P0901, P0902, P0903

الوحدة 10

الموجات

في هذه الوَحدة يجب على الطالب أن:

P0901.1 يصف مفهوم الموجات والفرق بين الموجة الطولية والموجة المستعرضة.

P0901.2 يتذكّر أنّ الموجات تحمل الطاقة بين الأنظمة المختلفة (على سبيل المثال موجات الأشعة تحت الحمراء من الشمس إلى الأرض). ويقارن بين الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية، وعلى أنّها مسارات لنقل الطاقة.

P0901.3 يُعرّف مصطلحات الموجات ويستخدمها، مثل: قمة، قاع، تضاغط، تخلخل، إزاحة، سعة، زمن دوري، تردد، طول موجي، سرعة الموجة.

P0901.4 يستقصي العلاقة بين سرعة الموجة، والتردد، وطول الموجة، ويُجري عمليات حسابية باستخدام العلاقة:

سرعة الموجة (m/s) = طول الموجة (m) × التردّد (Hz)

P0902.1 يوضح كيفية انتقال الموجات الصوتية كتضاغطات وتخلخلات لجسيمات الوسط، وأنّ جسيمات الوسط لا تنتقل بل تهتز حول موضع الاتزان.

P0902.2 يصف كيف يُمكّننا تركيب أذن الإنسان من استشعار الموجات الصوتية التي يتراوح ترددها ما بين 20 هرتز و 20000 هرتز.

P0902.3 يربط حدة الصوت بالتردد، ويربط شدة الصوت بالسعة.

P0902.4 يصف المقصود بمصطلح «صدى الصوت»، ويناقش تطبيقاته في الحياة اليومية.

P0903.1 يعرض ويصف الطيف الكهرومغناطيسي نسبة إلى تردده وطوله الموجي.

P0903.2 يذكر أنّ سرعة جميع الإشعاعات الكهرومغناطيسية في الفراغ متساوية.

P0903.3 يصف خواص أجزاء مختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي وتطبيقاتها، ويشمل ذلك أنّها موجات مستعرضة يمكن أن تنتقل عبر الفراغ.

الوحدة 10 الموجات 116

الدّرس 10-1 ما الموجات المُستعرِضة والموجات الطوليّة؟ 118

الدّرس 10-2 ما العلاقة بين سرعة الموجة والتردُّد والطول الموجي؟ 125

الدّرس 10-3 كيف نُغيّر تردُّد وسعة الأصوات؟ 134

الدّرس 10-4 ما التردُّدات التي يُمكن للإنسان سماعها؟ 140

الدّرس 10-5 كيف يحدث صدى الصوت؟ 148

الدّرس 10-6 ما استخدامات الأنواع المُختلفة من الموجات الكهرومغناطيسيّة؟ 156

الدّرس 10-7 ماذا تعرف عن الموجات؟ 164

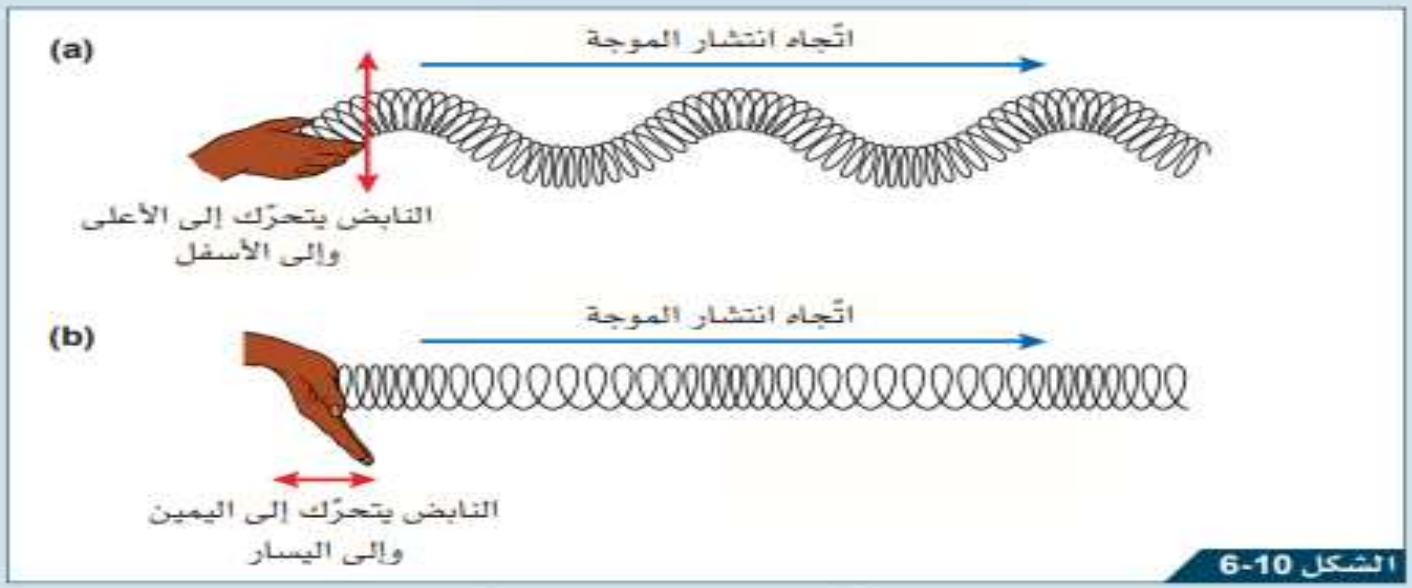
أسئلة البيزا الخاصة بالوحدة العاشرة: الموجات 171

