

الأمواج الزلزالية

اعمل المطوية الآتية لتعرف أنواع الأمواج الزلزالية.

المطويات

منظمات الأفكار



الخطوة 1 اثن الورقة أفقيًا إلى جزأين، بحيث يزيد الجزء الخلفي للورقة بمقدار 2 cm عن حافة الجزء الأمامي.



الخطوة 2 اثن الورقة عموديًا إلى ثلاثة أجزاء متساوية.



الخطوة 3 افرد الورقة وقص الأجزاء المطوية في الجزء الأمامي للورقة، لعمل ثلاثة جيوب.



الخطوة 4 عنون الجيوب الثلاثة بأنواع الأمواج الزلزالية: الأولية، الثانوية، السطحية.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراسة القسم 1-7، لتعرف مميزات الحركة في الأمواج الزلزالية.

تجربة استهلاكية

ما سبب حدوث الزلزال؟

تحدث الزلازل عندما تتحرك قطعة من القشرة الأرضية فجأة بالنسبة إلى قطعة أخرى. وتحدث هذه الحركة على طول كسور في القشرة الأرضية تسمى الصدوع.



الخطوات

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. حرك كتلتين خشبيتين مصقولتين أفقيًا على طول سطحيهما الكبيرين. صف هذه الحركة.
3. قص ورقتي صنفرة (ورق الزجاج) من النوع الخشن، بحيث يزيد طول كل منهما عن 1 cm على طول السطح الكبير لكلتا الكتلتين الخشبيتين.
4. ضع ورقة الصنفرة على السطح الكبير للكتلة الخشبية، بحيث يكون الوجه الخشن للورقة إلى أعلى، وأثنها حول حواف الكتلة، وثبتها بدبابيس تثبيت الورق.
5. حرك الكتلتين الخشبيتين أفقيًا إحداهما فوق الأخرى على طول السطحين المغطيين بورقة الصنفرة. صف هذه الحركة.

التحليل

1. قارن بين حركتي الكتلتين الخشبيتين في الحالتين.
2. طبق أي أجزاء الأرض تمثلها الكتلتان الخشبيتان؟
3. استنتج أي الحركتين تُظهر ما يحدث فعليًا في أثناء حدوث الزلزال؟

ج1: تتحرك الكتلتان الخشبيتان غير المغطيتين بورق الصنفرة إحداهما أسفل الأخرى بسهولة، أما الكتلتان المغطتان بورق الصنفرة فيحتاج تحريكها إلى قوة أكبر، لذا فإن حركتها تكون أقل انتظامًا وقد تحدث فجأة

ج2: إجابات محتملة: الصفائح الأرضية أو قطع من القشرة الأرضية

ج3: الحركة الثانية أكثر شبهًا بعملية حدوث الزلزال، حيث تحتك قطعة ضخمة من القشرة الأرضية مع قطعة أخرى في أثناء حركتها

الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

Seismic Waves and Earth's Interior

الأهداف

- تقارن بين أنواع الأمواج الزلزالية الثلاثة.
- تصف كيف يعمل مقياس الزلازل (السيزمومتر).
- تفسر كيف استعملت الأمواج الزلزالية في معرفة مكونات باطن الأرض وتركيبها.

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 وتجه 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.

مراجعة المفردات

الاستار: جزء من باطن الأرض يقع أسفل القشرة الأرضية وفوق اللب.

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 تترامم الجهود فيها، وتعاني 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 الزلازل.

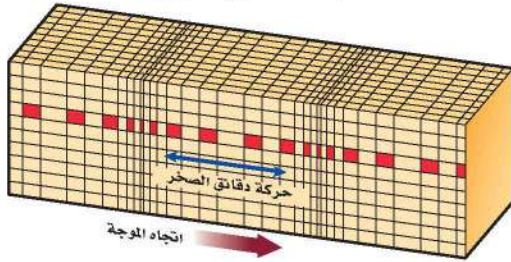
أنواع الأمواج الزلزالية Types of seismic waves تسمى الأمواج التي تنتشر في الأرض والناجمة عن الزلازل الأمواج الزلزالية Seismic waves. وينتج عن كل زلزال ثلاثة أنواع من الأمواج الزلزالية هي: الأولية والثانوية والسطحية.

الأمواج الأولية Primary waves يطلق عليها أيضاً أمواج P. تعمل الأمواج الأولية Primary Waves على تضاعف الصخور وتخلخلها في نفس اتجاه حركتها، انظر الشكل 1-7. 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 طوله في اتجاه مواز لاتجاه شدة في البداية.

