟
55. قوّم تتكون الصخور عموماً من المعادن، وعندما يبرد الصخر المنصهر بسرعة كبيرة يتحول إلى زجاج، والزجاج البركاني عبارة عن صخر ناري سطحي. قوّم إذا كان هذا الصخر يحتوي على المعادن أم لا. فسر إجابتك (ملاحظة: تذكر تعريف المعدن في الفصل الأول).
56. استدل. لماذا تكون الصخور المكونة من المعادن التي تتبلور أولاً حسب سلاسل تفاعلات باون غير مستقرة وتتحلل بسرعة على سطح الأرض؟
57. كوّن فرضية كيف تبدو عتبة باليسيد إذا كان تركيب الصهارة جرانيتياً؟
58. اربط ما تعلمته عن أشكال البلورات لتفسير عدم تكون التورق في الرخام، رغم أنه تشكّل تحت ضغط عالٍ.

68. كَوْنُ فرضية. تُستنفد الكربونات على عمق 4000 m تقريباً من سطح مياه المحيط. وتحت هذا العمق لا تترسب الكربونات، ولا تتراكم الأصداف على قاع المحيط. كَوْنُ فرضية تفسّر فيها سبب وجود هذا الشرط في المحيط.

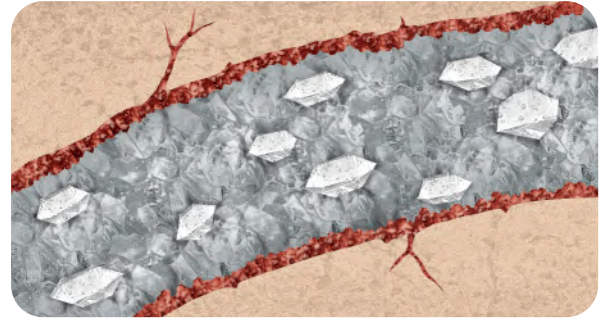
### خريطة مفاهيمية

65. استعمل المصطلحات الآتية في عمل خريطة مفاهيم تبين العلاقات بين المواقع في القشرة الأرضية والستار وحجم البلورات ونوع الصخر: سريع، بطيء، الأبطأ، جوفي، سطحي، صهارة، لابة، جرانيت، ريولايت، بازلت، جابرو، أوبسيديان، خفاف.

66. استخدم المصطلحات الآتية لبناء خريطة مفاهيم تنظم معالم الصخور الرسوبية: علامات النيم، تطبق متدرج، تطبق أفقي، غير متماثل، متماثل، تيار نهري، حركة الأمواج، ترسيب الرياح، ترسيب المياه. يمكن أن تستعمل بعض المصطلحات أكثر من مرة.

### سؤال تحفيز

استعمل الصورة الآتية في الإجابة عن السؤال 67.



67. حدد. يوضح الشكل مقطعاً عرضياً لعرق في صخر ناري. ما مراحل تكوّن هذا العرق الصخري؟





## اختيار من متعدد

استعمل الجدول أدناه للإجابة عن السؤالين 1 و 2

خصائص الصخور			
المكونات	محتوى السيليكا	اللون	
كوارتز وفلسبار	مرتفع	فاتح	الصخر A
أوليفين وبلاجيوكليز	منخفض	غامق	الصخر B

1. ما نوع الصخر الأكثر شبهًا بالصخر A؟

- a. الجرانيت  
b. البازلت  
c. البيردوتيت  
d. الديوريت

2. ما نوع الصخر B؟

- a. الجرانيت  
b. الديوريت  
c. الجابرو  
d. البيجماتيت

3. أيُّ المواد الآتية أكثر وفرة في الصهارة، ولها تأثير كبير في خصائصها؟

- a. O  
b. Ca  
c. Al  
d. SiO<sub>2</sub>

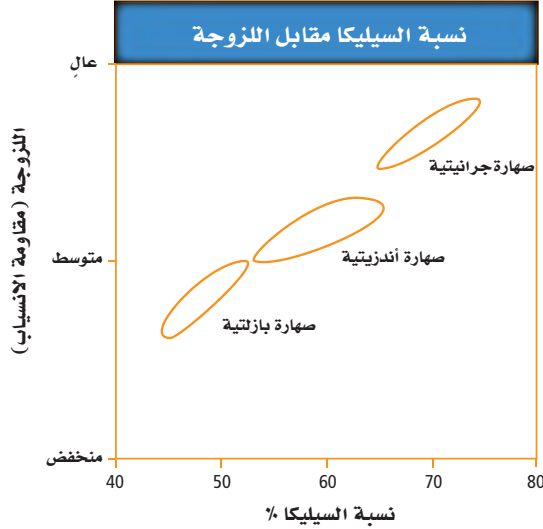
4. ما العملية التي تصف انتقال بلورات المعادن وانفصالها عن الصهارة؟

- a. الانصهار الجزئي  
b. التبلور الجزئي  
c. الممال الحراري  
d. الانفصال الجزئي

5. أيُّ الخصائص الآتية لا تُستعمل في تعرّف المعادن؟

- a. القساوة  
b. اللون  
c. الكثافة  
d. الحجم

استعمل الرسم البياني الآتي في الإجابة عن السؤالين 6 و 7.



6. ما العلاقة التي يمكن استخلاصها من الرسم البياني؟

a. الصهارة التي تحتوي على سيليكات أكثر تكون أعلى لزوجة.

b. الصهارة التي تحتوي على سيليكات أقل تكون أعلى لزوجة.

c. لزوجة الصهارة منخفضة دائماً.

d. لا توجد علاقة بين محتوى السيليكا واللزوجة.

7. ما العبارة الصحيحة حول الصهارة الجرانيتية؟

a. أثقل من النوعين الآخرين من الصهارة.

b. أخف من النوعين الآخرين من الصهارة.

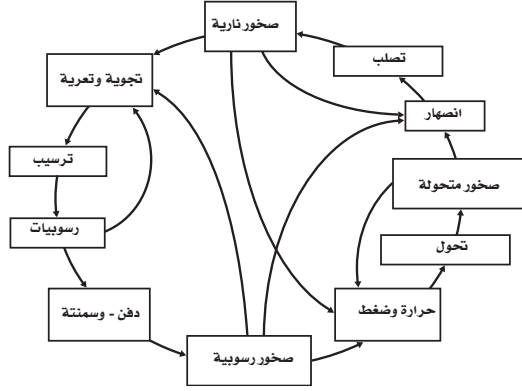
c. تنساب بسرعة أكبر من النوعين الآخرين من الصهارة.

d. تنساب أبطأ من النوعين الآخرين من الصهارة.



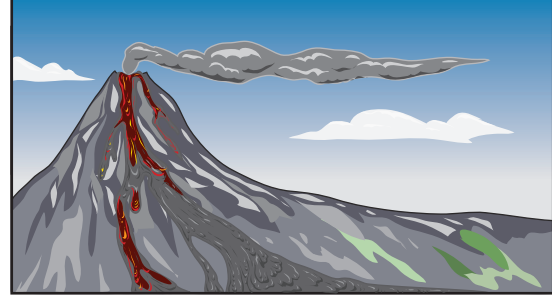
# اختبار مقنن

استعمل الشكل الآتي في الإجابة عن السؤالين 13 و 14.



13. بناء على المخطط أعلاه، كيف تتكون الصخور النارية؟
- a. ارتفاع في درجات الحرارة والضغط لصخور موجودة، دون حدوث انصهار لها.
- d. انصهار لصخور موجودة، ثم تصلبها.
- c. دفن وسمنتة للرسوبيات، ثم تصلبها.
- d. تجوية وتعرية للصخور، ثم تصلبها.
14. اعتماداً على دورة الصخر الموضحة أعلاه، ما الاحتمال الذي تتوقع حدوثه أكثر، بعد توضع الرسوبيات؟
- a. تشكّل التجوية المزيد من الرسوبيات.
- d. تبرّد الصهارة وتشكّل صخوراً نارية.
- c. تتسبب الحرارة والضغط في صهر الرسوبيات.
- d. تحدث السمنتة وتشكّل الصخور الرسوبية.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 8 و 9.

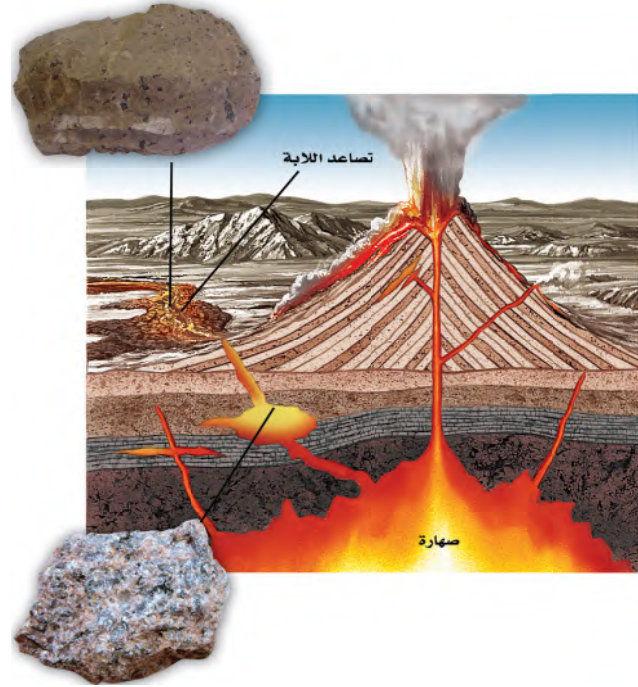


8. ما الصخور الأكثر احتمالاً أن تتحول بسبب انسيابات اللابة؟
- a. الصخور التي في فوهة البركان؛ حيث تكون اللابة أسخن.
- b. الصخور التي في الفوهة والصخور الواقعة على طول الجزء العلوي من الجبل.
- c. جميع الصخور التي على الجبل.
- d. جميع الصخور التي يصلها انسياب اللابة.
9. ما نوع الصخر الذي يتشكّل، بعد أن تبرد اللابة وتبلور؟
- a. الرسوبي
- b. المتحول
- c. الناري السطحي
- d. الناري الجوفي
10. ما الاسم الشائع لـ NaCl؟
- a. ملح الطعام
- b. سكر
- c. ماء
- d. كلور طبيعي
11. ما الخطوة الأولى التي تبدأ بها عملية تغير الرسوبيات إلى صخور رسوبية؟
- a. التطبق
- b. الدفن
- c. السمنتة
- d. التراصّ
12. ما الصخور المتحولة المكونة من معادن ذات بلورات كتلية الشكل؟
- a. المتورقة
- b. غير المتورقة
- c. الناييس
- d. الشيست



## أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن الأسئلة 15 و 16



15. ما نوع الصخر المبيّن أسفل الصورة؟ أعط مثالاً على صخر شائع من هذا النوع، ووضح كيف يتكون هذا النوع.
16. ما نوع الصخر المبيّن أعلى الصورة؟ أعط مثالاً لصخر شائع من هذا النوع، ووضح كيف يتكون هذا النوع.
17. ما الفرق بين طريقة تكون نوعي الصخور النارية؟
18. ما المقصود بأن المعدن يتكون طبيعياً، ومن أصل غير عضوي؟
19. لماذا تصنف بعض المعادن على أنها معادن نفيسة؟

استخدم الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 20 و 21.



20. ما الذي تلاحظه في تشكّل الصخر الرسوبي أعلاه؟

21. هل تمثل هذه العملية التراص أم السمّنتة؟ صف الفرق بين العمليتين.

22. كيف تُساعد دراسة طبقات الصخور الرسوبية وفهم كيفية تشكّلها علماء الأحافير في تعرّف تاريخ الأرض؟

## القراءة والاستيعاب

### براكين قاع المحيط

تتصاعد أعمدة الرماد البركاني وقطرات الكبريت المنصهر، ويتجمع الروبيان على وليمية من الأسماك التي قتلتها اللابة المتدفقة من فوهة البركان. هذا وصف لمشهد من فيلم تمّ تصويره مؤخراً تحت سطح الماء غرب المحيط الهادي.

المناظر التي يعرضها هذا الفيلم حقيقية، التقطت لبركان نشط من البراكين التي شكلت أقواس الجزر البركانية.

تحدث هذه البراكين بمحاذاة الأخاديد البحرية؛ حيث تنزلق صفيحة أرضية تحت صفيحة أخرى، وفي مقابل البراكين التي تحدث عند ظهر المحيط، حيث تتباعد الصفائح عن بعضها، فإن المقذوفات البركانية عند الأخاديد تتراكم بعضها فوق بعض، حيث ترتفع الجبال البركانية تدريجياً حتى تصل فوق سطح الماء، وتشكل الجزر البركانية. لقد مكّنت التقنيات الحديثة العلماء من دراسة النشاط البركاني عند أقواس الجزر البركانية عن قرب، مما مكّنهم من الحصول على معلومات واقعية عن عمليات تكوّن بعض هذه الجزر، ومنها جزيرة ماريانا. حيث تم رصد النشاط البركاني لجزيرة ماريانا للمرة الأولى عام 2004، ورغم أن النشاط البركاني في الجزيرة يحدث بمعدل ثابت وضعيف إلا أن ذلك لا يعني أنه كان نشطاً خلال العصور الماضية. وهذا يساعد العلماء على تصور الآلية التي تتكون بها هذه الجزيرة.



# اختبار مقنن

عمر طبقات الصخور الرسوبية			
الطبقة	المكونات	العمر المقدر (بالسنوات)	العمق (بالأمتار)
M	صخور رسوبية	100,000	0 - 4.95
N	صخور رسوبية	غير معروف	5 - 7.95
O	صخور رسوبية	6 ملايين	8 - 8.95
P	صخور رسوبية	6.1 مليون	9 - 10

25. ما الذي كان ينبغي على علماء الأحافير تسجيله لتحسين نوعية المعلومات؟

a. الوقت من السنة.

b. عمر الطبقة N.

c. تحديد موقع العمل.

d. كتلة الصخور الرسوبية.

26. إذا وجدت نوعاً من الأحافير في الطبقتين P و O ولم تجده في الطبقتين M و N فماذا تستنتج؟

a. لا يعيش النوع في أي مكان من الأرض في الوقت الحاضر.

b. اختفى وصاد نوع آخر بدلاً عنه.

c. لقد انقرض النوع قبل أقل من 100,000 سنة مضت.

d. لقد اختفى النوع من المنطقة قبل 6 ملايين سنة تقريباً.

بعد قراءتك للنص أجب عن الأسئلة الآتية:

23. ما أهمية الدراسات الحديثة لجزيرة ماريانا؟

a. تعطي العلماء فرصة لإلقاء نظرة واقعية على العمليات التي تشكل الجزر البركانية.

b. تكشف أن البراكين يمكن أن تستمر في الثوران عقوداً طويلة.

c. تكشف عن أسرار الحياة قرب فوهات البراكين.

d. تمثل أول ملاحظة مباشرة على البراكين النشطة عند أقواس الجزر البركانية.

24. ماذا تستنتج من النص؟

a. تستمر البراكين في الثوران بمستوى ثابت من الشدة.

b. تحدث البراكين عند ظهر المحيط فقط.

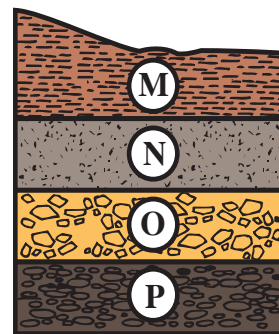
c. الروبيان يأكل الأسماك الميتة فقط.

d. هناك نشاط بركاني في مواقع مختلفة تحت سطح الماء.

طبقات الصخور الرسوبية

يرغب علماء الأحافير في دراسة طبقات الصخور الرسوبية ومكوناتها في منطقة معينة. ويوضح الشكل أدناه مقطعاً طويلاً لطبقات صخور مدروسة. أما الجدول فيوضح المعلومات التي استطاع العلماء جمعها.

استعن بالشكل والجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 25 و 26





# الصفائح الأرضية وآثارها Earth's Plates and their effects

# 5

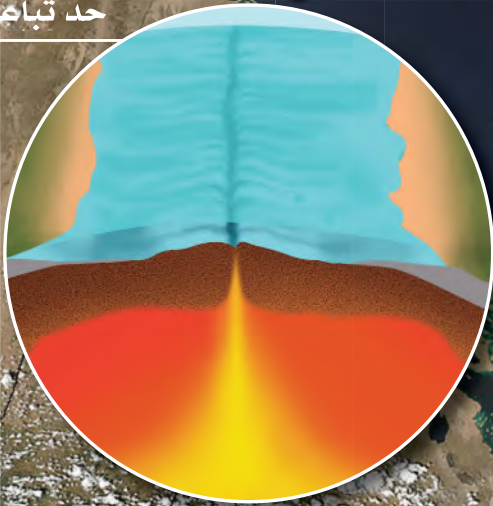
# الفصل



بركان الجبل الأبيض

نشاط بركاني

حد تباين



**الفكرة العامة** تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح، وتشكل البراكين من الصهارة القادمة من باطن الأرض. وتنتج بعض الزلازل بفعل الحركة على طول الصدوع في القشرة الأرضية.

## 1-5 انجراف القارات

**الفكرة الرئيسة** تدل جيولوجية القارات وأشكالها على أنها كانت متصلة معاً يوماً ما.

## 2-5 توسع قاع المحيط

**الفكرة الرئيسة** تتشكل القشرة المحيطية عند ظهر المحيط وتصبح جزءاً من قاعه.

## 3-5 حدود الصفائح وأسباب حركتها

**الفكرة الرئيسة** تتشكل كل من البراكين والجبال والأخاديد البحرية وتحدث الزلازل بين حدود الصفائح، وتؤدي تيارات الحمل في الستار إلى حركة الصفائح الأرضية.

## حقائق جيولوجية

- نشأ البحر الأحمر نتيجة انفصال الجزيرة العربية عن إفريقيا قبل 27 مليون سنة تقريباً.
- أظهرت نتائج صور الأقمار الاصطناعية أن قاع البحر الأحمر يتوسع بمعدل 2 cm سنوياً تقريباً، لذا يطلق الجيولوجيون عليه المحيط الصغير، ويتوقع أن يصبح قاعه محيطاً حقيقياً في المستقبل.
- توجد الصفائح العربية - وتظهر جزء منها في هذه الصورة - عن يمين البحر الأحمر، وصفائح إفريقيا على يساره.

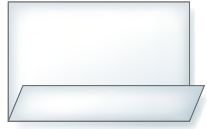
## نشاطات تمهيدية

### حدود الصفائح

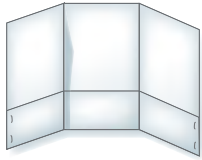
اعمل المطوية الآتية للمقارنة بين أنواع حدود الصفائح والمعالم الجيولوجية المرتبطة معها.

### المطويات

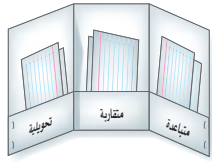
#### منظمات الأفكار



**الخطوة 1** اثن الطرف السفلي للورقة طولياً بمقدار 3 cm، ثم اضغط على الجزء المطوي إلى أعلى.



**الخطوة 2** اثن الورقة إلى ثلاثة أجزاء متساوية.



**الخطوة 3** ألصق الجزء المثني من الورقة من الجوانب لعمل ثلاثة جيوب، وعنونها على النحو الآتي: متباعدة، متقاربة، تحويلية.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراسة القسم 3-5، لخص الخصائص

الجيولوجية لأنواع حدود الصفائح الثلاث والعمليات المرافقة لها على بطاقات معنونة، وضعها في الجيوب المناسبة لها.

## تجربة استهلاكية

### هل تتحرك مدينة جدة؟

كانت الجزيرة العربية جزءاً من قارة إفريقيا إلى أن حدث شق عظيم بينهما يُدعى حفرة الانهدام. وأخذ هذا الشق يتوسع ببطء، ثم اندفعت فيه المياه من خليج عدن حتى تكوّن البحر الأحمر وخليج العقبة والسويس، واستمر البحر في التوسع بمعدل 2 cm كل عام، وهذا يعني أن مدينة جدة تبتعد أكثر فأكثر عن شرق إفريقيا وتتحرك في اتجاه الشمال الشرقي.



### الخطوات

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر في دليل التجارب العملية.
2. حدّد المسافة الفعلية بين مدينة جدة في المملكة العربية السعودية ومدينة بورسودان في جمهورية السودان، وكذلك بين مدينتي جدة ومكة المكرمة باستعمال المسطرة المترية ومقياس رسم الخريطة.
3. احسب تغير المسافة بين مدينتي جدة وبورسودان، وبين مدينتي جدة ومكة المكرمة بعد 50 مليون سنة، مع افتراض أن البحر الأحمر يتوسع بالمعدل نفسه على طول الخط الواصل بين مدينتي جدة وبورسودان.

### التحليل

1. استنتج ما القوى التي أدت إلى ابتعاد شبه الجزيرة العربية عن قارة إفريقيا؟
2. احسب المدة الزمنية التي يستغرقها البحر الأحمر ليزداد عرضه 100 km عن عرضه الحالي، إذا كان معدل توسعه 2 cm في العام الواحد.







# 5-1

## انجراف القارات

### الأهداف

• تتعرف الأدلة التي جعلت العالم فاجنر يقترح أن القارات قد تحركت.

• تناقش كيف دعم دليل المناخ القديم فرضية انجراف القارات.

• توضح لماذا لم تحظ فرضية انجراف القارات بالقبول في البداية.

### مراجعة المفردات

الفرضية: تفسير لموقف ما قابل للاختبار.

### المفردات الجديدة

الانجراف القاري  
بانجيا

## Drifting Continents

**الفكرة الرئيسية** تدل جيولوجية القارات وأشكالها على أنها كانت متصلة معًا يومًا ما.

**الربط مع الحياة** ما خصائص القطع التي تستعملها في لعبة تركيب القطع (البازل)؟ يستعمل العلماء خصائص - منها الشكل والموقع - لكي تساعد على معرفة لماذا تتشابه حواف القارات وتتطابق على الرغم من تباعدها.

### الملاحظات القديمة Early observation

باستثناء الأحداث المفاجئة كالزلازل والبراكين والانزلاقات الأرضية، فإن معظم معالم سطح الأرض لا تظهر تغيراً نسبياً واضحاً في أثناء حياة الإنسان. ومع ذلك فإن الأرض مرت بتغيرات كثيرة عبر تاريخها الطويل الموثق في سلم الزمن الجيولوجي. وأول من اقترح فكرة تغير المعالم الرئيسة للأرض هم رسامو الخرائط. ففي نهاية القرن الخامس عشر لاحظ رسام الخرائط الهولندي إبراهيم أورتيليوس تطابقاً بين حافات القارات على جانبي المحيط الأطلسي، فاقترح أن القارتين الأمريكيتين الشمالية والجنوبية قد انفصلتا عن قارتي أوروبا وإفريقيا بسبب الزلازل والفيضانات. وقد لاحظ العديد من العلماء وجود تطابق بين الحواف القارية. ويوضح الشكل 1-5 خريطة أعدّها رسامو الخرائط في القرن التاسع عشر.

وكان أول من اقترح فكرة حركة القارات العالم الألماني ألفريد فاجنر Alfred Wegener في فرضيته العلمية التي قدمها عام 1912م إلى الأوساط العلمية آنذاك.

✓ **ماذا قرأت؟ استنتج** ما الذي جعل رسامي الخرائط من أوائل الذين اقترحوا أن القارات كانت متصلة معًا يومًا ما؟



القارات بعد الانفصال



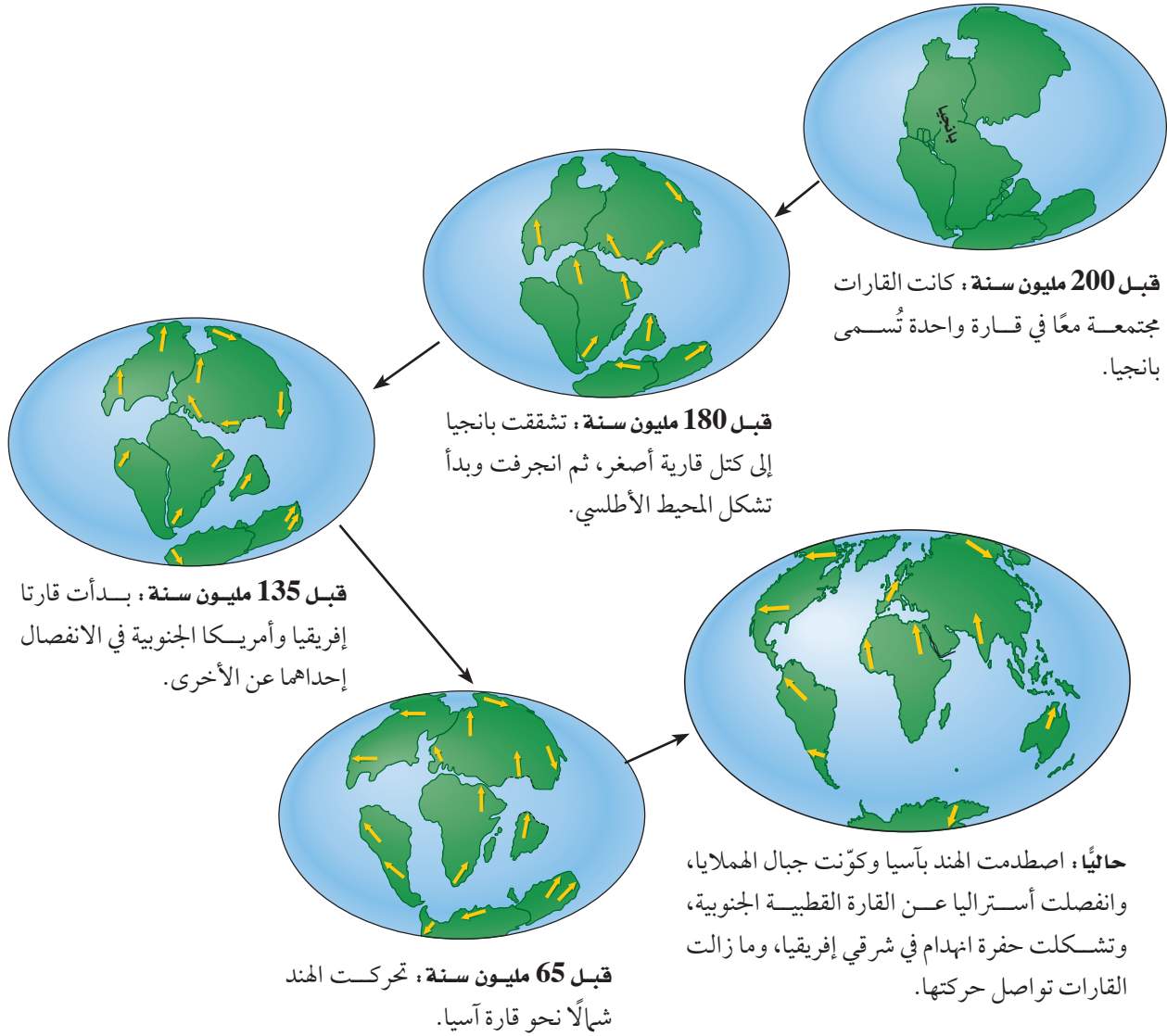
القارات قبل الانفصال

الشكل 1-5 خريطتان تظهران التطابق الظاهري بين حواف القارات، أعدّها رسامو الخرائط القدماء عام 1858م، بناءً على ملاحظاتهم.

## الانجراف القاري Continental Drift

طوّر العالم فاجنر فكرة تُسمى **الانجراف القاري Continental drift**، وفيها أن القارات كانت مجتمعة معاً في قارة واحدة ضخمة (القارة الأم أو الأصل) أُطلق عليها **بانجيا Pangaea**. وهي كلمة من أصل إغريقي تعني جميع اليابسة، واقترح أن هذه القارة بدأت في الانقسام قبل 200 مليون سنة، وانفصل بعضها عن بعض إلى أجزاء، ثم انجرفت هذه الأجزاء، واستمرت في الحركة ببطء حتى وصلت إلى مواقعها الحالية، كما في الشكل 2-5.

**أدلة فاجنر على الانجراف القاري Wegener Evidences for Continental Drift** يُعد ألفريد فاجنر أول عالم قدّم أكثر من دليل على تطابق شواطئ القارات على جانبي المحيط الأطلسي. وقد جمع أدلة، صخرية ومناخية وأحفورية تدعم فكرته.



الشكل 2-5 تنص فرضية فاجنر على أن القارات كانت مجتمعة معاً في قارة واحدة قبل 200 مليون سنة، ثم انجرفت حتى وصلت إلى مواقعها الحالية.

**حدّد** أجزاء بانجيا التي تشكلت منها القارتان الأمريكيتان الشمالية والجنوبية. متى كانتا متحدتين؟ ومتى انفصلتا؟





**التكوينات الصخرية Rock formations** بيّن فاجنر أنه عندما بدأت بانجيا في الانقسام إلى أجزاء أصغر، تكسرت تراكيب جيولوجية ضخمة، منها السلاسل الجبلية؛ بسبب انفصال القارات وتباعدها. وبناءً على ذلك اعتقد فاجنر أنه لا بد من وجود تشابه في أنواع الصخور على جانبي المحيط الأطلسي. وقد لاحظ تشابهاً بين العديد من الطبقات الصخرية التي يزيد عمرها على 200 مليون سنة في جبال الأبلاتش في أمريكا الشمالية مع الطبقات الصخرية للجبال في جرينلاند وأوروبا، مما يدعم فكرته أن القارات كانت مجتمعة معاً قبل 200 مليون سنة. ويوضح الشكل 3-5 المواقع التي تشابه عندها مجموعات الصخور المشار إليها.

**الأحافير Fossils** جمع فاجنر أدلة أحفورية يثبت فيها وجود قارة بانجيا في وقت ما؛ حيث عثر على أحافير لأنواع مختلفة من الحيوانات والنباتات كانت تعيش على اليابسة، وتنتشر انتشاراً واسعاً في القارات، كما في الشكل 3-5، واستطاع أن يبرهن على صحة فرضيته من خلال مجموعة من هذه الأحافير، منها أحفورة الميزوسورس؛ وهو نوع من الزواحف كان يعيش في المياه العذبة فقط، وغير قادر على السباحة مسافات طويلة في مياه المحيط المالحة، مما يؤكد أن القارات كانت متصلة معاً في زمن حياة هذه المخلوقات الحية التي عاشت على بانجيا قبل انقسامها انظر الشكل 4-5، ولذلك استطاع أن يبرهن على صحة فرضيته.

الشكل 3-5 استعمل ألفريد فاجنر التشابه بين أنواع الصخور والأحافير على جانبي المحيط الأطلسي دليلاً على أن القارات كانت مجتمعة معاً يوماً ما. حدّد المجموعات التي تثبت أن القارات كانت تشكل قارة واحدة يوماً ما.



الشكل 4-5 كانت القارات متصلة مع بعضها البعض قبل 200 مليون سنة وقد سميت بانجيا.



الشكل 5-5 يدل وجود توضعات الفحم الحجري في القارة القطبية المتجمدة على أن نباتات المستنقعات قد ازدهرت في هذه المنطقة يوماً ما.

وضح كيف أن الفحم الحجري الذي تكوّن في المستنقعات القديمة قد وجد في القارة القطبية الجنوبية؟

## المناخ القديم Ancient climate استنتاج فاجنر أن يجدد

المناخات القديمة من خلال دراسة الأحافير، ومن الأحافير التي استعملت لدعم فرضية انجراف القارات أحفورة جلاساتروس، وهي أحفورة لنبات سرخسي بذري يشبه الشجيرات الصغيرة؛ وقد عُثر عليها في أماكن متعددة، منها أمريكا الجنوبية والقارة القطبية الجنوبية والهند، انظر الشكل 5-3. وقد فسّر فاجنر هذا الدليل على النحو الآتي: لأن هذه الأحفورة موجودة في الوقت الحاضر في أماكن منفصلة بعضها عن بعض ومتباعدة جداً يصعب أن يسود فيها مناخ واحد، ولأن نبات هذه الأحفورة يعيش في مناخ معتدل، والأماكن التي وجدت فيها أحافير هذا النبات قريبة من خط الاستواء، لذا استنتج فاجنر من ذلك كله أن هذه الأماكن التي تحوي أحفورة هذا النبات لا بد أنها كانت متصلة معاً يوماً ما، في مكان معتدل المناخ.

✓ **ماذا قرأت؟ استنتج** كيف ساعدت خلفية فاجنر العلمية في الأرصاد الجوية على دعم فكرته حول انجراف القارات؟

## توضعات الفحم الحجري Coal deposits

توفر الصخور الرسوبية، أدلة على البيئة والمناخ القديمين. وقد وجد العالم فاجنر أدلة في بعض الصخور تثبت بوضوح أن المناخ قد تغير في بعض القارات؛ فقد وُجدت توضعات من الفحم الحجري في القارة القطبية الجنوبية، انظر الشكل 5-5. ولما كان الفحم الحجري قد تكوّن نتيجة تراكم نباتات ميتة قديمة في مستنقعات المناطق الاستوائية، لذا اعتبر فاجنر أن وجود طبقة من الفحم الحجري في القارة القطبية الجنوبية يدل دلالة قطعية على أن القارة القطبية الجنوبية كانت تقع على خط الاستواء أو قريبة منه في الزمن البعيد.

## الترسبات الجليدية Glacial deposits

تُعدُّ الترسبات الجليدية التي وُجدت في أجزاء من إفريقيا والهند وأستراليا وأمريكا الجنوبية، التي يعود عمرها إلى 290 مليون سنة دليلاً مناخياً آخر على انجراف القارات، مما جعل فاجنر يقترح أن هذه المناطق كانت ذات يوم مغطاة بغطاء سميك من الجليد، كما هو الحال في القطب الجنوبي اليوم؛ إذ لا يمكن لمناطق دافئة جداً أن تتشكل فيها أغشية جليدية، مما يؤكد أنها كانت في موقع قريب من القطب الجنوبي في ذلك الوقت، انظر الشكل 5-6. وقد اقترح فاجنر احتمالين لتفسير الترسبات الجليدية؛ الأول: أن القطب الجنوبي قد غيّر موقعه، والثاني: أن هذه القارات كانت في موقع القطب الجنوبي وغيّرت مواقعها. وقد رجّح فاجنر الاحتمال الثاني، وهو أن القارات هي التي جُرّفت بعيداً.



الشكل 5-6 إن وجود الترسبات الجليدية التي يعود عمرها إلى 290 مليون سنة في عدة قارات جعلت فاجنر يقترح أن هذه القارات كانت مجتمعة معاً ومغطاة بالجليد في ذلك الوقت. ويبين اللون الأبيض المنطقة المغطاة بالجليد.

## قصور فرضية الانجراف القاري

### Failure Hypothesis of Continental Drift

كانت الفكرة السائدة في المجتمع العلمي في مطلع القرن العشرين أن قيعان المحيطات والقارات هي معالم ثابتة لا تتغير مع الزمن، مما جعل فاجنر يواصل رحلاته والسفر إلى مناطق نائية لجمع المزيد من الأدلة التي تدعم فكرته. وعلى الرغم من أنه حصل على مجموعة قيمة من البيانات، إلا أن فكرة الانجراف القاري لم تُقبل في المجتمع العلمي آنذاك.

وقد واجهت فرضية الانجراف القاري مشكلتين رئيسيتين منعتا قبولها:

أولاً: لم توضح على نحو مقنع القوة التي يتطلبها دفع الكتل الكبيرة من القارات ونقلها مسافات بعيدة. وقد أفاد فاجنر أن دوران الأرض حول نفسها قد يكون هو القوة المسؤولة عن ذلك بحسب اعتقاده، غير أن الفيزيائيين بينوا أن هذه القوة لا تكفي لتحريك القارات. ثانياً: تساءل العلماء عن آلية حركة القارات؛ حيث اقترح فاجنر أن القارات تحركت فوق قيعان المحيطات الثابتة، وكان يعتقد في ذلك الوقت أن ستار الأرض الذي يقع أسفل القشرة الأرضية صلب، فكيف تتحرك القارات عبر شيء صلب؟

وبسبب عجز فرضية انجراف القارات في الرد على هذين السببين تم رفضها في ذلك الوقت. غير أن التقنية الجديدة منذ مطلع الستينات كشفت عن المزيد من الأدلة حول كيفية حركة القارات، مما جعل العلماء يعيدون النظر في أفكار فاجنر؛ فقد أدى إعداد الخرائط المتطورة لقيعان المحيطات وفهم المجال المغناطيسي للأرض إلى تقديم أدلة جوهرية حول آلية حركة القارات ومصدر القوى المحركة لها.

## التقويم 1-5

### الخلاصة

- يوحى تطابق شواطئ القارات على جانبي المحيط الأطلسي بأن القارات كانت مجتمعة معاً يوماً ما.
- الانجراف القاري فكرة وُضعت في بداية القرن الماضي، تنص على أن القارات تتحرك فوق قيعان المحيطات.
- جمع فاجنر أدلة من الصخور والأحافير والمناخات القديمة لدعم فرضيته.
- لم تقبل فكرة الانجراف القاري لأنها لم تفسر كيفية حركة القارات، وما يسبب حركتها.

### فهم الأفكار الرئيسية

- ارسم كيف كانت القارات مجتمعة معاً في قارة بانجيا.
- وضح كيف تدعم الرسوبيات الجليدية القديمة الموجودة في إفريقيا والهند وأستراليا والقارة القطبية الجنوبية فكرة الانجراف القاري.
- لخص كيف تزودنا الصخور والأحافير والمناخ القديم بأدلة على الانجراف القاري؟
- استنتج كيف كان مناخ أمريكا الشمالية عندما كانت جزءاً من قارة بانجيا.

### التفكير الناقد

- فسّر من خلال الشكل 6-5، اكتشفت ترسبات نفطية في البرازيل عمرها 200 مليون سنة تقريباً. فأين يمكن أن يعثر الجيولوجيون على ترسبات نفطية لها العمر نفسه؟
- قوم الجملة الآتية: "موقع المدينة التي أسكنها ثابت لا يتغير".

### الكتابة في الجيولوجيا

- اكتب عن إحدى الرحلات الاستكشافية التي قام بها العالم فاجنر، مع توضيح رأيك العلمي حول ما توصل إليه خلالها.







## 5-2

### توسّع قاع المحيط

## Seafloor Spreading

**الفكرة الرئيسية** تتشكل القشرة المحيطية عند ظهر المحيط وتصبح جزءاً من قاعه.

**الرابط مع الحياة** هل قمت يوماً بعدّ الحلقات السنوية في جذع شجرة لمعرفة عمرها؟ يستطيع العلماء تقدير عمر قاع المحيط من خلال دراسة أنماط مشابهة.

### رسم خرائط لقاع المحيط Mapping the Ocean Floor

اعتقد معظم الناس والعديد من العلماء حتى منتصف القرن الماضي أن سطح قاع المحيطات عموماً مستو، كما كانت تسيطر عليهم مفاهيم خاطئة حول القشرة المحيطية بأنها لا تتغير، وهي أقدم عمراً من القشرة القارية. بيد أن التقدم في التقنية في الأربعينات والخمسينات من القرن الماضي أظهر أن جميع هذه الأفكار التي كانت مقبولة على نطاق واسع غير صحيحة.

ويعد **جهاز قياس المغناطيسية Magnetometer** إحدى التقنيات المتقدمة التي استعملت لدراسة قاع المحيط، انظر الشكل 7a-5، وهو جهاز صغير يُستعمل للكشف عن التغيرات الطفيفة في المجالات المغناطيسية، ويوصل خلف السفينة لتسجيل المجالات المغناطيسية لصخور قاع المحيط.

وهناك تطور آخر أتاح للعلماء دراسة قاع المحيط بقدر كبير من التفصيل، وهو تطوير طرائق السبر الصوتي. ومن الأدوات المستعملة في ذلك السونار؛ وهو جهاز يستعمل الموجات الصوتية لتحديد المسافات عن طريق قياس الزمن الذي تستغرقه هذه الموجات المرسلّة من السفينة إلى قاع البحر حتى ارتدادها عنه وعودتها إلى السفينة انظر الشكل 7b-5، وقد مكنت التطورات في مجال تقنية السونار العلماء من قياس عمق المياه، ثم رسم خريطة لتضاريس قاع المحيطات.

### الأهداف

- تُلخّص الأدلة التي أدت إلى اكتشاف توسّع قاع المحيط.
- توضّح أهمية الأنماط المغناطيسية في قاع المحيط.
- توضّح عملية توسّع قاع المحيط.

### مراجعة المفردات

**البازلت**: صخر ناري سطحي ناعم الحبيبات لونه رمادي داكن إلى أسود.

### المفردات الجديدة

- جهاز قياس المغناطيسية
- ظهر المحيط
- الانقلاب المغناطيسي
- المغناطيسية القديمة
- تساوي العمر
- توسّع قاع المحيط
- الأخدائد البحرية



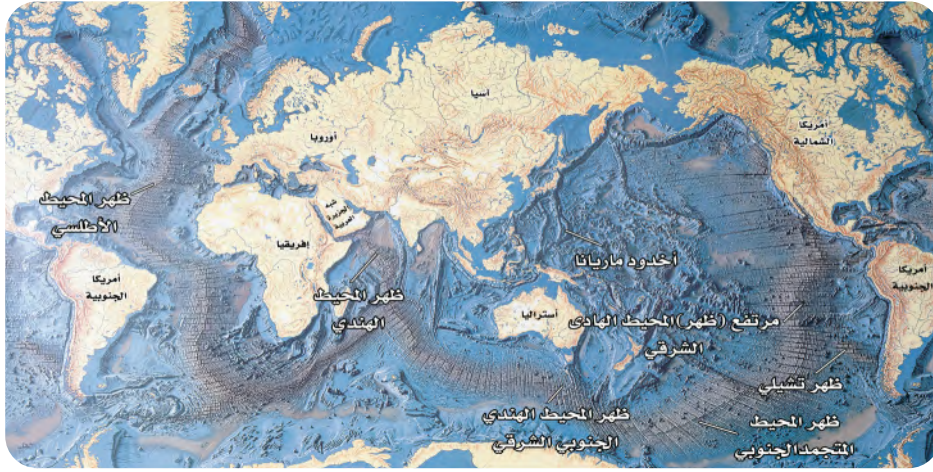
الشكل 7-5

**a:** يُستعمل جهاز قياس المغناطيسية للكشف عن التغيرات الطفيفة في المجالات المغناطيسية.

**b:** يستعمل جهاز السونار لتحديد عمق المياه وتضاريس قاع المحيط.

وقد عززت البيانات التي جُمعت بهذين الجهازين فهم العلماء للصخور والتضاريس الموجودة في قاع المحيط.