ماذا تستطيع أن تفعل؟ 174

الدّرس 10-1

ما الموجات المُستعرِضة والموجات الطوليّة؟

الموجات المُستعرِضة والموجات الطوليّة



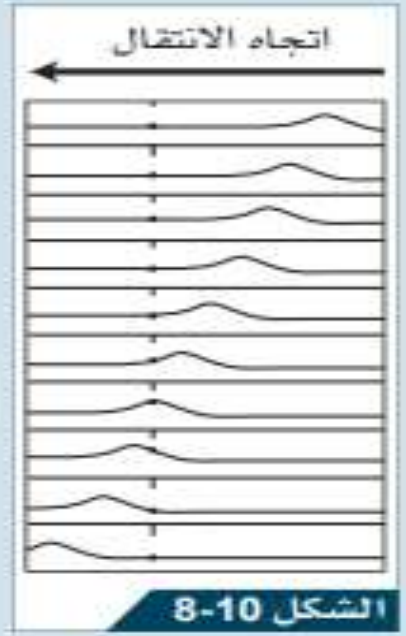
الشكل 10-6

توليد الموجات المُستعرضة والموجات الطوليّة في نابض.

يوجد نوعان من الموجات، تنتقل الطاقة في كلّ منهما مع اتّجاه انتشار الموجة. والنوعان موضّحان في الشكل 10-6. الموجة (a) هي موجة مُستعرضة حيث تتحرّك حلقات النابض عموديًا على اتّجاه انتقال الطاقة. أمّا الموجة (b) فهي موجة طوليّة، حيث تهتز حلقات النابض بالاتّجاه نفسه الذي تنتقل فيه الطاقة.

الطاقة المُنتقلة بواسطة الموجات

تنقل جميع الموجات الطاقة من دون أن تنقل المادة. تنتقل الطاقة ضمن سلسلة من الاهتزازات التي تحدث عبر الوسط، بحيث يعود إلى حالته الأصلية بمجرّد مرور الموجة.



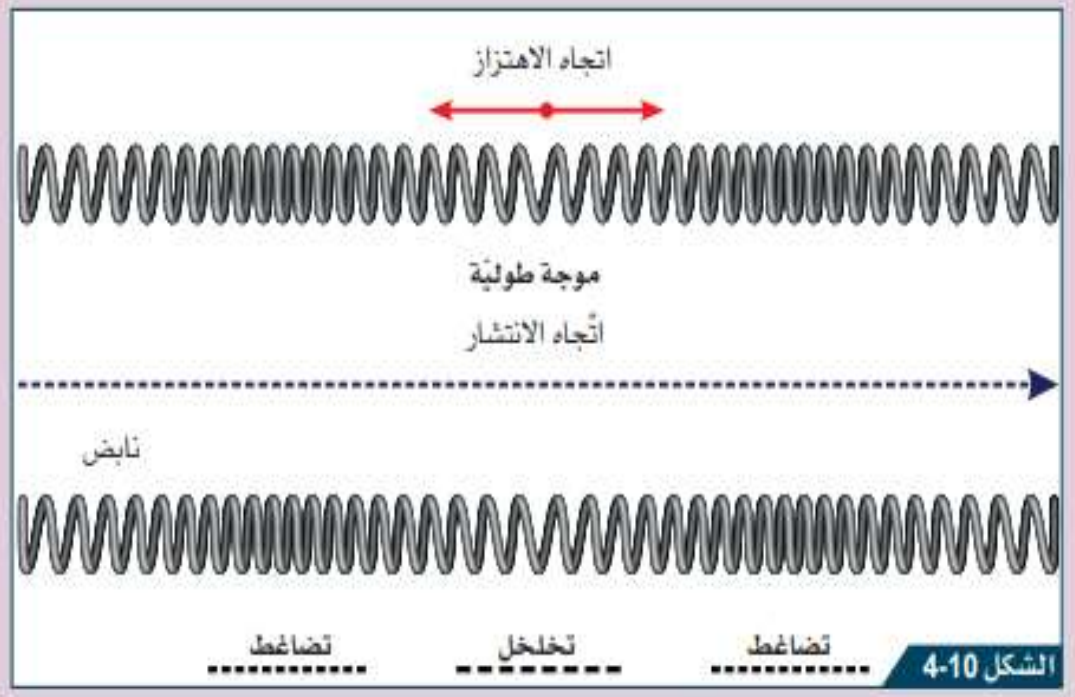
الشكل 10-8
سلسلة من المُخططات التي تُوضّح انتشار موجة على طول حبل عند لحظات مُختلفة

هذا ما تعلّمتَه:

- عندما تمرّ الموجة في وسط ما، فإنّها تُسبّب اهتزاز جُسيمات الوسط حول نقاط ثابتة.
- تعود الجُسيمات إلى موقعها الأصلي بعد مرور الموجة، وبالتالي لا يحدث انتقال للمادة بواسطة الموجة.
- تنقل الموجة الطاقة من المصدر باتّجاه انتشار الموجة.