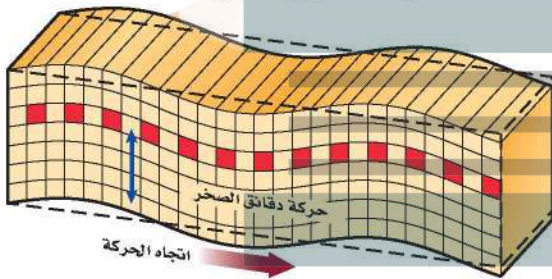
مفردات جديدة

- الأمواج الزلزالية
- الأمواج الأولية
- الأمواج الثانوية
- الأمواج الجسمية
- الأمواج السطحية
- بؤرة الزلزال
- المركز السطحي للزلزال
- مقياس الزلزال
- مخطط الزلزال

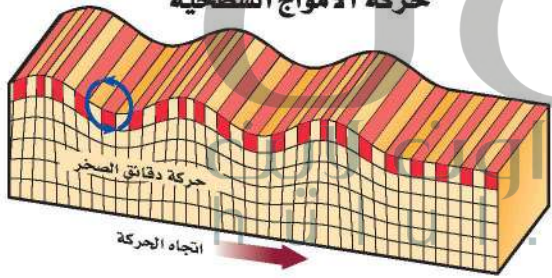
حركة الأمواج الأولية P



حركة الأمواج الثانوية S



حركة الأمواج السطحية

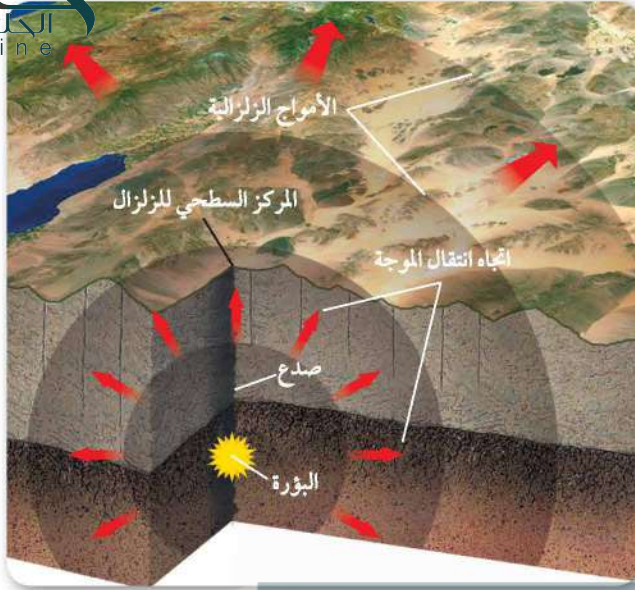


الشكل 1-7 تمتاز الأمواج الزلزالية بنوع الحركة التي تسببها للصخور التي تمر فيها؛ حيث تكون حركة جسيمات الصخر إلى الأمام وإلى الخلف وفي نفس اتجاه حركة أمواج P - بينما تكون حركة الأمواج S - عمودية على خط انتشار الموجة، وإلى أعلى وإلى أسفل، ومن جانب إلى آخر في الأمواج السطحية.

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 الصخر عمودياً على اتجاه حركتها، كما في الشكل 1-7، وتشبه الحركة الموجية في الحبل؛ حيث تنتقل عمودياً إلى أعلى وإلى أسفل من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر. وتسمى كل من الأمواج الأولية والثانوية الأمواج الجسمية Body waves؛ لأنها تنتقل داخل الأرض.

الأمواج السطحية Surface waves تنتقل الموجات 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 1-7. وتعد من أكثر الأمواج الزلزالية تدميراً؛ لأنها تسبب معظم أنواع الحركة، كما أنها تستغرق وقتاً أطول لتعبر 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 2-7، وتنشأ الأمواج الزلزالية السطحية عن المركز السطحي للزلزال، وتنتشر منها على سطح الأرض.