يوجد هذا الشكل مكبّرًا في مرجعيات الطالب في نهاية الكتاب

الشكل 5-8 كشفت البيانات المسجلة بالسونار وجود ظهور المحيطات والأخاديد البحرية العميقة. حيث يكثر على امتدادهما الزلازل والبراكين.

## تضاريس قاع المحيط Ocean-Floor Topography

أدهشت الخرائط التي رُسمت باستعمال بيانات جهازي قياس المغناطيسية والسونار العلماء، وساعدتهم على اكتشاف أن للمحيطات تضاريس، كما لليابسة. انظر الشكل 5-8 الذي يبين تضاريس المحيطات الرئيسية. ومن أهم التضاريس التي أثارت فضول العلماء سلسلة جبلية ضخمة تمتد على طول قيعان المحيطات في جميع أنحاء الأرض؛ أطلقوا عليها اسم **ظهر المحيط Ocean ridge**، وهي أطول سلسلة جبلية على كوكب الأرض؛ إذ يصل طولها إلى 80000 km، وارتفاعها إلى 3 km فوق قاع المحيط، واكتشفوا فيما بعد أن الزلازل والبراكين تحدث على امتدادها بصورة مستمرة.

### ✓ ماذا قرأت؟ صف أين توجد أطول سلسلة جبلية على الأرض؟

كما كشفت خرائط السونار تضاريس أخرى تحت سطح الماء، وهي عبارة عن أخاديد ضيقة عميقة تمتد طويلاً في قاع البحر آلاف الكيلومترات تسمى الأخاديد البحرية، انظر الشكل 5-8. ويعد أخدود ماريانا في المحيط الهادي أعمق أخدود بحري؛ إذ يزيد عمقه على 11 km. فلو وضعنا جبل إفرست - وهو أعلى جبل في العالم؛ حيث يبلغ ارتفاعه 9 km فوق مستوى سطح البحر - في هذا الأخدود، بالإضافة إلى ما يساوي ارتفاع برج المملكة سبع مرات تقريباً، فسوف نصل إلى مستوى سطح البحر.

### المفردات

#### مفردة أكاديمية

#### الأخدود

منطقة منخفضة عند حدود الصفائح تنتج عن انزلاق صفيحة تحت صفيحة أخرى.  
المعنى اللغوي: شق مستطيل في الأرض.



## صخور ورسوبيات المحيطات

### Ocean Rocks and Sediments

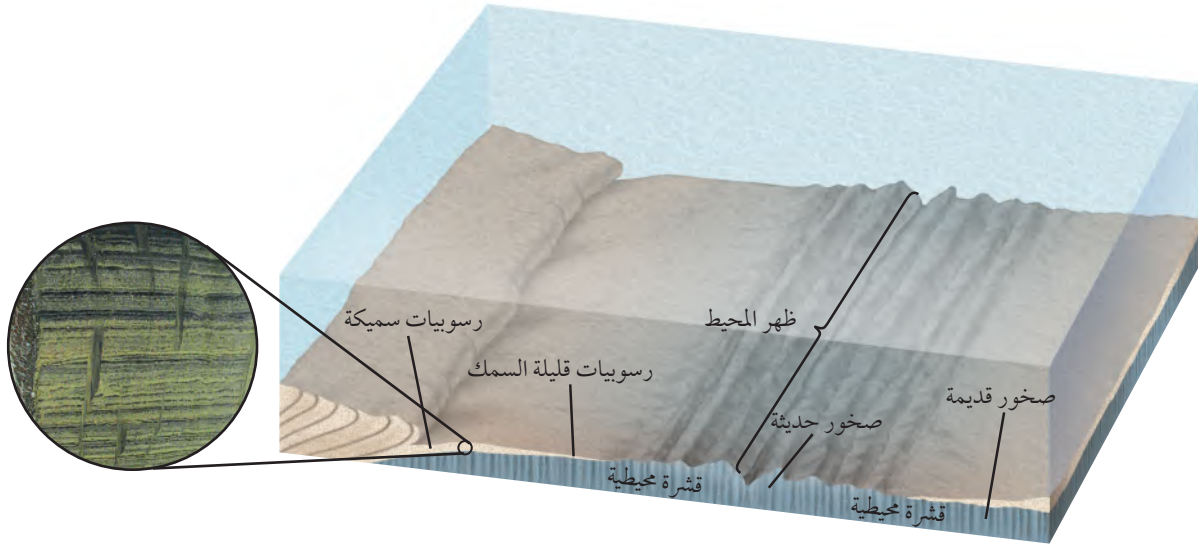
لم يكتفِ العلماء برسم خرائط لقاع المحيط، بل قاموا بجمع عينات من صخور قاع المحيط ورسوبياته وحللوها، وتوصلوا إلى اكتشافات مهمة، منها: الاكتشاف الأول: أن اختلاف أعمار الصخور عبر قاع المحيط وفق نمط معين يمكن توقعه؛ حيث تزداد أعمار الصخور القشرة المحيطية كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط نحو القارات، وبصورة متناظرة على جانبيه، انظر الشكل 9-5. كما اكتشف العلماء أن أقدم صخور قاع المحيط لا يزيد عمرها على 180 مليون سنة تقريباً، وهو عمر قصير مقارنة بعمر أقدم صخور القشرة القارية الذي لا يقل عن 3.5 مليارات سنة. فلماذا تعد صخور قشرة المحيط أقل عمراً مقارنة بعمر صخور القشرة القارية؟ ولما كان الجيولوجيون يعرفون أن المحيطات كانت موجودة قبل 180 مليون سنة، فقد دفعهم هذا إلى التساؤل: لماذا لا يوجد أثر للقشرة المحيطية التي يزيد عمرها على 180 مليون سنة؟

أما الاكتشاف الثاني: فيتعلق برواسب قاع المحيط؛ إذ تشير القياسات إلى أن سُمك رسوبيات المحيطات يصل إلى بضعة مئات من الأمتار عادة، بينما يصل سُمك الصخور الرسوبية التي تغطي مساحات واسعة من القارات إلى 20 كيلومتراً. وعلى الرغم من أن العلماء يعرفون أن المحيطات تتعرض لعملية الحث والترسيب، إلا أنهم لم يعرفوا لماذا يقل سُمك رواسب قاع المحيط عن سُمك نظيراتها القارية، فافترضوا أن سُمك الرسوبيات مرتبط مع عمر القشرة المحيطية، وهذا ما أيّدته الملاحظات الميدانية؛ إذ يزداد سُمك الرواسب مع زيادة البعد عن ظهر المحيط، وبصورة متناظرة على جانبيه، كما في الشكل 9-5.

#### المهنة في علم الأرض

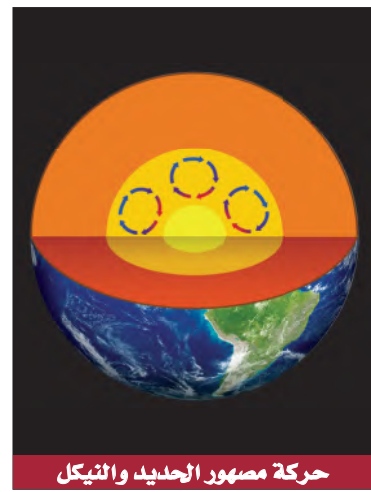
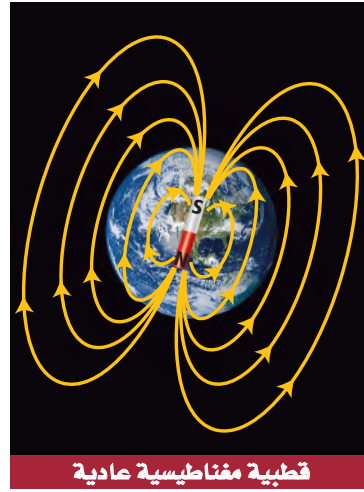
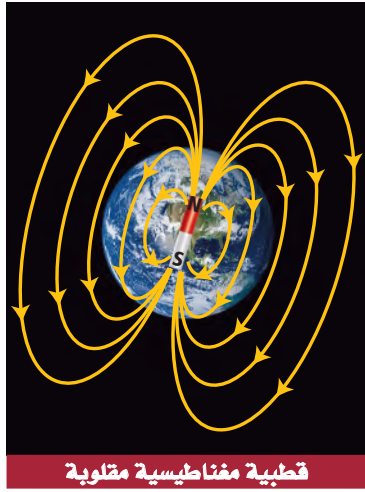
##### الجيولوجيا البحرية

يتم من خلالها دراسة قاع المحيط لفهم العمليات الجيولوجية مثل حركة الصفائح الأرضية.



الشكل 9-5 كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط ازداد كل من: عمر صخور قشرة المحيط، وسُمك الرسوبيات.





## المغناطيسية Magnetism

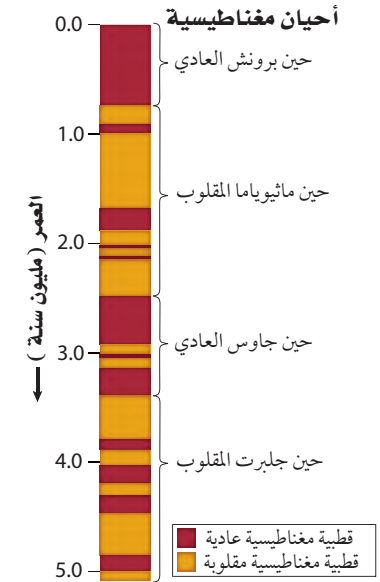
كما تعلم فإن الأرض تقسم إلى ثلاثة أجزاء رئيسية هي: القشرة والستار واللب. ويتكون اللب من جزأين: لب خارجي يوجد في الحالة السائلة، ويتكون معظمه من الحديد والنيكل. ولب داخلي يوجد في الحالة الصلبة. واللب الخارجي هو المسؤول عن المغناطيسية الأرضية. وتولد حركة مصهور الحديد والنيكل في اللب الخارجي للأرض تياراً كهربائياً، ينشأ عنه مجال مغناطيسي للأرض، انظر الشكل 10-5. ويؤدي ذلك إلى تكون قطبين مغناطيسيين: شمالي وجنوبي. ويسمى اتجاه قطبي المجال المغناطيسي القطبية المغناطيسية العادية عندما يكون اتجاه القطبين في اتجاه قطبي الأرض المغناطيسيين نفسه، كما هو في الوقت الحاضر.

وعندما يتغير اتجاه حركة مصهور الحديد والنيكل في اللب الخارجي يحدث تغير في اتجاه سريان التيار الكهربائي، ومن ثم التغير في اتجاه الأقطاب المغناطيسية الأرضية. ويطلق على هذا قطبية مغناطيسية مقلوبة، انظر الشكل 10-5. ويسمى تغير قطبية المجال المغناطيسي للأرض من عادية إلى مقلوبة **الانقلاب المغناطيسي Magnetic reversal**. وقد حدث الانقلاب المغناطيسي عبر تاريخ الأرض مرات عديدة.

**السلم الزمني للقطبية المغناطيسية Magnetic polarity time scale** هي دراسة لتاريخ المجال المغناطيسي للأرض. فعندما تتبلور المعادن الحاملة للحديد في اللابة - مثل تبلور معدن الماجنتيت - فإنها تتصرف في أثناء تبلورها مثل البوصلات الصغيرة، فيتخذ مجالها المغناطيسي اتجاه المجال المغناطيسي للأرض. ومن خلال بيانات المغناطيسية القديمة التي جمعت من دراسات اللابة القارية استطاع العلماء بناء السلم الزمني المغناطيسي، كما في الشكل 11-5.

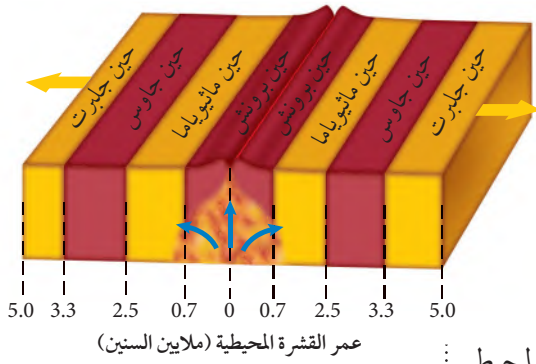
**اتماثل المغناطيسي Magnetic symmetry** لأن معظم القشرة المحيطية تتكون من صخور بازلتية وتحتوي على كميات كبيرة من المعادن البركانية المنشأ الحاملة للحديد، فقد افترض العلماء أن صخور قاع المحيط لا بد أنها تحتفظ بسجلات للانقلابات المغناطيسية. لذا بدؤوا اختبار فرضيتهم باستخدام جهاز قياس المغناطيسية؛ لقياس اتجاهات المجالات المغناطيسية لصخور قاع المحيط، وخلصوا

الشكل 10-5 يتولد المجال المغناطيسي للأرض بفعل جريان مصهور الحديد والنيكل في اللب الخارجي. وتتغير قطبية المجال المغناطيسي للأرض من قطبية مغناطيسية عادية إلى قطبية مغناطيسية مقلوبة نتيجة تغير اتجاه جريان المصهور.



الشكل 11-5 تتعاقب فترات القطبية المغناطيسية العادية مع فترات القطبية المغناطيسية المقلوبة، وتسمى التغيرات الطويلة في المجال المغناطيسي الأرضي (أحياناً)، ومفردتها حين، والتغيرات القصيرة (أحداثاً).





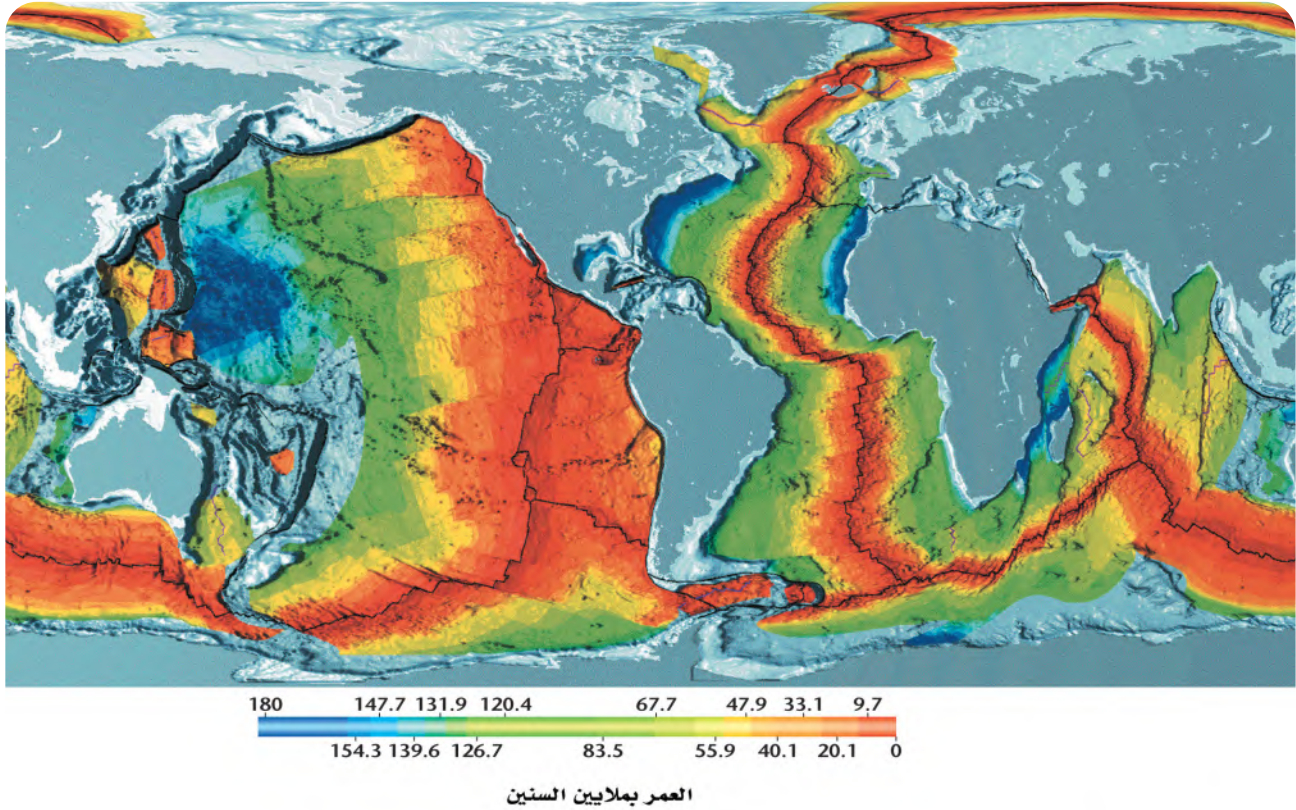
■ قطبية مغناطيسية عادية  
■ قطبية مغناطيسية مقلوبة

الشكل 12-5 سجلات القطبية العادية والمقلوبة للمجال المغناطيسي الأرضي في صخور قاع المحيط.

حدّد قطبية البازلت المتكون حديثاً في ظهر المحيط.

على نتائج مذهلة، منها وجود سلسلة من أشرطة مغناطيسية موازية لظهر المحيط ذات قطبية مغناطيسية عادية ومقلوبة بصورة متعاقبة ومتوازية، ولكنهم اندهشوا أكثر عندما اكتشفوا أن أعمار الأشرطة المغناطيسية وعرضها متماثلة على جانبي ظهر المحيط. قارن النمط المغناطيسي على جانبي ظهر المحيط في الشكل 5-12.

استطاع العلماء تحديد عمر قاع المحيط من خلال مقارنة الأنماط المغناطيسية المقلوبة في قاع المحيط بمثلاتها المعروفة على اليابسة. وقد مكّنتهم هذه الطريقة من إعداد خرائط تساوي العمر **Isochron** لجميع قيعان المحيطات، كما في الشكل 5-13. وخط تساوي العمر خط وهمي على الخريطة يصل بين نقاط لها العمر نفسه. لاحظ أيضاً من الشكل أن القشرة المحيطية الحديثة توجد بالقرب من ظهور المحيطات، في حين أن القشرة المحيطية القديمة تكون على طول الأضاد البحرية.



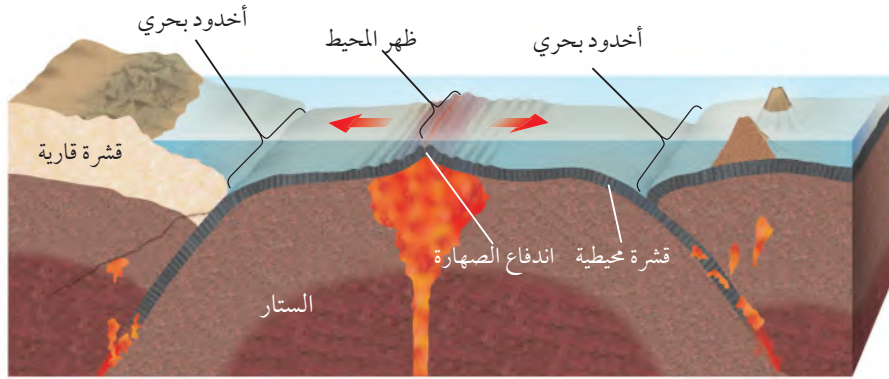
الشكل 13-5 تمثل كل حزمة لونية في خريطة تساوي أعمار قاع المحيط عمر قطاع من قشرة المحيط.

لاحظ. ما النمط الذي تلاحظه في خريطة تساوي العمر؟

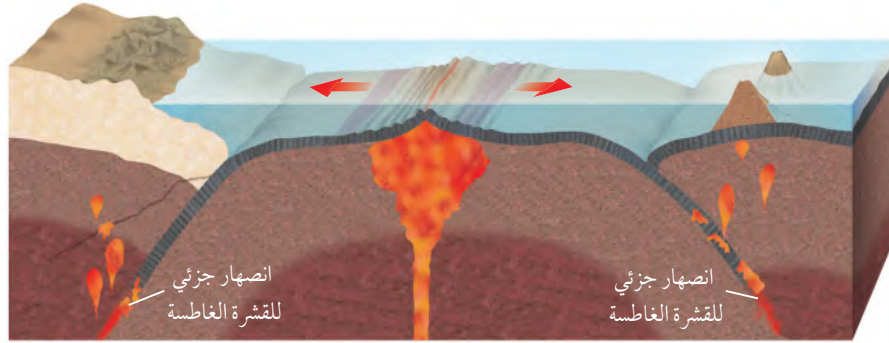


# توسع قاع المحيط Seafloor Spreading

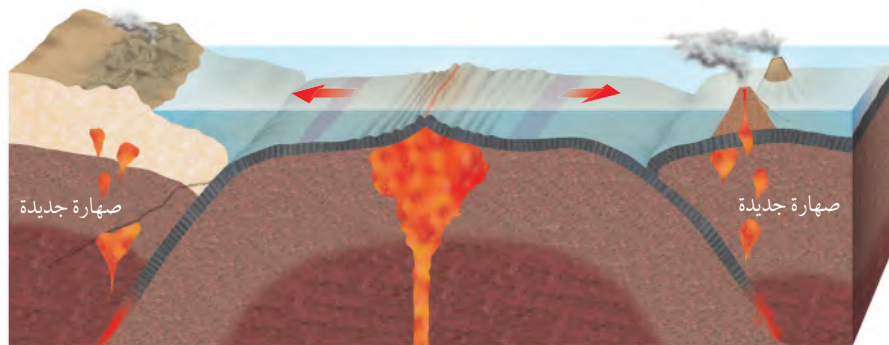
الشكل 14-5 بيانات تضاريس قاع المحيط ورسوبياته ومغناطيسيته القديمة قادت العلماء إلى اقتراح فرضية توسع قاع المحيط. وتوسع قاع المحيط عملية تتشكل من خلالها قشرة محيطية جديدة عند ظهور المحيطات، ثم تتحرك هذه القشرة ببطء بعيداً عن مركز التوسع حتى تُطرح ويعاد تدويرها عند الأحاديد البحرية.



1. تندفع الصهارة إلى قاع المحيط من خلال الفراغات التي تشكلت على امتداد سلسلة ظهر المحيط، وتتصلب مشكّلة قشرة محيطية جديدة.



2. يؤدي استمرار اندفاع الصهارة وتوسع قاع المحيط ببطء إلى تشكيل قشرة محيطية جديدة وبشكل متساوٍ على جانبي ظهر المحيط.



3. تغرس الأطراف البعيدة للقشرة المحيطية التي تشكلت عند ظهر المحيط أسفل القشرة القارية في الستار، وبسبب وجود المياه داخل الصخور المكونة للصفائح تقل درجة الانصهار وتنصهر الصفائح الغاطسة مكونة صهارة جديدة، ثم ترتفع الصهارة وتتصلب داخل القشرة أو على السطح وتصبح جزءاً من القشرة القارية.



## توسع قاع المحيط Seafloor Spreading

وضعت فرضية توسع قاع المحيط Seafloor spreading بناء على بيانات تضاريس قاع المحيط ورسوبياته ومغناطيسيته القديمة، وتنص على أن القشرة المحيطية الجديدة تتشكل عند ظهور المحيطات، وتستهلك عند الأخاديد البحرية Ocean trenches. ويوضح الشكل 14-5 كيف تحدث عملية توسع قاع المحيط. حيث تندفع الصهارة إلى أعلى في أثناء توسع قاع المحيط؛ لأنها أسخن وأقل كثافة من الصخور التي حولها، وتملأ الفراغات الناتجة عن ابتعاد جانبي ظهر المحيط أحدهما عن الآخر، وعندما تتصلب الصهارة تتشكل قشرة محيطية جديدة تُضاف إلى سطح الأرض. وباستمرار عملية التوسع على طول ظهر المحيط تندفع صهارة أخرى إلى أعلى وتتصلب. ويؤدي استمرار التوسع واندفاع الصهارة إلى استمرار تكوّن قشرة محيطية، تتحرك ببطء مبتعدة عن ظهر المحيط. وتحدث عملية التوسع غالباً تحت سطح البحر. أما في جزيرة آيسلندا- وهي جزء من ظهر المحيط الأطلسي- فيحدث التوسع فوق مستوى سطح البحر. انظر الشكل 15-5 الذي يبين تدفق اللابة على طول ظهر المحيط. وقد درست سابقاً أن فاجنر جمع العديد من البيانات لدعم فكرة انجراف القارات فوق سطح الأرض، إلا أنه لم يتمكن من تفسير كيف تحركت القارات، وسبب حركتها. لاحظ أن فكرة توسع قاع المحيط هي الحلقة المفقودة التي كان يحتاج إليها لإكمال نموذجه عن انجراف القارات؛ فالقارات لم تندفع فوق قشرة المحيط كما اقترح فاجنر، بل تتحرك القشرة المحيطية ببطء مبتعداً بعضها عن بعض عند ظهور المحيطات ساحبةً معها القارات. وستعرف في القسم التالي كيف أدت فرضية توسع قاع المحيط إلى فهم جديد لكيفية حركة كل من القشرة الأرضية وأعلى الستار الصلب بوصفه قطعة واحدة.



الشكل 15-5 تقع جزيرة آيسلندا بأكملها على مركز توسع ظهر المحيط الأطلسي؛ لذا يزداد حجمها باستمرار، فمثلاً تدفق أكثر من  $12 \text{ km}^3$  من اللابة البركانية عام 1783 م. وفي عام 2011م حدث ثوران لبركان في جنوب شرق آيسلندا، كان سبباً في تعطيل الملاحة الجوية في أوروبا.

## التقويم 2-5

### الخلاصة

- توفر الدراسات التي أجريت على قيعان المحيطات أدلة على أنها ليست مستوية، وأنها تتغير باستمرار.
- القشرة المحيطية صغيرة العمر من الناحية الجيولوجية.
- تتكون قشرة محيطية جديدة عند ظهر المحيط عندما ترتفع الصهارة وتتصلب.
- عندما تتشكل قشرة محيطية جديدة تتحرك القشرة المحيطية القديمة مبتعدةً عن ظهر المحيط.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. صف لماذا تشبه عملية توسع قاع المحيط حركة الحزام الناقل (المتحرك)؟
2. وضح كيف توفر كل من صخور قاع المحيط ورسوبياته أدلة على توسع قاع المحيط؟
3. مميّز بين مصطلحي: القطبية المغناطيسية العادية، والقطبية المغناطيسية المقلوبة.
4. صف تضاريس قاع المحيط.

### التفكير الناقد

5. وضح كيف تدعم خريطة تساوي العمر لقاع المحيط فرضية توسع قاع المحيط؟
6. حلل لماذا يكون عرض الأشرطة المغناطيسية في شرق المحيط الهادي أكبر من نظائرها في المحيط الأطلسي؟

### الرياضيات في الجيولوجيا

7. حلّل الشكل 11-5، ما نسبة فترات القطبية المغناطيسية المقلوبة في آخر خمسة ملايين سنة



# 5-3

## الأهداف

- تصف كيف تتشكل معالم الأرض بفعل حركة الصفائح الأرضية.
- تقارن بين أنواع حدود الصفائح الأرضية الثلاث والمعلم المرتبطة مع كل منها.
- توضح العمليات الجيولوجية المصاحبة لنطاقات الطرح.
- تلخص كيف ترتبط حركة الصفائح مع تيارات الحمل.
- تقارن بين عمليتي الدفع عند ظهر المحيط والسحب للصفائح.

## حدود الصفائح وأسباب حركتها

### Plate Boundaries and Causes For motion

**الفكرة الرئيسية** تتشكل كل من البراكين والجبال والأخاديد البحرية وتحدث الزلازل بين حدود الصفائح، وتؤدي تيارات الحمل في الستار إلى حركة الصفائح الأرضية.

**الربط مع الحياة** لو وضعت إناء من الحساء في مجمد الثلاجة وتركته فترة من الزمن فستتجمد المواد الدهنية في الحساء مكونة طبقة صلبة، ولو أملت الإناء إلى الأمام وإلى الخلف، فستشني هذه الطبقة وتشقق. هذا النموذج يشبه العلاقة بين الصفائح الأرضية المختلفة.

### نظرية حركية الصفائح Theory of Plate Tectonics

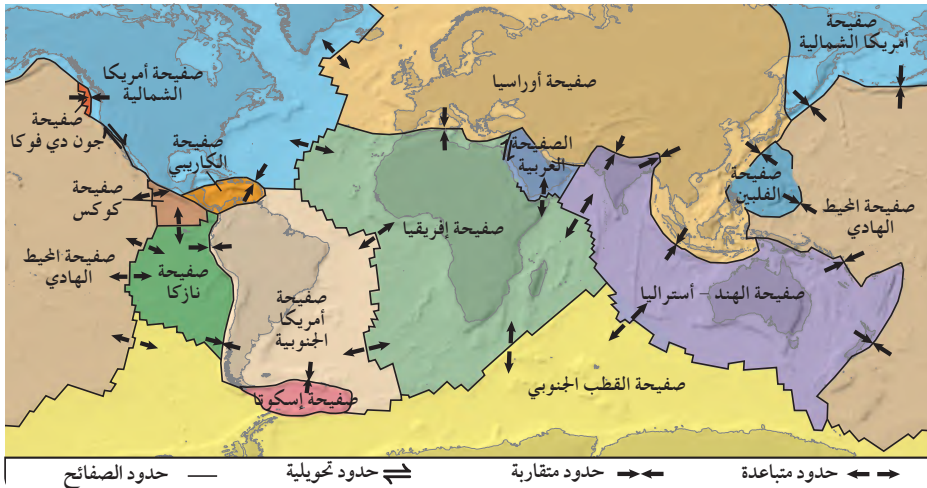
يشير الدليل على توسع قاع المحيط إلى أن القشرة القارية والقشرة المحيطية تتحركان بوصفها صفائح ضخمة، يطلق عليها الجيولوجيون الصفائح الأرضية **Tectonic Plates** وهي قطع ضخمة من الغلاف الصخري الذي يتكون من القشرة الأرضية وأعلى الستار الصلب، وتتطابق حواف بعضها مع بعض لتغطي سطح الأرض. ويوضح الشكل 16-5 الصفائح الأرضية الرئيسية ومجموعة من الصفائح الصغيرة. وتتحرك الصفائح الأرضية حركة بطيئة جداً (بضعة سنتيمترات في السنة). وتصف نظرية الصفائح الأرضية حركة الصفائح ومعالم سطح الأرض الناجمة عن هذه الحركة؛ حيث تتحرك الصفائح الأرضية في اتجاهات ومعدلات مختلفة بعضها بالنسبة إلى بعض، وتتفاعل معاً عند حدودها، مما يؤدي إلى تكوين معالم جيولوجية مختلفة بحسب نوع حدود الصفائح، فتقرب الصفائح الأرضية بعضها من بعض عند الحدود المتقاربة، ويتعد بعضها عن بعض

### مراجعة المفردات

**ظهر المحيط:** معلم رئيس يمتد على طول قاع المحيط ويرتفع عن القاع 3 km تقريباً، ويوجد في وسطه واد عميق.

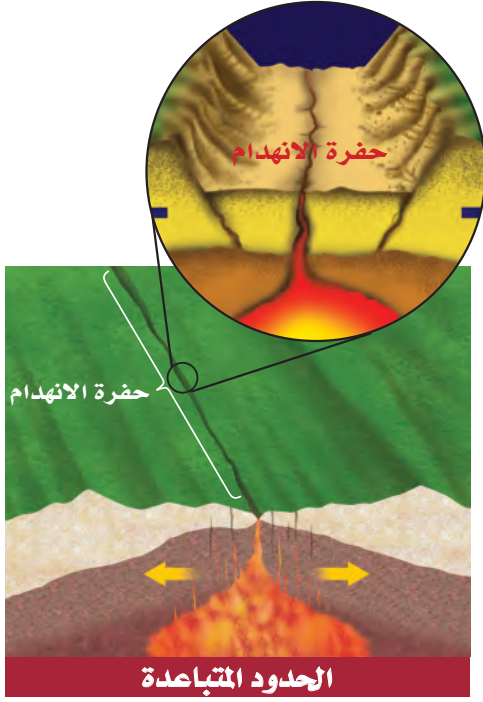
### المفردات الجديدة

الصفائح الأرضية  
الحدود المتباعدة  
حفرة الانهدام  
الحدود المتقاربة  
الطرح  
الحدود التحويلية  
الدفع عند ظهر المحيط  
سحب الصفائح



الشكل 16-5 تتكون الصفائح الأرضية من القشرة الأرضية وأعلى الستار الصلب وتتفاعل هذه الصفائح معاً عند حدودها.





الشكل 17-5 الحدود المتباعدة هي الأماكن التي يحدث عندها انفصال الصفائح؛ ويعد ظهور المحيطات في قاع المحيط وحفر الانهدام في القارات - ومنها حفرة الانهدام العظيم في شرق إفريقيا - مثالاً على حدود المتباعد.

عند الحدود المتباعدة، وتتحرك أفقياً متحاذاة عند الحدود التحويلية (الانزلاقية).

**الحدود متباعدة Divergent boundaries** تسمى المناطق التي تباعد عندها الصفائح بعضها عن بعض الحدود المتباعدة **Divergent boundaries**. وتوجد معظم الحدود المتباعدة على امتداد قاع المحيط في حفر الانهدام **Rift valleys** التي تقع في وسط ظهر المحيط. وهي منخفض طولي ضيق يتكون نتيجة تباعد الصفائح بعضها عن بعض، وتبدأ في هذا المكان عملية توسع قاع المحيط. وتشكل القشرة المحيطية الجديدة في معظم الحالات عند الحدود المتباعدة، فضلاً عن ارتباط هذه الحدود بالبراكين والزلازل والتدفق الحراري الأرضي المرتفع نسبياً.

✓ **ماذا قرأت؟** حدد السبب الذي يجعل الزلازل والبراكين ترتبط مع ظهور المحيطات.

يمكن أن تسبب عملية توسع قاع المحيط عبر ملايين السنين زيادة عرض القاع على نطاق واسع. وعلى الرغم من أن معظم الحدود المتباعدة تشكل ظهور المحيطات في قيعان المحيطات، إلا أن بعضها يتشكل في القارات. فعندما تبدأ القشرة القارية في الانفصال إلى أجزاء طولية تتشكل حفرة الانهدام، ويوضح الشكل 17-5 حفرة الانهدام العظيم التي تتشكل حالياً في شرق إفريقيا، وقد تتطور في النهاية إلى حوض محيطي جديد.

## تجربة

### عمل نموذج لتشكّل قاع المحيط

كيف أدت الحدود المتباعدة إلى تشكّل جنوب المحيط الأطلسي؟ أدت حدود التباعد قبل 150 مليون سنة إلى انقسام قارة كانت موجودة سابقاً، ومع مرور الوقت أضيفت قشرة جديدة على طول الحدود المتباعدة، وزاد الاتساع بين إفريقيا وأمريكا الجنوبية.

### خطوات العمل



1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. استعمل خريطة العالم لإنشاء نموذجين ورقيين لقارتي أمريكا الجنوبية وإفريقيا.
3. ضع نموذجي القارتين في وسط ورقة كبيرة، وطابقهما معاً على طول سواحلها الأطلسية.

### التحليل

1. قارن الخريطة التي رسمتها لتمثل المرحلة الأخيرة بخريطة العالم الحالية. هل عرض جنوب المحيط الأطلسي في الخريطين هو نفسه؟
2. تأمل إلام تعود الفروق بين العرض الفعلي لجنوب المحيط الأطلسي الحالي وعرضه وفق نموذجك؟



## الحدود متقاربة **Convergent boundaries** تقترب الصفائح

بعضها من بعض عند الحدود المتقاربة **Convergent boundaries**. فعندما تصطدم صفيحتان معاً فإن الصفيحة الأكبر كثافة تغوص تحت الأقل كثافة. وتسمى هذه العملية الطرح **Subduction**. وتتكون القشرة المحيطية من معادن غنية بالحديد والماغنسيوم تكوّن الصخور البازلتية، وهي صخور داكنة ذات كثافة كبيرة نسبياً، انظر الشكل 18-5. أما القشرة القارية فيتكون معظمها من الصخور الجرانيتية، وهي صخور فاتحة اللون وقليلة الكثافة نسبياً وتتكون من معادن الفلسبار، انظر الشكل 18-5. ويؤثر اختلاف كثافة القشرة في كيفية حدوث عملية التقارب. وبناءً على ذلك، توجد ثلاثة أنواع من الحدود المتقاربة، انظر الجدول 1-5، ولاحظ أيضاً التضاريس المصاحبة لكل نوع منها.

## تقارب محيطي-محيطي **Oceanic-oceanic** تحدث عملية الطرح

في التقارب المحيطي - المحيطي عندما تقترب صفيحة محيطية من صفيحة محيطية أخرى، وتغوص الصفيحة الأكبر كثافة نتيجة للتبريد تحت الصفيحة الأخرى، وتؤدي هذه العملية إلى تشكيل الأخدود البحري، وعندما تهبط الصفيحة الغاطسة في الستار يحدث لها انصهار جزئي؛ حيث يعمل الماء الموجود في الصفيحة على خفض درجة الانصهار، فتتصهر الصفيحة انصهاراً جزئياً على أعماق قليلة، وتكون الصهارة الناتجة أقل كثافة من الصخور المحيطة بها، فترتفع إلى أعلى في اتجاه السطح، وتثور مشكّلة قوساً من الجزر البركانية يوازي الأخاديد البحرية. ومن ذلك أخدود وأقواس جزر ماريانا في غرب المحيط الهادي، وأخدود وأقواس جزر ألوشيان في شمال المحيط الهادي.

## تقارب محيطي-قاري **Oceanic-continental** تحدث عملية

الطرح أيضاً في حالة تقارب محيطي-قاري. حيث تُطرح القشرة المحيطية؛ لأن كثافتها أكبر من الصفيحة القارية، كما ينجم عن هذا النوع من التقارب أخدود بحري وقوس بركاني يتشكل على شكل سلسلة من البراكين تمتد على طول حافة الصفيحة القارية. ومن المعالم المرتبطة مع هذا النوع من التقارب كل من سلسلة جبال الأنديز وأخدود بيرو-تشيلي اللذين يمتدان على جانبي ساحل أمريكا الجنوبية.

## تقارب قاري-قاري **Continental-continental** يتشكل النوع

الثالث من الحدود المتقاربة عندما تصطدم صفيحة قارية بصفيحة قارية أخرى، وتحدث بعد فترة طويلة من انتهاء مرحلة طرح صفيحة محيطية أسفل صفيحة قارية. تذكر أنه لا توجد في الغالب صفيحة قارية إلا ومعها جزء محيطي، لذا فإنه مع طرح هذا الجزء كاملاً في الستار، وبعد مرور فترة من الزمن، فإنه يجر وراءه القارة الملتصقة به إلى نطاق الطرح، فتصطدم الصفيحتان القاريتان معاً بدلاً من غوصهما في الستار بسبب انخفاض كثافتهما، مما يؤدي إلى ارتفاع الصخور وطبيها في منطقة التصادم، وتشكل سلسلة جبلية ضخمة على طول منطقة التصادم، مثل جبال الهمالايا.





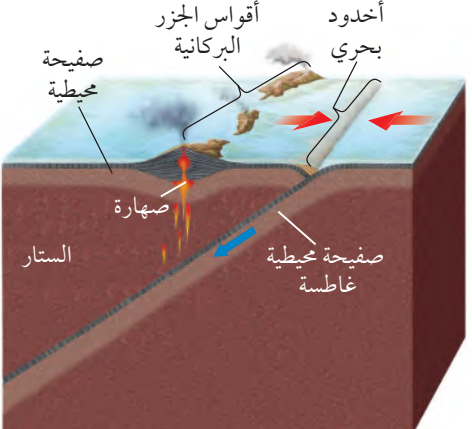

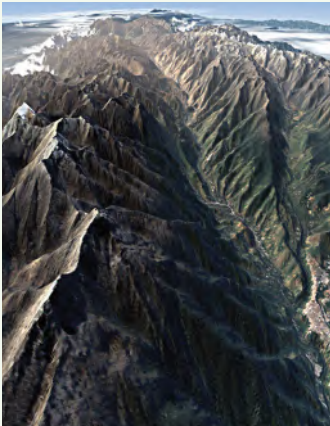
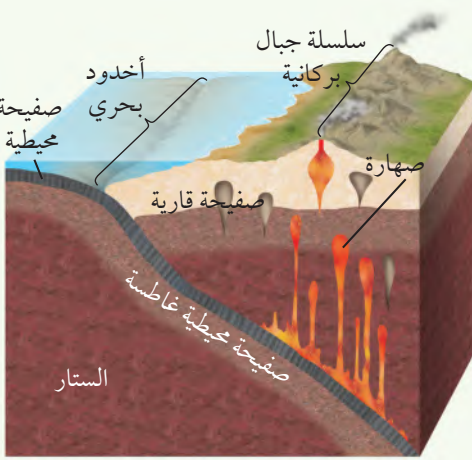

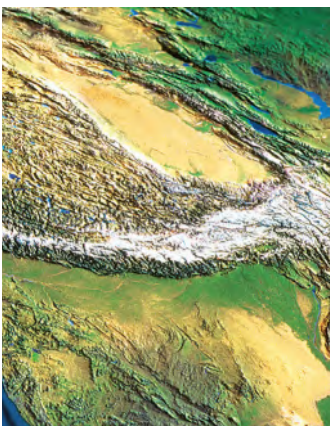
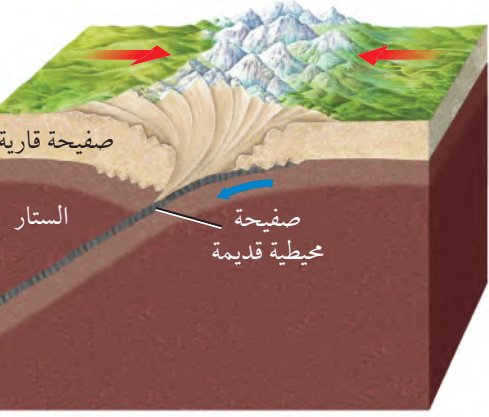
البازلت



الجرانيت

الشكل 18-5 تتكون معظم القشرة المحيطية من البازلت. وتتكون معظم القشرة القارية من الجرانيت مع وجود طبقة رقيقة نسبياً من الصخور الرسوبية، وكتلتهما أقل كثافة من البازلت.