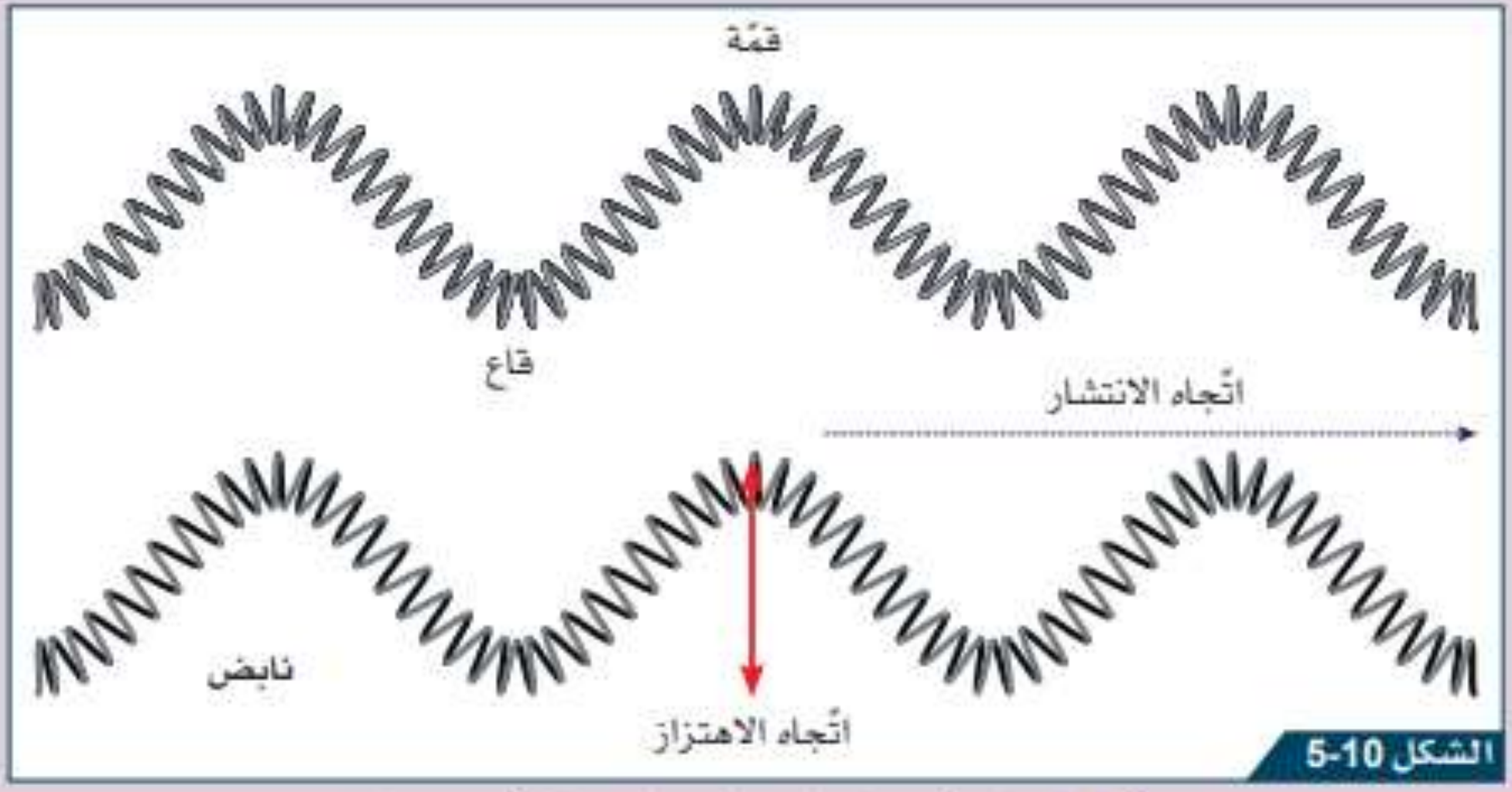
هذا ما تعلّمتَه:

- الموجة هي اضطراب ينتقل عبر الوسط من مكان إلى آخر، وهي تنقل الطاقة فقط ولا تنقل المادّة.
- تنتقل الموجات الميكانيكيّة على شكل اهتزازات خلال وسط مادي.
- يُعرف الاتّجاه الذي تنتقل فيه الموجة باسم اتّجاه انتشار الموجة.
- تنقل الموجة الطاقة في اتّجاه انتشارها.
- تنشأ الموجات الطوليّة من اهتزازات تكون موازية لاتجاه انتشار الموجة، كالموجات الصوتيّة وموجات الانضغاط عبر نابض، كما في الشكل (
- تهتز جسيمات الوسط في الموجة الطوليّة بحيث تهتز حول نقاط ثابتة مُكوِّنةً تضاغطات وتخلخلات تنتشر على طول الموجة.



الشكل 10-4 اتّجاه اهتزاز جسيمات الوسط في الموجة الطوليّة.

- تنشأ الموجات المُستعرضة من اهتزازات تكون مُتعامِدة مع اتّجاه انتشار الموجة. ويكون لها سلسلة من القيعان والقِمم، كما في الشكل 10-5.



الشكل 10-5

اتّجاه اهتزاز جُسيمات الوسط في الموجة المُستعرِضة.