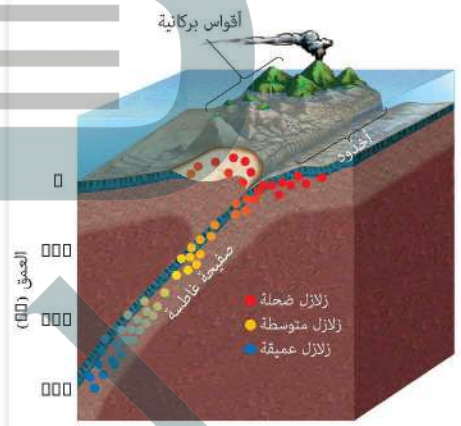


الشكل 2-7 بؤرة الزلزال هي النقطة التي ابتدأ عندها تشكّل الكسر في الصدع. وتسمى النقطة التي تقع على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة المركز السطحي للزلزال.

استنتاج: 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 وخفتت بسبب المقاومة التي تواجهها في أثناء مرورها في صخور القشرة الأرضية. وتصنف الزلازل بحسب عمق البؤرة، كما في الشكل 3-7، 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 3-7 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 3-7 تصنيف الزلازل بناء على عمق البؤرة إلى زلازل ضحلة ومتوسطة وعميقة. وتعد الزلازل الضحلة أكثرها تدميراً.

مقياس الزلزال ومخططه

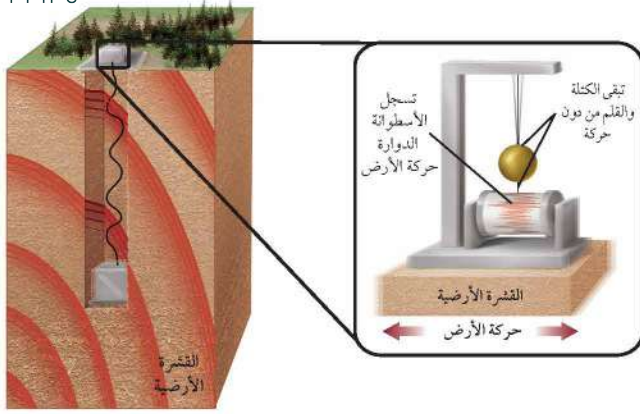
Seismometer and Seismogram

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 4-7.

تتألف بعض أجهزة السيزمومتر من أسطوانة دوارة مغطاة بورقة، وقلم أو أي أداة للتسجيل، وكتلة معلقة كالبنديول. تختلف أجهزة السيزمومتر في تصميمها، ولكنها



الشكل 4-7 أحد أجهزة مقياس الزلازل (السيزمومتر) الحديثة.



الشكل 5-7 في الإطار جهاز سيزمومتر 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.

جميعاً تتضمن إطاراً مثبتاً في الأرض، وكتلة معلقة على نابض أو سلك، كما في الشكل 5-7.

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 السيزمومتر **مخطط الزلزال (السيزموجرام) seismogram**، ويوضح الشكل 6-7 جزءاً من السيزموجرام.

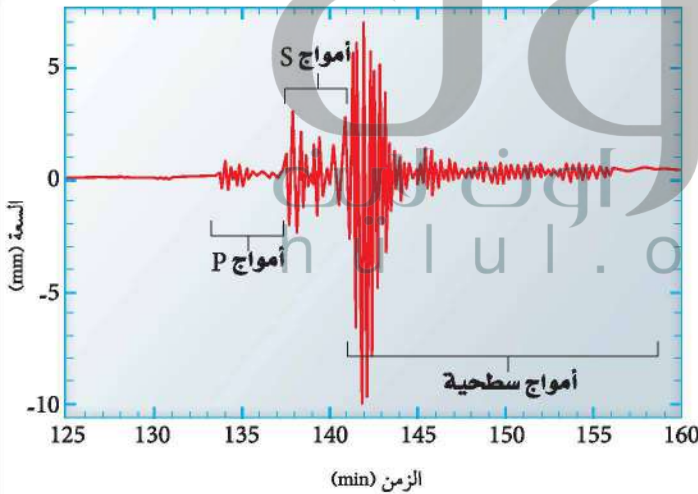
وتستخدم في الوقت الحاضر أجهزة حديثة لرصد الزلازل وتحليلها؛ حيث تستخدم الأقمار الاصطناعية في نقل البيانات من محطات الرصد الزلزالي إلى باقي المحطات في العالم. ويتم استخدام برمجيات حديثة في تحليل البيانات وتحديد مواقع الزلازل وقوتها ويستخدم الحاسب الآلي في تخزينها.