مثال على التضاريس	مثال على منطقة تأثرت بالحدود المتقاربة	نوع الحد التقاربي
 <p data-bbox="189 797 520 840">جزيرة شاجولوك في ألاسكا</p>	 <p data-bbox="577 797 908 840">جزر ألوشيان</p>	<p data-bbox="1238 360 1485 404">تقارب محيطي - محيطي</p> 
 <p data-bbox="189 1321 520 1365">بركان أوزونوي في تشيلي</p>	 <p data-bbox="577 1321 908 1365">سلسلة جبال الأنديز</p>	<p data-bbox="1246 862 1485 906">تقارب محيطي - قاري</p> 
 <p data-bbox="189 1867 520 1911">قمة أما - دبلان في نيبال</p>	 <p data-bbox="577 1867 908 1911">سلسلة جبال الهملايا</p>	<p data-bbox="1255 1419 1485 1463">تقارب قاري - قاري</p> 



## الحدود تحويلية (جانبية) Transform boundaries تسمى المنطقة

التي تتحرك عندها صفيحتان أفقيًا إحداهما بجانب الأخرى الحدود التحويلية Transform boundaries، كما في الشكل 19-5، وتمتاز بأنها تحدث على صدوع طويلة قد يمتد بعضها مئات الكيلومترات، كما تمتاز بحدوث زلازل ضحلة على طولها، وسميت هذه الحدود التحويلية؛ لأن اتجاه الحركة النسبي والسرعة يختلفان على طولها من جانب إلى آخر. تذكر أن القشرة الجديدة تتشكل عند الحدود المتباعدة وتستهلك عند الحدود المتقاربة، أما عند الحدود التحويلية فلا تتكون قشرة جديدة ولا تستهلك، بل تتشوه أو تتكسر على طولها إلى حد ما.

توجد معظم الحدود التحويلية في قاع المحيط؛ حيث تؤدي إلى إزاحة قطع ظهور المحيطات جانبيًا، كما ستلاحظ في مختبر حل المشكلات الآتي، ولكن في بعض الحالات تحدث الصدوع التحويلية على القارات.

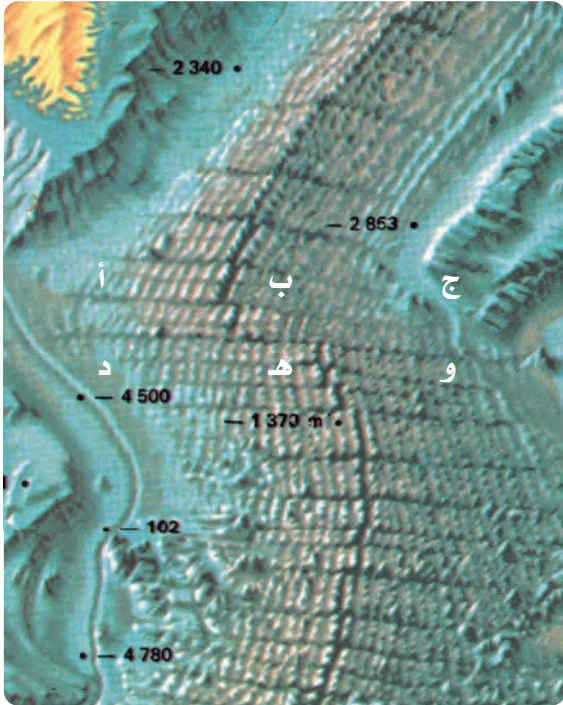
ومن الأمثلة المعروفة صدع البحر الميت التحويلي، وصدع سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا غرب الولايات المتحدة الأمريكية. ويحدث هذان الصدعان العديد من الزلازل الضحلة، فمعظم الزلازل التي تضرب كاليفورنيا في كل عام تُعزى إلى صدع سان أندرياس. كما يعد صدع البحر الميت التحويلي السبب الرئيس في نشوء الزلازل التي تحدث في الأردن وفلسطين.

### المطويات

صمّم معلومات هذا الدرس في المطوية الخاصة بك.

## مختبر حل المشكلات

### تفسير الرسم



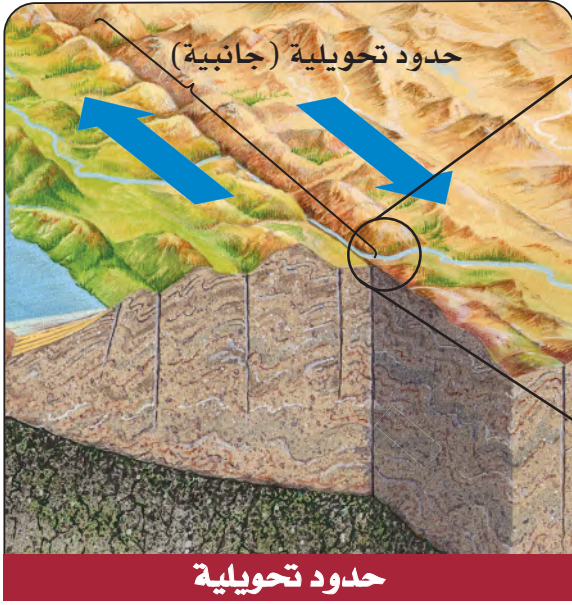
كيف تتحوّل حركة الصفيحة الأرضية على طول الحدود التحويلية؟ يوضح الشكل المجاور الجزء الشمالي من ظهر المحيط الأطلسي الذي يفصل بين قارتي أمريكا الشمالية وأوروبا. انسخ الشكل في دفترك، ثم نفذ الخطوات الآتية:

### التحليل

1. ارسم أسهمًا على نسختك، مبيّنًا الحركة النسبية لقشرة المحيط في المواقع: أ ب ج د هـ و.
2. قارن اتجاه الحركة في المواقع الآتية: أ مع د، ب مع هـ، ج مع و.

### التفكير الناقد

3. مميّز أي المواقع الثلاثة يقع على صفيحة أمريكا الشمالية؟
4. استنتج الحد الفاصل بين أمريكا الشمالية وأوروبا الذي يقع في نطاق الكسر.
5. حدّد أقدم موقعين في القشرة المحيطية من النقاط الست.



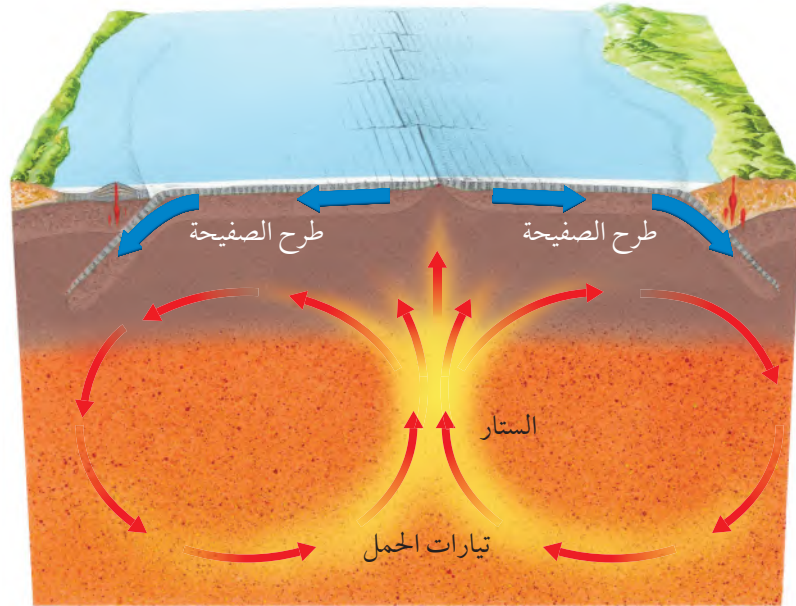
الشكل 19-5 تتحرك الصفيحتان أفقيًا متحاذيتين على طول الحدود التحويلية. الانثناء في السكة الحديدية ناتج عن حركة الصدع التحويلي.

## أسباب حركة الصفائح Convection Currents

وضع العلماء الكثير من الفرضيات لتفسير أسباب حركة الصفائح. ومن هذه الفرضيات:

**تيارات الحمل Convection Currents** يعتقد العلماء أن تيارات الحمل في الستار هي المسؤولة عن تحريك الصفائح. انظر الشكل 20-5، وتحدث تيارات الحمل على النحو الآتي: نتيجة لتسخين مناطق معينة في الستار تقل كثافة المواد المكونة لها فترتفع إلى أعلى وتحمل معها مواد من الستار باردة نسبيًا وأكبر كثافة، وتأتي من أسفل الصفائح الأرضية، حيث تغوص ببطء إلى أسفل.

تؤدي تيارات الحمل المستمرة في الستار - من هبوط المادة الباردة وارتفاع المادة الساخنة - إلى نقل الطاقة الحرارية من المناطق الساخنة في باطن الأرض إلى المناطق الباردة في الأعلى.



الشكل 20-5 تؤدي تيارات الحمل التي تنشأ في الستار إلى حركة الغلاف الصخري (القشرة الأرضية وأعلى الستار الصلب)، وتقل الطاقة الحرارية من باطن الأرض إلى سطحها الخارجي.



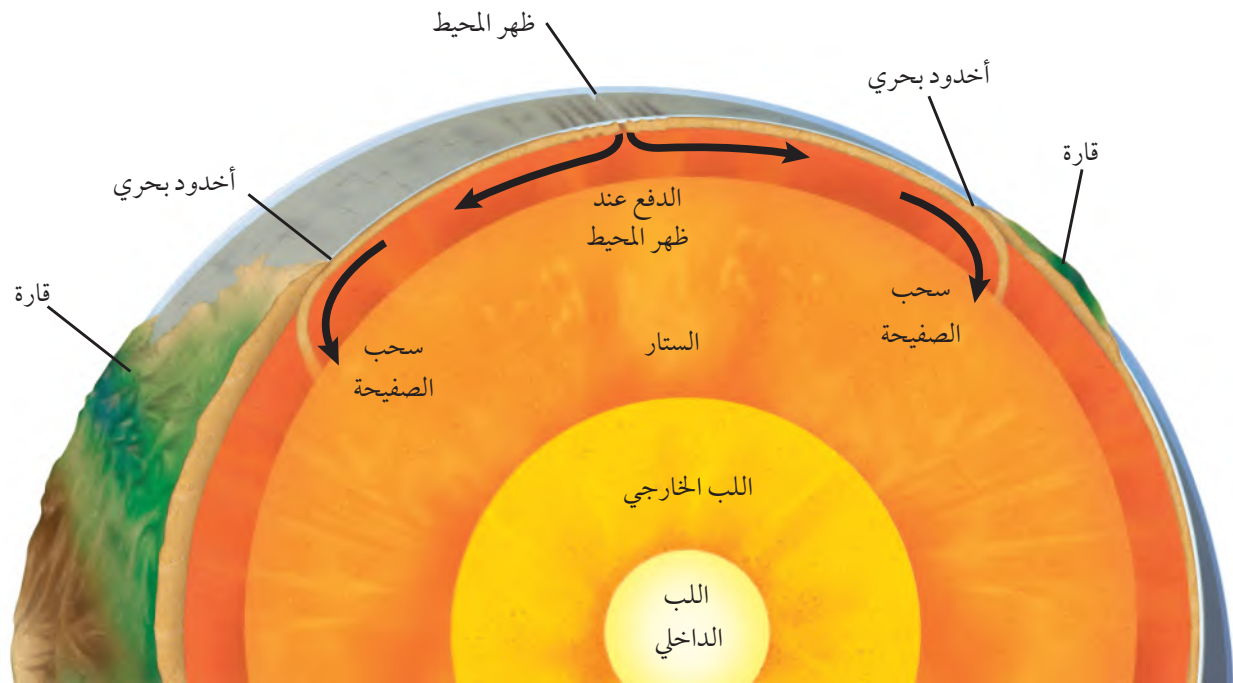
وعلى الرغم من أن تيارات الحمل في الستار تيارات ضخمة قد تمتد آلاف الكيلومترات، إلا أنها تتدفق بمعدلات تصل إلى بضعة سنتيمترات في السنة، ويعتقد العلماء أن هذه التيارات تبدأ الحركة بسبب سحب الصفيحة الغاطسة إلى أسفل في الستار.

✓ **ماذا قرأت؟ ناقش** ما الذي يؤدي إلى تدفق تيارات الحمل: ارتفاع المواد الساخنة إلى أعلى أم هبوط المواد الباردة إلى أسفل؟

كيف ترتبط حركات الصفائح الأرضية المتقاربة والمتباعدة مع تيارات الحمل في الستار؟ تنتشر المواد الصاعدة إلى أعلى في تيارات الحمل لدى وصولها إلى الصفيحة الأرضية، لذا ينجم عنها قوى رأسية وجانبية، مما يؤدي إلى رفع الغلاف الصخري وتشققه عند الحدود المتباعدة، فترتفع المواد المصهورة من الستار لتملأ التشققات هناك، ثم تتصلب مكونة قشرة محيطية جديدة.

أما الجزء الهابط من تيار الحمل فيحدث عند الحدود المتقاربة؛ إذ تؤثر هذه التيارات بقوة سحب تسبب غوص الصفائح الأرضية إلى أسفل في الستار.

**الدفع والسحب Push and Pull** يفترض العلماء وجود عمليات عدة تحدد كيف تؤثر تيارات الحمل في حركة الصفائح الأرضية. لاحظ الشكل 21-5، وأن القشرة المحيطية القديمة نسبياً تبرد كلما ابتعدت عن الحدود المتباعدة في مناطق ظهر المحيط، وتصبح أكثر كثافة مقارنة بالقشرة المحيطية الحديثة الأقل كثافة، فتتهبط مكونة الجوانب المنحدرة لظهر المحيط، ونتيجة لزيادة وزن الجزء المرتفع والمنحدر



الشكل 21-5 الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة عمليتان تؤديان إلى تحريك الصفائح الأرضية.



لظهر المحيط تدفع الصفيحة المحيطية نحو الأحدود عند نطاق الطرح بعملية تُسمى

**الدفع عند ظهر المحيط Ridge push.**

أما العملية الثانية المهمة التي تسبب حركة الصفائح الأرضية فتسمى **سحب الصفيحة Slab pull**؛ إذ يؤدي وزن الجزء الغاطس من الصفيحة إلى سحب الجزء المتبقي منها نحو نطاق الطرح. ومن المرجح أن مجموع هذه الآليات هي التي تؤدي إلى حركة الصفائح عند نطاقات الطرح.

## التقويم 3-5

### الخلاصة

- تقسم القشرة الأرضية والجزء العلوي الصلب من الستار العلوي إلى قطع صخرية ضخمة تسمى الصفائح الأرضية.
- تتحرك الصفائح الأرضية بسرعات بطيئة جدًا في اتجاهات مختلفة على سطح الأرض.
- تتباعد الصفائح الأرضية عند الحدود المتباعدة، وتتقارب عند الحدود المتقاربة، ويتحرك بعضها بمحاذاة بعض عند الحدود التحويلية (الجانبية).
- يتميز كل نوع من حدود الصفائح بمعالم جيولوجية محددة.
- تنتج حركة الصفائح الأرضية بفعل عمليتي: الدفع عند ظهر المحيط، وسحب الصفيحة.
- تيارات الحمل هي المسؤولة عن نقل الطاقة عبر حركة المواد الساخنة.
- تيارات الحمل هي المسؤولة عن حركة الصفائح الأرضية.

### فهم الأفكار الرئيسية

- صف كيف تتشكل معالم الأرض الرئيسية بفعل حركة الصفائح الأرضية وعلاقتها بتيارات الحمل في الستار.
- لخص عمليات تقارب الصفائح الأرضية التي شكّلت جبال الهمالايا.
- اعمل قائمة بالمعالم الجيولوجية المرافقة لكل نوع من حدود الصفائح المتقاربة.
- حدّد المعلم الجيولوجي الذي يوجد به معظم الحدود التحويلية.
- أكد على العلاقات بين كل من تيارات الحمل ومناطق ظهور المحيطات ونطاقات الطرح.
- صمّم نموذجاً يوضح العمليات الحركية لكل من الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

### التفكير الناقد

- اختر أنواع حدود الصفائح الثلاث التي في الشكل 16-5، وتوقع ما يحدث عند كل حد منها بعد مرور فترة من الزمن.
- صف كيف تتحرك قطعتان لقشرة محيطية جديدة بين جزأين من ظهر المحيط تم إزاحتها بصدوع التحويل؟
- قوّم الجملة الآتية: تحرك تيارات الحمل القشرة المحيطية فقط.
- لخص كيف تُعد تيارات الحمل مسؤولة عن ترتيب القارات على سطح الأرض؟

### الكتابة الجيولوجيا

- اكتب تقريرًا إخباريًا حول تأثير البحر الأحمر بحركة الصفائح الأرضية.



# الجيولوجيا والبيئة

## Geology and the Environment



### البحر الأحمر

سمي البحر الأحمر بهذا الاسم لوفرة الطحالب الخضراء المزرقفة التي تطفو على سطحه، والتي تحتوي على صبغة حمراء يمكن مشاهدتها من ارتفاعات عالية. وقد بدأ تكون البحر الأحمر في حين الإيوسين بسبب تباعد الصفيحتين العربية والإفريقية، وهو محيط وليد يتميز بنشاط زلزالي عند حوافه القارية ونشاط بركاني عند المرتفعات المحيطية في وسطه، مما ينتج عنه إضافة قشرة محيطية جديدة تقوم بزيادة مسافة التباعد بين الصفيحتين بمقدار 2 cm سنوياً، كما يقدر طوله بحوالي 2000 km، وعرضه حوالي 300 km، وأعمق نقطة فيه حوالي 2000 m، وأعلى مد قد يصل تقريباً إلى 1m فقط، والمتوسط الإجمالي لدرجة حرارة مياه البحر الأحمر (22°C) والمتوسط الإجمالي لدرجة ملوحته 40 جزءاً في الألف.

ويتم إجراء العديد من الدراسات على البيئة البحرية للبحر الأحمر، منها ما يتعلق بدراسة التغيرات التي تنتج على طول الساحل، ودراسة كل من الخواص الفيزيائية ومنها: اتجاه حركة التيارات وسرعتها، وحرارة مياه البحر وملوحتها، وخواصه الكيميائية ومنها: تحديد العناصر المغذية ومستوى الأحماض؛ لمعرفة جودة المياه، وتحديد مستوى التلوث ومصادره وتأثيره في صحة الشعاب المرجانية، ومعالجة القضايا البيئية والتلوث البحري، وتأثير الحياة البشرية والمنشآت في ظل النمو الاقتصادي والتجاري والسياحي على المدن الساحلية.

ونظراً لموقع البحر الأحمر الاستراتيجي، ومقدراته الغنية فقد اختير ليكون أحد مشاريع رؤية (2030) وهو مشروع «البحر الأحمر» الذي يستهدف الجزر الواقعة بين مدينتي الوجه وأملج، ويهتم هذا المشروع بسلامة النظام البيئي، وجماله في البحر الأحمر وعدم تأثره بأي شكل من الأشكال، وإحدى توصيات ميثاق مشروع «البحر الأحمر» هي «التخفيف من انبعاثات غاز أكسيد

الكربون، والتلوث الضوئي والنفائات حفاظاً على الموقع لجميع الأجيال، ليصبح مشروع «البحر الأحمر» ضمن أفضل 10 مدن خضراء حول العالم»\*.



### الكتابية في الجيولوجيا

ابحث في النشاط الجيولوجي الفريد للبحر الأحمر، واكتب مقالاً يصف طبيعة البيئة البحرية للبحر الأحمر، وأصل نشأته.



# دليل مراجعة الفصل

## الفصل 5

**الفكرة العامة** تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح، وتشكل البراكين من الصهارة القادمة من باطن الأرض، وتنتج بعض الزلازل بفعل الحركة على طول الصدوع في القشرة الأرضية.

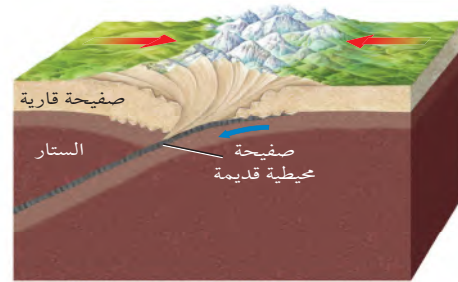
المفاهيم الرئيسية	المفردات
<p><b>الفكرة الرئيسية</b> تدل جيولوجية القارات وأشكالها على أنها كانت متصلة معًا يومًا ما.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• يوحي تطابق شواطئ القارات على جانبي المحيط الأطلسي بأن القارات كانت مجتمعة معًا يومًا ما.</li><li>• الانجراف القاري فكرة وضعت في بداية القرن الماضي، تنص على أن القارات تتحرك على قاع المحيط.</li><li>• جمع العالم فاجنر أدلة من الصخور والأحافير والمناخات القديمة لدعم نظريته.</li><li>• لم تقبل فكرة الانجراف القاري؛ لأنها لم تقدم تفسيرًا حول كيفية حركة القارات وما يسبب حركتها.</li></ul>	<p>5-1 انجراف القارات</p> <p>الانجراف القاري بانجيا</p>
<p><b>الفكرة الرئيسية</b> تتشكل القشرة المحيطية عند ظهر المحيط، وتصبح جزءاً من قاعه.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• توفر الدراسات التي أجريت لقيعان المحيطات أدلة على أنها ليست مستوية وأنها تتغير باستمرار.</li><li>• القشرة المحيطية صغيرة العمر من الناحية الجيولوجية.</li><li>• تتكون قشرة محيطية جديدة عند ظهر المحيط عندما ترتفع الصهارة وتتصلب.</li><li>• عندما تتشكل قشرة محيطية جديدة تتحرك القشرة المحيطية القديمة مبتعدة عن ظهر المحيط.</li></ul>	<p>5-2 توسع قاع المحيط</p> <p>جهاز قياس المغناطيسية ظهر المحيط الانقلاب المغناطيسي المغناطيسية القديمة تساوي العمر توسع قاع المحيط الأحاديدي البحرية</p>
<p><b>الفكرة الرئيسية</b> تتشكل كل من البراكين والجبال والأحاديدي البحرية وتحدث الزلازل بين حدود الصفائح، وتؤدي تيارات الحمل في الستار إلى حركة الصفائح الأرضية.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• تقسم القشرة الأرضية والجزء العلوي الصلب من الستار العلوي إلى قطع صخرية ضخمة تسمى الصفائح الأرضية.</li><li>• تتحرك الصفائح الأرضية بسرعات واتجاهات مختلفة على سطح الأرض.</li><li>• تبتعد الصفائح الأرضية بعضها عن بعض عند الحدود المتباعدة، ويقترّب بعضها من بعض عند الحدود المتقاربة، ويتحرك بعضها بمحاذاة بعض عند الحدود التحويلية (الجانبية).</li><li>• يتميز كل نوع من حدود الصفائح بمعالم جيولوجية محددة.</li><li>• الحمل الحراري هو نقل الطاقة عبر حركة المواد الساخنة.</li><li>• ينتج عن تيارات الحمل نقل الطاقة الحرارية في الستار من باطن الأرض الساخن إلى سطحها الخارجي البارد.</li><li>• تنتج حركة الصفائح الأرضية بفعل عمليتي دفع ظهر المحيط وسحب الصفيحة.</li></ul>	<p>5-3 حدود الصفائح وأسباب حركتها</p> <p>الصفيحة الأرضية الحدود المتباعدة حفرة الانهدام الحدود المتقاربة الطرح الحدود التحويلية الدفع عند ظهر المحيط سحب الصفيحة</p>

## مراجعة المفردات

- ضع المصطلح الصحيح بدلاً من الكلمات التي تحتها خط:
1. تُسمى عملية غطس الصفائح الأرضية في الستار التباعد.
  2. تُسمى الحدود الناجمة عن تقارب صفيحتين إحداهما من الأخرى الحدود التحويلية.
  3. يتشكّل الأخدود داخل القارات بفعل الحدود المتباعدة.
  4. جهاز يُستخدم لقياس التغيرات في المجال المغناطيسي للأرض.
- عرّف المصطلحات الآتية بجمل تامة:
5. الصفيحة الأرضية.
- حدّد ما هو مشترك بين كل مصطلحين في الجمل الآتية:
6. الحدود المتباعدة، الحدود التحويلية.

## تثبيت المفاهيم الرئيسية

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 7 و8.



7. ما نوع حدود الصفائح في الشكل أعلاه؟
  - a. ظهر المحيط.
  - b. حدود قارية-قارية.
  - c. حدود تحويلية.
  - d. حدود قارية-محيطية.

8. ما المعلم الجيولوجي الذي يتكون على طول هذا النوع من حدود الصفائح؟

- a. نطاقات الطرح.
- b. أخاديد بحرية.
- c. أقواس الجزر.
- d. جبال مطوية.

9. ما عمر القشرة المحيطية عموماً؟

- a. لها عمر القشرة القارية نفسه.
- b. أحدث من القشرة القارية.
- c. أقدم من القشرة القارية.
- d. لم يحدد العلم عمرها.

10. ما المنطقة التي يحيط بها حزام النار الكبير؟

- a. المحيط الأطلسي.
- b. قارة أمريكا الشمالية.
- c. البحر المتوسط.
- d. المحيط الهادي.

## أسئلة بنائية

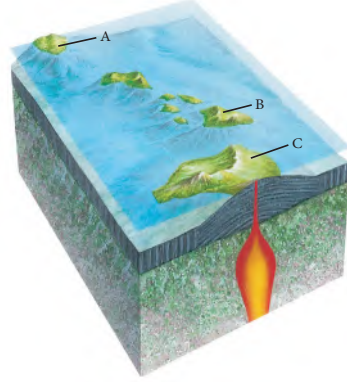
11. فسّر ما وجده علماء المحيطات من ازدياد سُمك رسوبيات قاع المحيط بتزايد المسافة بعيداً عن ظهر المحيط.

12. ميّز بين تولّد المجال المغناطيسي في لب الأرض والمغناطيسية المحفوظة في القشرة المحيطية.

13. حلّل لماذا توجد فروق بين حدود التقارب القاري - القاري وحدود التقارب المحيطي - المحيطي؟



استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 14.



14. ميّز ما أقدم جزيرة؟ وما الاتجاه الذي تتحرك فيه الصفيحة؟ فسر إجابتك.

#### التفكير الناقد

15. قارن بين فرضيتي الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

16. فكر هل يبقى شكل الصفائح الأرضية وحجمها ثابتين مع مرور الزمن؟ وضح إجابتك.

17. توقع. ماذا يمكن أن يحدث إذا لم يكن هناك صفائح أرضية؟

#### سؤال تحفيز

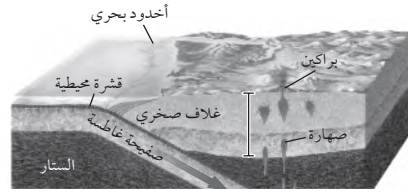
18. تبنأ ارسـم المواقع النسبية للقارات في الكرة الأرضية بعد 60 مليون سنة، مع افتراض أن الصفائح الأرضية مستمرة في الحركة، وفي الاتجاهات نفسها، كما في الشكل (2-5).





## اختيار من متعدد

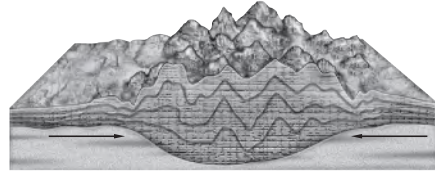
استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 1.



1. ما العملية التي يمثّلها الشكل أعلاه؟

- a. تباعد قاري-قاري. c. تباعد محيطي-قاري.  
b. طرح قاري-قاري. d. طرح محيطي-قاري.

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 2 و 3.



2. ما نوع حد الصفيحة الذي يظهر في الشكل أعلاه:

- a. ظهر محيط. c. حد قاري - قاري.  
b. حد تحويلي. d. حد محيطي - قاري.

3. ما الخاصية التي تتشكل على امتداد هذا النوع من الحدود؟

- a. نطق طرح. c. أحاديد محيطية.  
b. أقواس الجزر. d. جبال تحتوي على طيات.

4. ما الدليل على انجراف القارات الذي لم يستعمله

فاجنر في دعم فرضيته؟

- a. طبقات الفحم في أمريكا.  
b. أحافير الحيوانات التي تعيش على اليابسة.  
c. رسوبيات جليدية.  
d. بيانات المغناطيسية القديمة.

5. ما اسم العملية التي تُطلق على إنتاج قاع محيط جديد

باستمرار؟

- a. انجراف القارات. c. البقع الساخنة.  
b. توسع قاع المحيط. d. الطرح.

6. يؤدي وزن الصفيحة الغاطسة إلى جرّ طرفها إلى

نطاق الطرح. ما اسم هذه العملية؟

- a. السحب عند ظهر المحيط.  
b. الدفع عند ظهر المحيط.  
c. سحب الصفيحة.  
d. دفع الصفيحة.

7. من المعالم التي لا توجد عند الحدود المتقاربة:

- a. ظهر المحيط. c. سلسلة جبال مطوية.  
b. أخدود بحري عميق. d. قوس جزر بركاني.

8. تؤدي عملية طرح صفيحة محيطية تحت صفيحة

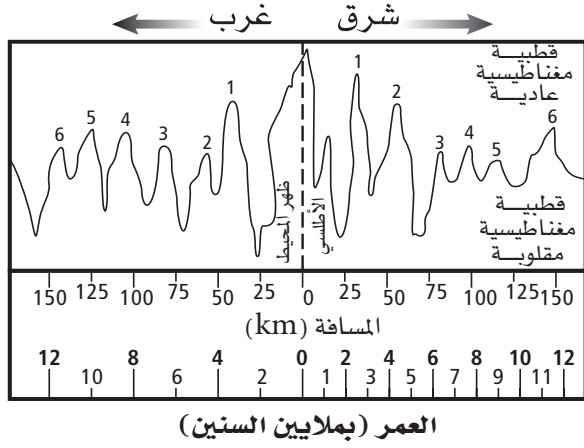
أخرى إلى تكوّن:

- a. أخدود بحري عميق. c. حفرة انهدام.  
b. انقلاب مغناطيسي. d. قشرة محيطية جديدة.



# اختبار مقنن

استعمل الشكل أدناه في الإجابة عن السؤالين 14 و 15.

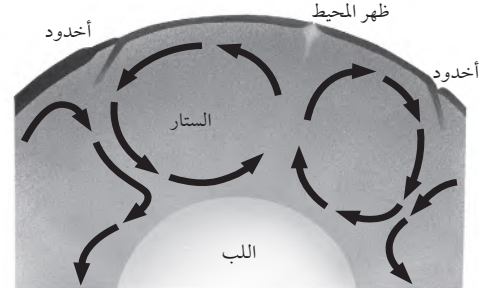


14. يستعمل العلماء جهاز قياس المغناطيسية وأجهزة أخرى للحصول على مخطط يمثل شدة المجال المغناطيسي لجزء من قاع المحيط. ما المعلومات التي يمكن أن نحصل عليها عند دراسة المخطط؟
15. ماذا يمكن أن يستنتج العلماء حول كيفية تكوّن قاع المحيط بالقرب من ظهر المحيط الأطلسي؟

## أسئلة الإجابات القصيرة

9. كيف تسبب تيارات الحمل حركة الصفائح؟

استعمل الشكل أدناه في الإجابة عن السؤالين 10 و 11.



10. صف ما تم نمذجته في الشكل أعلاه، ثم حدد كيف يؤثر في حركة الصفائح.
11. هل يمكن أن تحدث هذه العمليات في الجزء الصلب من ستار الأرض؟
12. لماذا لا تسبب حركة تيارات الحمل الدائرية زيادة مقدار الحركة على سطح الأرض؟
13. انتشرت مستنقعات استوائية بصورة واسعة شمال أمريكا قبل نحو 200 مليون سنة، كما غطت الكتل الجليدية في الوقت نفسه مناطق في جنوب إفريقيا وجنوب شرق أمريكا الجنوبية وجزءاً كبيراً من الهند وأجزاء من أستراليا ومعظم القارة القطبية الجنوبية. كيف يمكن لهذه المعلومات أن تدعم فكرة فاجنر حول الانجراف القاري؟





# البراكين والزلازل Volcanoes and Earthquakes

## 6

## الفصل



ثوران بركاني

**الفكرة العامة** تتشكل البراكين من الصهارة

القادمة من باطن الأرض.

**1-6 ما البركان؟**

**الفكرة الرئيسية** ترتبط مواقع البراكين عمومًا مع حركة الصفائح.

**2-6 الثورات البركانية**

**الفكرة الرئيسية** تحدّد مكوّنات الصهارة خصائص الثوران البركاني.

**3-6 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض**

**الفكرة الرئيسية** يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصوّر بنية الأرض الداخلية.

**4-6 قياس الزلازل وتحديد أماكنها**

**الفكرة الرئيسية** يقيس العلماء قوة الزلازل ويحدّدون مكانها على الخريطة باستعمال الأمواج الزلزالية.

**5-6 الزلازل والمجتمع**

**الفكرة الرئيسية** يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال دراسة تاريخ المنطقة زلزاليًا، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة.

### الحقائق الجيولوجية للبراكين والزلازل

- يوجد حاليًا 500 بركان نشط على الأرض.
- كلمة صهارة (ماجما) magma مأخوذة من كلمة إغريقية تعني عجينة.
- العديد من معالم الأرض التضاريسية تنتج بفعل البراكين.
- تتعرض الأرض لأكثر من مليون زلزال في العام الواحد.
- معظم الزلازل ضعيفة جدًا حيث لا نشعر بها.
- وقع زلزال بقوة 5.4 ريختر بمحافظة العيص التابعة لمنطقة المدينة المنورة عام 2009، ونتج عنه انهيار بعض المباني في ذات المنطقة، حيث قامت حكومتنا الرشيدة بصرف إعانات وتسكين للعائلات المتضررة.



هياكل أبنية منهارة



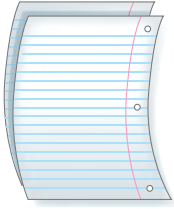
## نشاطات تمهيدية

### تصنيف البراكين

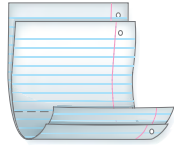
اعمل المطوية الآتية لمساعدتك على تصنيف البراكين.

### المطويات

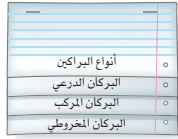
#### منظمات الأفكار



**الخطوة 1** ضع ورقتين من دفترك إحداهما فوق الأخرى، بحيث تبعد إحداهما عن الأخرى 2 cm تقريباً، كما في الشكل المجاور.



**الخطوة 2** اثن الطرف السفلي للورقتين لتكوين أربعة أسنة متساوية. ثم اضغط بقوة على الجزء المطوي لتثبيت الأسنة في أماكنها.



**الخطوة 3** ثبت أوراق المطوية معاً بالدبابيس، وعلون الأسنة على النحو الآتي: أنواع البراكين (اللسان العلوي): البركان الدرعي، البركان المركب، البركان المخروطي.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراسة القسم 1-6، واكتب خصائص كل نوع من البراكين أسفل كل لسان.

## تجربة استهلاكية

### ما الذي يجعل الصهارة ترتفع إلى أعلى؟

الصهارة صخور مصهورة توجد أسفل سطح الأرض. وسوف تمثل في هذا النشاط حركة الصهارة في باطن الأرض بعمل نموذج "مصباح من اللابة".



### الخطوات

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. اسكب 300 mL من الماء في كأس سعتها 600 mL.
3. اسكب 80 mL من زيت الطعام في الكأس.
4. عدّ ببطء من 1 إلى 5، وفي أثناء العد انثر ملح الطعام فوق الزيت.
5. أضف المزيد من الملح لبقاء الحركة مستمرة.

### التحليل

1. حدّد أي المكوّنين في نموذجك يمثل الصهارة؟
2. صف ماذا حدث للزيت قبل إضافة الملح وبعده؟
3. كوّن فرضية ما الذي يسبب صعود الصهارة إلى أعلى؟





# 6-1

## ما البركان؟ What is a Volcano?

### الأهداف

- تصف كيف تؤثر حركة الصفائح في تشكّل البراكين.
- تحدد المناطق الرئيسة للنشاط البركاني.
- تتعرف أجزاء البركان.
- تميز بين التضاريس البركانية.
- تقارن بين أنواع البراكين.

**الفكرة الرئيسية** ترتبط مواقع البراكين عمومًا مع حركة الصفائح.

**الربط مع الحياة** في فصل الشتاء، يرش الملح على الشوارع المغطاة بالثلوج؛ إذ يعمل الملح على خفض درجة انصهار الثلج. كما يقلل الماء من درجة انصهار الصخور؛ فالصخور ذوات درجات الانصهار المرتفعة جدًا في باطن الأرض تنصهر أسهل إذا اختلطت بالمياه.

### مناطق النشاط البركاني Zone of Volcanism

الصهارة مخلوط من الصخور المصهورة والبلورات المعدنية والغازات، وهي مصدر البراكين؛ إذ تصعد إلى أعلى نحو سطح الأرض بعد تشكيلها؛ بسبب انخفاض كثافتها مقارنة بصخور الستار والقشرة الأرضية المحيطة بها، وعندما تخرج إلى سطح الأرض تُسمى اللابة. ويصف النشاط البركاني **Volcanism** جميع العمليات المصاحبة لخروج الصهارة والسوائل الساخنة والغازات من سطح الأرض.

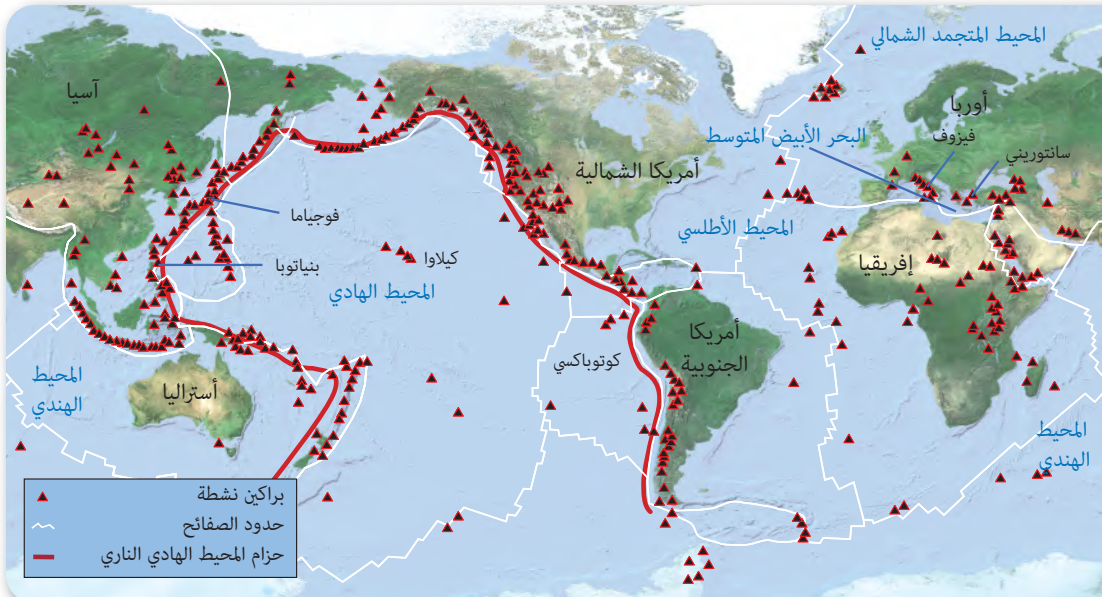
يثور 60 بركانًا تقريبًا في مواقع مختلفة على الأرض في السنة الواحدة. ويوضح الشكل 1-6 خريطة توزيع البراكين النشطة في العالم. لاحظ من الشكل أن البراكين لا تتوزع على سطح الأرض بصورة عشوائية، بل تتجمع في مناطق معينة وهي حدود الصفائح؛ حيث وجد أن معظم البراكين تتشكل عند الحدود المتقاربة والمتباعدة، ولا يوجد سوى 5% منها تثور بعيدًا عن حدود الصفائح.

### مراجعة المفردات

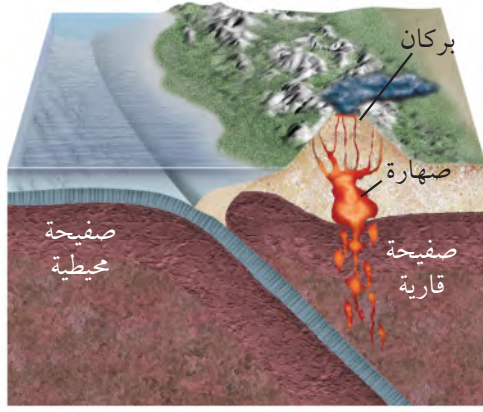
تقارب؛ الحركة نحو الجسم، أو اقتراب جسم من جسم آخر.

### المفردات الجديدة

- النشاط البركاني
- وسائد اللابة
- البقعة الساخنة
- طفوح البازلت
- الشقوق
- قناة البركان
- فوهة البركان
- الفوهة البركانية المنهارة
- البركان الدرعي
- البركان المخروطي
- البركان المركب



شكل 1-6 تقع معظم البراكين النشطة على الأرض على امتداد حدود الصفائح.



الشكل 2-6 في نطاق طرح قاري - محيطي تنزلق الصفائح المحيطية الأكبر كثافة في الستار أسفل الصفائح القارية، فتصهر أجزاء من هذه الصفائح، مما يؤدي إلى صعود الصهارة إلى أعلى مشكّلة البراكين - حدد البركان المصاحب لحدود التقارب القاري - المحيطي في الشكل 2-6.

## النشاط البركاني عند الحدود المتقاربة Convergent volcanism

تلتقي الصفائح الأرضية معاً عند الحدود المتقاربة، فتشكّل نطاقات طرح؛ وذلك عندما تغطس صفيحة محيطية أسفل الصفيحة الأخرى في الستار، كما في الشكل 2-6. ويلاحظ من الشكل أن الصهارة تتشكل بفعل الانصهار الجزئي للصفائح الغاطسة، ثم تصعد نحو سطح الأرض؛ لأنها أقل كثافة من المواد المحيطة بها، فتختلط في أثناء ذلك بصخور ومعادن ورسوبيات الصفائح العلوية (التي تعلو الصفائح الغاطسة) مكونة البراكين. ومعظم البراكين على اليابسة ناجمة عن تقارب صفيحة قارية مع أخرى محيطية. وتمتاز هذه البراكين بثورات شديدة الانفجار.