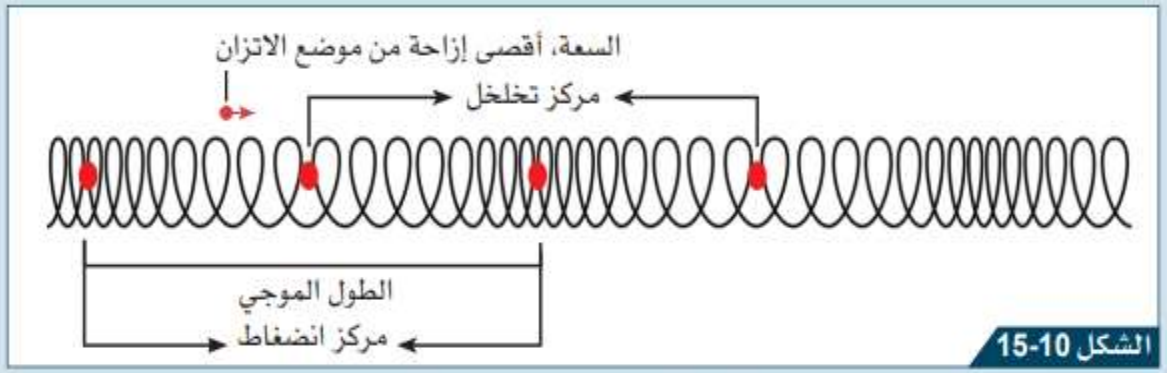
	الموجة الطولية	الموجة المُستعرضة
حركة الموجة		
هل تنقل الموجة الطاقة و / أو المادّة؟		
مِمَّ تتكون الموجة؟		
مخطط الموجة		

الجدول 10-1

الدّرس 10-2 ما العلاقة بين سرعة الموجة والتردُّد والطول الموجي؟

خصائص الموجة الطوليّة

تملك الموجة الطوليّة الكميّات القابلة للقياس نفسها التي تملكها الموجة المُستعرضة، مع الأخذ بعين الاعتبار الاختلافات الآتية:



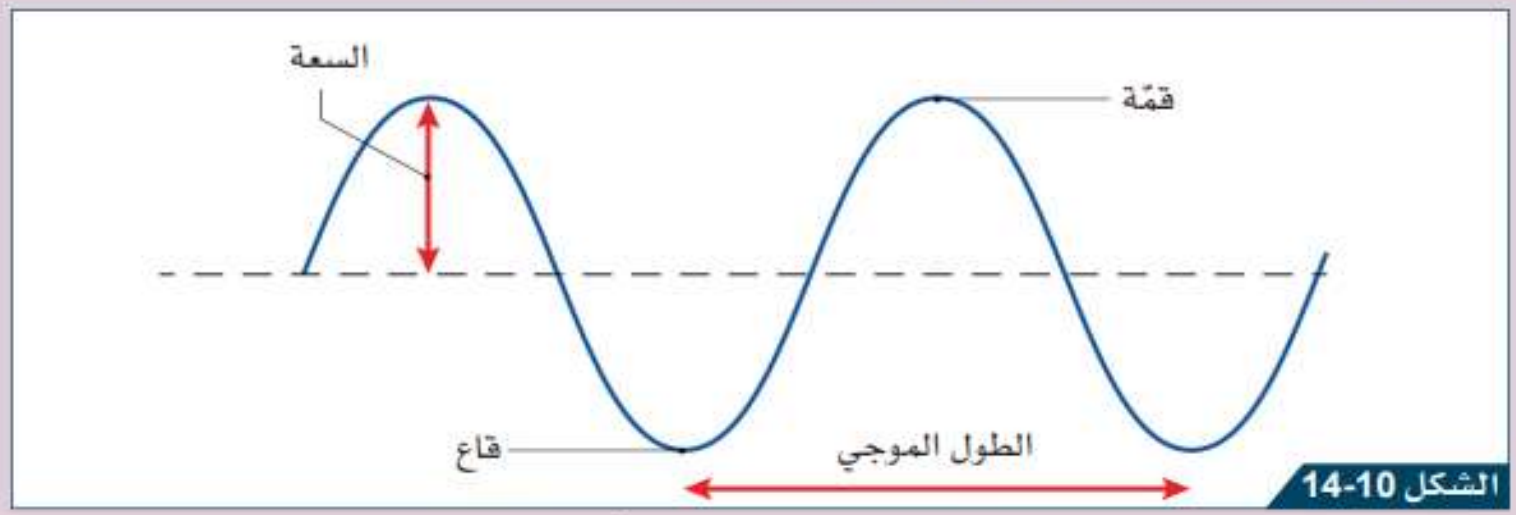
الشكل 10-15

الطول الموجي وسعة موجة طوليّة.

- سعة موجة طوليّة هي أقصى إزاحة في الاتّجاه الأفقي من موضع الاتزان، وتُقاس بوحدة المتر (m).
- الطول الموجي لموجة طوليّة هو المسافة بين مركزَي تضاغُط مُتتاليَين أو مركزَي تخلخل مُتتاليَين، ويُقاس بوحدة المتر (m).
- كلّ من سرعة الموجة والزمن الدوري والتردد لموجة طوليّة هو نفسه لموجة مُستعرضة.

هذا ما تعلَّمتَه:

- سعة Amplitude موجة ميكانيكية هي أقصى إزاحة لجُسيم من موضع الاتزان خلال مرور الموجة عبر الوسط، كما في الشكل 10-14. تزداد سعة الموجة مع ازدياد الطاقة التي تنقلها الموجة خلالها.
- الطول الموجي Wavelength لموجة مُستعرضة هو المسافة بين قمَّتَين مُتتاليتَين أو قاعَين متتاليَين لموجة مُستعرضة، وتُقاس بوحدة المتر (m).