منحنيات المسافة-زمن الوصول للأمواج الزلزالية

Travel-time curves تنتقل الأمواج الزلزالية من بؤرة الزلزال، وتُسجل بأجهزة السيزمومتر؛ حيث يتم زراعة هذه الأجهزة على مسافات بعيدة. وقد استطاع علماء الزلازل من خلال بيانات أزمنة وصول الأمواج الزلزالية التي جمعوها عبر سنوات عديدة في مناطق متعددة من العالم أن يعدّوا منحنيات معيارية عالمية للعلاقة بين المسافة وزمن الوصول للأمواج الزلزالية P و S، كما في الشكل 7-7، وتزودنا هذه المنحنيات بمتوسط أزمنة وصول جميع أمواج P و S من أي مكان على الأرض يحدث فيه الزلزال.

✓ **ماذا اقراء؟ لخص** كيف يُستعمل السيزموجرام في إعداد منحنيات عالمية لمنحنى المسافة - زمن الوصول؟

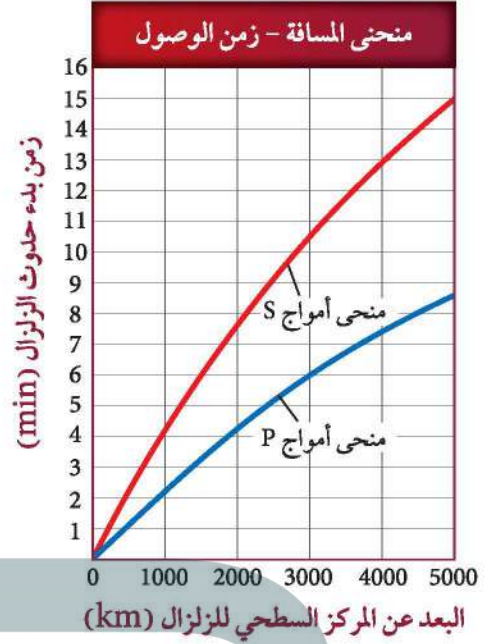
يبين السيزموجرام أزمنة وصول الأمواج الزلزالية من المركز السطحي للزلزال إلى جهاز السيزمومتر، وبمقارنة البيانات من أجهزة سيزمومتر مختلفة يستطيع العلماء أن يعدوا منحنيات المسافة زمن الوصول



الشكل 6-7 يوفر السيزموجرام سجلاً للأمواج الزلزالية التي عبرت نقطة معينة.

الشكل 7-7 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 للزلزال يقع على بُعد 2000 km لتصل محطة الرصد. وما الفترة الزمنية التي تستغرقها أمواج S لقطع المسافة نفسها؟



البعد عن المركز السطحي للزلزال Distance from the epicenter لاحظ من الشكلين 6-7 و 7-7 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 7-7 يزداد كلما زاد البعد عن المركز السطحي للزلزال، أي أن فرق زمني الوصول بين أمواج P و S في السيزموجرام 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.