✓ **ماذا قرأت؟ حدد المقصود بالنشاط البركاني عند الحدود المتقاربة.**

## حزامان رئيسان Two major belts

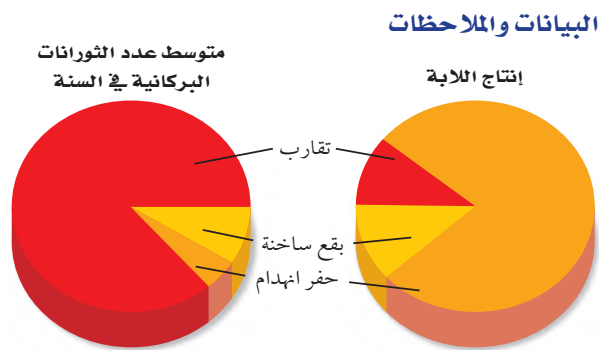
تشكّل البراكين المرافقة للحدود المتقاربة حزامين رئيسين هما: حزام المحيط الهادي؛ وهو الحزام الكبير الذي يحيط بسواحل المحيط الهادي، ويعرف أحياناً بحلقة النار، وتنطبق حدود هذا الحزام تماماً على حدود صفيحة المحيط الهادي، ويمتد على طول السواحل الغربية للولايات المتحدة الشمالية والجنوبية إلى جزر الألوشيان، ومنها إلى سواحل شرق قارة آسيا. ومن أمثلة البراكين التابعة لهذا الحزام براكين سلاسل الجبال في غرب الولايات المتحدة الأمريكية، وبركان بيناتوبو في الفلبين. أما الحزام الآخر فيسمى حزام حوض البحر المتوسط. وأشهر البراكين التابعة له بركانا: إتنا، وفيزوف في إيطاليا، وتنطبق حدود هذا الحزام، عموماً على الحدود التي تفصل بين صفائح أوراسيا وإفريقيا والصفائح الغربية. انظر الشكل 1-6.

## مختبر تحليل البيانات

\* بُني هذا النشاط على بيانات حقيقية

### تفسير الرسم البياني

- فكر ما أهمية أن يدرس العلماء هذه العلاقات؟
- قوّم ما الخطوة اللاحقة لدراسات العلماء؟



معدلات تدفقات الصهارة والمقذوفات البركانية

Source: Journal of Volcanology and Geothermal Research 20: 177-211

كيف ترتبط أنواع النشاط البركاني بإنتاج الالابة؟ يصنّف الباحثون أنواع الثورات البركانية، ويدرسون كمية الالابة التي تنبعث من كل نوع من أنواع البراكين في السنة الواحدة. ويوضح الرسم البياني الدائري متوسط عدد الثورات البركانية وإنتاج الالابة السنوي لكل نوع اعتماداً على بيانات أخذت من 5337 ثورناً بركانياً.

### التفكير الناقد

- صِف العلاقة بين نوع النشاط البركاني والإنتاج السنوي للالابة.





**الشكل 3-6** تثور البراكين المصاحبة لحدود التباعد بصورة هادئة دون حدوث انفجارات، وتكوّن هذه الثورانات في قاع المحيط أشكالاً على هيئة وسائد ضخمة، يُطلق عليها وسائد اللابة.

### النشاط البركاني عند الحدود المتباعدة **Divergent volcanism**

تتباعد الصفائح الأرضية عند الحدود المتباعدة؛ حيث تصعد الصهارة إلى أعلى لتملأ الفراغ الناجم عن التباعد، مشكّلة قشرة محيطية جديدة؛ وتأخذ اللابة عند ظهور المحيطات شكل وسائد ضخمة، كما في الشكل 3-6، يطلق عليها **وسائد اللابة Pillow lava**. وتشكّل البراكين التي تكوّنت تحت الماء عند ظهور المحيطات ثلثي براكين العالم، وتمتاز -خلافًا لبراكين التقارب- بأنها هادئة، وتنساب دون حدوث انفجارات، مع تدفق كميات كبيرة من اللابة، ويوضح الشكل 4-6 بعض براكين التباعد.

✓ **ماذا قرأت؟** وضح كيف تنشأ وسائد اللابة.

**البقع الساخنة Hot spot** تتشكل بعض البراكين بعيداً عن حدود الصفائح فوق بقع ساخنة؛ ويفترض العلماء أن البقع الساخنة **Hot spots** عبارة عن مناطق ساخنة بصورة غير عادية في ستار الأرض؛ حيث يصعد عمود من الصهارة ذات درجة الحرارة العالية إلى أعلى في اتجاه سطح الأرض.



عام 79 قبل الميلاد أدى ثوران بركان فيزوف في إيطاليا إلى دفن مدينتين بالرماد البركاني.

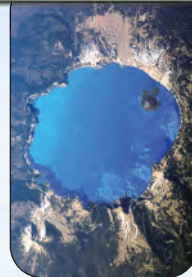
الشكل 4-6 البراكين موضع الاهتمام تُشكل البراكين بعض تضاريس سطح الأرض باستمرار.

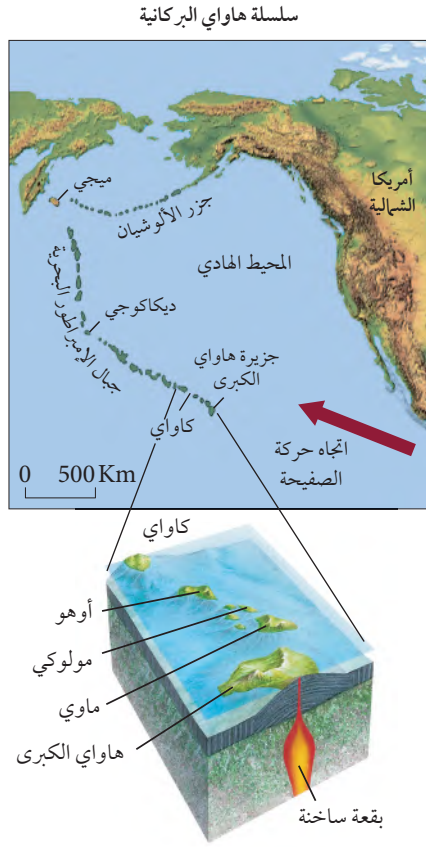
3000 قبل الميلاد

6000 قبل الميلاد

1630 قبل الميلاد تسبب انفجار بركان سانتوريني في اليونان في حدوث تسونامي ارتفاعه 200 m، مما أدى إلى اختفاء الحضارة المينوسية في جزيرة كريت.

4845 قبل الميلاد خريطة تضاريسية لبركان جبل مازاما في ولاية أوريغون، حيث أدى ثورانه إلى انهيار الجبل وأصبح منخفضاً عرضه 9 km، يُعرف حالياً باسم بحيرة الفوهة البركانية.

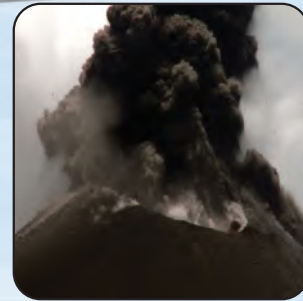




الشكل 5-6 تشكّلت جزر هاواي قبل ملايين السنين؛ نتيجة حركة صفيحة المحيط الهادي البطيئة فوق بقعة ساخنة ثابتة الموقع؛ حيث تقع حالياً أسفل جزيرة هاواي الكبرى.

**براكين البقع الساخنة Hot spot volcanoes** تشكّلت بعض البراكين الأكثر شهرة بفعل البقع الساخنة تحت المحيط. فمثلاً، تقع جزر هاواي التي تظهر في الخريطة المجاورة، في الشكل 5-6، على عمود من الصهارة، وهي جزر بركانية تكوّنت نتيجة ارتفاع الصهارة إلى أعلى من خلال القشرة الأرضية. وتبقى البقعة الساخنة المتكونة بفعل عمود من الصهارة ثابتة أسفل الصفيحة، بينما تتحرك صفيحة المحيط الهادي التي تقع فوقها ببطء نحو الشمال الغربي، ومع مرور الزمن نتج عن البقعة الساخنة سلسلة من الجزر البركانية في قاع المحيط الهادي. وتعد براكين كاواي، من أقدم براكين جزر هاواي، وهي براكين غير نشطة (خامدة)؛ لأنها لا تقع حالياً فوق البقعة الساخنة الثابتة، وينطبق ذلك أيضاً على البراكين القديمة الواقعة إلى الشمال الغربي، التي أصبحت أسفل مستوى سطح البحر. ويُعد بركان كيلاوي في جزيرة هاواي الكبرى الذي يقع حالياً فوق بقعة ساخنة من أكثر البراكين نشاطاً في العالم، كما في بركان لوهي الذي يتشكل حالياً في قاع المحيط جنوب شرق جزيرة هاواي الكبرى، وقد يرتفع عن مستوى سطح البحر، في نهاية المطاف، مشكلاً جزيرة جديدة.

**البقع الساخنة وحركة الصفيحة Hotspots and plate motion** توفر سلاسل البراكين التي تتشكل فوق البقع الساخنة الثابتة معلومات حول حركة الصفيحة الأرضية؛ إذ يمكن حساب سرعة حركة الصفائح واتجاهها، من خلال مواقع تلك البراكين. وتبين الخريطة في الشكل 5-6 أن جزر هاواي تمثل الطرف الأول من سلسلة جبال هاواي البركانية، في حين يمثل جبل مييجي الطرف الآخر من السلسلة الأقدم عمراً؛ حيث يبلغ عمره 80 مليون سنة، مما يدل على أن هذه البقعة الساخنة كانت موجودة قبل ذلك بعدة سنوات، كما يدل المنعطف في سلسلة الجبال البحرية في ديكاكوجي على أن صفيحة المحيط الهادي قد غيرت اتجاه حركتها قبل 43 مليون سنة.



1991 أطلق بركان جبل بيناتوبو في الفلبين  $10 \text{ km}^3$  من الرماد البركاني، مما أدى إلى خفض درجة حرارة الأرض  $0.5^\circ \text{C}$ .

1980 أدى الانفجار البركاني في جبل سانت هيلين في واشنطن إلى وقوع 57 قتيلاً، مات معظمهم نتيجة استنشاق الرماد البركاني.

2000

1900

1800

1912 ثار بركان كتامي في ألاسكا بقوة أكبر من بركان سانت هيلين عشر مرات، وقد عُدّ من أقوى البراكين التي سُجلت عبر التاريخ.

1883 أدى ثوران بركان كراكاتوا في إندونيسيا إلى تدمير ثلثي الجزيرة، ونجم عنه تسونامي أدى إلى قتل أكثر من 36 ألف شخص.







الشكل 6-6 أدى تراكم كميات هائلة من اللابة على السطح إلى تشكيل صخور بركانية بسماكات عالية، ثم تعرضت مع مرور الزمن إلى عمليات حت بفعل الأنهار والقوى الجيولوجية مكونة الهضاب.

**طفوح البازلت (الحرث) Flood basalt** يمكن أن تتكون **طفوح البازلت Flood basalt** من بقع ساخنة تحت القشرة القارية، وهي عبارة عن لابة تتدفق من كسور طويلة في قشرة الأرض، وتسمى هذه الكسور **الشقوق Fissures**. بعد مرور مئات أو آلاف السنين تؤدي ثورات هذه الشقوق إلى تكوين سهول منبسطة تسمى الهضاب، كما في الشكل 6-6. وتفقد طفوح البازلت، كما هو الحال في البراكين الأخرى، بخار الماء وغيره من الغازات عندما تخرج إلى سطح الأرض.

### طفوح البازلت في الجزيرة العربية Basalt flood in arabia peninsula

تغطي طفوح البازلت جزءاً كبيراً من المنطقة الغربية للصفحة العربية، تصل إلى 180000 km<sup>2</sup> على هيئة حزام واسع متقطع يمتد من الجمهورية اليمنية جنوباً على طول ساحل البحر الأحمر إلى المملكة الأردنية الهاشمية، وحتى الجمهورية العربية السورية شمالاً، انظر الشكل 6-7. ويعود تشكّل هذا الحزام إلى الشقوق والصدوع المصاحبة لتكوّن البحر الأحمر، التي بدأت قبل 25 مليون سنة، واستمرت إلى العصر الحالي؛ ويعتبر بركان حليات اللابة (جبل المساء) والذي يبعد عن المدينة المنورة بنحو 15 كم باتجاه الجنوب الشرقي ويقع في الأطراف الشمالية الشرقية لحرّة رهاط أحدث براكين المملكة العربية السعودية ثوراناً وتدفقاً. ويتشكّل هذا البركان من أربعة مخاريط وفوهات بركانية، يطلق عليها حليات اللابة، خرجت منها الحمم البركانية عام 654هـ، وسبق ثورانه حركات زلزالية هزت المدينة المنورة، وتصف كتب التاريخ هذا الثوران وصفاً دقيقاً وموثقاً بشهادة أهل المدينة المعاصرين لهذا الحدث التاريخي.

### تركيب البركان Volcano Structure

اللابة عبارة عن صهارة مرّت من خلال تركيب يشبه الأنبوب يسمى **قناة البركان conduit**، ثم خرجت إلى سطح الأرض من خلال **فوهة البركان Crater**؛ وهي المنخفض الذي يوجد في قمة البركان ويتصل مع حجرة الصهارة عبر القناة. وباسم **البركان** اللابة وتراكمها مع الزمن يتكوّن جبل يسمى البركان.

#### المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال

الشائع

العصر الحالي

الاستعمال العلمي: العصر الجيولوجي

الأخير، وهو العصر الرباعي.

الاستعمال الشائع: الوقت الحاضر.

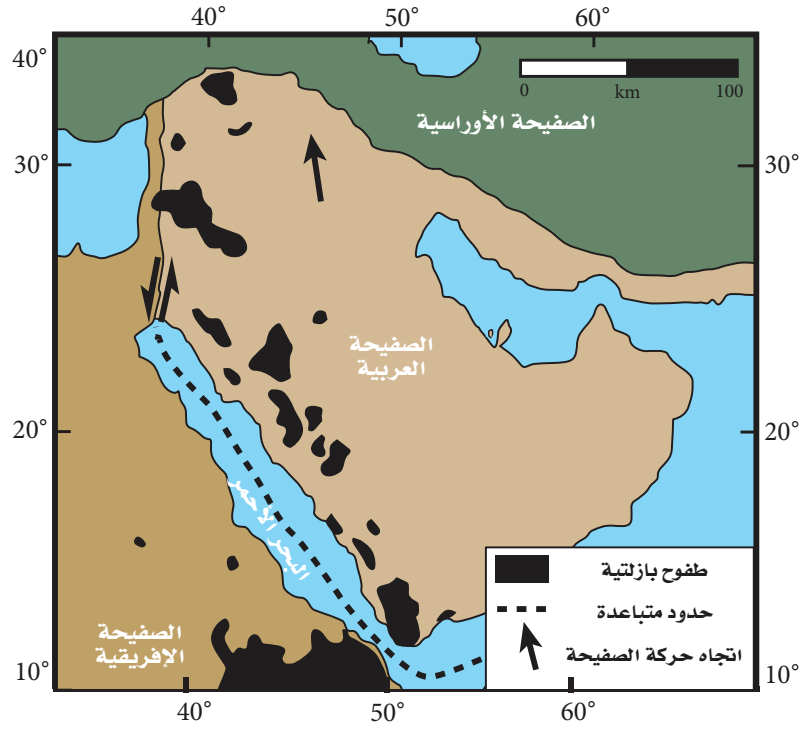
الربط مع رؤية ٢٠٣٠



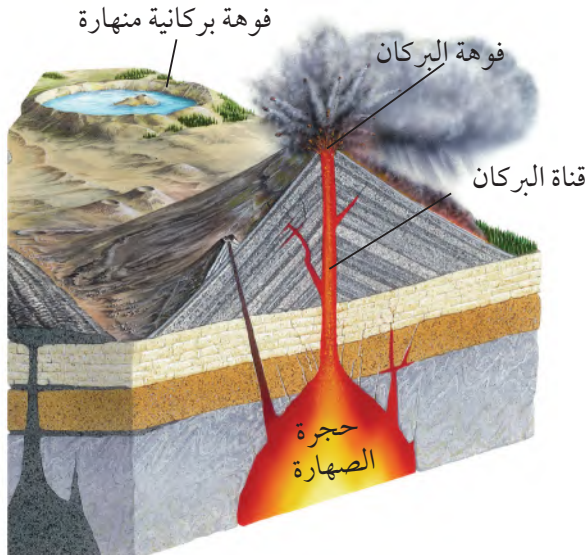
رؤية ٢٠٣٠  
2030  
المملكة العربية السعودية  
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

من أهداف الرؤية: حماية البيئة من الأخطار الطبيعية.





الشكل 6-7 طفوح البازلت (الحرّات) التي تغطي أجزاء من المنطقة الغربية من الجزيرة العربية، وقد تشكلت بفعل تدفقات اللابة عبر الشقوق التي أصابت الصفائح العربية في أثناء تشكّل البحر الأحمر قبل 25 مليون سنة، واستمر تشكّل هذه البراكين إلى العصر الحالي.

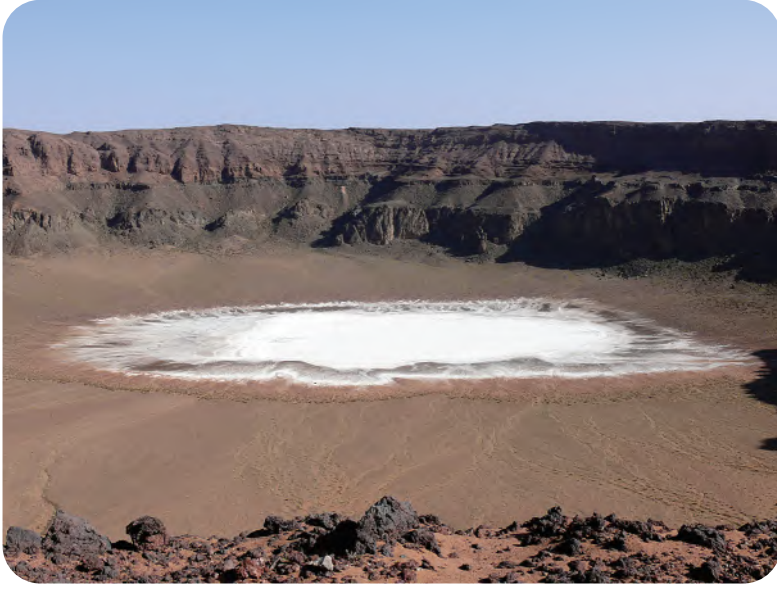


الشكل 6-8 ترتفع الصهارة إلى أعلى من باطن الأرض مرورًا بالقناة، ومنها إلى السطح من خلال العنق، مكونة البركان. وتسمى المنطقة المحيطة بالعنق فوهة البركان، وقد تتطور إلى فوهة بركانية منهارة عندما تنهار القشرة الأرضية في حالة وجود فراغ في حجرة الصهارة.

لاحظ موقع كل من فوهة البركان والقناة في الشكل 6-8.

وعلى الرغم من أن قطر فوهة البركان لا يزيد على 1 km، إلا أن قطر الفوهة البركانية المنهارة **Caldera** قد يصل إلى 50 km، وهي منخفض ضخم أكبر من الفوهة. وتشكّل الفوهة البركانية المنهارة نتيجة انهيار قمة البركان أو جوانبه بعد أن تُخرج حجرة الصهارة الواقعة أسفل البركان مكوناتها بفعل الثورات البركانية الرئيسية، ولاحقًا قد يمتلئ السطح المنهار بالمياه، مما يؤدي إلى تشكّل بحيرات خلابة. ومن الفوهات البركانية المنهارة في المملكة العربية السعودية فوهة الهثيمة بالقرب من قرية طابة في منطقة حائل، انظر الشكل 6-9.





الشكل 9-6 تمثل فوهة الهتيمية في منطقة حائل إحدى الفوهات البركانية المنهارة، ويتراكم على سطحها كميات من الملح نتيجة تبخر المياه التي تتجمع فيها.

## تجربة

### نمذجة الفوهة البركانية المنهارة

كيف تتشكّل الفوهة البركانية المنهارة؟ الفوهة البركانية المنهارة ما هي إلا فوهات بركانية توسعت وتعمقت نتيجة انهيار قمة البركان أو جوانبه في حجرة الصهارة التي كانت تغذي البركان.

#### خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. احصل من معلمك على صندوق صغير وأنبوب مطاطي طوله 10 cm ومشبك وبالون.
3. بطن الصندوق بورق جرائد، واثقبه ثقباً صغيراً باستعمال المقص من الجنب.
4. مرّر عنق البالون عبر الثقب، بحيث يكون البالون في داخل الصندوق، وأدخل الأنبوب المطاطي في عنق البالون، وثبهما باللاصق، وانفخ البالون من خلال النفخ بالأنبوب، وأغلق البالون بالمشبك.

5. صبّ ستة أكواب من الرمل على البالون.
6. كوّن من الرمل شكلاً على صورة بركان، وقد تحتاج إلى تغيير كمية الرمل ونوع الصندوق للتوصل إلى النتيجة المرجوة.
7. انزع المشبك لإخراج الهواء من البالون، ثم لاحظ كيف تتشكل الفوهة البركانية المنهارة الخاصة بك، وسجل ملاحظتك.
8. قارن نموذجك بنماذج زملائك في الصف.

#### التحليل

1. رتب مراحل تشكّل الفوهة البركانية المنهارة.
2. قارن بين معالم الفوهة البركانية المنهارة ومعالم الفوهة البركانية.
3. استنتج كيف يختلف شكل الفوهة البركانية المنهارة باختلاف مقدار النفخ في البالون؟



## المهّن في علم الأرض

### عالم البراكين-

يُسمى العالم الذي يدرس الثورات البركانية وطفوح اللابة والصهارة وظروف تكونها عالم البراكين. ويدرس العلماء في الميدان البراكين النشطة، ويعملون أيضًا في المختبر لفهم كيف تنصهر الصخور لتشكيل الصهارة.

### المطويات

صنّ المعلومات في هذا الدرس في المطوية الخاصة بك.

## أنواع البراكين Types of Volcanoes

يعتمد مظهر البركان على عاملين، هما: نوع المواد المكوّنة للبركان، ونوع الثورات البركانية التي تحدث. وبناءً على هذين العاملين، هناك ثلاثة أنواع رئيسية من البراكين تختلف في الحجم والشكل والمكوّنات، انظر الجدول 1-6.

**البراكين الدرعية Shield volcanoes:** البركان الدرعي Shield volcano يتكون عندما تتراكم طبقات من اللابة في أثناء الثورات البركانية الهادئة، وهو من أكبر أنواع البراكين، مثل جبل عناز في حرة عويرض ذو الانحدار القليل والقاعدة شبه الدائرية، ويعد بركان حليات اللابة (جبل المساء) بحرة رهاط من البراكين الدرعية، انظر الجدول 1-6.

**البراكين المخروطية Cinder cones:** تتشكل البراكين المخروطية Cinder cones عندما تعود المواد البركانية الصغيرة الحجم المقذوفة في الهواء إلى الأرض، وتتراكم حول فوهة البركان. وتمتاز البراكين المخروطية بأنها شديدة الانحدار، وعادة ما تكون صغيرة الحجم، ومعظمها لا يزيد ارتفاعه على 500 m. ومن أمثلتها براكين حرة الشاقة بالقرب من مدينة العيص.

**البراكين المركبة Composite volcanoes:** تتكون البراكين المركبة Composite volcanoes من طبقات مكونة من قطع لابة متصلبة في أثناء ثورات عنيفة متعاقبة مع طبقات من اللابة انسابت إلى أسفل قبل أن تتصلب، وتكون البراكين المركبة عمومًا مخروطية الشكل، مع وجود منحدرات مقعرة الشكل، وحجمها أكبر كثيرًا من البراكين المخروطية. وبسبب طبيعتها المتفجرة فإنها تشكّل خطرًا على الإنسان والبيئة. ومن الأمثلة عليها بركان جبل القدر في حرة خيبر شمال المدينة المنورة، كما في الجدول 1-6.

### الجدول 1 - 6

### أنواع البراكين

الوصف	أمثلة على البراكين
<b>البراكين الدرعية</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• أضخم أنواع البراكين الثلاثة.</li><li>• قليلة الانحدار وتمتد مسافات طويلة.</li><li>• تتكون من طبقات متعاقبة من اللابة البازلتية المتصلبة.</li><li>• ثوراتها هادئة.</li></ul>	



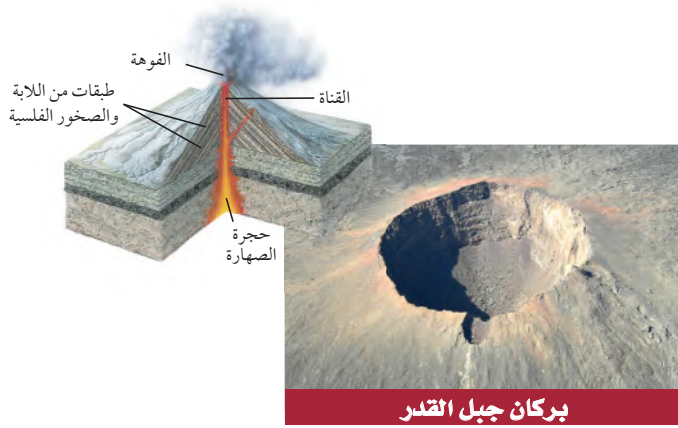




بركان في حرة الشاقة

### البراكين المخروطية

- أصغر أنواع البراكين الثلاثة.
- شديدة الانحدار وشكلها مخروطي.
- تتألف عادة من اللابة البازلتية.
- ثوراتها عنيفة.
- تتشكل عادة على أطراف البراكين الكبيرة الحجم.



بركان جبل القدر

### البراكين المركبة

- أكبر كثيرًا من البراكين المخروطية.
- تشكّل جبالاً طويلة وشاخحة.
- تتألف من طبقات متعاقبة من تدفقات اللابة.
- تتألف من تعاقبات من ثورات بركانية عنيفة وثورانات بركانية هادئة.

## التقويم 1-6

### الخلاصة

- تتضمن عملية النشاط البركاني جميع العمليات التي تصعد فيها الصهارة والغازات إلى سطح الأرض.
- توجد معظم البراكين على اليابسة ضمن حزامي البراكين الرئيسة، وهما: حزام المحيط الهادي، وحزام البحر الأبيض المتوسط.
- تتضمن أجزاء البركان: القناة، والفوهة.
- توجد طفوح البازلت على هيئة سهول منبسطة أو هضاب، وتتكون نتيجة تدفق اللابة من شقوق القشرة الأرضية.
- هناك ثلاثة أنواع رئيسة للبراكين هي: الدرعية، والمخروطية، والمركبة.

### فهم الأفكار الرئيسة

1. وضح كيف ترتبط مواقع البراكين مع نظرية حركية الصفائح؟
2. اذكر بركانين في حزام البحر المتوسط.
3. ارسم بركاناً وحدد أجزاءه على الرسم.
4. اقترح نوع (أو أنواع) العمليات الأرضية التي حدثت في منطقة نشاط بركاني سابق في المملكة العربية السعودية مستعيناً بالخريطة.

### التفكير الناقد

5. قوّم الجملة الآتية: "توجد البراكين على طول السواحل فقط".
6. حدّد ما إذا كانت طفوح البازلت تمثل بركاناً أم لا.

### الرياضيات في الجيولوجيا

7. هب أن صفيحة المحيط الهادي تحركت 500 km في 4.7 ملايين سنة. احسب متوسط سرعة صفيحة المحيط الهادي بالسنتيمتر في السنة (cm/y).



## 6-2

### الثورانات البركانية Volcanic Eruptions

#### الأهداف

- توضح كيف يؤثر نوع الصهارة في النشاط البركاني.
- تصف دور الضغط والغازات الذائبة في الثورانات البركانية.
- تتعرف المواد التي تقذفها الثورانات البركانية.

#### الفكرة الرئيسية

تحدد مكونات الصهارة خصائص الثوران البركاني.

الربط مع الحياة لعلك رججت قنينة مشروب غازي يوماً، ثم فتحتها. هل لاحظت فوران المشروب الغازي بشدة خارج القنينة؟ هذه العملية تشبه ما يحدث في الثورانات البركانية المتفجرة.

### تشكل الصهارة Making Magma

ما الذي يجعل بعض الثورانات البركانية هادئة أحياناً وشديدة الانفجار أحياناً أخرى؟ يعتمد النشاط البركاني وخصائص اللابة على مكونات الصهارة. ويوضح الشكل 10-6 نوعين من اللابة: لابة رقيقة ومنخفضة اللزوجة تتدفق بسرعة، ولابة سميكة ولزجة تتدفق ببطء. ويتطلب فهم سبب اختلاف الثورانات البركانية معرفة كيف تنصهر الصخور لتشكيل الصهارة.

**درجة الحرارة Temperature** تنصهر معظم الصخور ضمن مدى من درجات الحرارة يتراوح بين  $800^{\circ}\text{C}$  و  $1200^{\circ}\text{C}$ ، ويعتمد ذلك على مكوناتها والضغط الواقع عليها ووجود الماء فيها.

**الضغط Pressure** يزداد الضغط بزيادة العمق بسبب زيادة وزن الصخور، إلا أن زيادة الضغط تؤدي إلى رفع درجة الانصهار، لاحظ أن درجة انصهار الألبيت على سطح الأرض في غياب الماء تساوي  $1100^{\circ}\text{C}$ ، وتزداد إلى  $1150^{\circ}\text{C}$  على عمق 6 km، ثم إلى  $1440^{\circ}\text{C}$  على عمق 100 km. ولاحظ أيضاً كيف يفسر عامل الضغط سبب انصهار معظم الصخور أسفل القشرة الأرضية وأعلى الستار.

#### مراجعة المفردات

**البازلتية**: ترتبط مع نوع من الصخور الغنية بالمعادن الداكنة التي تحتوي على الماغنسيوم والحديد.

#### المفردات الجديدة

اللزوجة

المقذوفات البركانية الصلبة

تدفق الفتات البركاني



جبل سانت هيلين



جبل إتنا



الشكل 10-6 تعتمد كيفية تدفق اللابة على مكونات الصهارة؛ فلزوجة لابة بركان جبل إتنا قليلة، وتدفق بسرعة مقارنة بلابة بركان جبل سانت هيلين ذات اللزوجة المرتفعة القليلة التدفق.

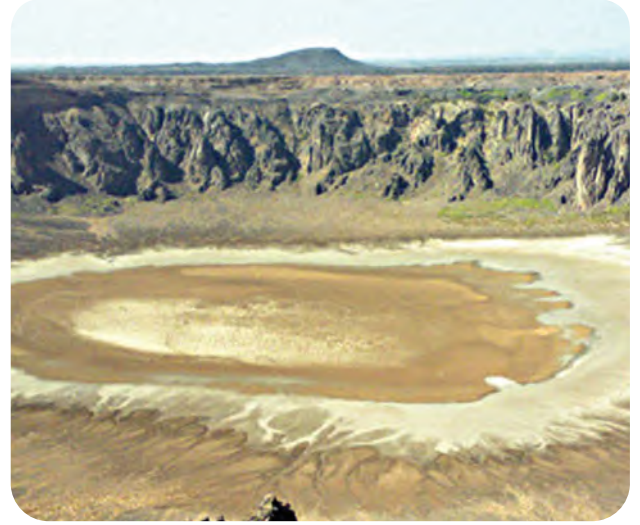
## مكوّنات الصهارة Composition of Magma

تُحدّد مكوّنات الصهارة شدة ثوران البركان، وكيفية تدفق اللابة على سطح الأرض. فما العوامل التي تحدّد هذه المكوّنات؟ استطاع العلماء تحديد العوامل التي تتحكم في مكوّنات الصهارة وهي: تفاعلها مع صخور القشرة الأرضية التي تعلوها، ودرجة حرارتها، والضغط الواقع عليها، وكميات الغازات الذائبة فيها، ومحتواها من السليكا. ويُعد العامل الأخير من أكثر العوامل تأثيرًا. ويرى العلماء أن هذه العوامل تساعدهم على معرفة سلوك الصهارة وتوقع شدة الثورات البركانية.

**الغازات الذائبة Dissolved gases** تزداد شدة الانفجار البركاني للصهارة بزيادة كمية الغازات الذائبة فيها، مثلما يحدث في المشروب الغازي عندما يزداد فورانه بزيادة الغازات الذائبة فيه. ومن الغازات المهمة في الصهارة بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، وكبريتيد الهيدروجين، ويُعد بخار الماء من أكثر الغازات الذائبة أهمية؛ لأنه يحدّد أين يمكن أن تتكون الصهارة.

**اللزوجة Viscosity** تُسمى الخاصية الفيزيائية التي تصف مقاومة المواد للتدفق اللزوجة **Viscosity**. وتؤثر كل من درجة حرارة الصهارة ومحتواها من السليكا في لزوجتها. وعمومًا تزداد لزوجة الصهارة بانخفاض درجة حرارتها. أما زيادة محتوى الصهارة من السليكا فيجعلها كثيفة القوام ولزجة. وتؤدي زيادة لزوجة الصهارة إلى زيادة احتفاظها بالغازات الذائبة، فلا تسمح لها بالانفلات بسهولة، لذا تنتج ثورات بركانية متفجرة. وعمومًا، إذا كان محتوى الصهارة من السليكا منخفضًا انخفضت لزوجتها، وكانت خفيفة القوام، وتندفق بسرعة ويسر، كما في العسل الساخن، كما أنها تُنتج ثورات هادئة غير مصحوبة بانفجارات. وتتكون البراكين الناتجة من صخور بازلتية كما في حرة كشب غرب المملكة. انظر الشكل 11-6.

ماذا قرأت؟ أيهما أكثر لزوجة: الماء أم العسل؟



الشكل 11-6 بركان حرة كشب غرب المملكة العربية السعودية.





## أنواع الصهارة Types of Magma

لا يحدد محتوى الصهارة من السليكا لزوجة الصهارة وشدة ثورانها فقط، بل يحدده أيضاً نوع الصخر البركاني الذي سيتشكل حينما تبرد الصهارة. ادرس الشكل 12-6 لتلخيص أنواع الصهارة.

**صهارة بازلتية Basaltic magma** تتكوّن الصهارة البازلتية عندما تنصهر صخور الستار العلوي عادة، وتتكون من كمية السليكا نفسها التي يحتويها صخر البازلت، وهي أقل من 50%. وعندما تصعد الصهارة من الستار العلوي إلى سطح الأرض تتفاعل مع قليل من صخور القشرة الأرضية والرسوبيات التي تعلوها، وتكون لزوجتها منخفضة لانخفاض محتواها من السليكا، لذا تخرج الغازات منها بسهولة، وتكون ثوراتها هادئة. ويوضح الشكل 13-6 كيف تحدث خصائص الصهارة نوع الثوران البركاني الذي سيحدث. ومن البراكين التي تكوّنت بفعل نشاط صهارة بازلتية حرّة كشب غربي المملكة.

**صهارة أنديزيتية Andesitic magma** تتكون الصهارة الأنديزيتية من الكمية نفسها من السليكا المكوّنة لصخر الأنديزيت التي تتراوح بين 50-60%، وتوجد على طول نطاق الطرح القاري-المحيطي، ومصدرها إما القشرة المحيطية وإما رواسب المحيطات، ولأنها تحتوي على كمية متوسطة من السليكا فإن لزوجتها متوسطة وثوراناتها متوسطة الشدة، ومنها بركان تامبورا في إندونيسيا، الذي أنتج انفجارات أطلقت كميات ضخمة من الرماد والحطام البركاني في الغلاف الجوي، فلم تؤدّ فقط إلى تدمير المجتمعات المحلية، بل أثرت أيضاً في البيئة العالمية.

**صهارة ريوليتية Rhyolitic magma** تتكون الصهارة الريوليتية عندما تمتزج الصهارة الصاعدة إلى أعلى مع صخور القشرة القارية العلوية الغنية بالسليكا والماء، وتتكون من الكمية نفسها من السليكا المكوّنة لصخر الجرانيت التي تزيد على 60%، وتؤدي لزوجتها المرتفعة إلى جعلها تندفق ببطء، كما أن لزوجتها المرتفعة أيضاً مع وجود كمية كبيرة من الغازات المحصورة يجعل ثوراتها متفجرة جداً. ومن الأمثلة عليها الصخور الريوليتية في جبل حرّة شامة في المملكة العربية السعودية.

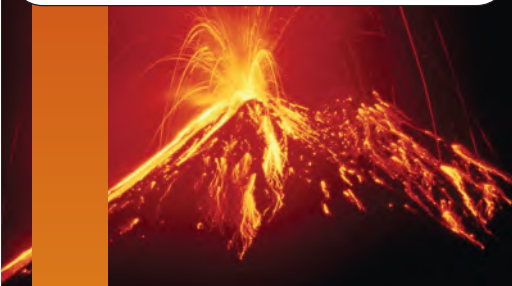
- تتفاعل بكميات قليلة مع صخور القشرة الأرضية العلوية.
- محتواها من السليكا قليل، لذا تتدفق بسهولة.
- تنور بصورة هادئة دون انفجارات.



أعلى درجة حرارة  
أقل لزوجة

### صهارة بازلتية: لزوجتها منخفضة

- مصدرها مواد القشرة المحيطية والرسوبيات.
- يتراوح محتواها من السليكا بين 50-60%.
- تنور في صورة انفجارات.



### صهارة أنديزيتية: لزوجتها متوسطة

- مصدرها مواد القشرة القارية.
- نسبة محتواها من السليكا يزيد على 60%.
- تنور في صورة انفجارات عنيفة.



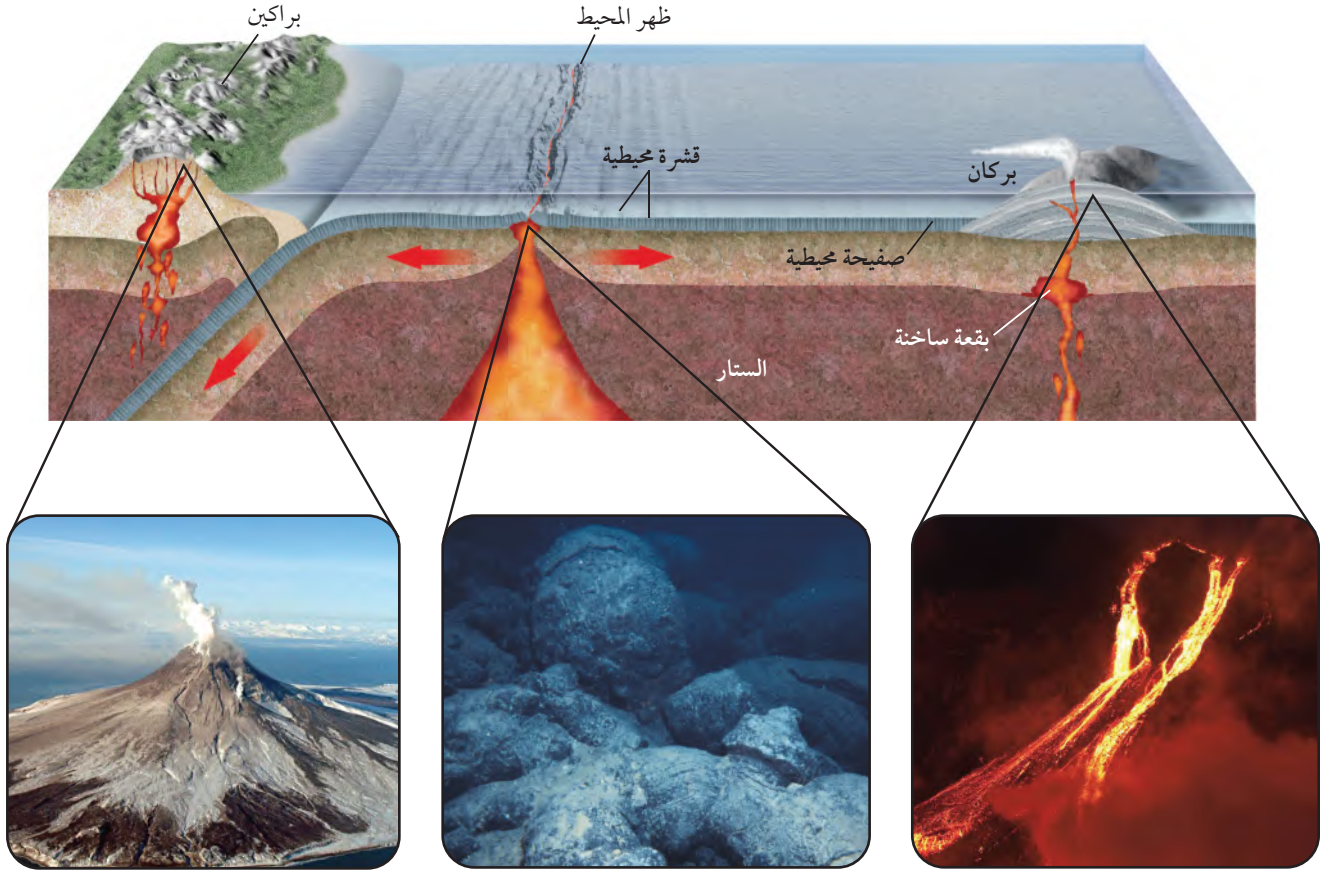
أقل درجة حرارة  
أعلى لزوجة

### صهارة ريوليتية: لزوجتها كبيرة

الشكل 12-6 إذا كانت الصهارة أو اللابة فقيرة إلى السليكا كانت لزوجتها منخفضة، وإذا كانتا غنيتين بالسليكا كانت لزوجتها مرتفعة.



# الثورانات البركانية Volcanic Eruptions



## ثورانات بركانية متفجرة

تحدث ثورانات بركانية متفجرة عندما تعبر صهارة غنية بالسليكا قشرة قارية، وتحتفظ هذه الصهارة بالغازات، مما يؤدي إلى تولد ضغط شديد جداً بداخلها، وعند تحرر هذا الضغط تنشأ انفجارات عنيفة.

## ثورانات بركانية تحت الماء

أكثر أنواع اللابة شيوعاً هي اللابة الوسادية التي تتكون عند الحدود المتباعدة على امتداد القشرة المحيطية، وتنساب في قاع المحيط وتكوّن كتلاً على شكل وسائد عندما تبرد.

## ثورانات بركانية هادئة

معظم براكين الأرض النشطة مصاحبة لبقع ساخنة تقع أسفل قشرة محيطية. ولأن الصهارة التي تعبر القشرة المحيطية في أثناء صعودها إلى أعلى تحتفظ بدرجة حرارة مرتفعة وبمحتويات قليلة من السليكا والغازات فإن اللابة الناتجة عنها تخرج من البراكين بسهولة في صورة ثورانات بركانية هادئة نسبياً.

الشكل 13-6 عندما تصعد الصهارة إلى أعلى بفعل حركات الصفائح الأرضية والبقع الساخنة، تختلط مع قشرة الأرض، ويؤدي هذا إلى الاختلاف في درجة حرارة الصهارة ومحتواها من السليكا والغازات. وتحدد خصائص الصهارة هذه كيفية ثوران البراكين.