الشكل 10-14

الطول الموجي والسعة لموجة مُستعرضة.

- سرعة الموجة Wave speed هي المسافة التي تقطعها الموجة كلّ ثانية، وتُقاس بوحدة المتر لكلّ ثانية (m/s).
- الزمن الدوري Period لموجة هو الزمن الذي تستغرقه لإكمال دورة كاملة من موجة، ويُقاس بوحدة الثانية (s).
- تردّد Frequency الموجة هو عدد الموجات التي تعبر نُقطة ثابتة في الثانية، وتُقاس بوحدة الهرتز Hertz (Hz) وهي تُكافئ عدد الموجات في الثانية $\left(\frac{1}{s}\right)$.

خاصيَة الموجة	الوصف	وحدة القياس المُستخدمة
الطول الموجي	الطول الموجي Wavelength لموجة مُستعرضة هو المسافة بين قمّتين مُتتاليتين أو قاعين متتاليين لموجة مُستعرضة، وتُقاس بوحدة المتر (m).	
السعة	سعة Amplitude موجة ميكانيكية هي أقصى إزاحة لجُسيم من موضع الاتزان خلال مرور الموجة عبر الوسط، كما في الشكل 10-14. تزداد سعة الموجة مع ازدياد الطاقة التي تنقلها الموجة خلالها.	
التردُّد	تردّد Frequency الموجة هو عدد الموجات التي تعبر نقطة ثابتة في الثانية، وتقاس بوحدة الهرتز Hertz (Hz) وهي تُكافئ عدد الموجات في الثانية $\left(\frac{1}{s}\right)$.	
الزمن الدوري	الزمن الدوري Period لموجة هو الزمن الذي تستغرقه لإكمال دورة كاملة من موجة، ويُقاس بوحدة الثانية (s).	
سرعة الموجة	سرعة الموجة Wave speed هي المسافة التي تقطعها الموجة كل ثانية، وتقاس بوحدة المتر لكل ثانية (m/s).	

الجدول 10-2

هذا ما تعلَّمتَه:

130

- كلَّما كان الزمن الدوري للموجة أقلَّ كان التردّد أكبر، أي يتناسب الزمن الدوري عكسيًّا مع التردد.
- كلَّما كانت سعة الموجة أكبر كانت المسافة التي تتحركها الجُسيمات حول موضع اتِّزانها أكبر خلال مرور الموجة.
- كلَّما كان تردُّد الموجة الطوليّة في نابض أكبر كانت المسافة بين التضاغطات المُنتقلة على طول النابض أقصر.
- تكون سرعة الموجة في نابض ما ثابتة، فهي لا تتعلَّق بالطول الموجي أو بتردُّد الموجة.

هذا ما تعلَّمتَه:

132

- تكون سرعة موجات الماء ثابتة، إذا بقي عُمق الماء هو نفسه.
- ترتبط سرعة الموجة بالتردُّد والطول الموجي، بحسب المعادلة الآتية:

سرعة الموجة (m/s) = الطول الموجي (m) × التردُّد (Hz)

$$v = \lambda f$$

- عند ثبات سرعة الموجة يتناسب الطول الموجي عكسيًا مع تردّد الموجة.

الطول الموجي λ (m)	التردد f (Hz)	سرعة الموجة v (m/s)
0.40	20	
0.02	50	
1.2		0.24
	2000	340

الجدول 10-6

الدّرس 10-3 كيف نُغيّر تردُّد وسعة الأصوات؟

رسوم مُختلفة على شاشة راسم الذبذبات.

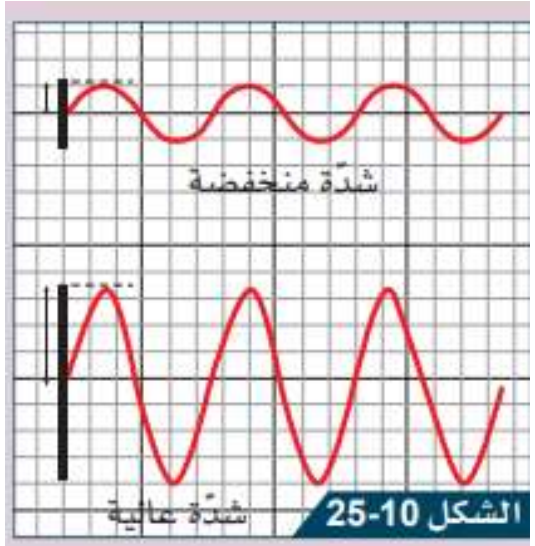
هذا ما تعلَّمتَه:

- يعرض راسم الذبذبات الموجة للأصوات إذا تمّ توصيل ميكروفون به.
- يتحكّم إعداد "volts/div" في مقدار طول الموجات المُوضّحة على شاشة راسم الذبذبات. حيث يؤدّي ازدياد هذا الإعداد إلى تناقُص ارتفاع الموجة.
- يُغيّر إعداد الأساس الزمني من مقدار تقارُب قمم الموجات على شاشة راسم الذبذبات. حيث يؤدّي ازدياد هذا الإعداد إلى تقارُب قمم الموجات أكثر.
- يُستخدم مولّد الإشارة في إنتاج موجات كهربائية. ويُستخدم لدى توصيله بمُكبّر صوت لإنتاج موجات صوتيّة.