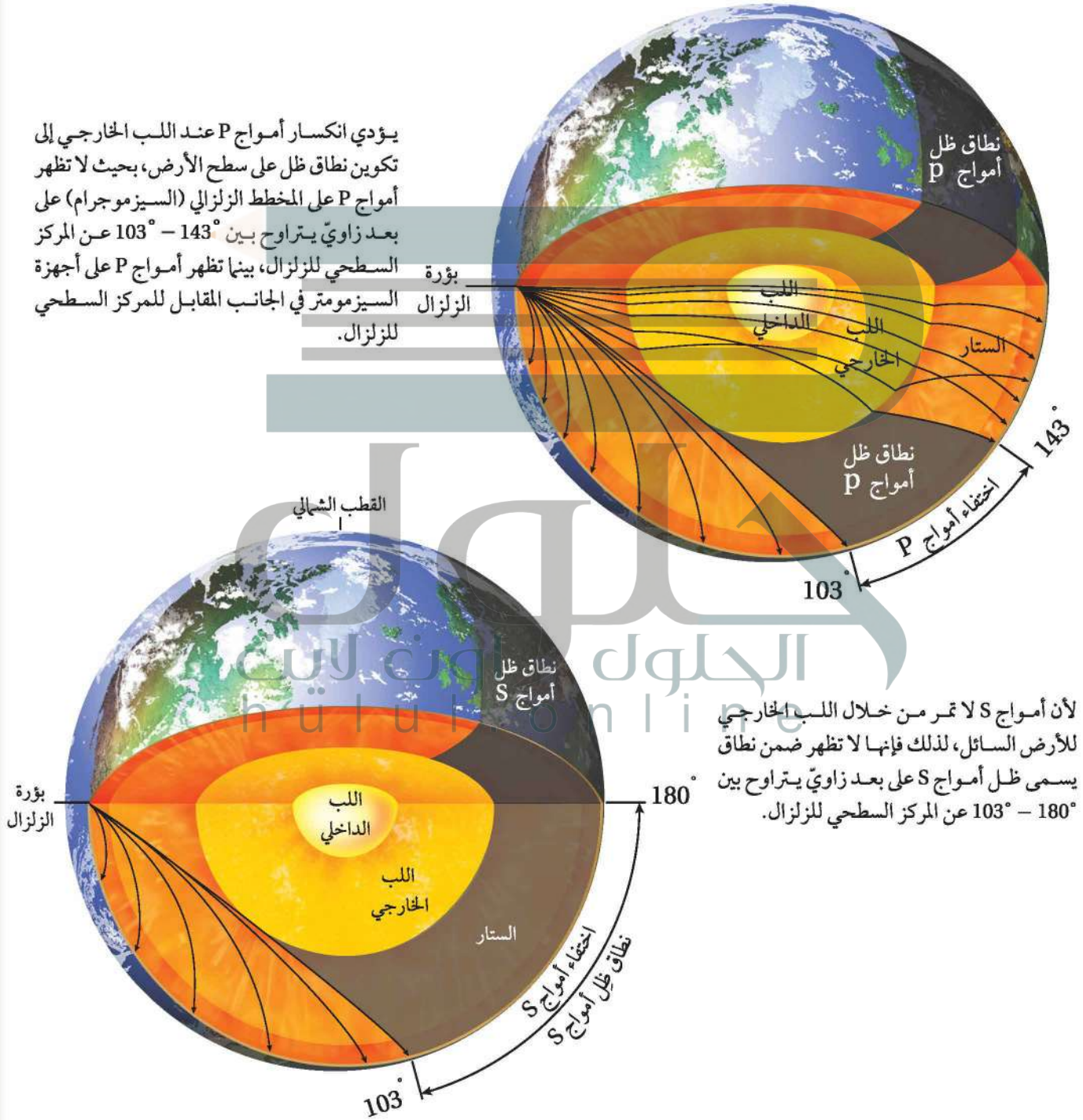
أدلة على بنية الأرض الداخلية Clues to Earth's Interior

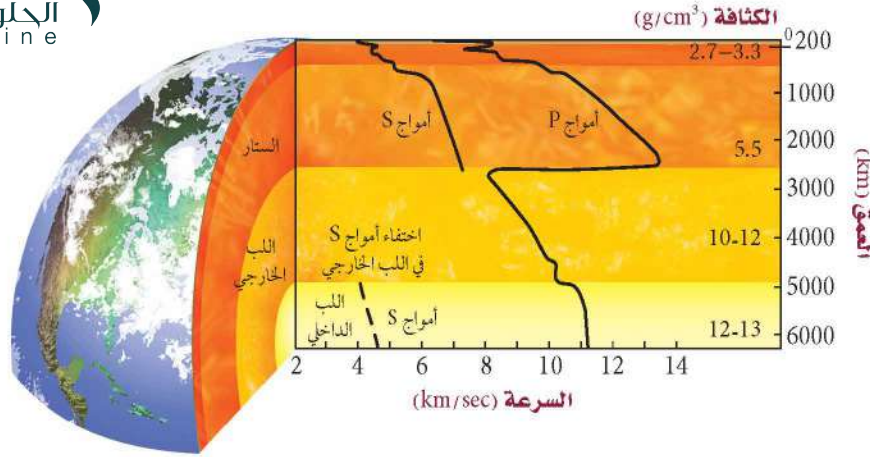
لا تعمل الأمواج الزلزالية على اهتزاز سطح الأرض فقط وما تُحدثه من دمار، بل تنتقل أيضاً إلى داخلها، لذلك فهي توفر معلومات قيمة للعلماء تمكنهم من بناء نموذج عن بنية الأرض الداخلية.

مكونات الأرض Earth's composition يوضح الشكل 8-7 أن الأمواج الزلزالية يتغير مسارها وسرعتها عندما تواجه حدوداً فاصلة بين طبقتين مختلفتين في مكوناتهما، 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 البرودوتيت (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.

Seismic Waves الزلزالية الأمواج

الشكل 8-7 يزودنا كل من زمن الوصول وسلوك الموجات الزلزالية بصورة تفصيلية لبنية الأرض الداخلية. كذلك تزودنا هذه الأمواج بأدلة على مكونات أجزاء الأرض المختلفة.