كتلة بركانية



• حجم الحبيبات 0.5 mm

رماد بركاني

الشكل 14-6 يُعد الرماد البركاني أصغر المقذوفات البركانية الصلبة من حيث الحجم، في حين أن الكتلة البركانية هي مثال على أكبر صنف من المقذوفات البركانية الصلبة.

**قارن** بين هذين النوعين من المقذوفات البركانية الصلبة. ما الشيء المشترك بينهما؟

## الثورانات البركانية المتفجرة Explosive Eruptions

عندما تكون اللابة في القناة لزجة جداً فإنها لا تتدفق من فوهة البركان بحرية، بل تتراكم فيها الغازات إلى أن تخرج في صورة انفجارات عنيفة، حيث تُقذف اللابة مع الصخور في الهواء. وتسمى المواد التي تقذفها البراكين **المقذوفات البركانية الصلبة tephra**. وربما تكون المقذوفات البركانية الصلبة قطعاً من اللابة تصلبت في أثناء وجودها في الهواء، أو قطعاً من قشرة أرضية حملتها الصهارة معها قبل ثورانها. وتصنف المقذوفات البركانية الصلبة بحسب حجمها؛ فالقطع الصغيرة التي يقل قطرها عن 2 mm تُسمى رماداً بركانياً، وتُسمى المقذوفات البركانية الأكبر من ذلك كتلاً بركانية. انظر الشكل 14-6، وقد يبلغ ارتفاع بعض الكتل البركانية متراً، وقد يصل حجم بعضها إلى حجم سيارة. وتنتشر الثورانات البركانية المتفجرة الضخمة كميات هائلة من المقذوفات البركانية فوق معظم الأرض، وقد يصل الرماد البركاني إلى ارتفاع 40 km في الغلاف الجوي في أثناء الثوران البركاني، ويشكل خطراً على الطائرات، كما يمكن أن يُغير حالة الطقس. ويوضح الشكل 15-6 بركان جبل بيناتوبو في الفلبين الذي ثار عام 1991م، وشكّل غيمة بركانية من الرماد البركاني على ارتفاع 40 km، حيث بقيت حبيبات صلبة وقطيرات من حمض الكبريتيك في طبقة الستراتوسفير مدة سنتين تقريباً، مما أدى إلى حجب أشعة الشمس، ثم انخفاض درجة حرارة الأرض.



الشكل 15-6 ثار بركان جبل بيناتوبو في الفلبين عام 1991م فأطلق كميات هائلة من الرماد البركاني تراكمت في طبقة الستراتوسفير، مما أدى إلى انخفاض درجة حرارة الأرض لمدة سنتين.







تدفق الفتات البركاني



بركان بيلي عام 1902م

## تدفق الفتات البركاني Pyroclastic Flow

تؤدي بعض المقذوفات البركانية الصلبة إلى دمار كبير في الممتلكات وقتل آلاف الناس، كما تقذف بعض البراكين العنيفة غيوماً من الرماد البركاني وغيرها من المقذوفات البركانية الصلبة نحو أسفل المنحدر بسرعة  $200 \text{ km/h}$ . وتسمى غيوم المقذوفات البركانية الصلبة الممزوجة مع الغازات الساخنة **تدفق الفتات البركاني pyroclastic flow**، وقد تزيد درجة حرارتها الداخلية على  $700^\circ \text{C}$ . ويوضح الشكل 6-16 آثار الدمار التي خلفها بركان بيلي في جزيرة مارتينيك في البحر الكاريبي عام 1902م، وتدفق فتات بركاني يتصاعد إلى أعلى عند ثوران بركان مايون في المكسيك في عام 2000م.

الشكل 6-16 أدى التدفق الشديد للفتات البركاني من جبل بيلي إلى تدمير بلدة سانت بيير في جزر المارتينيك في البحر الكاريبي في دقائق معدودة.

## التقويم 2-6

### الخلاصة

- هناك ثلاثة أنواع رئيسة من الصهارة، هي: البازلتية والأنديزيتية والريوليتية.
- اعتماداً على نسبة محتوى الصهارة من السليكا فإن الصهارة البازلتية هي أضعف أنواع الصهارة في شدة الثوران، في حين أن الصهارة الريوليتية أشدها.
- درجة الحرارة والضغط ووجود الماء عوامل تؤثر في تشكل الصهارة.
- اللابة المتصلبة والقطع الصخرية التي تطلقها البراكين في أثناء ثورانها تسمى المقذوفات البركانية الصلبة.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. ناقش كيف تحدد مكونات الصهارة خصائص ثورانها؟
2. أعد صياغة كيف ترتبط لزوجة الصهارة بشدة انفجارها؟
3. توقع شدة انفجار بركان ناتج عن صهارة غنية بالسليكا والغازات.
4. ميز بين المقذوفات البركانية الصلبة من حيث أحجامها.

### التفكير الناقد

5. استنتج التركيب الكيميائي للصهارة الذي أدى إلى ثوران بركان جبل فيزوف عام 79 قبل الميلاد بهذه الطريقة.

### الكتابة في الجيولوجيا

6. اكتب نشرة إخبارية تتناول فيها أحداث بركان ما.

# علم الأرض والتقنية

## مرصد هاواي البركاني



غالبًا ما يرتدي الجيولوجيون خوذات، ويكون بحوزتهم أدوات تسلق، ويرتدون ملابس مقاومة للحرارة وأقنعة واقية من الغاز، وغير ذلك من المعدات؛ لحماية أنفسهم من الظروف الخطرة حول البراكين النشطة. كما أن عليهم ارتداء القفازات المقاومة للحرارة لحظة وصولهم إلى موقع جمع العينات.

**رصد سطح الأرض** يستعمل العلماء أداة تسمى عداد المسافة الإلكترونية لمساعدتهم على رصد البراكين الأرضية والتنبؤ بثوراتها. ففي أثناء صعود الصهارة نحو سطح الأرض قد يحدث ميلان للسطح أو انخفاض أو انتفاخ بسبب ما تشكله الصهارة من الضغوط في أثناء صعودها.

ويقوم العلماء في مرصد هاواي البركاني بتسجيل البيانات باستمرار، وإجراء التجارب، وتناقلها في جميع أنحاء العالم. ويعود الفضل في فهم الكثير من طبيعة البراكين في أيامنا الحالية إلى الأبحاث المستمرة لهؤلاء العلماء.

### الكتابة في الجيولوجيا

ابحث في الطرائق التي يتبعها العلماء لتوقع وقت ثوران البركان وحجمه ونوعه. ولزيد من المعلومات يمكنك تصفح مواقع الإنترنت الموثوقة. لخص معلوماتك وشارك بياناتك زملاءك في الصف.

**كيلاوي** من البراكين الدرعية في جزيرة هاواي، وهو أحد البراكين الأكثر نشاطاً وخطورة. ويقوم العلماء بمراقبة الظروف المحيطة بهذا البركان. ويعد مرصد هاواي البركاني بمثابة مختبر؛ حيث يتم فيه دراسة العينات التي تجمع من منطقة البركان.

**جمع الالابة البركانية** تخيل نفسك واقفاً بجوار الالابة البركانية المتحركة التي تبلغ درجة حرارتها  $1170^{\circ}\text{C}$ . للحصول على القياس المباشر لدرجة الحرارة، أو لجمع العينات الجيولوجية على العلماء تحمل درجات الحرارة المرتفعة وتوخي الحذر في أثناء سيرهم ومتابعة خطواتهم. ويتم جمع العينات في ظروف خاصة؛ حيث تجمع في أوعية مقاومة للحرارة، وتبرد مباشرة بوضعها في وعاء فيه ماء لمنع تلوث العينات بالهواء المحيط. ولكي يحمي العلماء أنفسهم من الأجواء المحيطة بهم فإنهم يرتدون ملابس خاصة، ويصطحبون معداتهم كاملة، كما توضحه الصورة.

**النشاط الزلزالي** يسبق ثوران البراكين غالباً نشاط زلزالي، ويعد أحد المؤشرات على حدوث ثوران بركاني؛ حيث يلجأ العلماء إلى توزيع أجهزة رصد الزلازل (السيزمومتر) حول فوهة البركان، وفي مناطق قريبة منه لرصد النشاط الزلزالي.

**العينات الغازية** يجمع العلماء في مرصد هاواي البركاني عينات من الغازات المنبعثة من فوهات البراكين لمعرفة نسبة غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون. وتشير الزيادة في انبعاث غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون إلى ثوران محتمل للبركان.



# 6-3

## الأهداف

- تقارن بين أنواع الأمواج الزلزالية الثلاثة.
- تصف كيف يعمل مقياس الزلازل (السيزمومتر).
- تفسر كيف استعملت الأمواج الزلزالية في معرفة مكونات باطن الأرض وتركيبها.

## مراجعة المفردات

**الستار:** جزء من باطن الأرض يقع أسفل القشرة الأرضية وفوق اللب.

## مفردات جديدة

- الأمواج الزلزالية
- الأمواج الأولية
- الأمواج الثانوية
- الأمواج الجسمية
- الأمواج السطحية

بؤرة الزلزال

المركز السطحي للزلزال

مقياس الزلزال

مخطط الزلزال

## الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

### Seismic Waves and Earth's Interior

**الفكرة الرئيسية** يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصوّر بنية الأرض الداخلية.

**الربط مع الحياة** عندما تنظر إلى المرآة فإنك ترى نفسك؛ لأن أمواج الضوء تنعكس عن وجهك وتتجه نحو المرآة، ثم ترتد عن سطحها إلى عينيك، فتحدث الرؤية. وبالكيفية نفسها، تنتقل الأمواج الزلزالية في باطن الأرض، وتنعكس عن التراكيب الداخلية معطية بذلك صورة عنها.

### الأمواج الزلزالية Earthquake Waves

تنتج معظم الزلازل بفعل الحركة التي تحدث على الصدوع. إن الحركة في الصدوع قد تكون عبر سطوح ملساء نسبياً، أو عبر سطوح خشنة، كما في حركة الكتلتين الخشبيتين المغطاتين بورق الصنفرة؛ حيث تعمل السطوح الخشنة على إعاقة الحركة وإيقافها. كذلك مع استمرار حركة الصخور عبر السطوح الخشنة تتراكم الجهود فيها، وتعاين الصخور من تشوّه مرّن، حيث ترجع الصخور إلى وضعها الأصلي عند إزالة الإجهاد عنها. عندما تتجاوز الجهود المتراكمة في الصخور حد المرونة، وهو الحد الذي تفقد فيه الصخور خاصية المرونة، فإنها تلتوي أو تتمدد، وتصبح في مرحلة التشوّه اللدن. وعندما تنكسر الصخور أو تنزلق عبر السطوح تنحرر الطاقة المخزنة منتجة الزلزال.

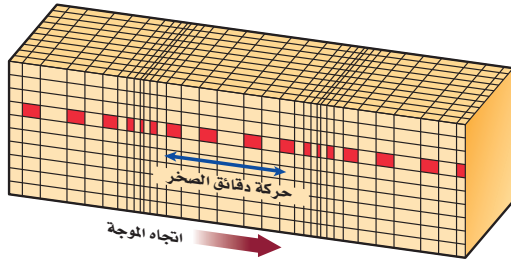
**أنواع الأمواج الزلزالية Types of seismic waves** تسمى الأمواج التي تنتشر في الأرض والناجمة عن الزلزال **الأمواج الزلزالية Seismic waves**. وينتج عن كل زلزال ثلاثة أنواع من الأمواج الزلزالية هي: الأولية والثانوية والسطحية.

**الأمواج الأولية Primary waves** يطلق عليها أيضاً أمواج P. تعمل **الأمواج الأولية Primary Waves** على تضاعف الصخور وتخلخلها في نفس اتجاه حركتها، انظر الشكل 17-6. لاحظ من الشكل أن حجم الصخر المشار إليه بالمربعات الحمراء الصغيرة يتغير مع مرور الأمواج الأولية فيه. وتشبه الحركة التضاغية للأمواج الأولية الحركة التي تحدث على طول نابض رخوا؛ إذ تنتقل الحركة الموجية على طولها في اتجاه مواز لاتجاه شدّه في البداية.

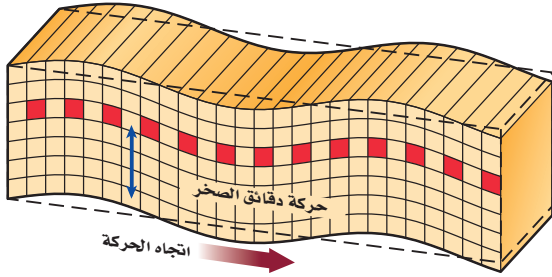




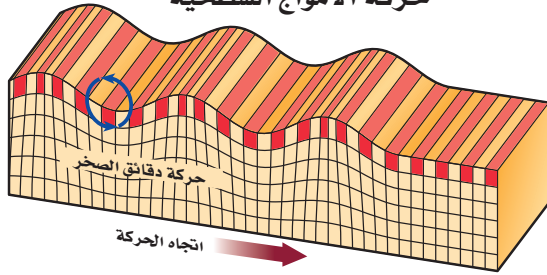
حركة الأمواج الأولية P



حركة الأمواج الثانوية S



حركة الأمواج السطحية



الشكل 17-6 تمتاز الأمواج الزلزالية بنوع الحركة التي تسببها للصخور التي تمر فيها؛ حيث تكون حركة جسيمات الصخور إلى الأمام وإلى الخلف وفي نفس اتجاه حركة أمواج P- بينما تكون حركة الأمواج S- عمودية على خط انتشار الموجة، وإلى أعلى وإلى أسفل، ومن جانب إلى آخر في الأمواج السطحية.

## الأمواج الثانوية Secondary waves يطلق

عليها أيضًا أمواج S. وسميت الأمواج الثانوية Secondary Waves لأنها أبطأ من الأمواج الأولية، وهي ثاني الأمواج الزلزالية وصولاً إلى محطة الرصد. وتُسبب الأمواج الثانوية في أثناء حركتها حركة جسيمات الصخور عمودياً على اتجاه حركتها، كما في الشكل 17-6، وتشبه الحركة الموجية في الحبل؛ حيث تنتقل عمودياً إلى أعلى وإلى أسفل من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر. وتسمى كل من الأمواج الأولية والثانوية والأمواج الجسمية Body waves؛ لأنها تنتقل داخل الأرض.

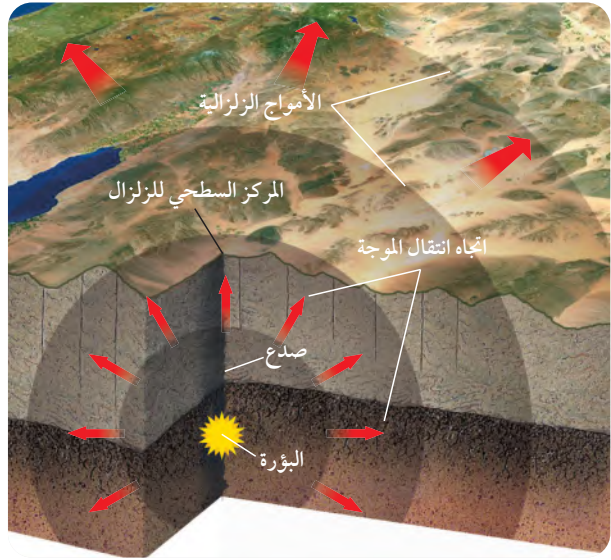
## الأمواج السطحية Surface waves تنتقل

الأمواج السطحية Surface waves على سطح الأرض فقط، وهي أبطأ الأمواج الزلزالية، لذلك فهي ثالث الأمواج وصولاً إلى محطة الرصد وتتسبب في حركة جسيمات سطح الأرض حركة جانبية إلى أعلى وإلى أسفل كحركة الأمواج البحرية، كما في الشكل 17-6. وتعد من أكثر الأمواج الزلزالية تدميراً؛ لأنها تسبب معظم أنواع الحركة، كما أنها تستغرق وقتاً أطول لتعبّر الصخور.

## نشأة الأمواج الزلزالية Generations of seismic waves

تنشأ أولى الأمواج الزلزالية الجسمية في نقطة الكسر في صخور القشرة الأرضية، وتنتشر منها في جميع الاتجاهات، وتسمى هذه النقطة بؤرة الزلزال Focus، وتقع في معظم الأحيان على عمق يبلغ عدة كيلومترات أسفل سطح الأرض. أما النقطة التي تقع على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة فتسمى المركز السطحي للزلزال Epicenter الشكل 18-6، وتنشأ الأمواج الزلزالية السطحية عن المركز السطحي للزلزال، وتنتشر منها على سطح الأرض.

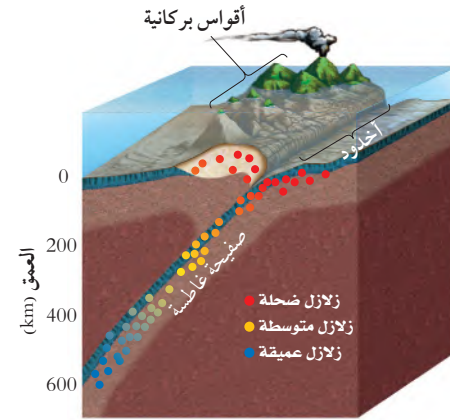




**الشكل 6-18** بؤرة الزلزال هي النقطة التي تبدأ عندها تشكّل الكسر في الصدع. وتسمى النقطة التي تقع على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة المركز السطحي للزلزال. **استنتج** حدد النقطة التي يكون عندها الدمار الذي تسببه الأمواج السطحية أكبر ما يمكن.

وتنتقل الطاقة المنبعثة من بؤرة الزلزال في جميع الاتجاهات على هيئة موجات زلزالية. وتبلغ قوة الزلازل أكبر ما يمكن في بؤرة الزلزال، وكلما ابتعدنا عن البؤرة قلت قوة الموجات الزلزالية وخفت بسبب المقاومة التي تواجهها في أثناء مرورها في صخور القشرة الأرضية. وتصنف الزلازل بحسب عمق البؤرة، كما في الشكل 6-19، إلى ثلاثة أنواع: الزلازل الضحلة التي تنشأ على عمق أقل من 70 km، والزلازل المتوسطة التي تنشأ على عمق 70-300 km، والزلازل العميقة التي تنشأ على عمق 300-700 km.

ويوضح الشكل 6-19 العلاقة بين نطاق الطرح - الناتج عن غطس صفيحة أرضية أسفل صفيحة أخرى - وحدوث الزلازل. ولا تحدث الزلازل العميقة إلا في هذا النوع من الحدود. والمسؤول عن حدوث الزلازل في هذا النطاق - وبخاصة العميقة منها - هو الصفيحة الغاطسة الصلبة؛ حيث يسبب غطس الصفيحة إلى أسفل تراكم الجهود فيها، مما يؤدي إلى تكسرها وتحرير طاقة على شكل أمواج زلزالية ذات بؤر مختلفة الأعماق.



**الشكل 6-19** تصنف الزلازل بناء على عمق البؤرة إلى زلازل ضحلة ومتوسطة وعميقة. وتعد الزلازل الضحلة أكثرها تدميراً.

### مقياس الزلزال ومخططه

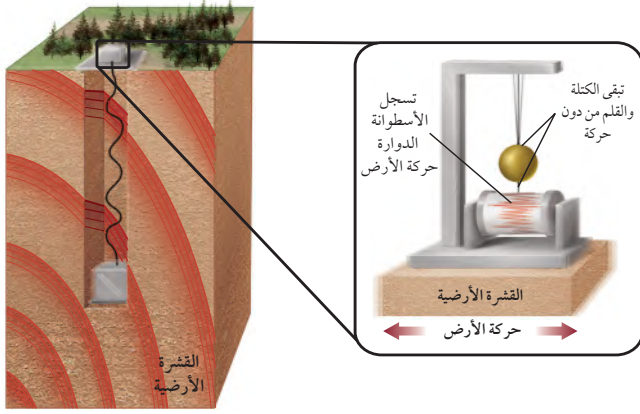
## Seismometer and Seismogram

لا يمكن الإحساس بالاهتزازات الناجمة عن الأمواج الزلزالية على مسافات بعيدة جداً عن المركز السطحي، ولكن يمكن اكتشافها عن طريق جهاز حساس يسمى مقياس الزلزال (السيزمومتر) **Seismometer**، انظر الشكل 6-20.

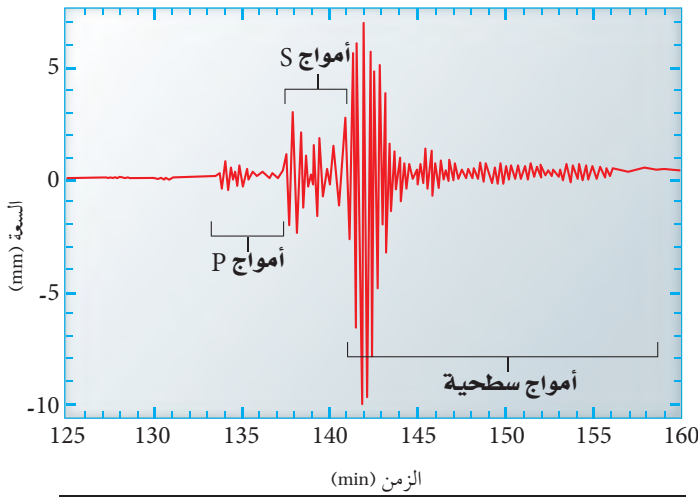
تتألف بعض أجهزة السيزمومتر من أسطوانة دوارة مغطاة بورق، وقلم أو أي أداة للتسجيل، وكتلة معلقة كالبندول. تختلف أجهزة السيزمومتر في تصميمها، ولكنها



**الشكل 6-20** أحد أجهزة مقياس الزلازل (السيزمومتر) الحديثة.



**الشكل 21-6** في الإطار جهاز سيزوموتر قديم مثبت في الأرض. عندما يحدث الزلزال يتحرك الإطار بينما تبقى الكتلة المعلقة وملحقاتها دون حركة، فيُسجل الكتلة والقلم الحركة النسبية للإطار. **قارن** ذلك بأجهزة الاستقبال والإرسال الحديثة.



**الشكل 22-6** يوفر السيزوموتر سجلاً للأمواج الزلزالية التي عبرت نقطة معينة.

جميعاً تتضمن إطاراً مثبتاً في الأرض، وكتلة معلقة على نابض أو سلك، كما في الشكل 21-6.

عندما يحدث الزلزال تبقى الكتلة والقلم في أثناء حدوث الاهتزاز من دون حركة بسبب القصور الذاتي، فيتم تسجيل حركة الكتلة بالنسبة إلى الإطار على أداة للتسجيل كالورقة، أو تُسجل مباشرة على أقراص حاسوبية. ويسمى السجل الذي يتم الحصول عليه من السيزوموتر **مخطط الزلزال (السيزوموجرام) seismogram**، ويوضح الشكل 22-6 جزءاً من السيزوموجرام.

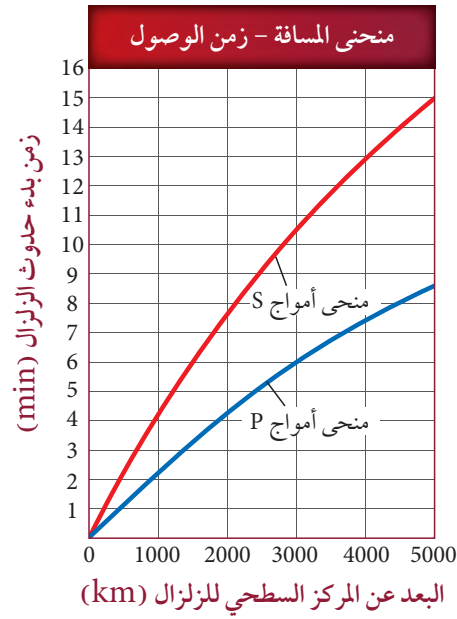
وتستخدم في الوقت الحاضر أجهزة حديثة لرصد الزلازل وتحليلها؛ حيث تستخدم الأقمار الاصطناعية في نقل البيانات من محطات الرصد الزلزالي إلى باقي المحطات في العالم. ويتم استخدام برمجيات حديثة في تحليل البيانات وتحديد مواقع الزلازل وقوتها ويستخدم الحاسب الآلي في تخزينها.

**ماذا قرأت؟** لخص الفرق بين السيزوموتر والسيزوموجرام.

**البعد عن المركز السطحي للزلزال Distance from the epicenter** لاحظ من الشكلين 22-6 و 23-6 أن أمواج P هي أول الأمواج الزلزالية وصولاً إلى محطات الرصد، ويليهما الأمواج الثانوية، وأخيراً الأمواج السطحية. يلاحظ أن الفرق الزمني بين منحنى P و S في الشكل 23-6 يزداد كلما زاد البعد عن المركز السطحي للزلزال، أي أن فرق زمني الوصول بين أمواج P و S في السيزوموجرام يكون أكبر في المحطات البعيدة عن المركز السطحي للزلزال مقارنة بالمحطات القريبة. ويُستعمل هذا الفرق الزمني في حساب بُعد المركز السطحي للزلزال عن محطة الرصد التي سجلت الزلزال.







**الشكل 23-6** تظهر منحنيات المسافة - زمن الوصول للأمواج الزلزالية أن الفترات الزمنية التي تستغرقها أمواج P و S للوصول إلى محطات رصد الزلازل مختلفة لاختلاف بُعد المحطات عن المركز السطحي للزلزال. حدد الفترة الزمنية التي تستغرقها أمواج P لزلزال يقع على بُعد 2000 km لتصل محطة الرصد. وما الفترة الزمنية التي تستغرقها أمواج S لقطع المسافة نفسها؟

## أدلة على بنية الأرض الداخلية

### Clues to Earth's Interior

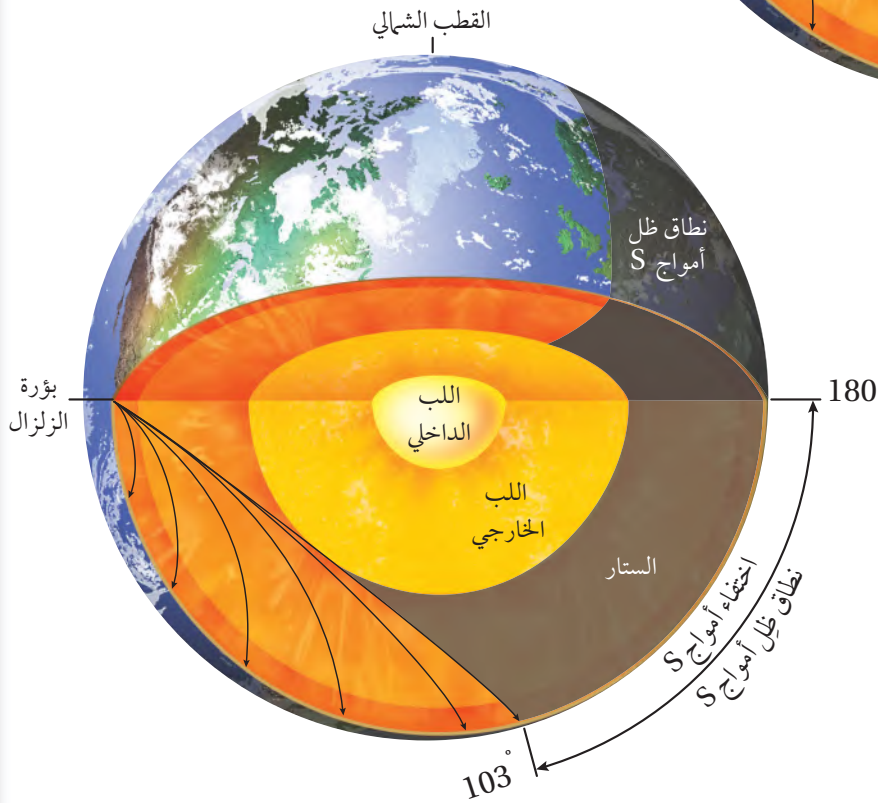
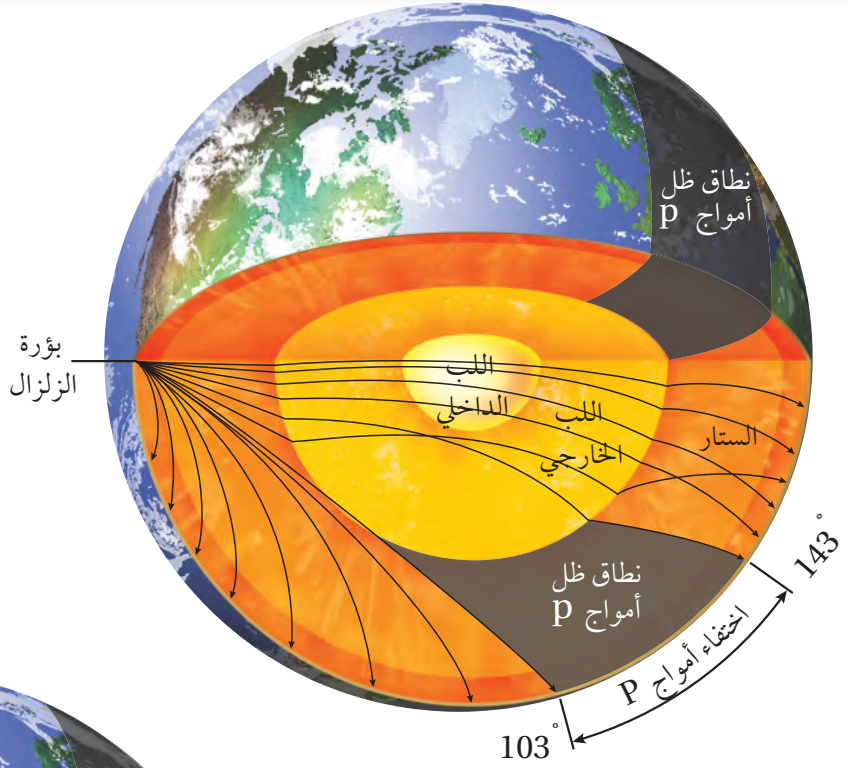
لا تعمل الأمواج الزلزالية على اهتزاز سطح الأرض فقط وما تُحدثه من دمار، بل تنتقل أيضاً إلى داخلها، لذلك فهي توفر معلومات قيمة للعلماء تمكنهم من بناء نموذج عن بنية الأرض الداخلية.

**مكونات الأرض Earth's composition** يوضح الشكل 24-6 أن الأمواج الزلزالية يتغير مسارها وسرعتها عندما تواجه حدوداً فاصلة بين طبقتين مختلفتين في مكوناتها، وبذلك استطاع العلماء أن يحددوا سُمك طبقات الأرض ومكوناتها بمقارنة سرعة الأمواج الزلزالية مع القياسات التي حصلوا عليها في المختبرات لأنواع مختلفة من الصخور. وتوصلوا نتيجة لذلك إلى أن الستار العلوي يتكون من صخر البيرودوتيت (يتكون معظمه من معدن الأوليفين)، وأن اللب الخارجي يتكون معظمه من مصهور الحديد والنيكل، أما اللب الداخلي فهو في حالة صلبة ويتكون معظمه من الحديد والنيكل.

**بنية الأرض الداخلية Earth's internal structure** تتغير سرعة الأمواج الزلزالية واتجاهها عندما تواجه مواد مختلفة في باطن الأرض. لاحظ من الشكل 25-6 كيف تتبّع أمواج P و S في البداية مسارات مباشرة إلى حد ما في أثناء عبورها الستار، ولكنها تعاني من انكسار وانعكاس عندما تعبر الحدود الرئيسية بين طبقات الأرض. لذلك استطاع علماء الزلازل من خلال رصد زمن ومسافة الأمواج الزلزالية ومسار كل موجة وتمثيلها بيانياً في منحنيات المسافة - زمن الوصول، معرفة أن مكونات الأرض والكثافات تختلف من الداخل.

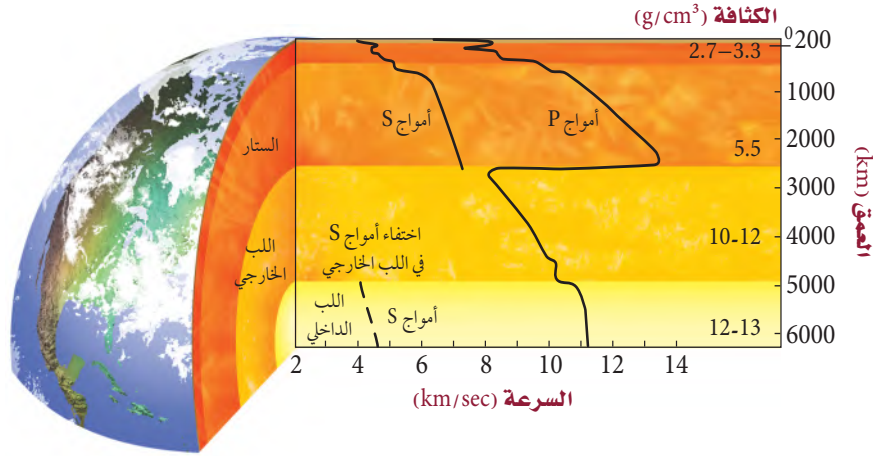
## Seismic Waves الزلزالية الأمواج

يؤدي انكسار أمواج P عند اللب الخارجي إلى تكوين نطاق ظل على سطح الأرض، بحيث لا تظهر أمواج P على المخطط الزلزالي (السيزموجرام) على بعد زاوي يتراوح بين  $103^{\circ}$  -  $143^{\circ}$  عن المركز السطحي للزلزال، بينما تظهر أمواج P على أجهزة السيزمومتر في الجانب المقابل للمركز السطحي للزلزال.



لأن أمواج S لا تمر من خلال اللب الخارجي للأرض السائل، لذلك فإنها لا تظهر ضمن نطاق يسمى ظل أمواج S على بعد زاوي يتراوح بين  $103^{\circ}$  -  $180^{\circ}$  عن المركز السطحي للزلزال.

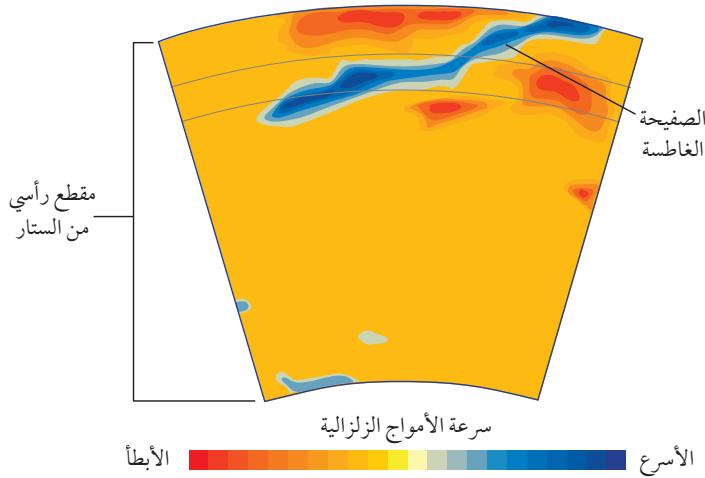
الشكل 24-6 يزودنا كل من زمن الوصول وسلوك الموجات الزلزالية بصورة تفصيلية لبنية الأرض الداخلية. كذلك تزودنا هذه الأمواج بأدلة على مكونات أجزاء الأرض المختلفة.



الشكل 25-6 تختلف طبقات الأرض الداخلية في مكوناتها؛ وقد استطاع العلماء تحديد مكوناتها من خلال معرفة سلوك الأمواج الزلزالية عبر أنواع مختلفة من الصخور.

ماذا يحدث لأمواج S عندما تنشأ بفعل الزلازل؟ للإجابة عن هذا السؤال: أولاً، توصل علماء الزلازل إلى أن أمواج S لا تسير في الأوساط السائلة، ولاحظوا أنها لا تسير في مركز الأرض، مما جعلهم يكتشفون أن جزءاً من باطن الأرض يوجد في الحالة السائلة القليلة اللزوجة. وقد أيدت البيانات التي جمعت حول مسار الأمواج الزلزالية وزمن وصولها في باطن الأرض إلى أن لب الأرض الخارجي سائل ولبها الداخلي صلب.

**تصور باطن الأرض Imaging Earth's interior** تتأثر كل من سرعة الأمواج الزلزالية وكثافة الصخور بعوامل أخرى غير العمق، منها درجة الحرارة، يمكن الحصول على صور لبنية الأرض الداخلية تتضمن بعض التراكيب، ومنها الصفيحة الغاطسة التي تتضح في الشكل 26-6. ويمكن تشبيه هذه الصور بالصور الملتقطة بالأشعة السينية.



الشكل 26-6 تم التقاط هذه الصورة في اليابان من خلال تتبع مسارات الأمواج الزلزالية في باطن الأرض؛ حيث تشير المناطق الحمراء إلى سرعات الأمواج الزلزالية الأبطأ من القيمة المتوسطة، وتشير المناطق الزرقاء إلى سرعات الأمواج الأسرع من القيمة المتوسطة. كذلك تمثل المنطقة الزرقاء في الصورة الصفيحة الغاطسة.



## التقويم 3-6

### الخلاصة

- أنواع الأمواج الزلزالية ثلاثة: أولية وثنائية وسطحية.
- مقياس الزلازل (السيزمومتر) جهاز يستقبل الأمواج الزلزالية، ويسجلها على مخطط الزلازل (السيزموجرام).
- استطاع العلماء أن يحددوا المركز السطحي للزلازل من الفرق الزمني بين زمني وصول كل من أمواج P وأمواج S.
- تتغير سرعة واتجاه كل من أمواج P وأمواج S عندما تواجه حدوداً فاصلة بين مواد مختلفة.
- يمكن الحصول على صورة مفصلة عن مكونات الأرض الداخلية من خلال تحليل الأمواج الزلزالية التي تعبر باطن الأرض.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. وضح كيف تستعمل كل من أمواج P وأمواج S في تحديد خواص لب الأرض؟
2. ارسم مخططاً لسيزمومتر يوضح كيف تُقاس اهتزازات الأرض وتسجل على السيزموجرام.
3. صف كيف يُستعمل منحني المسافة-زمن الوصول في دراسة الزلازل؟
4. ميز بين سرعة الأمواج الزلزالية في أثناء مرورها في المواد الباردة والمواد الساخنة.

### التفكير الناقد

5. اربط بين حركة الأمواج الزلزالية مع ملاحظات شخص يراقب كيفية انتقالها على سطح الأرض.
6. استنتج باستعمال الشكل 22-6 الذي يمثل مخططاً زلزالياً، فسّر لماذا تعد الأمواج السطحية أكثر الأمواج الزلزالية تدميراً، على الرغم من أنها آخر الموجات وصولاً إلى محطات الرصد؟

### الكتابة في الجيولوجيا

7. اكتب مقالة حول الطرائق التي يعتمد عليها العلماء في معرفة مكونات الأرض الداخلية.





# 6-4

## الأهداف

- تقارن بين قوة الزلزال وشدته استناداً إلى المقاييس المختلفة.
- تفسر لماذا نحتاج إلى ثلاث محطات رصد لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال.
- تصف أحزمة زلازل الأرض.

## مراجعة المفردات

إسقاط البيانات: تعيين الموقع على الخريطة أو تمثيل البيانات بمخطط بياني.

## مفردات جديدة

مقياس رختر

قوة الزلزال

سعة الموجة الزلزالية

مقياس العزم الزلزالي

مقياس ميركالي المعدل

أحزمة الزلازل

## قياس الزلازل وتحديد أماكنها

### Measuring and Locating Earthquakes

**الفكرة الرئيسية** يقيس العلماء قوة الزلازل ويحددون مكانها على الخريطة باستعمال الأمواج الزلزالية.

**الربط مع الحياة** إذا تكلم شخص قريب منك فإنك تسمعه جيداً، ويضعف صوته كلما ابتعد عنك. وبالكيفية نفسها تضعف طاقة الأمواج الزلزالية كلما ابتعدت عن مصدر الزلزال.

### قوة الزلزال وشدته

### Earthquake Magnitude and intensity

يحدث سنوياً أكثر من مليون زلزال يمكن الإحساس به، ولكن لا يُذكر منها في وسائل الإعلام إلا الزلازل الكبيرة فقط. لقد طوّر العلماء طرائق عدّة لوصف قوة الزلزال.

**مقياس رختر Richter scale** ابتكر مقياس رختر **Richter scale** الجيولوجي تشارلز رختر Charles Richter، وهو مقياس عددي يقيس طاقة أكبر الأمواج الزلزالية المنبعثة من الزلزال، ويسمى مقدار الطاقة هذا **قوة الزلزال Magnitude**. وتقاس قوة الزلزال بإيجاد **سعة الموجة الزلزالية Amplitude**. وهي ارتفاع الموجة الزلزالية الأكبر، حيث تشير كل درجة على مقياس رختر إلى زيادة في سعة الزلزال قدرها 10 أضعاف الدرجة التي قبلها، فمثلاً، سعة الأمواج الزلزالية لزلزال قوته 8 بحسب مقياس رختر أكبر عشر مرات، من سعة الأمواج الزلزالية لزلزال قوته 7. لكن الفرق في كمية الطاقة الصادرة عن الزلازل أكبر كثيراً من الفرق في سعة الأمواج الزلزالية؛ فالطاقة الزلزالية الصادرة عن زلزال عند درجة ما أكبر 32 ضعفاً من الطاقة الصادرة عن الدرجة التي تسبقها، لذا فطاقة الزلزال الذي قوته 8 أكبر 32 مرة من طاقة زلزال قوته 7. ويوضح الشكل 27-6 دماراً سببه زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر.



**الشكل 27-6** دمار ناجم عن زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر، وهو زلزال قوي ضرب باكستان في شهر يناير من عام 2005 م.



الشكل 28-6 يمكن أن يقيس مقياس ميركالي الأضرار التي يحدثها الزلزال، كالتي في الشكل، وهو زلزال قوي قادر على إيقاع المواد الموجودة على الرفوف.

**مقياس العزم الزلزالي Moment magnitude scale** رغم أن مقياس رختر يُستعمل لوصف قوة الزلازل، إلا أن معظم العلماء يستعملون مقياس العزم الزلزالي **Moment magnitude scale**، وهو مقياس رقمي يشير إلى الطاقة المتحررة من الزلزال، مأخوذاً في الاعتبار حجم الجزء المتمزق من الصدع، ومقدار الحركة على طول الصدع، وقساوة الصخر.