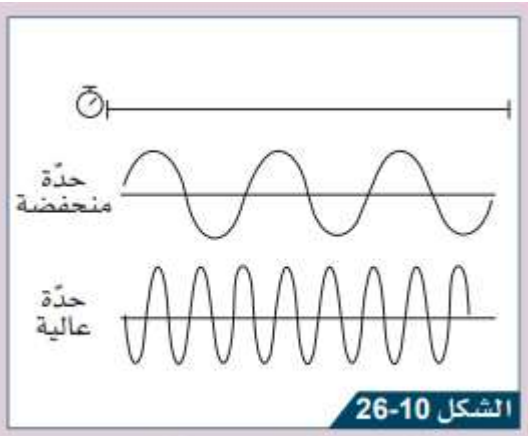
رسوم جهاز راسم الذبذبات

يعرض جهاز راسم الذبذبات (الأُسيلسكوب) تمثيلًا مرئيًا للموجات. وإذا تمّ توصيله بميكروفون يعرض أنماطًا لموجة صوتيّة.

- تكون الموجة الصوتية ذات السعة الأكبر، بشدّة أكبر من الموجة الصوتية ذات السعة الأصغر. وسوف تُنتج موجة ذات ارتفاع أعلى على شاشة راسم الذبذبات من الموجة الصوتية ذات السعة الأصغر.
- تكون الموجة ذات التردُّد الأعلى، بحدّة صوت أكبر (كصوت صافرة مثلاً) من الموجة الصوتيّة ذات التردُّد الأدنى (كصوت الطبل مثلاً)، وستُنتج موجة بقِمم مُتقاربة على شاشة راسم الذبذبات أكثر من الموجة الصوتية ذات التردُّد الأدنى.



الشكل 10-25
العلاقة بين السعة وشدّة الصوت.



الشكل 10-26
العلاقة بين التردد ودرجة الصوت.

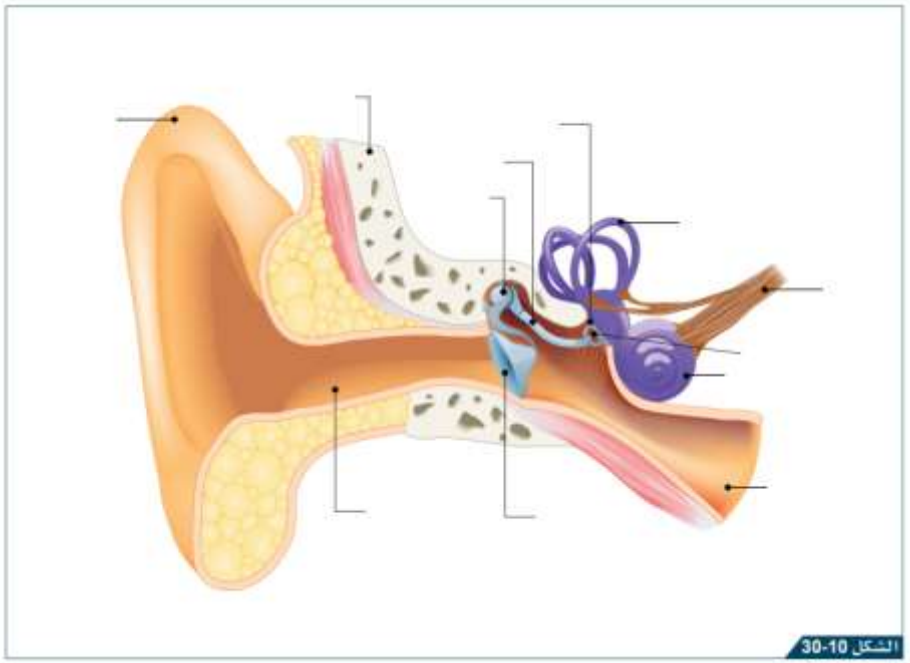
هذا ما تعلَّمتَه:

- يُنتج الصوت ذو الشدّة الأعلى موجات بارتفاع أكبر على شاشة راسم الذبذبات.
- يُنتج الصوت ذو الدرجة الأعلى (الحادّ) موجات بقمم متقاربة، وزمنًا دوريًا أقصر من الصوت ذي الحدّة الأقل (الغليظ).

P0902.2

الدّرس 10-4

ما التردُّدات التي يُمكن للإنسان سماعها؟



الشكل 10-30

142-141

هذا ما تعلَّمتَه:

- تتكوّن الأذن من ثلاثة أجزاء هي: الأذن الخارجية، والأذن الوسطى، والأذن الداخلية.
- تحتوي الأذن الخارجية على: الصيوان، والقناة السمعية، وطبلة الأذن.
- تتمثّل وظيفة الأذن الخارجية في جمع الموجات الصوتية وتضخيمها.
- تتكوّن الأذن الوسطى من ثلاثة عُظيمات رقيقة هي: المطرقة، والسندان، والركاب.
- تُضخّم الأذن الوسطى الموجات الصوتية أكثر.
- تحتوي الأذن الداخلية على القوقعة المُمتلئة بالسوائل.
- تحتوي القوقعة على خلايا شعرية حسيّة تستشعر الاهتزازات وتنقلها كإشارة كهربائية على طول العصب السمعي إلى الدماغ.