الشكل 7-9 تختلف طبقات الأرض الداخلية في مكوناتها؛ وقد استطاع العلماء تحديد مكوناتها من خلال معرفة سلوك الأمواج الزلزالية عبر أنواع مختلفة من الصخور.

بنية الأرض الداخلية Earth's internal structure تتغير سرعة الأمواج الزلزالية واتجاهها عندما تواجه مواد مختلفة في باطن الأرض. لاحظ من الشكل 7-9 كيف تتبع أمواج P و S في البداية مسارات مباشرة إلى حد ما في أثناء عبورها الستار، ولكنها تعاني من انكسار وانعكاس عندما تعبر الحدود الرئيسة 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.

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، لاحظوا أنها لا تسير في مركز الأرض، مما جعلهم يكتشفون أن جزءاً من باطن الأرض يوجد في الحالة السائلة القليلة اللزوجة. وقد أكدت 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. تذكر ما درست من قبل أن الصفيحة المحيطية الباردة تغوص في الستار في أثناء عملية الطرح، وأن اندفاعات الصهارة الساخنة (أعمدة الصهارة) ترتفع إلى أعلى في الستار. ولأن سرعة الأمواج الزلزالية تعتمد على درجة الحرارة والمكونات، لذلك فمن الممكن استعمالها في تصور تراكيب الأرض الداخلية، مثل الصفائح وأعمدة الصهارة الساخنة، وتقل سرعة الأمواج الزلزالية عمومًا مع تزايد درجات الحرارة، لذلك تنتقل ببطء في المناطق الساخنة، وبسرعة أكبر في المناطق الباردة. وباستعمال قياسات الأمواج الزلزالية الملتقطة بأجهزة قياس الزلازل (السيزمومترات) في مختلف أنحاء العالم، وسجلات الأمواج الزلزالية لعدة آلاف من الزلازل، يمكن الحصول على صور لبنية الأرض الداخلية تتضمن بعض التراكيب، ومنها الصفيحة الغاطسة التي تتضح في الشكل 7-10. ويمكن تشبيه هذه الصور بالصور الملتقطة بالأشعة السينية.

- ج1: تدل سرعات الأمواج الزلزالية على طبيعة المواد التي تمر فيها
- ج2: يجب أن توضح الرسوم كيف تسجل حركة الكتلة بالنسبة إلى الإطار
- ج3: تزودنا منحنيات المسافة زمن الوصول بمتوسط أزمنة وصول جميع الأمواج الزلزالية التي تساعد العلماء على تحديد موقع المركز السطحي للزلزال
- ج4: تقل، بصورة عامة؛ سرعة الأمواج الزلزالية بارتفاع درجة الحرارة
- ج5: قد يشاهدنا لشخص الذي على السطح أن الأمواج السطحية تنتقل على سطح الأرض كحركة أمواج البحر، وتنتقل أمواج ب مبتعدة ومقتربة من الشخص، أما أمواج س فتتحرك سطح الأرض إلى الأمام والخلف
- ج6: لأن الأمواج الزلزالية تحرر جميع طاقتها على السطح حيث يوجد الناس والمنشآت
- ج7: ينبغي أن توضح المقالات أن العلماء يدمجون معرفتهم بسلوك الأمواج الزلزالية في أثناء عبورها للصخور بقياسات أزمنة وصول الأمواج الزلزالية التي تسير في جسم الأرض عند حدوث الزلزال

فهم الأفكار الرئيسية

الخلاصة

1. **الفكرة الرئيسية** 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 منحنى المسافة-زمن الوصول في دراسة الزلازل؟
4. ميز بين سرعة الأمواج الزلزالية في أثناء مرورها في المواد الباردة والمواد الساخنة.
5. اربط بين حركة الأمواج الزلزالية مع ملاحظات شخص يراقب كيفية انتقالها على سطح الأرض.
6. استنتج باستعمال الشكل 6-7 الذي يمثل مخططاً زلزالياً، فسر لماذا تعد الأمواج السطحية أكثر الأمواج الزلزالية تدميراً، على الرغم من أنها آخر الموجات وصولاً إلى محطات الرصد؟

التفكير الناقد

- 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.

الكتابة 2 الجيولوجيا

7. اكتب مقالة حول الطرائق التي يعتمد عليها العلماء في معرفة مكونات الأرض الداخلية.