**مقياس ميركالي المعدل Modified Mercalli scale** هناك طريقة أخرى لوصف حجم الزلازل تعتمد على مقدار الضرر الذي تحدثه، ومدى إحساس الناس بها ولا يعبر عن قوة الزلزال، ويسمى هذا المقياس شدة الزلزال، ويتم تحديده باستعمال مقياس ميركالي المعدل **Modified Mercalli scale**. وتقسم شدة الزلازل بحسب هذا المقياس إلى 12 درجة؛ باستعمال الأرقام الرومانية للدلالة على درجة شدة الزلزال؛ حيث تصف كل درجة آثاراً معينة، وكلما زادت الدرجة كانت الأضرار الناجمة عن الزلزال أسوأ. ويبين الجدول 2-6 مقياس ميركالي المعدل. ويمكنك استعمال المعلومات الواردة في هذا الجدول لتقدير شدة الزلازل الذي في الشكل 28-6.

### مقياس ميركالي المعدل

### الجدول 2-6

I	لا يمكن الإحساس به إلا تحت ظروف غير عادية.
II	يشعر به عدد قليل من الأشخاص، يمكن أن تهتز بعض الأجسام المعلقة.
III	يشعر به الناس داخل البيوت، ينتج عنه اهتزازات كالتّي تنتج عن حركة شاحنة ضخمة قريبة.
IV	يشعر به كثير من الناس داخل البيوت وقليل من خارجها، ويهتز زجاج النوافذ والأواني والسيارات الواقفة بصورة ملحوظة.
V	يشعر به معظم الناس، يتكسر بعض الزجاج والأواني.
VI	يشعر به جميع الناس، يتحرك الأثاث، قد تتضرر بعض المآذن.
VII	يهرب جميع الناس من المباني، وقد تتضرر المباني الضعيفة بصورة كبيرة ولكن المباني القوية قد تصاب بأضرار خفيفة.
VIII	تسقط المآذن، ينقلب الأثاث الثقيل داخل البيوت، قد تتهدم المباني العادية بصورة جزئية.
IX	تدمير عام للمباني، تتحرك المباني عن أساساتها، تتشقق الأرض، تتكسر أنابيب المياه.
X	تدمير معظم المباني العادية، والطرق المعبدة، تحدث انزلاقات أرضية، تنحني السكك الحديدية والأسوار.
XI	قلة من المباني تبقى قائمة، تتهدم الجسور، تنقطع السكك الحديدية والأسوار، وتتشكل شقوق كبيرة في الأرض.
XII	دمار شامل، تقذف الأجسام في الهواء.



**شدة الزلزال Earthquake intensity** تعتمد شدة الزلزال بصورة رئيسة على سعة الأمواج الزلزالية السطحية. ويضعف حجم الأمواج السطحية مثل الأمواج الأولية والثانوية كلما زاد البعد عن بؤرة الزلزال، وتقل شدة الزلزال كلما زاد البعد عن المركز السطحي للزلزال. إن أعلى شدة للزلزال نجدتها بالقرب من المركز السطحي، وتقل قيم ميركالي إلى الدرجة I على مسافات بعيدة عن المركز السطحي.

إنَّ كلاً من شدة الزلزال وقوته يُعبّران عن حجم الأمواج الزلزالية الناجمة عن الزلزال، وإن شدة الزلزال تعتمد على سعة الأمواج الزلزالية والبعد عن المركز السطحي للزلزال، كذلك تعتمد شدة الزلزال على عمق بؤرة الزلزال. فالزلازل القوية التي تسبب الكوارث هي في الغالب زلازل ضحلة.

ينتج عن الزلازل العميقة اهتزازات أصغر من تلك التي تنتجها الزلازل الضحلة عادة، على سبيل المثال، يمكن لزلزال ضحل ومتوسط قوته 6 درجات على مقياس ريختر، أن يولد شدة زلزالية قصوى أعلى من تلك التي ينتجها زلزال عميق قوته 8 درجات على مقياس ريختر. ولأن مقياس ميركالي المعدل يعتمد على شدة الزلزال بدلاً من طاقته، لذلك فهو أفضل لقياس تأثير الزلزال على الناس.

## تحديد موقع الزلزال Locating an Earthquake

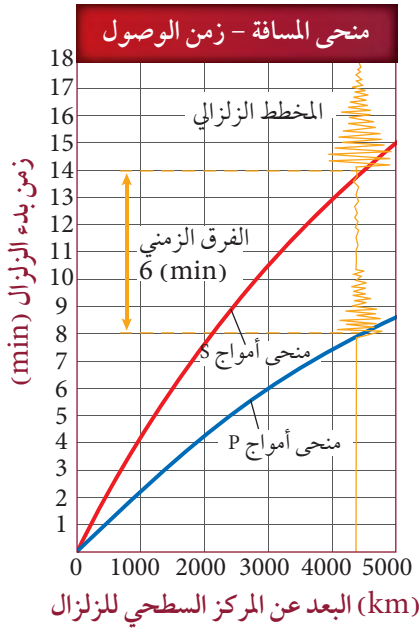
إن موقع المركز السطحي للزلزال ووقت حدوثه يكونان، في البداية، غير معروفين، ولكن يمكن تحديدهما باستعمال المخطط الزلزالي (السيزموجرام) ومنحنيات المسافة - زمن الوصول.

**بُعد الزلزال Distance to an earthquake** كما أن الشخص الذي يقود دراجة يصل قبل الشخص الذي يمشي، فإن أمواج P تصل محطات الرصد قبل أمواج S. ولو أخذنا بعين الاعتبار أثر المسافة المقطوعة على زمن وصول كل من الموجتين فإن الفرق الزمني بين وصوليهما سيزداد بزيادة المسافة المقطوعة. يوضح الشكل 29-6 منحنى المسافة-زمن الوصول؛ حيث يُسجل السيزموجرام الزمن المستغرق بين وصول أول أمواج P وأول أمواج S، ويستطيع علماء الزلازل معرفة بُعد المركز السطحي للزلزال بقياس الفرق بين زمني وصول الموجتين في المخطط الزلزالي (السيزموجرام)، ثم تحديد الفرق الزمني نفسه على منحنى المسافة - زمن الوصول، ومن ثم استخراج بعد الزلازل.

ويوضح الشكل 29-6 أن الفرق الزمني يساوي 6 دقائق، لذا فإن المسافة بين المركز السطحي للزلزال ومحطة رصد الزلازل تساوي 4300 km بحسب منحنى المسافة - زمن الوصول؛ حيث يتضح من المنحنى أن أمواج P استغرقت 8 دقائق حتى وصلت محطة الرصد، بينما أمواج S استغرقت 14 دقيقة، فكلما زاد بُعد الزلزال زاد الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S.

✓ **ماذا قرأت؟** طبق إذا علمت أن الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S دقيقتان، فما بُعد المركز السطحي للزلزال عن موقع محطة الزلزال؟





الشكل 29-6 يبين منحنى المسافة-زمن الوصول لهذا بيانات زلزالية لزلزال ما.



الشكل 30-6 لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال يحدد العلماء مواقع محطات الرصد على خريطة، ويرسمون حول كل محطة دائرة مركزها المحطة ونصف قطرها بُعْد المركز السطحي عن المحطة، وتتقاطع الدوائر جميعها في نقطة تمثل المركز السطحي للزلزال.

حدد من الشكل المرفق موقع المركز السطحي للزلزال.

يجلب علماء الزلازل بيانات مخططات زلزالية عديدة لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال، فبحساب المسافة بين المركز السطحي للزلزال وبين محطة الرصد يحدد العلماء بُعْد المركز السطحي بدقة، ولكن هذا لا يُحدد الاتجاه الذي يقع المركز السطحي فيه بالنسبة إلى محطة الرصد. ويمكن التعبير عن ذلك بدائرة مركزها محطة الرصد ونصف قطرها بُعْد المركز السطحي عن المحطة. ولو مثلنا بُعْد المركز عن محطة أخرى بدائرة ثانية، فسوف تتقاطع الدائرتان في نقطتين، ولا نعرف أيهما يقع المركز السطحي فيه. ولو مثلنا بُعْد محطة ثالثة بدائرة ثالثة، فعندئذ تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة، وتمثل هذه النقطة المركز السطحي، انظر الشكل 30-6.

### زمن حدوث الزلزال Time of an earthquake

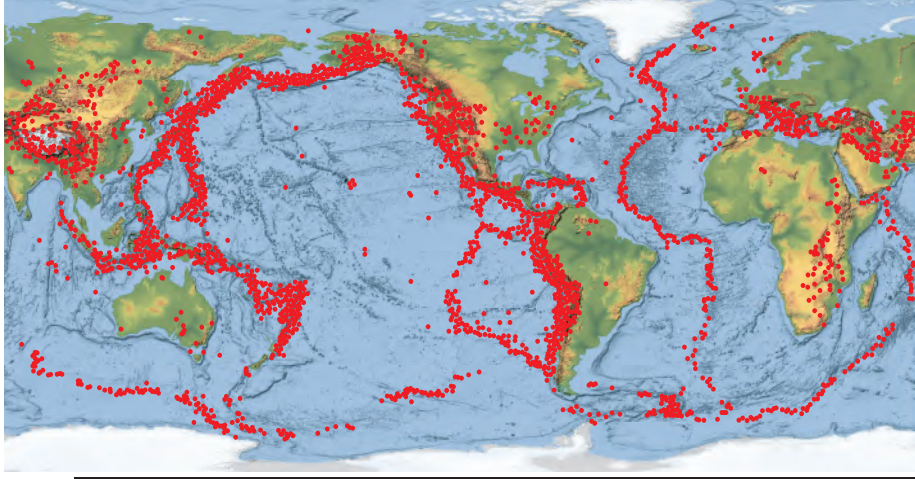
يوفر الفرق الزمني بين وصول الأمواج الزلزالية في السيزموجرام معلومات حول بُعْد المركز السطحي، كما يستعمل علماء الزلازل السيزموجرام في معرفة زمن حدوث الزلزال في البؤرة بدقة. ويتم تحديد الزمن باستعمال جدول، كما هو الحال في منحنى المسافة-زمن الوصول في الشكل 23-6. تسجل محطات الرصد في السيزموجرام زمن وصول أمواج P وأمواج S بدقة متناهية، ويستطيع العلماء قراءة الزمن الذي استغرقت أمواج P و S من المركز السطحي إلى محطة الرصد باستعمال رسوم بيانية كالتالي في الشكل 23-6. فعلى سبيل المثال، افترض أن السيزموجرام سجل زمن وصول أمواج P في تمام الساعة 10:00 صباحاً باستعمال منحنى المسافة-زمن الوصول، ويمكن استخراج قيمة المسافة التي قطعتها أمواج P في 8 دقائق، وهي 4500 km، فهذا يعني أن الزلزال قد حدث عند البؤرة في الساعة 09:52 صباحاً.

ماذا قرأت؟ اعمل قائمة بالمعلومات التي يتضمنها المخطط الزلزالي (السيزموجرام).

### الأحزمة الزلزالية Seismic Belts

جمع علماء الزلازل على مر السنين مواقع المراكز السطحية للعديد من الزلازل، وأسقطوها على خريطة العالم. يُلاحظ من التوزيع العالمي لمواقع المراكز السطحية أنها تتوزع بنمط جدير بالاهتمام؛ أي أنها لا تتوزع بصورة عشوائية؛ بل تحدث معظم الزلازل على طول أحزمة ضيقة تفصل بين مناطق كبيرة لا نشاط زلزالي فيها أو يحدث فيها قليل من الزلازل سميت **أحزمة الزلازل seismic belts**.

## مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم



الشكل 31-6 لاحظ النمط الذي تظهر به مواقع المراكز السطحية للزلازل على خريطة العالم.

حدد اعتماداً على الخريطة هل تعيش بالقرب من مركز سطحي للزلازل؟

يُلاحظ من الشكل 31-6 أن الزلازل تحدث في أحزمة ضيقة، وتنطبق معظم الزلازل مع حدود الصفائح الأرضية. هناك 80 % من زلازل الأرض ضمن حزام المحيط الهادي، و 15% ضمن حزام البحر الأبيض المتوسط، وهذان الحزامان هما نطاقاً طرح؛ حيث تلتقي صفيحتان معاً، وتغوص إحداهما تحت الأخرى. أما ما تبقى من الزلازل فيحدث معظمه في أحزمة ضيقة تقع على طول قمم ظهور المحيطات؛ حيث تبتعد الصفائح الأرضية بعضها عن بعض.

## مختبر تحليل البيانات

### تفسير البيانات

كيف يمكنك أن تحدد موقع المركز السطحي للزلازل؟

لكي تحدد موقع المركز السطحي للزلازل بدقة، عليك أن تحلل بيانات أمواج P وأمواج S التي سُجلت في محطة رصد زلزالية.

### تحليل

1. احصل على خريطة للمملكة العربية السعودية من معلمك، وعيّن مواقع محطات الرصد الزلزالي في الجدول عليها. يمكن الاستعانة بتوزيع محطات الرصد الزلزالية في المملكة العربية السعودية في مرجعيات الطالب.
2. احسب الفرق الزمني بطرح زمن وصول أمواج P من زمن وصول أمواج S، وسجلها في الجدول.
3. أوجد بُعد المركز السطحي للزلازل عن كل محطة رصد باستعمال الفرق بين أزمنة الوصول ومنحنى المسافة - زمن الوصول (الشكل 25-6) وسجلها في الجدول.
4. ارسم دائرة حول كل محطة، نصف قطرها يساوي المسافة بين المركز السطحي والمحطة.
5. حدد المركز السطحي للزلازل.

### البيانات والملاحظات

مُعد المركز السطحي (km)	الفرق الزمني (دقائق)	زمن وصول أمواج S	زمن وصول أمواج P	محطة الرصد
		8:44:02	8:39:02	بيشة (BISH)
		8:37:57	8:35:22	عقلة الصقور (UQSK)
		8:38:17	8:35:38	عفيف (AFIF)

### التفكير الناقد

6. وضح لماذا تحتاج إلى إيجاد الفرق الزمني بين وصول كل من أمواج P وأمواج S لكل محطة.
7. حدد مصادر الخطأ عند تحديد المركز السطحي للزلازل.
8. فسر لماذا يعد زيادة محطات الرصد الزلزالي المأخوذ منها البيانات أكثر فائدة في تحديد موقع المركز السطحي للزلازل.



## التقويم 4-6

### الخلاصة

- قوة الزلزال هي مقياس للطاقة التي تتحرر في أثناء حدوث الزلزال، ويمكن قياسها بمقياس ريختر.
- شدة الزلزال هي مقياس للدمار الذي يُحدثه الزلزال.
- لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال نحتاج على الأقل إلى ثلاث محطات رصد للزلزال.
- تحدث معظم الزلازل في أحزمة ضيقة تسمى أحزمة الزلازل؛ حيث تنطبق مع حدود الصفائح.

### فهم الأفكار الرئيسة

1. لخص الطرائق التي يستعمل فيها العلماء الأمواج الزلزالية لقياس الزلازل وتحديد موقعها.
2. قارن بين قوة الزلزال وشدته، وكذلك بين المقياسين المستخدمين لقياسيهما.
3. فسر لماذا نحتاج إلى ثلاث محطات رصد على الأقل لتحديد موقع الزلزال؟
4. صف كيف يمكن مقارنة حدود الصفائح الأرضية بموقع معظم الزلازل على خريطة العالم، كما في الشكل 31-6

### التفكير الناقد

5. كوّن جملة تفسر لماذا يمكن أن يُسبب زلزال قوته 6 دمارًا أكثر مما يُسببه زلزال قوته 8.

### الرياضيات في الجيولوجيا

6. احسب كم تزيد الطاقة الزلزالية الصادرة عن زلزال قوته 9 على الطاقة الزلزالية الصادرة من زلزال قوته 7؟





# 6-5

## الأهداف

- تناقش العوامل التي تؤثر في حجم الدمار الذي يحدثه الزلزال.
- توضح بعض العوامل التي تؤخذ في الاعتبار في دراسات احتمالية وقوع الزلازل.
- تتعرف كيف تتأثر المنشآت المختلفة بالزلازل.

## مراجعة المفردات

العمليات التكتونية: قوى في باطن الأرض تؤثر في القشرة الأرضية وتؤدي إلى حركتها وارتفاعها وتشوهها.

## مفردات جديدة

- تسييل التربة
- تسونامي
- فجوة زلزالية
- تراكم الجهد

## الزلازل والمجتمع

### Earthquakes and Society

**الفكرة الرئيسية** يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال دراسة تاريخ المنطقة زلزالياً، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة.

**الربط مع الحياة** إذا كانت مدينتك تشهد سقوط أمطار في شهر مارس بمعدل 11 يوماً من كل عام، فكيف يمكنك أن تتوقع الطقس في مدينتك في شهر مارس بعد 10 سنوات من الآن. قد تقدر فرصة حدوث سقوط المطر بنسبة 11/31. وبالكيفية نفسها تستطيع أن تتوقع احتمالية حدوث الزلازل عن طريق التاريخ الزلزالي للمنطقة.

### الخطر الزلزالي Earthquake Hazards

من المعروف أن الزلازل تحدث على حدود الصفائح بصورة متكررة، وتسبب أضراراً في الممتلكات والأرواح في المناطق التي تصيبها. ويمكن لزلزال قوته 5 أن يسبب كارثة في منطقة وأضراراً قليلة في منطقة أخرى؛ إذ تعتمد حدة الأضرار الناجمة عن الزلزال على مجموعة من العوامل، تسمى هذه العوامل مخاطر الزلازل. ومن الأمثلة على هذه العوامل تصميم المباني؛ إذ تتضرر المباني سيئة التصميم بالزلازل أكثر من غيرها؛ فالمبنى المصنوع من الخرسانة وأساساته غير مدعومة قد يتضرر أكثر من المبنى المصنوع من الخشب، انظر الشكل 32-6؛ لأن الخرسانة مادة هشة قليلة المرونة بينما الهياكل الخشبية أكثر مرونة.



الشكل 32-6 المباني الخرسانية (الأسمتية) هشة غالباً، ويمكن أن تتلف بسهولة إذا وقع زلزال؛ فالمبنى الظاهر في الصورة أزيح من فوق أساسه عندما حدث الزلزال، وتم إسناده بعمود من الخشب.

الشكل 33-6 يوضح الشكل أحد أنواع الدمار الناجمة عن الزلازل، حيث تتسبب الاهتزازات في انهيار الجدران الداعمة للمبنى وسقوط الطوابق العليا واحدة فوق الأخرى، فتظهر الطوابق مترصة بعضها فوق بعض.



**انهيار المنشآت Structural failure** يحدث في كثير من المناطق المعرضة للزلازل انهيار للمباني عندما تهتز الأرض من تحتها؛ وفي بعض الحالات، قد تنهار الجدران الداعمة في الطابق الأرضي فتتسبب في انهيار الطوابق العليا، وسقوطها فوق الطوابق السفلية، فيتشكل حطام يشبه مجموعة من الألواح، لذا تسمى هذه العملية تراصّ الألواح ويوضح الشكل 33-6 دماراً أساسياً ناتجاً عن هذا النوع من انهيار المنشآت، والذي وقع في جمهورية هايتي، في عام 2010م كذلك حدث زلزال مدمر بتاريخ (6/2/2023م) في الجنوب الشرقي من تركيا على امتداد صدع الأناضول بقوة (7.8) على مقياس ريختر، وذلك بسبب اصطدام الصفيحة العربية بالصفيحة الأوراسية؛ مما أدى الى حدوث دمار كبير في المنشآت، وخسائر في الأرواح؛ حيث قدر عدد المتوفين في الزلزال الى أكثر من 55000 متوفى، وأعداد كبيرة من الجرحى، ووصل تأثير هذا الزلزال إلى عدد من الدول؛ مثل سوريا، العراق، الأردن، ولبنان ومصر.

✓ **ماذا قرأت؟** وضح كيف يتشكل «تراصّ الألواح» عند حدوث زلزال؟

هناك نوع آخر من انهيار المنشآت يتعلق بارتفاع المباني. حيث تدمر معظم المباني التي يتراوح ارتفاعها بين 5 إلى 15 طابقاً تدميرًا تامًا، كما في الشكل 34-6.



الشكل 34-6 تدمرت المباني المتوسطة الارتفاع في أثناء حدوث الزلزال؛ لأن تردد اهتزازات هذه المباني يساوي تردد اهتزازات الأمواج الزلزالية.







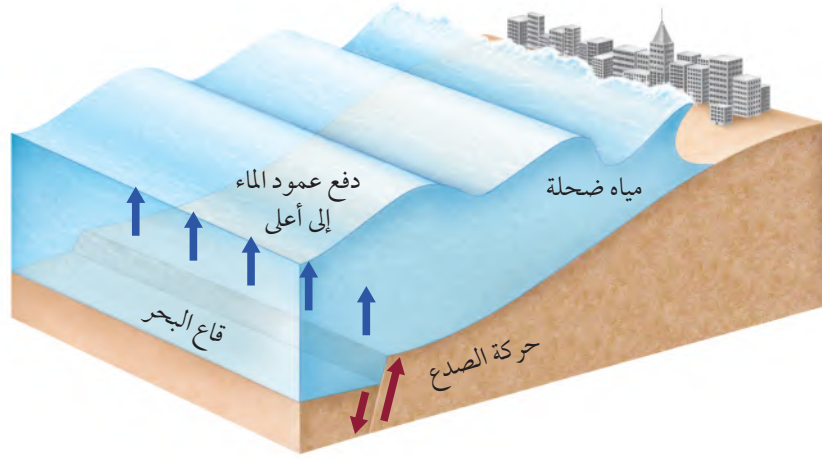
الشكل 35-6 يحدث تسييل في التربة الضعيفة التماسك عندما تنتشر اهتزازات زلزالية فيها، فتسلك سلوك الرمال المتحركة.

**انهيار التربة واليابسة Land and soil failure** بالإضافة إلى تأثير الزلازل في المنشآت التي شيدها الإنسان، يمكن للزلازل أن تشوه المناظر الطبيعية في الأرض. ففي المناطق المنحدرة، يمكن أن تؤدي الزلازل إلى انهيارات أرضية ضخمة. وقد تسبب الانهيارات الأرضية الناجمة عن الزلازل دفن العديد من القرى والبلدات الصغيرة؛ فالاهتزازات الزلزالية تجعل المناطق الرملية المشبعة بالماء، تسلك سلوك السائل عندما تسير فيها. تسمى هذه الظاهرة **تسييل التربة Soil liquefaction**. ويمكن أن تولد الاهتزازات الزلزالية انهيارات أرضية حتى في المناطق قليلة الانحدار، كما يمكن أن تتسبب في سقوط الأشجار والمنازل أو غوصها في الأرض، ورفع الأنابيب والخزانات الموجودة تحت الأرض لتصبح فوق السطح. ويبين الشكل 35-6 مباني مائلة بسبب تسييل التربة تحتها في أثناء الزلزال.

**ماداً قرأت؟ لخص كيف يمكن لمادة الأرض الصلبة أن تكتسب خصائص المادة السائلة؟**

بالإضافة إلى مخاطر الانزلاقات الأرضية، فإن نوع المادة المكونة لسطح الأرض أثر في شدة الزلزال في المنطقة؛ إذ تتضخم الموجات الزلزالية في بعض المواد الطرية، ومنها الرواسب المفككة، بينما تخفت في الصخور الأكثر صلابة، ومنها الجرانيت.





الشكل 36-6 يتكون التسونامي عندما يسبب الصدع تحت الماء إزاحة عمود الماء فوق قاع المحيط إلى أعلى.

### تسونامي Tsunami نوع آخر من مخاطر الزلازل. وتسونامي Tsunami

موجة محيطية كبيرة تتولد بفعل حركات رأسية لقاع البحر في أثناء حدوث زلزال، وتسبب هذه الحركة إزاحة المياه الواقعة فوق منطقة الصدع المسبب للزلزال إلى أعلى، فينتج عنها قمم ومنخفضات على سطح الماء، كما في الشكل 36-6، حيث تكون هذه الأمواج في البداية في صورة موجة طويلة جداً ارتفاعها أقل من 1 m، ولكن عندما تنتشر هذه الأمواج من المركز السطحي للزلزال في المحيطات المفتوحة وتدخل المياه الضحلة يقل طولها ويزداد ارتفاعها، وربما يتجاوز ارتفاعها عند الشاطئ 30 m. ويشكل الارتفاع الكبير لأمواج التسونامي وسرعتها التي تتراوح بين 800 و 500 km/h خطورة تهدد المناطق الساحلية بالقرب من المركز السطحي للزلزال أو بعيداً عنه.

تسونامي اليابان في 11 مارس عام 2011م نتج عن زلزال قوته 8.9 في المحيط الهادي يقع على بُعد 400 km شمال شرق مدينة طوكيو؛ حيث انتقل عبر المحيط الهادي وضرب سواحل اليابان بارتفاع

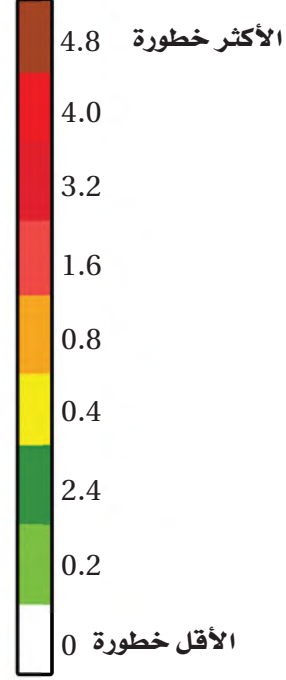
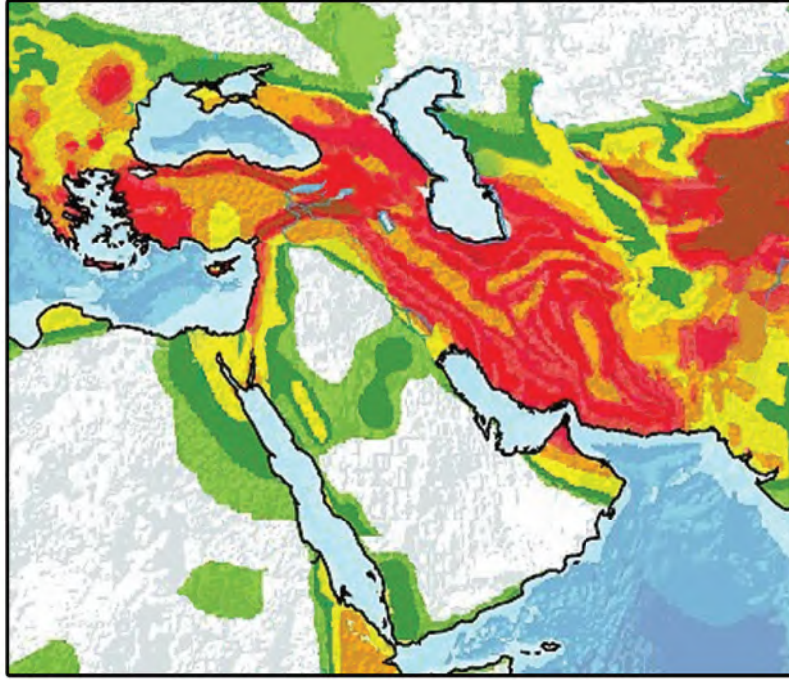
10 m، وتجاوز عدد الوفيات من جراء كارثة التسونامي هذه 20,000 شخص، مما جعلها واحدة من أكبر الكوارث الطبيعية تدميراً في العصر الحالي. ويوضح الشكل 37-6 أثر ذلك الحدث الكارثي.

ومن الآثار السلبية لتسونامي - بالإضافة إلى تدمير المباني والمنشآت - تلويث المياه السطحية كالأنهار والبحيرات وآبار المياه العذبة، كذلك قد تعمل على تقليل مستوى المياه الجوفية وجفاف الآبار.



الشكل 37-6 لم يقتصر الدمار الناتج عن تسونامي اليابان في 11 مارس شرق مدينة طوكيو، على الشواطئ، بل تجاوز ذلك إلى المناطق الداخلية، وأضر عن وفاة ما لا يقل عن 20,000 شخص.





## توقع الزلازل Earthquake Forecasting

للحد من الأضرار والوفيات الناجمة عن الزلازل يبحث العلماء عن طرائق لتوقع حدوث الزلازل. ولا يوجد حالياً أي طريقة يمكن الاعتماد عليها تماماً لتوقع وقت حدوث الزلزال القادم ومكانه. وبدلاً من ذلك يعتمد التوقع على حساب احتمال وقوع الزلزال، الذي يعتمد على عاملين، هما تاريخ الزلازل في المنطقة، ومعدل تراكم الجهود في صخورها.

✓ **ماذا قرأت؟** اذكر طريقتين يستعملهما علماء الزلازل لتحديد احتمال حدوث زلزال في منطقة ما.

**الخطر الزلزالي Seismic risk** تذكر أن معظم الزلازل توجد في أنطقة طويلة وضيقة تسمى الأحزمة الزلزالية. لذا فإن احتمال وقوع زلازل في المستقبل يكون أكبر كثيراً في هذه الأحزمة من أي مكان آخر على وجه الأرض. ويعد نمط الزلازل التاريخية مؤشراً موثقاً فيه لتوقع حدوث الزلازل في المستقبل في منطقة معينة؛ حيث تستعمل السيزمومترات لتحديد تكرار الزلازل الكبيرة. ويمكن استعمال تاريخ النشاط الزلزالي للمنطقة لإعداد خرائط الخطر الزلزالي. تشهد كثير من الدول - ومنها اليابان وتركيا وإيران - خطرًا زلزالياً مرتفعاً نسبياً. وقد عانت هذه المناطق من بعض الزلازل القوية في الماضي، وربما ستشهد نشاطاً زلزالياً كبيراً في المستقبل. ويوضح الشكل 38-6 الخطر الزلزالي لشبه الجزيرة العربية وما حولها؛ حيث تزداد الخطورة الزلزالية في الدول الواقعة إلى الشمال والشمال الشرقي من شبه الجزيرة العربية.



الشكل 38-6 تشمل مناطق الخطر الزلزالي الكبير مناطق عدة، منها اليابان وتركيا وإيران. حدد موقع المناطق ذات الخطر الزلزالي الأكبر على الخريطة، ثم حدد منطقتك على الخريطة مبيناً الخطر الزلزالي فيها.





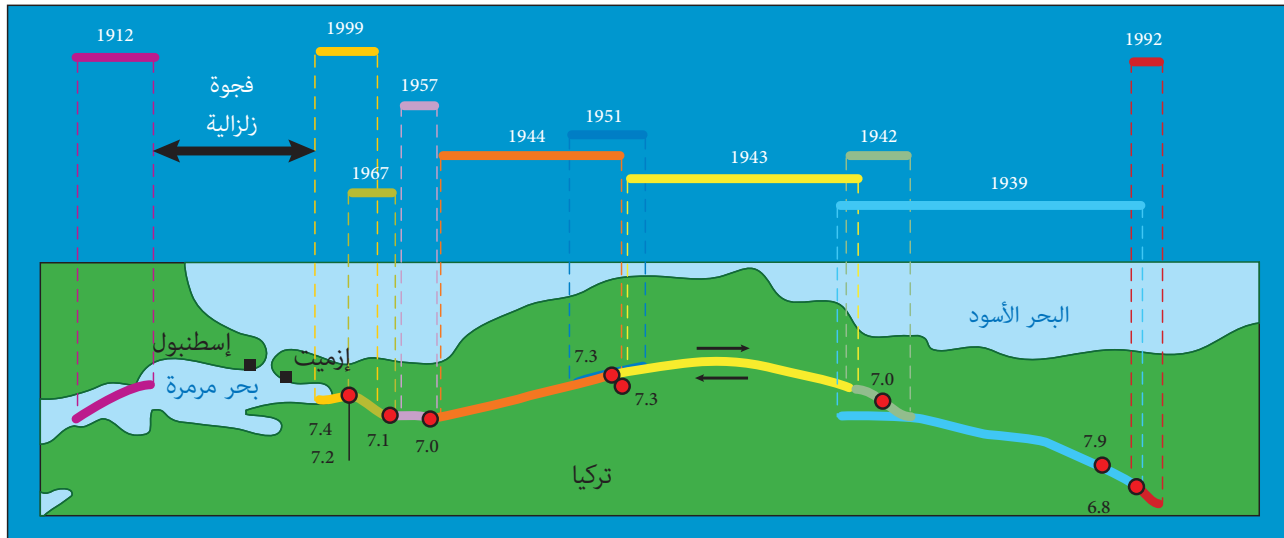


**الشكل 39-6** استعملت هذه المنصة لحفر بئر بعمق 2.3 km في المنطقة. وبعد الانتهاء من حفر البئر، تم توصيلها بالأجهزة لتسجيل البيانات في أثناء الهزات الكبرى والصغرى. ويهدف هذا المشروع إلى فهم آلية حدوث الزلازل، وسبب حدوثها. وتساعد هذه المعلومات العلماء على توقع متى تحدث الزلازل.

**معدلات التكرار Recurrence rate** يمكن أن تشير معدلات تكرار الزلازل التي تحدث على طول الصدع إلى ما إذا كان الصدع يولد زلازل مماثلة على فترات منتظمة أم لا. فلو أخذنا على سبيل المثال معدلات تكرار الزلازل على طول صدع سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية فسنجد أن سلسلة من الزلازل بقوة 6 تقريباً على مقياس رختر قد ضربت المنطقة في كل 22 عامًا من 1857 م حتى عام 1966 م. ففي عام 1987 م توقع علماء الزلازل تعرض المنطقة إلى زلزال قوي خلال العقود القادمة بنسبة احتمال تبلغ 90%. وقد استعملت أنواع مختلفة من الأجهزة وكذلك الحفر، انظر الشكل 39-6، لقياس الزلازل في حالة وقوعها. وفي سبتمبر 2004 م، وقع زلزال قوته 6 على مقياس رختر. وقد جمعت بيانات هائلة عن هذا الزلزال قبل وبعد وقوعه، ووجد أن هذه المعلومات التي تم الحصول عليها ذات قيمة في توقع حدوث الزلازل المتكررة في المستقبل والاستعداد لها في جميع أنحاء العالم.

✓ **ماذا قرأت؟ استنتج** أهمية دراسة معدلات تكرار الزلازل.

**الفجوات الزلزالية Seismic gaps** يعتمد توقع احتمال وقوع الزلازل أيضًا على موقع الفجوات الزلزالية **Seismic gaps** وهي أجزاء نشطة تقع على امتداد صدع، لم تتعرض لزلزال كبيرة في فترة طويلة من الزمن. وبين الشكل 40-6 خريطة الفجوات الزلزالية الصدع يعبر شمال تركيا؛ حيث التاريخ الطويل للزلازل التي تقع على طول الصدع الكبير الموضح أدناه.

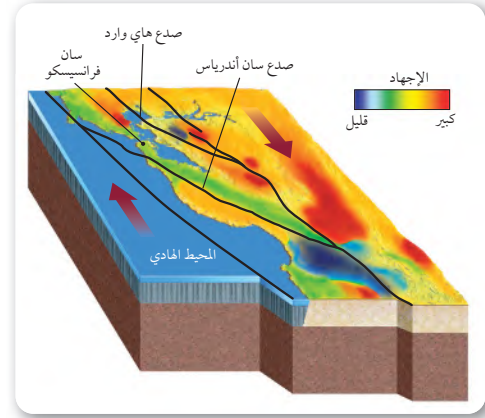


**الشكل 40-6** وقع زلزالان عامي 1912 م و 1999 م على جانبي مدينة إسطنبول التي يبلغ عدد سكانها 18 مليون نسمة، حيث تركت الزلازل حول المدينة فجوة زلزالية تشير إلى احتمال وقوع زلزال في المنطقة.



**تراكم الجهد Stress accumulation** يستعمل علماء الزلازل معدل تراكم الجهد Stress accumulation في الصخور بوصفه عاملاً آخر لتحديد احتمال وقوع زلزال على طول مقطع من الصدع؛ حيث تزول هذه الجهود في نهاية المطاف، مسببة حدوث زلزال.

يستعمل العلماء تقنيات الأقمار الاصطناعية، ومنها نظام تحديد المواقع (GPS) لتحديد مواقع تراكم الجهود وتوزيعها على طول الصدع. ويستعمل العلماء الجهود المتراكمة والمتحررة في أجزاء الصدع وترصد في أثناء حدوث الزلزال لتطوير خرائط كالتالي تظهر في الشكل 41-6، آخذين في حسابهم الفترة الزمنية بين زلزال وآخر لنفس الصدع.



الشكل 41-6 تساعد خرائط تراكم الجهود في الصخور العلماء على توقع احتمال وقوع زلزال في مكان ما.

وضح. لماذا يعد تراكم الجهود في المناطق مهماً؟

## التقويم 5-6

### الخلاصة

- يعتمد توقع الزلازل على التاريخ الزلزالي وقياسات الجهود المتراكمة في الصخور.
- تسبب الزلازل الدمار من خلال توليد موجات زلزالية يمكنها إحداث اهتزازات في سطح الأرض.
- يمكن أن تسبب الزلازل انهيار المشآت والانزلاقات الأرضية، وتسييل التربة والتسونامي.
- الفجوات الزلزالية أجزاء من صدع نشط لم تتعرض لزلزال كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن.

### فهم الأفكار الرئيسية

1. اعمل قائمة ببعض الأمثلة حول الطرائق التي يستعملها العلماء لتحديد احتمال وقوع زلزال.
2. لخص الآثار المترتبة على أنواع المخاطر المختلفة الناجمة عن الزلازل.
3. ارسم مجموعة من الرسوم تبين ما يحدث على طول صدع قبل حدوث زلزال وبعده.
4. لخص الأحداث التي تؤدي إلى حدوث التسونامي.

### التفكير الناقد

5. قوم أي الأماكن أكثر احتمالاً لوقوع زلزال فيها؟ هل يقع في المكان نفسه الذي وقع فيه زلزال قوته 7.5 قبل 20 عاماً، أو في مكان يقع بين منطقتين تعرضتا لزلزالين؛ زلزال قبل 20 سنة، وزلزال قبل 60 سنة؟

### الكتابة الجيولوجيا

6. تخيل أنك في لجنة علمية، واكتب تقريراً تتناول فيه طرائق مقترحة لتعرف المناطق الأكثر عرضة لوقوع الزلازل.



# الزلازل والمجتمع

## دروس من الماضي



زلزال بومرداس 2003م

**زلزال بومرداس مايو 2003م** الساعة 7:44 مساءً يوم الأربعاء. خرج سكان الجزائر العاصمة والمدن المحيطة بها - وخصوصاً ولاية بومرداس، التي تقع على بعد 50 km تقريباً شرقي العاصمة - من منازلهم في حالة فزع شديد وقد انهارت مبانٍ عديدة على من فيها، بعد أن ارتجت الأرض، وزلزلت زلزالاً شديداً. وقد قدره الخبراء بـ 6.8 درجات على مقياس ريختر.

**الزلازل يضرب المدينة** لقد توقعت مراكز رصد الزلازل حول العالم حدوث زلزال في شمال الجزائر؛ بسبب تكرار حدوث الزلازل، ووجود فجوات زلزالية في المنطقة.

وقد حدث ما كان متوقعاً بالفعل، فقد ضربت هزة أرضية عنيفة شرق العاصمة الجزائرية، مما أسفر عن سقوط 3,500 قتيل، وتشرد 130,000 شخص.

**العلماء يحللون الزلزال** كان مركز الزلزال في مدينة الثنية في ولاية بومرداس، وكان هذا أقوى زلزال وقع في الجزائر منذ زلزال عام 1980م، الذي بلغت قوته 7.3 درجة، وهو ما استدعى عدة سنوات لتمكن البلديات المصابة من استرجاع مناظرها السابقة. لقد أظهر الزلزال مرة أخرى هشاشة النسيج العمراني داخل المدن وخارجها.

**أسباب حدوث الزلزال** يقع الجزء الشمالي من الجزائر بين الصفيحة الإفريقية والصفيحة الأوراسية. وقد قام الجيولوجيون بتحليل حركة الكتل الصخرية وحساب كمية الطاقة المحررة في أثناء تحركها، باستخدام نظرية الارتداد المرن (نظرية ريد Reid). وقد افترضوا أن الإجهادات الصخرية تكونت تدريجياً؛ حيث وقعت صخور المنطقة تحت تأثير قوى، حتى وصلت حدًا يفوق قدرتها على التحمل، مما أدى إلى تكسرها وتحرك أجزائها. وقد تعرضت المنطقة

للعديد من الزلازل نتيجة وقوعها بين هاتين الصفيحتين. أما زلزال بومرداس 2003 فسببه حركة الكتل الصخرية عند صدع زموري إلى الشمال الشرقي، وقد تم تعرّفه أول مرة بعد هذا الزلزال، بحسب هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية.

**التحضير للمستقبل** يعلم الجيولوجيون جيداً أن الإجهادات التي تتعرض لها القشرة الأرضية على طول صدع زموري في ازدياد مستمر، وهي المسؤولة عن وقوع زلزال بومرداس 2003م. ولهذا يعمل العلماء والمجتمع على السواء على الاستعداد للزلازل في المستقبل، وتعرّف المكان المحتمل لحدوث الزلازل، وتصميم مبان تستطيع تحمل آثارها.

## الكتابة في الجيولوجيا

ابحث باستخدام الإنترنت اكتب بحثاً أو أنشئ عرضاً تقديمياً عن زلزال مدينة العيص التي تقع على بعد 240 كم شمال غرب المدينة المنورة الذي حدث عام 2009م، ووضح مبعدي تأثيراته في السكان والبيئة المحلية.



## مختبر الجيولوجيا

### العلاقة بين المركز السطحي للزلازل والصفائح الأرضية

بيانات زلزالية			
محطة رصد الزلازل	رنية (RANI)	السودة (SODA)	عقلة الصقور (UQSK)
الفرق الزمني بين وصول أمواج P و S (دقيقة)	1.2	1.5	1
بُعد المركز السطحي (km)			
المسافة على الخريطة (cm)			

5. استعمل قيمة المسافة على الخريطة التي حسبته لتعيين فتحة الفرجار المناسبة لتحديد المسافة بين المركز السطحي وأول محطة رصد.
6. ضع رأس الفرجار على موقع محطة الرصد وارسم دائرة.
7. كرر ما قمت به لكل من محطتي رصد الزلازل الآخرين.
8. حدد نقطة تقاطع الدوائر الثلاث. تمثل هذه النقطة المركز السطحي للزلازل.

### التحليل والاستنتاج

1. حلل البيانات أين يقع المركز السطحي للزلازل؟
2. صف هل يتبع الزلازل أيًا من الأحزمة الزلزالية الرئيسة؟
3. فسر البيانات استعمل خريطة الصفائح الأرضية لتحديد الصفائح التي سببت حدوث هذا الزلزال.
4. استنتج صف كيف تؤدي حركات الصفائح إلى حدوث هذا الزلزال.