144

هذا ما تعلَّمتَه:

- تستطيع الأذن سماع أصوات بتردُّدات تتراوح بين 20 Hz و 20 000 Hz.
- لا يمكن للأذن نقل اهتزازات بتردُّدات تتجاوز 20000 Hz، أو أدنى من 20 Hz بفاعليَة؛ لذلك ليس بإمكاننا سماعها.
- تُسمَى الأصوات التي تتجاوز تردُّد 20000 Hz الموجات فوق الصوتيّة Ultrasound.
- عندما نتقدّم في العمر تتآكل عظام الأذن قليلًا (المطرقة، السندان، الركاب)، وينخفض نتيجة لذلك الحد الأقصى للتردُّدات التي يُمكننا سماعها. تُلحق الأصوات المُرتفعة ضررًا بالأذن، وقد تؤدّي إلى فقدان السمع بالكامل.

146

هذا ما تعلَّمتَه:

- تُنتج الشوكة الرنّانة نوتة بتردُّد وحيد ومُنحنى مُنتظم.
- يحتوي صوت الإنسان على نمط مُعقّد من نوتات مُتداخلة بتردُّدات مُختلفة.

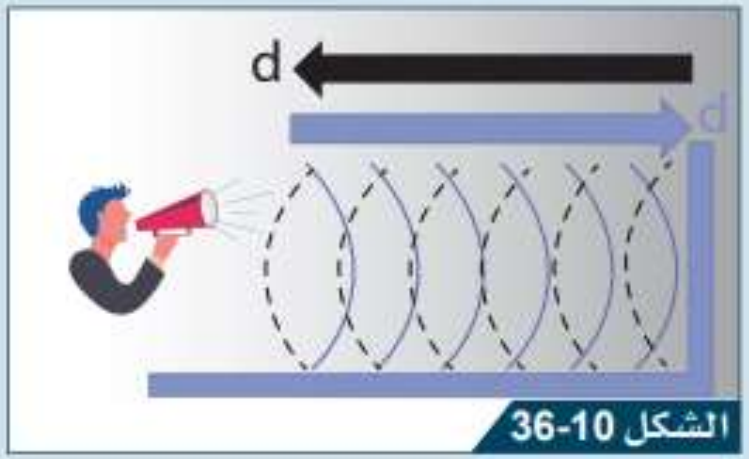
الدّرس 10-5

كيف يحدث صدى الصوت؟

انعكاس الموجات الصوتيّة

تنعكس الموجات الصوتية عن الأسطُح والحواجز بين المواد. الصدى هو تكرار سماع الصوت عند انعكاسه عن حاجز كبير (الشكل 10-36).

إذا كانت سرعة الصوت في مادة مُعيّنة معلومة، سيكون من المُمكن استخدام الصدى لقياس الأطوال أو المسافات عبر هذه المادة.



الشكل 10-36

انعكاس الموجات الصوتيّة بواسطة حاجز صُلب.

النشاط 2 كيف يُمكن استخدام صدى الصوت؟

سوف تقرأ في هذا النشاط معلومات عن ثلاثة تطبيقات مُختلفة لصدى الصوت، وتستخدمها لإنتاج مُخطّط تُلخّص فيه تلك المعلومات، ثمّ الإجابة عن الأسئلة اعتمادًا على معرفتك.

الاستخدام 1: استخدام الصدى لقياس حجم الغُرف

1. اقرأ النص الآتي المُتضمّن معلومات عن آليّة استخدام الصدى في قياس حجم الغُرف.

«غالبًا ما يحتاج المُتخصص العقاري إلى قياس مساحة الغرفة بسرعة وبدقّة ليتمكّن من تقدير ثمن العقار. وبدلاً من أن يُستخدم شريط القياس، يوضع جهاز إرسال موجات فوق صوتيّة أمام الجدار، يُرسل موجة فوق صوتيّة باتّجاه الجدار، لتنعكس إلى الجهاز، فيكشف جهاز الاستقبال عن الصدى. يستخدم الجهاز سرعة الصوت والزمن المُستغرق في استقبال الصدى لحساب طول الغرفة وعرضها وارتفاعها».

جهاز قياس المسافة باستخدام موجات فوق صوتيّة.

الاستخدام 2: السونار

الشكل 10-39

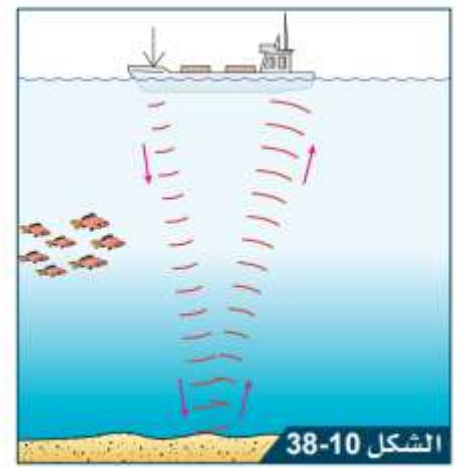
يُمكن للسُفن التقليديّة أن تستخدم أنظمة السونار.

«لا بدّ من أن تكون السفن على معرفة بعُمق المُحيط الذي يقع تحتها، لئلّا تُبحر في مياه ضحلة. يتمّ ذلك من خلال إرسال موجات صوتيّة في الماء، وحساب الزمن الذي يستغرقه صدى الصوت ليتمّ كشفه من السفينة، كما في **الشكل 10-38**.