### الكتابة في الجيولوجيا

تخيل نفسك مراسلاً لصحيفة مقرها قريب من المركز السطحي لهذا الزلزال، واكتب مقالاً توضح فيه كيف أدت العمليات الجيولوجية إلى وقوع هذا الزلزال.

**خلفية علمية** يمكنك تقدير المسافة بين محطة رصد الزلازل (التي تسجل البيانات) والمركز السطحي للزلازل من خلال تحديد الفرق الزمني بين أمواج P وأمواج S المسجلة على السيزموجرام، وتستطيع أن تحدد الموقع الدقيق للمركز السطحي للزلازل على الخريطة من خلال استعمال ثلاث محطات رصد أو أكثر. ويفيد تحديد موقع المركز السطحي للزلازل على خريطة حدود الصفائح الأرضية في معرفة نوع حركة الصفائح التي سببت الزلزال.

**سؤال:** كيف يستطيع علماء الزلازل تحديد موقع المركز السطحي للزلازل؟

### الأدوات

خريطة المملكة العربية السعودية، آلة حاسبة، فرجار، مسطرة مترية، خريطة الصفائح الأرضية، منحني المسافة - زمن الوصول.

### خطوات العمل

حدد موقع المركز السطحي للزلازل حقيقي والوقت الفعلي لحدوثه باستعمال زمن وصول الأمواج الأولية والثانوية المسجلة في ثلاث محطات رصد الزلازل.

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. يعطي الجدول بيانات من ثلاث محطات رصد للزلازل. استعمل منحنيات المسافة - زمن الوصول في الشكل 6-7 والفرق بين زمن وصول الأمواج الأولية والثانوية لتحديد بُعد المركز السطحي للزلازل عن كل محطة رصد زلزالي. دوّن هذه المسافات في الجدول في صف "بُعد المركز السطحي".
3. احصل على خريطة المملكة العربية السعودية من معلمك، وحدد عليها بدقة مواقع محطات رصد الزلازل الثلاث بمساعدة المعلم.
4. استعمل مقياس رسم الخريطة بالسنتيمتر لتحديد المسافة على الخريطة بالسنتيمتر التي حصلت عليها في الخطوة 2 وتمثل بُعد المركز السطحي. ثم دوّن المسافة في صف المسافة على الخريطة.

# دليل مراجعة الفصل

## 6

## الفصل

الفكرة العامة تتشكل البراكين من الصهارة القادمة من باطن الأرض.

المفاهيم الرئيسية	المفردات
<p><b>الفكرة الرئيسية</b> ترتبط مواقع البراكين عمومًا مع حركة الصفائح.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• تتضمن عملية النشاط البركاني جميع العمليات التي تصعد فيها الصهارة والغازات إلى سطح الأرض.</li><li>• توجد معظم البراكين على اليابسة ضمن حزامي البراكين الرئيسية، وهما: حزام المحيط الهادي، وحزام البحر الأبيض المتوسط.</li><li>• تتضمن أجزاء البركان: القناة، والفوهة.</li><li>• توجد طفوح البازلت على هيئة سهول منبسطة أو هضاب، وتتكون نتيجة تدفق اللابة من شقوق القشرة الأرضية.</li><li>• هناك ثلاثة أنواع رئيسة للبراكين هي: الدرعية، والمخروطية، والمركبة.</li></ul>	<p>6-1 ما البركان؟</p> <p>النشاط البركاني وسائد اللابة البقعة الساخنة طفوح البازلت الشقوق قناة البركان فوهة البركان الفوهة البركانية المنهارة البركان الدرعي البركان المخروطي البركان المركب</p>
<p><b>الفكرة الرئيسية</b> تحدّد مكونات الصهارة خصائص الثوران البركاني.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• هناك ثلاثة أنواع من الصهارة، هي: البازلتية، والأنديزيتية، والريوليتية.</li><li>• اعتمادًا على نسبة محتوى الصهارة من السليكا تكون الصهارة البازلتية أضعف أنواع الصهارة في شدة الثوران، في حين أن الصهارة الريوليتية أشدها.</li><li>• درجة الحرارة والضغط ووجود الماء عوامل تؤثر في تشكّل الصهارة.</li><li>• تُسمى اللابة المتصلبة والقطع الصخرية التي تطلقها البراكين في أثناء ثورانها المقذوفات البركانية الصلبة.</li></ul>	<p>6-2 الثورانات البركانية</p> <p>اللزوجة المقذوفات البركانية الصلبة تدفق الفتات البركاني</p>



## المفردات

## المفاهيم الرئيسية

## 3-6 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

- الفكرة الرئيسية** يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصور بنية الأرض الداخلية.
- أنواع الأمواج الزلزالية ثلاثة: أولية وثنائية وسطحية.
  - مقياس الزلازل (السيزمومتر) جهاز يستقبل الأمواج الزلزالية، ويسجلها على المخطط الزلزالي (السيزموجرام).
  - استطاع العلماء أن يحددوا المركز السطحي للزلازل من الفرق الزمني بين زماني وصول أمواج P وأمواج S.
  - تتغير سرعة واتجاه كل من أمواج P وأمواج S عندما تواجه حدودًا فاصلة بين مواد مختلفة.
  - يمكن الحصول على صورة مفصلة عن مكونات الأرض الداخلية من خلال تحليل الأمواج الزلزالية التي تعبرُ باطن الأرض.

الأمواج الزلزالية  
الأمواج الأولية  
الأمواج الثانوية  
الأمواج الجسمية  
الأمواج السطحية  
بؤرة الزلزال  
المركز السطحي  
للزلزال  
مقياس الزلزال  
مخطط الزلزال

## 4-6 قياس الزلازل وتحديد أماكنها

- الفكرة الرئيسية** يقيس العلماء قوة الزلازل ويحددون مكانها على الخريطة باستعمال الأمواج الزلزالية.
- قوة الزلزال هي مقياس للطاقة التي تتحرر في أثناء حدوث الزلزال، ويمكن قياسها بمقياس ريختر.
  - شدة الزلزال هي مقياس للدمار الذي يُحدثه الزلزال.
  - لتحديد موقع المركز السطحي للزلازل نحتاج على الأقل إلى ثلاث محطات رصد للزلازل.
  - تحدث معظم الزلازل في أحزمة ضيقة تسمى أحزمة الزلازل؛ حيث تنطبق مع حدود الصفائح.

مقياس ريختر  
قوة الزلزال  
سعة الموجة الزلزالية  
مقياس العزم الزلزالي  
مقياس ميركالي المعدل  
أحزمة الزلازل

## 5-6 الزلازل والمجتمع

- الفكرة الرئيسية** يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال دراسة تاريخ المنطقة زلزاليًا، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة.
- يعتمد توقع حدوث الزلازل على التاريخ الزلزالي وقياسات الجهود المتراكمة في الصخور.
  - تسبب الزلازل الدمار من خلال توليد اهتزازات يمكنها إحداث هزات في سطح الأرض.
  - يمكن أن تسبب الزلازل انهيار المنشآت والانزلاقات الأرضية، وتسييل التربة والتسونامي.
  - الفجوات الزلزالية أجزاء من صدع نشط لم تتعرض لزلزال كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن.

تسييل التربة  
تسونامي  
فجوة زلزالية  
تراكم الجهد





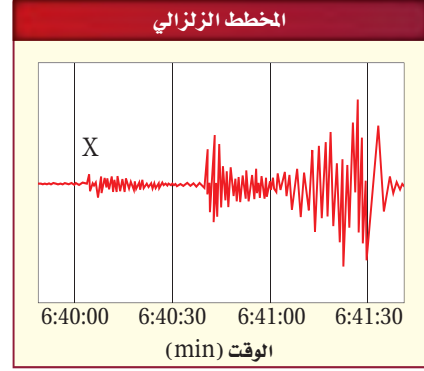
## التفكير الناقد

26. ارسم المكونات الرئيسية للسيزمومتر.  
27. صمّم منزلاً بحيث يبقى هيكله سليماً في حالة وقوع زلزال. حدد معالمة مبيّناً كيف ستحميه من دمار الزلزال؟

## خريطة مفاهيمية

28. استعمل المصطلحات الآتية لبناء خريطة مفاهيم: براكين درعية، صغيرة الحجم، تعاقب طبقات من اللابة ومقدوفات صلبة، براكين مخروطية، براكين مركبة، شديدة الانحدار، قليلة الانحدار وواسعة.  
29. استعمل المصطلحات والجمل الآتية لبناء خريطة مفاهيم تتعلق بالزلازل والموجات الزلزالية: الموجات السطحية، الموجات الثانوية، أسرع الموجات، تنتقل على سطح الأرض، لا تنتقل في السوائل، الموجات الأولية، أبطأ الموجات.

أجب عن الأسئلة 21-22 مستعيناً بالرسم أدناه.

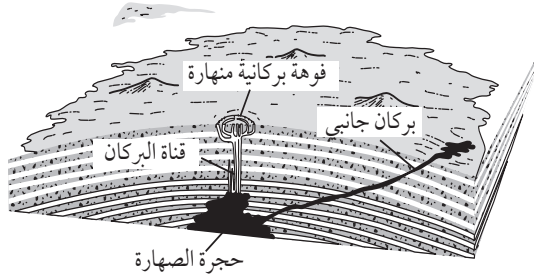


21. ما نوع الموجة الزلزالية المشار إليها بالرمز x؟  
a. أمواج p. c. أمواج S.  
b. أمواج سطحية. d. أمواج قص.
22. ما زمن وصول الأمواج السطحية؟  
a. 6:40:00 c. 6:40:33  
b. 6:40:05 d. 6:41:10
23. يُستعمل الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S في تحديد:  
a. بُعد المركز السطحي للزلزال عن محطة الرصد.  
b. نوع الصدع.  
c. عمق الزلزال.  
d. ما إذا كان اللب سائلاً.
24. قارن بين موجة التسونامي والموجة السطحية.
25. فسر لماذا يحتاج العلماء إلى قياسات من أكثر من جهازين من أجهزة السيزمومتر لتحديد موقع الزلزال بدقة.



# اختبار مقنن

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 5 و 6.



5. ما نوع البركان في الشكل أعلاه؟

- a. مخروطي.
- b. درعي.
- c. مركب.
- d. فتات بركاني.

6. ما مستوى التهديد الذي يجتمل أن يسببه تطور هذا

البركان للإنسان؟

- a. منخفض؛ لأنه بركان تكوّن من تراكم طبقة فوق أخرى، في أثناء ثورات هادئة غير متفجرة.
- b. منخفض؛ لأنه بركان تكوّن من تعاقب طبقات من اللابة مع طبقات من الرماد البركاني.
- c. متوسط؛ لأنه بركان صغير تكوّن من ثوران جزء من الصهارة، ومن ثم تراكم هذا الجزء حول الفوهة.
- d. مرتفع؛ لأنه بركان ذو ثوران متفجر.

7. ما نوع الموجات الزلزالية التي تخترق اللب الخارجي

للأرض؟

- a. الموجات الثانوية.
- b. الموجات السطحية.
- c. الموجات الأولية.
- d. الموجات الأولية والثانوية.

1. ما نوع البركان الذي يمثل أكبر خطر على الإنسان

والبيئة؟

- a. الدرعي.
- b. المركب.
- c. المخروطي.
- d. الطفوح.

2. كيف يؤثر زيادة الضغط المحصور في درجة انصهار

الصخور؟

- a. تزداد درجة الانصهار.
- b. تقل درجة الانصهار.
- c. تثبت درجة الانصهار.
- d. تزداد درجة الانصهار ثم تقل.

3. متى تتكون البراكين الدرعية؟

- a. عندما تتراكم طبقات من اللابة بعضها فوق بعض خلال الثورات البركانية غير العنيفة.
- b. عندما تتعاقب طبقات صخرية صلبة ناتجة عن ثورات بركانية عنيفة مع طبقات تكونت من ثورات بركانية هادئة.
- c. عندما تعود المواد البركانية الصغيرة الحجم المقذوفة في الهواء إلى الأرض، وتتراكم حول فوهة البركان.
- d. عندما يكون عمود من الصهارة في الستار بقعة ساخنة.

4. ما العامل الذي لا يؤثر في تشكل الصهارة؟

- a. الزمن.
- b. درجة الحرارة.
- c. الضغط.
- d. المياه.





12. لتحديد موقع الزلزال نحتاج إلى معرفة موقع:

- محطة زلزالية واحدة.
- محطتين زلزالتين على الأقل.
- 3 محطات زلزالية على الأقل.
- 5 محطات زلزالية على الأقل.

13. ما المقياس الذي يستعمل في قياس شدة الزلازل؟

- مقياس ميركالي المعدل
- مقياس العزم الزلزالي
- مقياس ميركالي المعدل
- السيزموجرام

## أسئلة الإجابات القصيرة

14. حجر الخفاف صخر ناري فقاعي يطفو على الماء. ما الذي تستنتجه عن حجم الغازات الموجودة في اللابة التي شكّلت هذا الحجر؟

15. لماذا ينتج عن اللابة التي تحتوي على كميات كبيرة من الغازات المذابة، عمومًا، انفجارات عنيفة أكبر من اللابة التي تحتوي على كمية أقل من الغازات؟

استعن بالخريطة الآتية للإجابة عن الأسئلة 16 - 17.



16. طبقًا للخريطة أعلاه، أين يقع المركز السطحي للزلزال؟ وكيف يمكن تحديده؟

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 8 و 9.

بعض الزلازل الحديثة		
الموقع	السنة	مقياس ريختر
إندونيسيا	2005	7.6
جنوب سومطرة	2007	8.5
تشيلي	2010	7.0
اليابان	2011	9.0
شمال سومطرة	2012	8.6

8. احسب بشكل تقريبي كم مرة تزيد الطاقة المتحررة

من زلزال شمال سومطرة على الطاقة المتحررة من زلزال إندونيسيا؟

- مرتين.
- 10 مرات.
- 32 مرة.
- 1000 مرة.

9. قدر كم مرة تزيد سعة الموجة الزلزالية المتولدة عن

زلزال اليابان على تلك المتولدة عن زلزال تشيلي؟

- مرتين.
- 10 مرات.
- 100 مرة.
- 1000 مرة.

10. أبطأ الموجات الزلزالية وصولًا إلى محطات الرصد

الزلزالي:

- الموجات الأولية.
- الموجات السطحية.
- الموجات الثانوية.
- الموجات الجسمية.

11. ماذا تسمى أجزاء الصدع النشط التي لم تتعرض

لزلزال كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن؟

- الفجوات الزلزالية.
- الزلازل الكامنة.
- تسييل التربة.
- التسونامي.

# اختبار مقنن

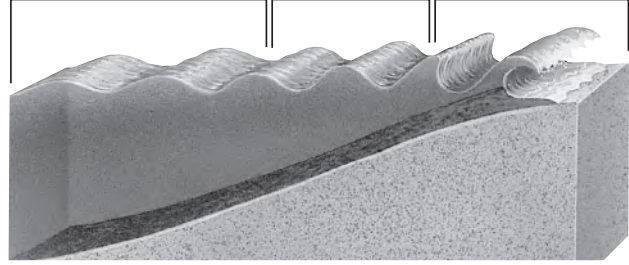
منها 100000 زلزال فقط يستطيع أن يشعر به الإنسان. و100 زلزال تقريباً يسبب الدمار. ويجري الباحثون دراسات عميقة على الحيوانات لاكتشاف ماذا تسمع أو تشعر قبل أن يحدث الزلزال. واستعمال هذا الإحساس أداة للتنبؤ بالزلازل. وقد شكك العلماء في إمكانية تنبؤ الحيوانات بالزلازل، على الرغم من توثيق حالات لتصرفات غريبة لبعض الحيوانات قبل حدوث الزلازل؛ وذلك لعدم وجود صلة بين تكرار حدوث سلوك معين و حدوث الزلزال.

21. ماذا يمكن أن نستنتج بعد قراءة النص السابق؟  
a. تستطيع الحيوانات التنبؤ بالزلازل لأنها تشعر باهتزازات الأرض قبل الإنسان.  
b. لا تستطيع الحيوانات التنبؤ بالزلازل.  
c. هناك حاجة لدراسة إضافية وبحث قبل تأكيد أو نفي قدرة الحيوانات على التنبؤ بالزلازل.  
d. الحيوانات تتنبأ بالزلازل منذ قرون.

22. أيّ التصرفات الآتية لا تدل على تنبؤ الحيوانات بالزلازل؟

- الحركة العنيفة للأسماك.
- هجرة النحل لخلاياه.
- وضع الدجاج للبيض.
- هجرة الثعابين لجحورها.

17. ما أهمية استعمال ثلاث محطات رصد لتحديد المركز السطحي للزلزال؟  
18. هل يمكن أن يؤثر هذا الزلزال في المناطق المجاورة للجزيرة العربية؟  
استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 19 و20.



19. صف التغيير في حركة الموجات عند اقترابها من الشاطئ.  
20. كيف تختلف حركة المياه والطاقة في الموجة المحيطية؟

## القراءة والاستيعاب

### التنبؤ بالزلازل

منذ عدة قرون ساد اعتقاد أن الحيوانات تستطيع التنبؤ بالزلازل. فقد سجل المؤرخون أن حيوانات - منها الفئران والثعابين وابن عرس - قد هجرت المدينة الإغريقية هيليس عام 373 م قبل أن يضرب الزلزال المدينة. وقد سجلت حوادث مماثلة على امتداد القرون عند حدوث الزلازل، منها الحركة العنيفة للأسماك، وتوقف الدجاج عن طرح البيض، وهجرة النحل لخلاياه. ولكن بقي السؤال: كيف تحس الحيوانات بالزلازل؟ ومن الفرضيات التي وضعت لتفسير ذلك أن الحيوانات البرية والأليفة تشعر بالاهتزازات الأرضية قبل الإنسان. وبعض الأفكار تفترض أن الحيوانات تستطيع اكتشاف تغيرات كهربائية في الهواء أو الغاز المتحرر من الأرض.

والزلازل ظاهرة فجائية لا يستطيع الجيوفيزيائيون معرفة متى وأين تحدث بالضبط. وتقدر الزلازل التي تسجل في محطات الرصد الزلزالي في العام الواحد بأكثر من مليون زلزال. يوجد





# مراجعة تآليات الأظالب



وزارة الأعلل  
Ministry of Education  
2023 - 1445



## قائمة المحتويات

### Reference Tables

الجداول المرجعية:

- Minerals with Metallic Luster - صفات المعادن ذات البريق الفلزي
- Minerals with Nonmetallic Luster - صفات المعادن ذات البريق الأفلزي
- Properties of Rocks - خواص الصخور
- Planetary fact sheets - صحيفة الحقائق الكوكبية

### Reference Maps

الخرائط المرجعية:

- المعادن الفلزية في المملكة العربية السعودية
- Metallic Minerals in the Kingdom of Saudi Arabia
- Oceanic Ridge Map - خريطة ظهور المحيطات
- Plate Boundaries - حدود الصفائح
- Geology of the Arabian Peninsula - جيولوجية شبه الجزيرة العربية
- Seismic Station Locations - مواقع محطات الرصد الزلزالي
- Global Earthquake Epicenter Locations - مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم

### Reference Geological Features

المعالم الجيولوجية المرجعية

- Harrats in Kingdom of Saudi Arabia - الحرات في المملكة العربية السعودية
- industrial minerals in Kingdom of Saudi Arabia - المعادن الصناعية في المملكة العربية السعودية

### Glossary

المصطلحات



# مرجعيات الطالب

جدول مرجعية

## صفات المعادن ذات البريق الفلزي

## الجدول 1-

اسم المعدن وصيغته الكيميائية	اللون	المخدش	القساوة	الوزن النوعي	النظام البلوري	الانقسام والمسكرو	الاستعمالات وخصائص اخرى
البورنيت Bornite $Cu_5FeS_4$	برونزي باهت إلى أزرق غامق أرجواني	رمادي-أسود	3	4.9-5.4	هرم رباعي الأوجه	مكسر غير مستو (حواف مسننة)	مصدر للنحاس ويسمى خام الطاووس بسبب اللون الأرجواني اللامع.
الكالكوبيريت Chalcopyrite $CuFeS_2$	أصفر إلى أصفر ذهبي	أسود مخضر	3.5-4	4.2	رباعي الأوجه	مكسر غير مستو (حواف مسننة)	الخام الرئيس للنحاس.
الكرومايت Chromite $FeCr_2O_4$	أسود أو بني	بني إلى أسود	5.5	4.6	مكعب	مكسر غير منتظم	خام الكروم، غير القابل للصدأ، صلب يستعمل لصناعة السبائك.
النحاس Copper Cu	نحاسي أحمر	نحاسي أحمر	3	8.5-9	مكعب	مكسر متفتت	يستعمل في صناعة العملات المعدنية والأنابيب والمزاريب، والأسلاك، وأواني الطبخ، والمجوهرات، طباعة لوحات الديكور.
الجالينا Galena PbS	رمادي	رمادي إلى أسود	2.5	7.5	مكعب	الانقسام مكعبات واضحة	مصدر الرصاص الذي يستعمل في صناعة الأنابيب، الدروع لأشعة إكس، وصيد الأسماك ومعدات الغطاسين.
الذهب Gold Au	أصفر ذهبي	أصفر	2.5-3	19.3	مكعب	مكسر متفتت	يستعمل في المجوهرات والنقود، رقائق الذهب، حشوات للأسنان، والأدوية؛ لا يصدأ.
الجرافيت Graphite C	أسود إلى رمادي	أسود إلى رمادي	1-2	2.3	سداسي	سطح انقسام واحد	يستعمل في أقلام الرصاص و مواد التشحيم، قضبان للسيطرة على بعض المفاعلات النووية الصغيرة، أقطاب البطارية.
الهيماتيت Hematite $Fe_2O_3$	أسود أو بني محمر	أحمر أو بني محمر	6	5.3	سداسي	مكسر غير منتظم	خام الحديد، يصهر في الأفران مع الفحم لإنتاج الفولاذ الصلب.
الماجنتيت Magnetite $Fe_3O_4$	أسود	أسود	6	5.2	مكعب	مكسر محاري	خام الحديد، مغناطيس طبيعي. ويسمى حجر المغناطيس.
البيريت Pyrite $FeS_2$	أصفر نحاسي فاتح	أسود مخضر	6.5	5.0	مكعب	مكسر غير مستو (حواف مسننة)	غني بالحديد، يسمى ذهب الجانين لأن مظهره يشبه الذهب، ويتأكسد إلى معدن الليمونيت.
البيروتيت Pyrrhotite $Fe_{1-x}S$	برونزي	رمادي-أسود	4	4.6	سداسي	مكسر غير مستو (حواف مسننة)	خام للحديد والكبريت، وقد يكون ممغنطاً.
الفضة Silver Ag	أبيض فضي بدون بريق إلى أسود	رمادي فاتح إلى فضي	2.5	10-12	مكعب	مكسر متفتت	يستعمل في صك النقود، حشوات الأسنان، ورقائق الفضة، الأسلاك، الموصلات.

# مرجعيات الطاب

## صفات المعادن ذات البريق الأفلزي

## الجدول 2-

اسم المعدن وصيغته الكيميائية	اللون	المخدش	القساوة	الوزن النوعي	النظام البلوري	الانقسام والمسكر	الاستعمالات وخصائص أخرى
الأوجيت Augite (Ca, Na) (Mg, Fe, Al) (Al, Si) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	أسود	شفاف	6	3.3	أحادي الميل	الانقسام في اتجاهين	المقطع العرضي للبلورة على شكل مربع أو مضلع ثماني.
الكوروندم Corundum Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	شفاف، أزرق، بني، أخضر، أبيض، وردي، أحمر	شفاف	9	4.0	سداسي	مكسر غير مستو	يستعمل لشحن القطع أكثر حدة؛ والملون منه الكوروندم الأحمر حجر كريم (الياقوت) والأزرق الحجر الكريم الزفير.
الفلسبار البوتاسي Feldspar (orthoclase) KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	شفاف، أبيض إلى رمادي، أخضر، أصفر	شفاف	6	2.5	أحادي الميل	مستويان من الانقسام متعامدين	لا يذوب في الأحماض ويستعمل في صناعة البورسلان.
الفلسبار البلاجيوكليزي Feldspar (plagioclase) NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> CaAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	رمادي، أخضر، أبيض	شفاف	6	2.5	ثلاثي الميل	مستويان من الانقسام يميلان ويتقابلان بزاوية 86°	يستعمل في صناعة الخزف.
الفلورايت Fluorite CaF <sub>2</sub>	شفاف، أبيض، أزرق، أخضر، أحمر، أصفر، أرجواني	شفاف	4	3-3.2	مكعب	تظهر مستويات انقسام	يستعمل في صناعة الأجهزة البصرية، يتوهج تحت الأشعة فوق البنفسجية.
الجارنت Garnet (Mg, Fe, Ca, Mn) <sub>3</sub> (Al, Fe, Cr) <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	أصفر غامق، أحمر، أخضر، أسود	شفاف	7.5	3.5	مكعب	مكسر محاري	يستعمل كمادة صاقلة، ويستعمل في صناعة المجوهرات.
الهورنبلند Hornblende ,Ca <sub>2</sub> Na (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sub>3</sub> , Ti) <sub>3</sub> , Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (O, OH) <sub>2</sub>	أخضر إلى أسود	رمادي إلى أبيض	5-6	3.4	أحادي الميل	انقسام في اتجاهين	ينكسر الضوء عن حوافه الرقيقة، مقطع بلوراته من 6 أضلاع.
الليمونايت Limonite (أكسيد الحديد المائي)	أصفر، بني، أسود	أصفر، بني	5.5	2.7-4.3	غير محدد	مكسر محاري	مصدر للحديد، سهل التجوية والتفتت، مادة ملونة للتربة.
الأوليفين Olivine (Mg, Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	أخضر زيتوني	شفاف	6.5	3.5	معيني	مكسر محاري	حجر كريم، رمل مقاوم للانصهار. يستعمل في تبطين أفران الصهر.
الكوارتز Quartz SiO <sub>2</sub>	شفاف، ألوان مختلفة.	شفاف	7	2.6	سداسي	مكسر محاري	يستعمل في صناعة: الزجاج، الأجهزة الإلكترونية، المذياع، الحواسيب، الساعات، بعض أنواعه معادن نفيسة.
التوباز Topaz Al <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (F, OH) <sub>2</sub>	شفاف، أبيض، أصفر، وردي، أزرق باهت	شفاف	8	3.5	معيني	مستوى انقسام أساسي	حجر ثمين.



# مرجعيات الطالب

الجدول 3-	خواص الصخور	نوع الصخر	اسم الصخر	صفات الصخر
نارية جوفية Igneous (intrusive)		الجرانيتيت granite	بلورات معدنية كبيرة من الكوارتز والفلسبار والهورنبلند والمايكا. تون الصخر فاتح عادة.	
		الديوريتيت diorite	بلورات كبيرة من الفلسبار والهورنبلند والمايكا وكميات من الكوارتز أقل من الجرانيتيت، لونها متوسط.	
		الجابرو gabbro	بلورات معدنية كبيرة من الفلسبار والهورنبلند والأوجيت والأوليفين والمايكا ولا يوجد كوارتز، لونها غامق.	
نارية سطحية Igneous (extrusive)		الريوليتيت rhyolite	بلورات معدنية صغيرة من الكوارتز والفلسبار والهورنبلند والمايكا. تون الصخر عادة فاتح.	
		الأنديزيتيت andesite	بلورات صغيرة من معادن الفلسبار والهورنبلند والمايكا وكميات قليلة من الكوارتز أقل من الريوليتيت، لونها متوسط.	
		البازلت basalt	بلورات معدنية صغيرة من الفلسبار والهورنبلند والأوجيت والأوليفين والمايكا ولا يوجد كوارتز، لونها غامق. مع احتمال وجود فقاعات.	
		الأوبسيديان obsidian	نسيج زجاجي، لا يمكن رؤية الحبيبات، زجاج بركاني، مكسر محاري، اللون عادة أسود، ويمكن رؤيته باللون الأحمر — بني محمر أو أسود مع بقع بيضاء.	
		الخفاف pumice	نسيج رغوي، يطفو على الماء، عادة لونه فاتح.	
		الكونجلوميرات conglomerate	حبيباته كبيرة مستديرة، بحجم الحصى أو الجلاميد.	
رسوبية فتاتية Sedimentary (clastic)		الحجر الرملي sandstone	يتراوح حجم حبيباته ما بين 2mm - $\frac{1}{16}$ ، ألوانه متعددة.	
		حجر الطمي siltstone	حجم حبيباته أقل من الرمل لكن أكبر من الطين.	
		الطفل shale	أصغر حبيبات ولونه غامق عادة.	
رسوبية كيميائية وبيوكيميائية Sedimentary chemical (or biochemical)		الحجر الجيري limestone	يتكون بشكل رئيس من معدن الكالسيت، وعادة يتكون في البحار والبحيرات والأنهار والكهوف، وغالباً يحتوي على أحافير. ويتفاعل بسهولة مع حامض HCl المخفف.	
		الفحم coal	يتكون في المستنقعات والبيئات المائية الضحلة، طبقات متماسكة من المواد العضوية، وبشكل رئيس من بقايا النباتات.	



## مرجعيات الطاب

### جدول مرجعية

يتكون عادة من تبخر مياه البحر.	الملح الصخري rock salt	رسوبية كيميائية Sedimentary (chemical)
تظهر فيه طبقات واضحة بسبب وجود أشرطة متبادلة من معادن مختلفة الألوان، عادة ينتج عن تحول الجرانيت.	النيس gneiss	متحولة متورقة (صفائحية) Metamorphic
ترتيب واضح للمعادن الصفائحية (رقائق) مثل المايكا. وينتج بشكل رئيس عن تحول الطفل والفضليت.	الشيست schist	
مظهر لامع أو حريري، يبدو سطح الصخر مجعداً. وينتج عن تحول الطفل والإردواز.	الفضليت phyllite	
ينتج عن تحول الطفل وهو صلب وأثقل وأكثر لمعاً من الصخر الأصلي.	الإردواز slate	
تظهر فيه بلورات الكالسيت أو الدولوميت، وينتج عن تحول الصخور الجيرية.	الرخام marble	متحولة غير متورقة (غير صفائحية) Metamorphic (nonfoliated)
يتكون بشكل رئيس من معدن التلك، طري، وملسه دهني أو صابوني.	الحجر الصابوني soapstone	
صلب جداً، حبيباته متماسكة ومتلاحمة ببلورات كوارتز، يتحول عن الحجر الرملي.	الكوارتزيت quartzite	



# مرجعيات الطالب

## صحيفة الحقائق الكوكبية

## الجدول 4-

جدول مرجعية

بلوتو	نبتون	اورانوس	زحل	المشتري	المريخ	القمر	الأرض	الزهرة	عطارد	
4.87	5.97	0.073	0.642	1898	568	86.8	102	0.0130	0.330	الكتلة ( $10^{24}\text{kg}$ )
12,104	12,756	3475	6792	142,984	120,536	51,118	49,528	2376	4879	القطر (km)
5243	5514	3340	3934	1326	687	1270	1638	1850	5429	الكثافة ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
8.9	9.8	1.6	3.7	23.1	9.0	8.7	11.0	0.7	3.7	الجاذبية ( $\text{m}/\text{s}^2$ )
10.4	11.2	2.4	5.0	59.5	35.5	21.3	23.5	1.3	4.3	سرعة الهروب (km/s)
-5832.5	23.9	655.7	24.6	9.9	10.7	-17.2	16.1	-153.3	1407.6	فترة الدوران (ساعة)
2802.0	24.0	708.7	24.7	9.9	10.7	17.2	16.1	153.3	4222.6	طول اليوم (ساعة)
108.2	149.6	0.384	228.0	778.5	1432.0	2867.0	4515.0	5906.4	57.9	المسافة من الشمس ( $10^6\text{km}$ )
107.5	147.1	0.363	206.7	740.6	1357.6	2732.7	4471.1	4436.8	46.0	الحضيض ( $10^6\text{km}$ )
108.9	152.1	0.406	249.3	816.4	1506.5	3001.4	4558.9	7375.9	69.8	الأوج ( $10^6\text{km}$ )
90,560	59,800	30,589	10,747	4331	687.0	27.3	365.2	224.7	88.0	الفترة المدارية (يوم)





## مرجعيات الطالب

### جداول مرجعية

4.7	5.4	6.8	9.7	13.1	24.1	1.0	29.8	35.0	47.4	السرعة المدارية (km/s)
17.2	1.8	0.8	2.5	1.3	1.8	5.1	0.0	3.4	7.0	الميل المداري (درجة)
0.244	0.010	0.047	0.052	0.049	0.094	0.055	0.017	0.007	0.206	الانحراف المداري
122.5	28.3	97.8	26.7	3.1	25.2	6.7	23.4	177.4	0.034	ميل المحور (درجة)
-225	-200	-195	140-	110-	-65	-20	15	464	167	متوسط درجة الحرارة (C)
0.00001	غير معروف	غير معروف	غير معروف	غير معروف	0.01	0	1	92	0	ضغط السطح (bars)
5	14	27	83	92	2	0	1	0	0	عدد الاقمار
لا	نعم	نعم	نعم	نعم	لا	لا	لا	لا	لا	هل له حلقات؟
غير معروف	نعم	نعم	نعم	نعم	لا	لا	نعم	لا	نعم	هل له مجال مغناطيسي؟

**فترة الدوران (ساعات)** - هو الوقت الذي يستغرقه الكوكب لإكمال دورة واحدة بالنسبة لنجوم الخلفية الثابتة (لا علاقة لها بالشمس). تشير الأرقام السالبة إلى دوران رجعي (للخلف بالنسبة إلى الأرض).

**طول اليوم (ساعات)** - متوسط الوقت بالساعات لانتقال الشمس من موضع الزوال في السماء عند نقطة في خط الاستواء، والعودة إلى الموضع نفسه.



## المعادن الفلزية في المملكة العربية السعودية

تصاحب العديد من المعادن الفلزية والخامات الاقتصادية أنواعاً محددة من الصخور. فالذهب مثلاً يتواجد عادةً في عروق الكوارتز المصاحبة لصخور الجرانيت أو لصخور الديورايت والجرانوديورايت، ويوجد كذلك في الصخور البركانية الغنية بالسيليكا. بينما تصاحب خامات الكوبالت والنيكل والتيتانيوم الصخور النارية القاعدية وفوق القاعدية، ومنها البيردوتيت والسربتينيت.

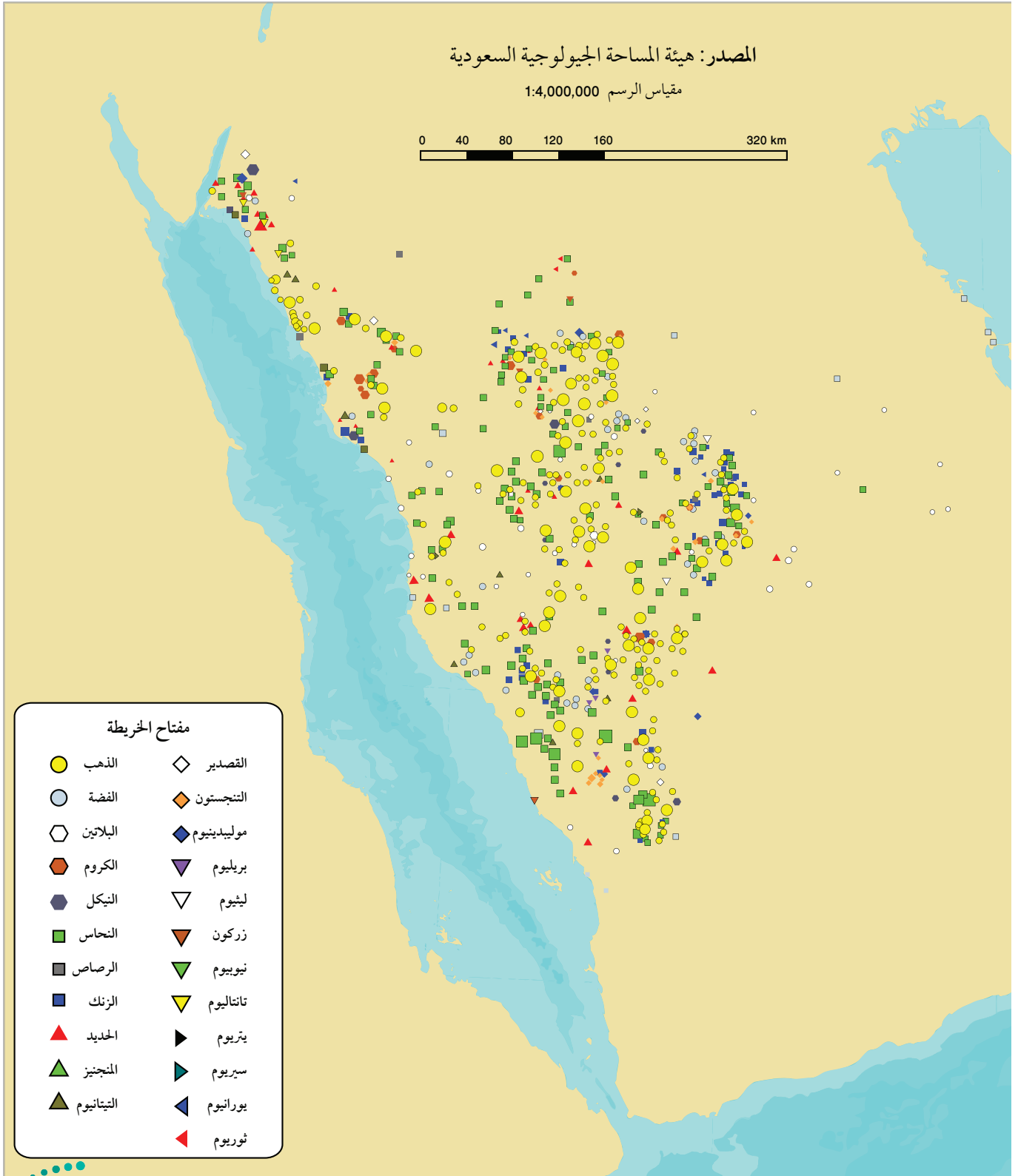
وتنتشر المعادن الفلزية في مواقع عديدة من المملكة العربية السعودية، ولكنها تتركز في صخور منطقة الدرع العربي، التي تقع في المنطقة الغربية من المملكة على امتداد ساحل البحر الأحمر، ومن أهم المعادن الفلزية التي تتواجد فيها: الذهب، والفضة، والنحاس. ومن المناجم التي يُستخلص منها الذهب: مهد الذهب، والأمار، والصخيرات، ومن المناجم التي تُظهر الدراسات الجدوى الاقتصادية من استغلال الذهب منها: حجر حمضة، وظلم، والدويحي.

وكانت بداية التنقيب عن المعادن الاقتصادية في المملكة عام 1930م، عندما طلب المغفور له الملك عبد العزيز آل سعود من الجيولوجي الأمريكي توثيشل التنقيب عن النفط والمعادن الاقتصادية في أراضي المملكة، وقد أكد هذا الجيولوجي تواجد الذهب في منطقة الحجاز. ومن ثم بدأ التنقيب عن الذهب واستغلاله من منجم مهد الذهب منذ عام 1939م بإشراف نقابة التعدين العربية السعودية. وفي عام 1960م تم إنشاء المديرية العامة للثروة المعدنية، ثم تغير اسمها في عام 1993م إلى وكالة الوزارة للثروة المعدنية؛ وكانت الجهة المنوط بها البحث والتنقيب واستغلال الثروات المعدنية الاقتصادية في المملكة. وفي عام 1999م تم تأسيس هيئة المساحة الجيولوجية السعودية التي أصبحت مسؤولة عن عمليات البحث والتنقيب عن المعادن في المملكة. وتبني الهيئة سياسات تعتمد على إجراء العديد من الدراسات الجيوفيزيائية والجيوكيميائية، واستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد، آخذين في الاعتبار النظريات الحديثة حول نشأة المعادن الاقتصادية وتكوّنها؛ من أجل تحديد أماكن المعادن الفلزية وكمياتها، ودراسة الجدوى الاقتصادية من استغلالها.

المصدر: هيئة المساحة الجيولوجية السعودية

مقياس الرسم 1:4,000,000

0 40 80 120 160 320 km



## مفتاح الخريطة

- |              |               |
|--------------|---------------|
| ● الذهب      | ◇ القصدير     |
| ○ الفضة      | ◆ التنجستون   |
| ⬡ البلاتين   | ◆ موليبدينيوم |
| ⬢ الكروم     | ▽ بربليوم     |
| ⬢ النيكل     | ▽ ليشيوم      |
| ■ النحاس     | ▽ زركون       |
| ■ الرصاص     | ▽ نيوبيوم     |
| ■ الزنك      | ▽ تانتاليوم   |
| ▲ الحديد     | ▶ يتريوم      |
| ▲ المنجنيز   | ▶ سيريوم      |
| ▲ التيتانيوم | ▶ يورانيوم    |
|              | ▶ ثوريوم      |



# مرجعيات الطالب

خريطة ظهور المحيطات

خرائط مرجعية

آسيا

أمريكا

الشمالية

أستراليا

ظهر المحيط الهادي



ظهر المحيط  
الأطلسي

أوروبا

شبه  
الجزيرة  
العربية

أفريقيا

أمريكا  
الجنوبية

ظهر المحيط  
الهندي

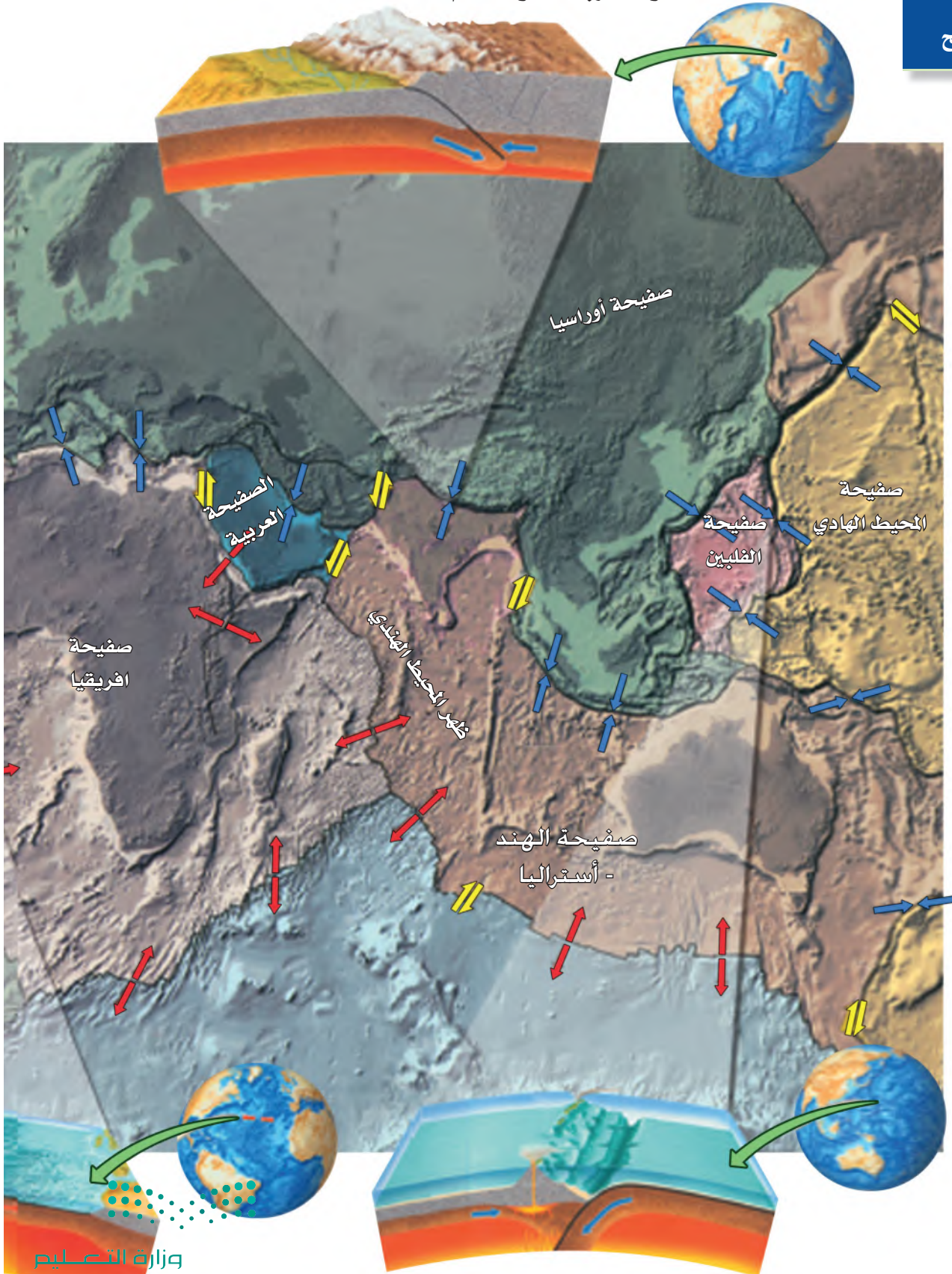
ظهر المحيط  
القطبي الجنوبي



# مرجعيات الطالب

حدود متقاربة (حدود تصادم)

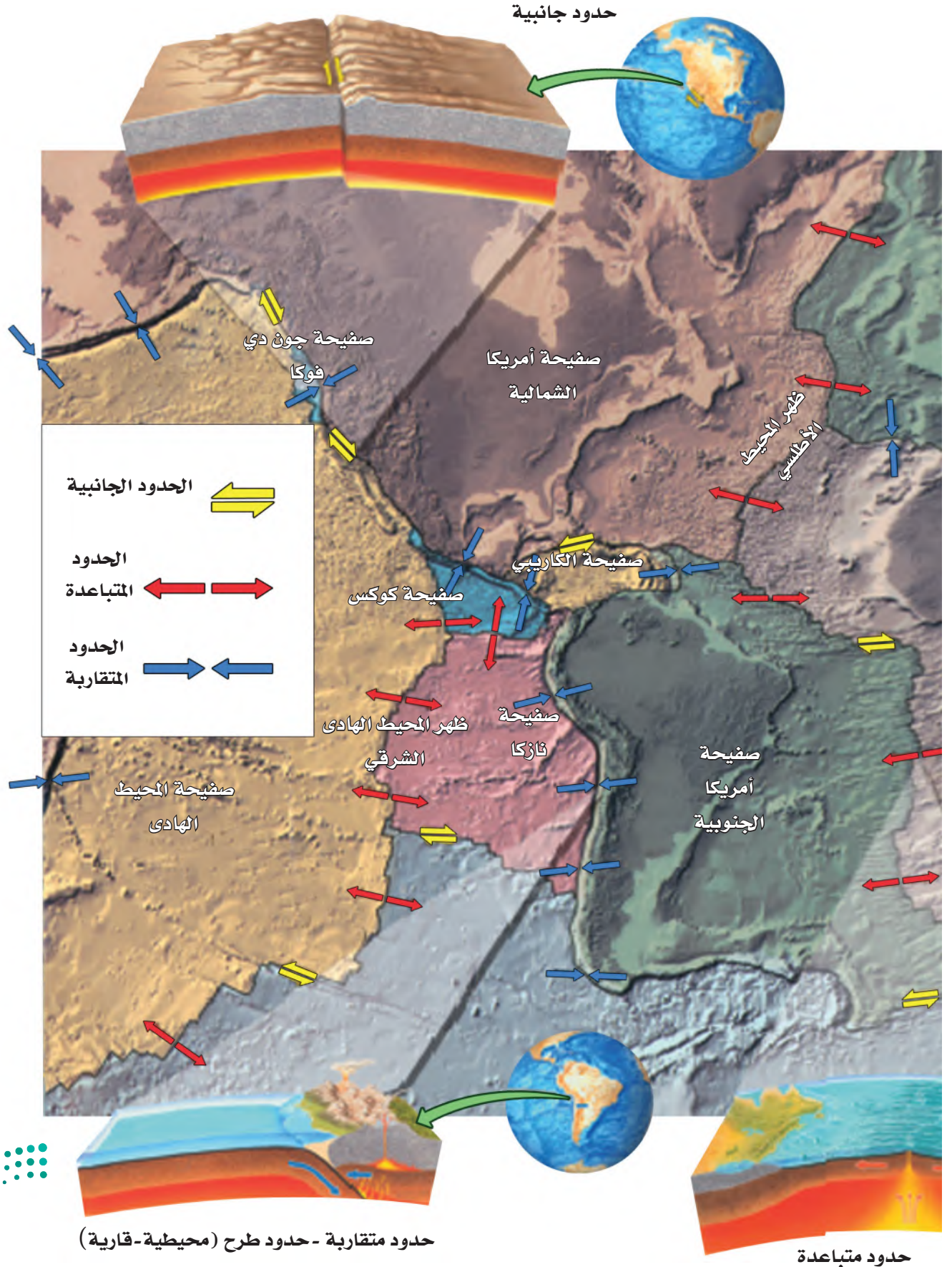
حدود الصفائح



خرائط مرجعية

حدود متقاربة - حدود طرح (محيطية-محيطية)





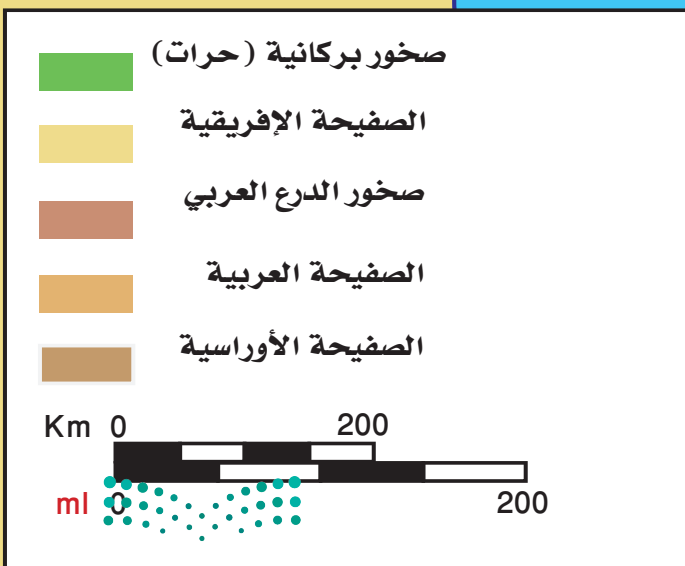
# مرجعيات الطالب

جيولوجية شبه الجزيرة العربية

خرائط مرجعية

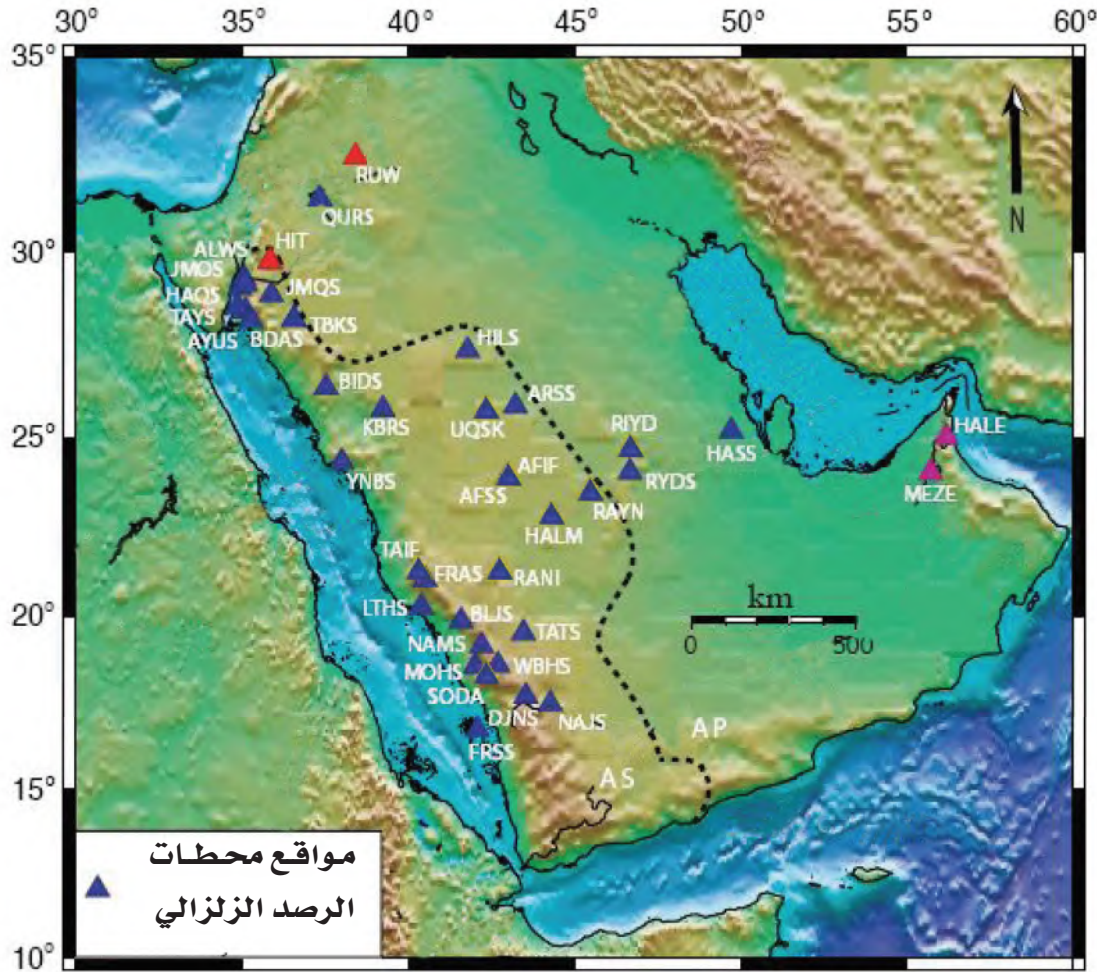
# مرجعيات الطالب

خرائط مرجعية





## مواقع محطات الرصد الزلزالي في المملكة العربية السعودية

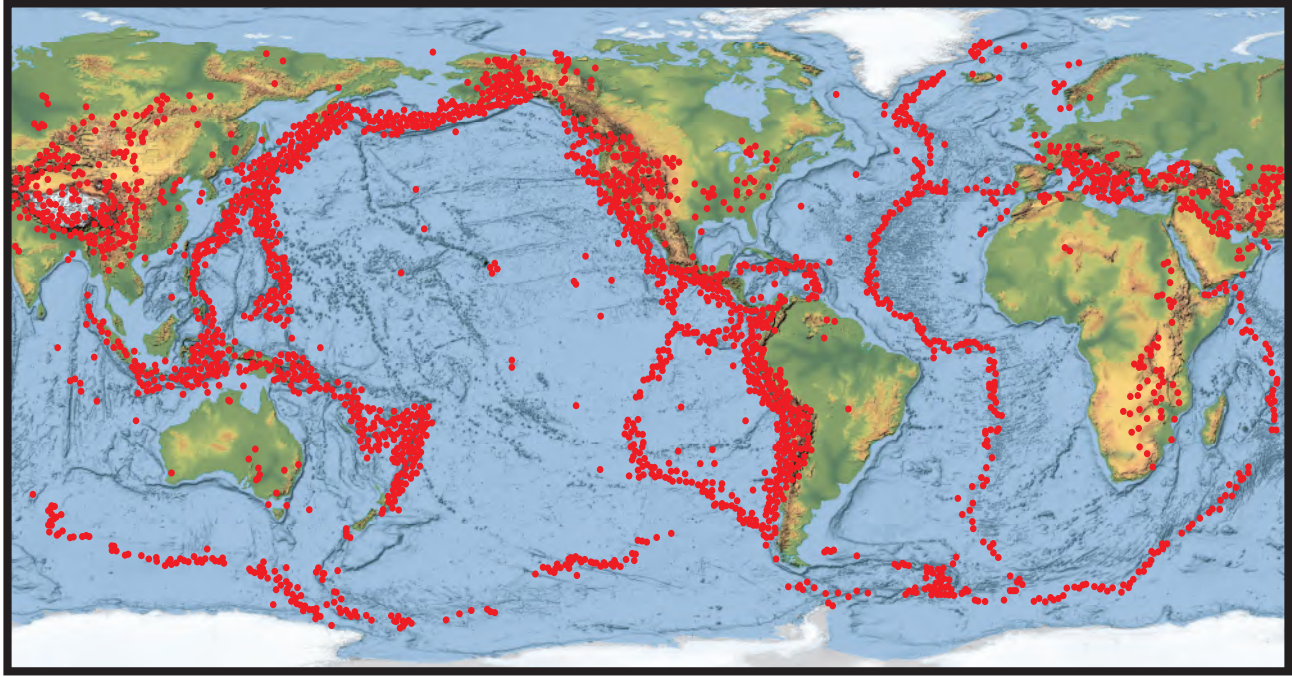


عدد الهزات الزلزالية التي تم رصدها بواسطة أجهزة الرصد الزلزالي في المملكة العربية السعودية لعام 2016 م

مقاس الهزات	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع
أقل من 1	426	409	415	348	499	424	442	526	457	503	361	276	5086
1-2	589	362	397	273	327	272	248	216	194	197	177	153	3405
2-3	68	44	88	38	66	23	27	27	23	23	23	27	477
3-4	2	3	11	2	5	2	2	2	0	4	2	1	36
4-5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
5-6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
أكثر من 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
المجموع	1085	818	912	661	898	721	719	771	674	727	564	457	9007

\* المصدر : هيئة المساحة الجيولوجية السعودية

## مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم

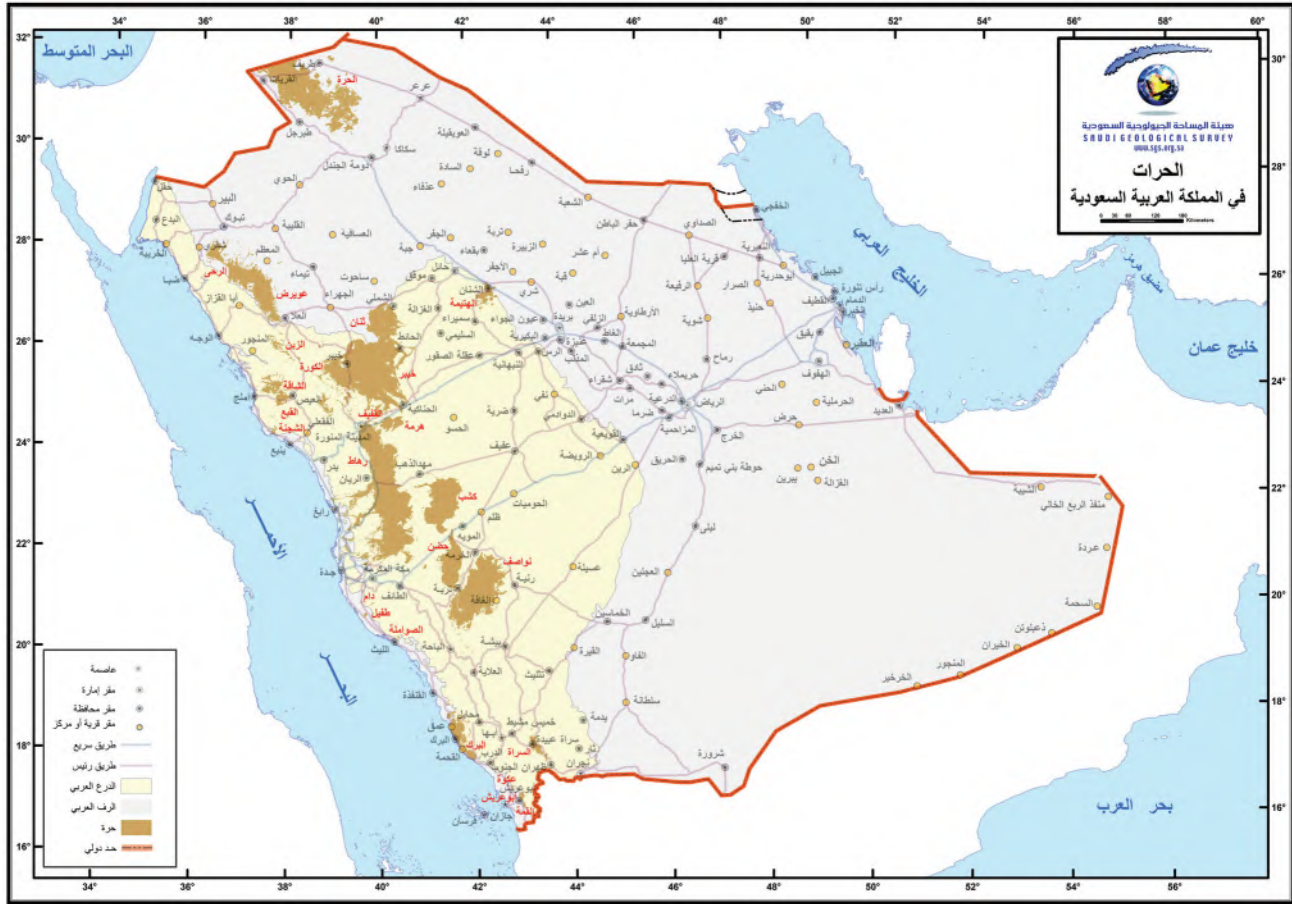


خرائط مرجعية





## توزيع الحرّات في المملكة العربية السعودية



× المصدر: هيئة المساحة الجيولوجية السعودية

العالم الجغرافية







## (أ)

**الأحجار الكريمة gems:** معادن ثمينة ونادرة وجميلة، وصلبة ومقاومة للخدش ومصقولة، وتصنع منها المجوهرات.

**الانصهار الجزئي partial melting:** عملية انصهار معادن مختلفة من الصخور في درجات حرارة معينة مع بقاء معادن أخرى صلبة، مما يؤدي إلى تغير في المكونات الكيميائية للصهارة.

**الانقسام cleavage:** قابلية المعدن لأن ينكسر بسهولة على طول مستوى واحد أو أكثر، حيث يكون الترابط الذري ضعيفاً.

**أحزمة الزلازل Seismic belts:** مناطق على سطح الكرة الأرضية تتركز فيها الأنشطة الزلزالية، وتكون مصاحبة لحدود الصفائح الأرضية.

**أخدود بحري Ocean trench:** انخفاض كبير شديد الانحدار في قاع المحيط، يتكون بسبب طرح صفيحة محيطية أسفل صفيحة أخرى.

**الأمواج الأولية Primary waves:** موجات أولية تعمل على تضاعف الصخور وتخلخلها في اتجاه حركتها، ويرمز لها بالرمز (P).

**الأمواج الثانوية Secondary waves:** موجات زلزالية تسبب حركة دقائق الصخور عمودياً على خط انتشار الموجة، ويرمز لها بالرمز (S).

**الأمواج الجسمية Body waves:** موجات زلزالية تنتقل داخل الأرض، وتنقسم إلى موجات أولية، وموجات ثانوية.

**الأمواج الزلزالية Seismic waves:** اهتزازات سطح الأرض في أثناء حدوث زلزال.

**الأمواج السطحية Surface waves:** أبطأ الأمواج الزلزالية، تتحرك فقط على سطح الأرض، وتسبب حركة جسيمات سطح الأرض حركة جانبية وحركة من أعلى إلى أسفل.

**الانجراف القاري Continental drift:** فرضية للعالم فاجنر تنص على أن قارات الأرض كانت متحدة معاً في قارة واحدة تسمى بانجيا تقع بالقرب من القطب الجنوبي، ثم انقسمت قبل 200 مليون سنة إلى أجزاء تباعد بعضها عن بعض ببطء، حتى وصلت إلى مواقعها الحالية.

**الانقلاب المغناطيسي Magnetic reversal:** تغير قطبية المجال المغناطيسي للأرض من مغناطيسية عادية إلى مغناطيسية مقلوبة.

## (ب)

**بانجيا Pangaea:** قارة قديمة كانت تضم جميع القارات الحالية، وبدأت في التفكك قبل 200 مليون سنة.

**بؤرة الزلزال Focus:** نقطة الكسر في صخور القشرة الأرضية التي تنشأ منها الأمواج الزلزالية الجسمية.

**البركان الدرعي Shield volcano:** بركان كبير ذو انحدار بسيط، يتكون من تراكم طبقات من لابة بازلتية تكونت بفعل ثورانات بركانية هادئة (غير متفجرة).

**البركان المخروطي Cinder cone:** بركان صغير شديد الانحدار، تكوّن بفعل ثورانات بركانية متفجرة، حيث تراكمت المقذوفات البركانية حول عنق البركان.

**البركان المركب Composite volcano:** بركان مخروطي الشكل تقريباً ذو منحدرات مقعرة، يتكون من طبقات من الحطام البركاني تكونت بفعل ثورانات بركانية متفجرة متعاقبة، مع طبقات من اللابة تكونت بفعل ثورانات بركانية هادئة.

**البريق luster:** الكيفية التي يعكس بها المعدن الضوء



## التحول الحراري المائي

**Hydrothermal Metamorphism**: أحد أنواع التحول، يحدث عندما تتفاعل مياه ساخنة جداً مع الصخر فتغير مكوناته الكيميائية والمعدنية.

**Pyroclastic flow البركاني**: الحركة المفاجئة السريعة لغيوم من الغازات الخائقة والرماد البركاني والمواد البركانية الأخرى الناجمة عن الثورات البركانية العنيفة.

**Compaction التراص**: تقارب حبيبات الرسوبيات بسبب الضغط الناتج عن وزن الرسوبيات التي تعلوها، مما يؤدي إلى تغيرات فيزيائية في الصخر.

**Stress accumulation تراكم الجهد**: أحد العوامل التي تستعمل لتحديد احتمال وقوع زلزال على طول مقطع الصدع؛ حيث تتراكم الإجهادات ثم تتحرر مسببة حدوث الزلزال.

**Tsunami التسونامي**: موجة محيطية ضخمة وقوية، تتولد بفعل حركات عمودية لقاع البحر في أثناء وقوع زلزال، مشكّلة أمواجاً ذات سرعة كبيرة وارتفاع يزيد على 30m في المياه الضحلة، فتحدث دماراً في المناطق الساحلية.

**Soil liquefaction تسييل التربة**: عمليات تصاحب الاهتزازات الزلزالية، تحدث في المناطق الرملية المشبعة بالماء، وتؤدي إلى سلوك هذه المناطق سلوك السائل.

**lithification التصلب**: عمليات فيزيائية وكيميائية تحوّل الرسوبيات إلى صخور رسوبية.

**bedding التطبّق**: معلم ترسيبي للصخور الرسوبية، ويعد المعلم الرئيس لها، وهو وجودها على هيئة طبقات رسوبية أفقية يتراوح سمكها بين بضعة ملمترات إلى عدة أمتار.

الساقط على سطحه.

**Hot spot بقعة ساخنة**: منطقة ساخنة بصورة غير عادية في سستار الأرض، يصعد فيها عمود من صهارة ذات درجة حرارة عالية إلى أعلى في اتجاه سطح الأرض.

**crystal البلورة**: جسم صلب تترتب فيه الذرات بنمط متكرر منتظم.

**pegmatite البيجماتيت**: صخور ذات معادن خشنة الحبيبات بصورة غير عادية، وتحتوي على خامات نادرة مثل الليثيوم.

**Perihelion البعد الحضيضي**: أقرب مسافة فاصلة بين الشمس والكواكب.

**Aphelion البعد الأوجي**: أبعد مسافة فاصلة بين الشمس والكواكب.

## (ت)

**fractional crystallization التبلور الجزئي**: عملية تبلور بعض المعادن في الصهير في درجات حرارة مختلفة تؤدي إلى إزالة بعض العناصر منه فتغير مكوناته الكيميائية.

**Regional Metamorphism التحول الإقليمي**: أحد أنواع التحول، يحدث لمناطق واسعة من القشرة الأرضية عندما تتعرض لدرجة حرارة وضغط مرتفعين، مما يؤدي إلى تغير في التركيب المعدني للصخور وحدوث طي في طبقات القشرة.

**Contact Metamorphism التحول بالتماس**: أحد أنواع التحول، يحدث عندما تلامس مواد مصهورة صخوراً صلبة، ويكون تأثيرها محدوداً ومحلياً.



**الحدود التحويلية Transform boundary:** مناطق تتحرك عندها صفيحتان أرضيتان أفقيًا إحداهما بمحاذاة الأخرى، وتتميز بوجود صدوع طويلة وزلازل ضحلة.

**الحدود المتقاربة Convergent boundary:** مناطق تتحرك عندها صفيحتان أرضيتان إحداهما تجاه الأخرى، ويصاحب ذلك تكوّن أخاديد بحرية وأقواس جزر بركانية، وجبال مطوية.

**حفرة الانهدام Rift valley:** منخفض طويل وضيق يتكون عندما تبدأ قشرة قارية في الانفصال عن حدود متباعدة.

**الحشود النجمية Star Cluster:** تجمعات تحتوي على مئات الألف من النجوم.

(خ)

**ال خام ore:** صخور تحتوي على معادن يمكن استخلاص فلز أو أكثر منها بصورة اقتصادية بالتعدين.

(د)

**دورة الصخر Rock cycle:** مجموعة عمليات تتغير خلالها الصخور بشكل مستمر من نوع إلى آخر.

**الدفع عند ظهر المحيط Ridge push:** عملية تكتونية مرتبطة مع تيارات الحمل في ستار الأرض، وتحدث عندما يؤثر وزن ظهر المحيط المرتفع في الصفيحة المحيطية فيدفعها نحو نطاق الطرح.

(ر)

**الرسوبيات sediment:** قطع صغيرة من الصخور تحركت وترسبت بفعل المياه أو الرياح أو الجليديات أو الجاذبية.

**التطبّق المتدرّج graded bedding:** نوع من التطبّق تترتب فيه الحبيبات الأثقل والأكبر حجمًا إلى أسفل.

**التطبّق المتقاطع cross bedding:** نوع من التطبّق ترسب فيه طبقات مائلة من الرسوبيات فوق سطح أفقي.

**توسع قاع المحيط Seafloor spreading:** فرضية حول تشكيل قشرة محيطية جديدة عند ظهر المحيطات واستهلاكها عند الأخاديد البحرية في أعماق البحار، وتحدث في دورة مستمرة من اندفاع الصهارة والتوسع.

**التوازن الهيدروستاتيكي Hydrostatic Equilibrium:** هو توازن قوة الجاذبية الداخلية وقوة الضغط الخارجية للنجم.

**تساوي العمر Isochron:** هو خط وهمي على الخريطة يصل بين نقاط لها العمر نفسه.

(ث)

**ثقب أسود Black Hole:** جسم كثيف بشكل هائل وتكون جاذبيته قوية جدًا ولا يمكن للمادة أو الإشعاع الهروب منه.

(ج)

**جهاز قياس المغناطيسية Magnetometer:** جهاز للكشف عن التغيرات الحقيقية التي تحدث في صخور قاع المحيط في مجالاتها المغناطيسية واتجاهها.

(ح)

**الحدود المتباعدة Divergent boundary:** مناطق تتحرك عندها صفيحتان أرضيتان متباعدتين، ويصاحب ذلك نشاط بركاني وزلازل وتدفق حراري مرتفع، ويحدث هذا غالبًا في قاع المحيط.



## (ص)

**الصخر البازلتي basaltic rock**: صخر ناري غامق اللون يحوي قليلاً من السيليكا، ويتكون في غالبته من البلاجيوكليز والبيروكسين، وهو مثل الجابرو، ولونه غامق.

**الصخر الجرانيتي granitic rock**: صخر فاتح اللون ومحتواه من السيليكا مرتفع، ويتكون في غالبته من الكوارتز والفلسبار البوتاسي البلاجيوكليزي.

**الصخور الجوفية (المتداخلة) intrusive rocks**: صخور نارية خشنة الحبيبات، تتكون عندما يبرد المصهور الصخري ويتبلور ببطء داخل القشرة الأرضية.

**الصخور الرسوبية الفتاتية clastic sedimentary rocks**: أكثر أنواع الصخور الرسوبية شهرة، تتشكل من تصخر الرسوبيات الفتاتية المفككة، وتتراكم على سطح الأرض، وتصنف وفقاً لأحجام حبيباتها.

**الصخور الرسوبية الكيميائية Chemical sedimentary rocks**: تتكون بفعل ترسب المواد الذائبة في المسطحات المائية عندما يزيد تركيزها على حد الإشباع، ومن أمثلتها الجبس.

**الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية Biochemical sedimentary rocks**: تتكون من بقايا مخلوقات حية كانت تعيش في الماضي، ومن أمثلتها صخور الفوسفات والحجر الجيري.

**الصخور السطحية extrusive rocks**: صخور نارية ناعمة الحبيبات، تتكون عندما يبرد المصهور الصخري ويتبلور بسرعة فوق سطح الأرض.

## (س)

**سحب الصفيحة Slab pull**: عملية تكتونية مرتبطة مع تيارات الحمل في ستار الأرض، حيث يُسحب طرف الغلاف الصخري إلى نطاق الطرح بفعل وزن الصفيحة الغاطسة.

**سعة الموجة الزلزالية Amplitude**: ارتفاع الموجة الزلزالية الأكبر. و الزيادة الواحدة على مقياس رختر تمثل زيادة في سعة الموجة قدرها 10 أضعاف.

**سلاسل تفاعلات باون Bowen's Reaction Series**: نمط ثنائي التفرع يمثل كيفية تبلور المعادن من الصهارة بترتيب متسلسل يمكن توقعه.

**السمنتة cementation**: عملية ترسب معادن ذائبة في المياه الجوفية، بين حبيبات الصخور الرسوبية، مما يسبب تلاحم الحبيبات معاً مشكّلة صخوراً صلباً.

**السيليكات silicate**: المعادن التي تحتوي الأكسجين والسيلكون مع وجود -على الأغلب- عنصر آخر أو أكثر.

**السديم الكوكبي Planetary Nebula**: منطقة من الغاز والغبار الكوني تكونت من الطبقات الخارجية المقذوفة عند نقطة نهاية نجم منخفض الكتلة.

**سرعة الهروب Escape Velocity**: هي السرعة اللازمة لجسم ما للدخول في مسار على شكل قطع مكافئ حول كوكب ما ثم الهروب من جاذبيته.

## (ش)

**الشقوق Fissures**: كسور طويلة في القشرة الأرضية.

**علم الفيزياء الفلكية Astrophysics:** مجال فرعي لعلم الفلك. يستخدم قوانين الفيزياء لوصف التغير في طبيعة الأجرام السماوية وأنشطتها المختلفة في جميع أطوال الطيف الكهر ومغناطيسي.

**علم الكون Cosmology:** العلم المعني بدراسة نشأة الكون وتطوره.

**علوم الفضاء Space science:** العلم المعني باستكشاف الفضاء والمهمات الفضائية.

**عمر الكون The Age of the universe:** هو الزمن المنقضى منذ وقوع الانفجار العظيم.

**العملاقة الحمراء Red Giant:** نجوم ذات حجم هائل بقطر أكبر من الشمس ب 15-45 مرة.

## (غ)

**غير المتورقة nonfoliated:** صخور متحولة مكونة أساساً من معادن ذات بلورات كتلية الشكل منها الكوارتزيت والرخام.

## (ف)

**الفتات clasts:** قطع الصخر أو المعدن المتكسرة والمتحللة بفعل التجوية والتعرية، وتصنف تبعاً لأحجامها وأشكالها.

**الضجوة الزلزالية Seismic gap:** منطقة على طول صدع نشط لم تشهد وقوع زلزال منذ فترة طويلة.

**فوهة البركان Crater:** تجويف منخفض يتشكل عند قمة البركان حول العنق المركزي.

**الفوهة البركانية المنهارة Caldera:** حفرة كبيرة يصل قطرها إلى 50 km، وتتشكل في قمة البركان أو على جوانبه عندما ينهار في حجرة الصهارة في أثناء ثوران البركان أو بعده.

**الصخور المتوسطة Intermediate rocks:** صخور محتواها من السيليكا متوسط بين الصخور البازلتية والجرانيتية، ويتكون معظمها من معدني البلاجيوكليز والهورنبلند، ومن أمثلتها صخر الديوريت.

**الصخور النارية igneous rock:** صخور جوفية أو سطحية ناجمة عن تبريد وتبلور الصهارة أو اللابة.

**الصفحة الأرضية Tectonic plate:** قطعة ضخمة من قشرة الأرض وأعلى الستار تغطي سطح الأرض، وتطبق الصفائح معاً عند حوافها.

**الصخور فوق القاعدية Ultra-basic Rocks:** صخور نارية تفل فيها نسبة السيليكا عن 40% ومن أشهر صخورها صخر البريدوتيت.

## (ط)

**الطرح Subduction:** عملية غطس صفيحة أرضية تحت صفيحة أرضية أخرى.

**طفوح البازلت Flood basalt:** كميات كبيرة من اللابة تندفق إلى سطح الأرض عبر الصدوع.

**الطاقة المظلمة The Dark Energy:** هي قوة خفية مجهولة المنشأ تشكل 65% من محتوى الكون.

## (ظ)

**ظهر المحيط Ocean ridge:** سلسلة جبلية تحت سطح الماء تمتد في جميع قيعان المحيطات، ويبلغ طولها أكثر من 65000 km، وتحتوي على أحدث البراكين الخاملة.

## (ع)

**عنق البركان Vent:** أنبوب في القشرة الأرضية، تندفق اللابة من خلاله وتثور على سطح الأرض.

**علم الفلك Astronomy:** العلم المعني بدراسة الأجرام السماوية.





## (ك)

**الكمبرليت kimberlite**: صخور نادرة فوق قاعدية تحتوي الألماس ومعادن أخرى، تكوَّنت تحت ضغط هائل جدًا.

## (ل)

**اللاية lava**: الصهارة التي تتدفق على سطح الأرض.  
**اللزوجة Viscosity**: مقاومة المادة الداخلية للتدفق.

## (م)

**متورقة foliated**: صخور متحولة تمتاز بترتيب المعادن المكونة لها في صفائح أو أحزمة.

**المخدش streak**: لون مسحوق المعدن.

**المخطط الزلزالي Seismogram**: سجل يتم الحصول عليه من مقياس الزلزال، ويوضح فيه مسار كل نوع من أنواع الأمواج الزلزالية.

**المركز السطحي للزلزال Epicenter**: نقطة على سطح الأرض تقع مباشرة فوق بؤرة الزلزال.

**المسامية porosity**: الحجم الكلي للمسامات في الصخر. وتزداد بزيادة درجة فرز حبيبات الصخر.

**المعدن mineral**: مادة طبيعية صلبة غير عضوية، لها مكونات كيميائية معيَّنة، وبناء بلوري محدد.

**المغناطيسية القديمة Paleomagnetism**: سجل مغناطيسي للأرض موثق في الصخور باستعمال بيانات جمعت من معادن حاملة للحديد فيها؛ إذ تسجل هذه المعادن اتجاه المجال المغناطيسي للأرض وقت تشكلها.

**المقذوفات البركانية الصلبة Tephra**: شظايا من الصخور

قذفت في الهواء في أثناء الثوران البركاني وسقطت على الأرض، وتُصنَّف بحسب حجمها.

## (ق)

**القساوة hardness**: مقياس لقابلية المعدن للخدش.  
**قناة البركان Conduit of volcano**: مكان مرور الصهارة.

**قوة الزلزال Magnitude**: مقياس للطاقة المتحررة في أثناء وقوع الزلزال، ويمكن وصفها باستعمال مقياس ريختر.

**قزم أبيض White Dwarf**: مجموعة من النجوم ذات درجات حرارة شديدة ولمعان منخفض وحجم صغير جدًا بقطر يتراوح من عدة آلاف إلى 10 آلاف كيلومتر.

**قزم أسود Black Dwarf**: جرم على شكل رماد بارد داكن من الكربون ناتج عن نهاية عمر القمر الأبيض.

**قانون كبلر الأول Kepler's First Law**: ينص قانون كبلر الأول على أن الكواكب تدور حول الشمس في مدارات على شكل قطع ناقص، وتقع الشمس في إحدى بؤرتيه.

**قانون كبلر الثاني Kepler's Second Law**: ينص قانون كبلر الثاني على أن الخط الوهمي الواصل بين الكوكب والشمس يرسم مساحات متساوية في الفضاء في أزمنة متساوية.

**قانون كبلر الثالث Kepler's Third Law**: ينص قانون كبلر الثالث على أن مربع مدة دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب نصف طول المحور الأكبر لمداره.

**القمر الصناعي Satellites**: مركبات صممت لتدور في مدارات حول الجرم السماوي ولها عدة وظائف بحسب مداراتها .

## مركبة الفضاء المأهولة Manned Space Vehicles:

مركبات فضاء يقودها رواد فضاء، ويقومون بعدة تجارب عبر معامل صممت لعدة أغراض، وعند اكتمال مهمتهم يعودون إلى الأرض عن طريق نفس المركبة .

## مركبة الفضاء غير المأهولة Unmanned Space Vehicle:

مركبات استطلاع تقترب من الجرم سواء كان كوكبًا، أو قمرًا، أو كويكبًا.

## مادة لاحمة Cementing materil:

مادة معدنية (لاحمة) تتواجد بين حبيبات الصخور الرسوبية فتساعد على التحامها مع بعضها البعض، مثل السيليكون أو الكالسيوم أو أكسيد الحديد.

## (ن)

**النسيج texture:** حجم البلورات أو الحبيبات التي يتكون منها الصخر وشكلها وتوزيعها.

## النسيج البورفيرى Porphyritic texture:

يتميز بوجود بلورات كبيرة واضحة المعالم تحيط بها بلورات صغيرة من المعدن نفسه أو من معادن مختلفة.

## النسيج الفقاعي vesicular texture:

للصخر؛ وينتج عن خروج الغازات من اللابة.

## النشاط البركاني Volcanism:

جميع العمليات المرتبطة مع تفرغ الصهارة والماء الساخن والبخار من باطن الأرض.

## نظرية الانفجار العظيم The Big Bang Theory:

في لحظة معينة منذ ما يقارب من أربعة عشر مليار سنة كانت المادة والطاقة الموجودة مركزة في منطقة حجمها متناهٍ في الصغر وجميع قوى الطبيعة متحدة.

## مقياس ريختر Richter scale:

نظام تصنيف عددي يستعمل لقياس مقدار الطاقة المتحررة في أثناء وقوع زلزال.

## مقياس الزلزال Seismometer:

جهاز حساس يتم الكشف به عن الاهتزازات الناجمة عن الأمواج الزلزالية.

## مقياس العزم الزلزالي Moment magnitude scale:

مقياس لقياس قوة الزلزال، اعتمادًا على حجم الكسر في الصدع، وصلابة الصخور، ومقدار الحركة على طول الصدع.

## مقياس ميركالي المعدل Modified Mercalli scale:

مقياس لشدة الزلزال، يتراوح بين 1 و 12، حيث تزداد الأضرار الناجمة عن الزلزال كلما زاد العدد.

## المكسر Fracture:

شكل سطح المعدن الناتج عند كسره، يظهر على شكل قوس (محاري)، أو خشنًا، أو ذا حواف مسننة.

## مستعر أعظم Supernova:

أحد المراحل النهائية للنجوم ذات الكتل العالية، وهو انفجار النجم بمشهد عظيم قاذفًا جميع عناصره إلى الفضاء.

## المجرة Galaxy:

مجموعات هائلة من النجوم والغاز والغبار المرتبطة ببعضها بفعل الجاذبية.

## المركبات الفضائية Spacecraft:

هي أنظمة مصممة ومبينة للعمل في الفضاء تختلف أنواعها باختلاف مهامها.

## محطة الفضاء Space Station:

مركبة مصممة من عدة وحدات معملية و معيشية يتناوب على العمل فيها رواد فضاء لعدة أشهر، وتدور حول الأرض في المدار الأرضي المنخفض.



**النجم The Star**: جرم غازي متألق تتولد الطاقة في باطنه بواسطة تفاعلات الاندماج النووي.

**النجوم المزدوجة Binary Stars**: نجمان مرتبطان جاذبيًا، يدوران حول بعضهما.

**النجوم النيوترونية Neutron Stars**: نجوم كثيفة جدًا يبلغ قطرها المتبقي حوالي 16 كيلومتر فقط، وتدور بسرعة 20-50 مرة في الثانية حول نفسها.

## (و)

**الوزن النوعي specific gravity**: النسبة بين كتلة المادة إلى كتلة حجمها من الماء في درجة حرارة 4°C.

**وسائد الالابية Pillow lava**: شكل البازلت الذي يتكون عند ظهر المحيطات على هيئة وسائد ضخمة.

**الوسط بين النجوم interstellar medium**: مناطق بين النجوم تتكون من الغاز والغبار بكثافة مختلفة.

## (هـ)

**الهرم الرباعي الأوجه (هرم السيليكا) tetrahedron**: جسم هندسي صلب محاط بأربعة أوجه من مثلثات متساوية الأضلاع على شكل هرم.





وزارة التعليم

Ministry of Education

2023 - 1445