تُقدّر سرعة الصوت في الماء بنحو 1500 m/s.

يمكن إرسال موجات متتالية بحيث تسمح للسُفن بتشكيل صورة لقاع المُحيط من خلال إجراء قياسات باستخدام الحاسوب. يُستخدم هذا النظام أيضًا، والذي يُعرف باسم السونار والذي يُعدّ اختصارًا لعبارة «جهاز سبر للصدى Sound Navigation and Ranging»، في الكشف عن مواقع أسراب الأسماك في الماء، الأمر الذي يتيح للصيادين الكشف عنها بنجاح.

تقوم بعض الحيوانات، كالدلافين والخفافيش، باستخدام التقنية نفسها؛ فتُنتج أصواتًا وتستمع إلى صداها، فيسمح لها ذلك بالكشف عن الأجسام حتى وهي في الظلام».


الشكل 10-38

استخدام السونار لقياس عُمق البحر.

الاستخدام 3: المسح الطبّي

«تُستخدم الموجات فوق الصوتية بشكل شائع في التشخيص والمُراقبة الطبيّة. حيث يتمّ باستخدام محوّل طاقة إصدار موجة فوق صوتية نحو جلد المريض. ولضمان التلامُس الجيّد ودخول الموجات الصوتيّة الجسم، يُدهن الجلد بمادة هُلامية (**الشكل 10-40**). تنتقل الموجة إلى جسم المريض لتمرّ عبر الطبقات المُختلفة. وخلال تحرّكها عبر الأنسجة المُختلفة تنعكس جُزئيًا إلى محول الطاقة، فيرصد جهاز استشعار ثانٍ الانعكاسات. وتُرسل ليتمّ تحليل هذه البيانات بواسطة حاسوب.

يتنقل الصوت بسرعات مُختلفة عبر أنسجة الجسم المُختلفة؛ لذلك يُستخدم حاسوب لحساب الزمن والسرعات المُختلفة للصوت بهدف قياس سُمك طبقات الأنسجة تلك. وهكذا تُستخدم موجة لقياس سُمك طبقات الجلد والدهون المتراكمة أسفلها.

تُنتج الماسحات فوق الصّوتيّة صُورًا ثنائية أو ثُلاثيّة الأبعاد للأنسجة باستخدام معلومات الصدى بأمان؛ وسبب ذلك أنّها لا تُلحق أيّ ضرر بالمريض. وهذا يجعلها مُفيدة جدًّا في الفحوصات التي تسبق الولادة لفحص نموّ الجنين (**الشكل 10-41**)».

الشكل 10-40

تُستخدم مع الماسحات فوق الصوتية مُستشعرات للكشف عن الموجات المُنعكسة وتقوم بعرض الصورة.

الشكل 10-41

تصوير فوق صوتي لجنين ينمو في شهره الخامس.

153

هذا ما تعلَّمتَه:

- يُستخدم صدى الصوت بشكل شائع لعمليات القياس والتحليل، وذلك باستخدام سرعة الصوت في المواد المُختلفة.
- تُستخدم الموجات فوق الصوتية لقياس أبعاد الغُرف.
- تستخدم السفن السونار لقياس عُمق البحر، أو للكشف عن الأجسام الموجودة تحت الماء.
- تستخدم بعض الحيوانات الموجات الصوتية من أجل الإحساس بالبيئة المُحيطة بها، وقياس المسافات إلى الأجسام.
- تُستخدم الموجات فوق الصوتية بشكل شائع في الممارسة الطبيّة، لفحص الأعضاء الداخلية، والأنسجة، أو نموّ الجنين وتطوّره.

150

هذا ما تعلَّمتَه:

- تُقدَّر سرعة الصوت في الهواء بنحو 340 m/s.
- يحدث الصدى عندما تنعكس الموجات الصوتيّة عن حواجز صلبة (كالجدران أو الجبال)، الشرط اللازم لحدوث الصدى أن تكون أقصر مسافة بين السامع والسطح العاكس 17 m.
- يتمّ استخدام صدى الصوت لتقدير سرعة الصوت، من خلال قسمة المسافة المقطوعة إلى السطح العاكس ذهابًا وإيابًا، على الزمن المُستغرق في الرحلة. ترتبط سرعة الموجة الصوتية (v) والمسافة المقطوعة (d) والزمن اللازم (t) مع بعضها بالعلاقة:

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

- سرعة الصوت كبيرة، وهي تحتاج إلى مسافات طويلة ليتمّ قياسها بشكل دقيق.

الدّرس 10-6

ما استخدامات الأنواع المُختلفة من الموجات الكهرومغناطيسيّة؟

الطيف الكهرومغناطيسي

تتكوّن الموجات الكهرومغناطيسيّة من اهتزازات مترابطة ومتعامدة ما بين المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي. تنتقل هذه الاهتزازات بسرعة أكبر من أي موجة أخرى. يمتلك كل إشعاع من إشعاعات الطيف الكهرومغناطيسي تردد وطول موجي مختلف عن الآخر ويتفاعل مع المادة بشكل مختلف. وبالنتيجة يكون لكلّ إشعاع ينتمي لنطاق ما من الطيف الكهرومغناطيسي مجموعة من الاستخدامات المختلفة.

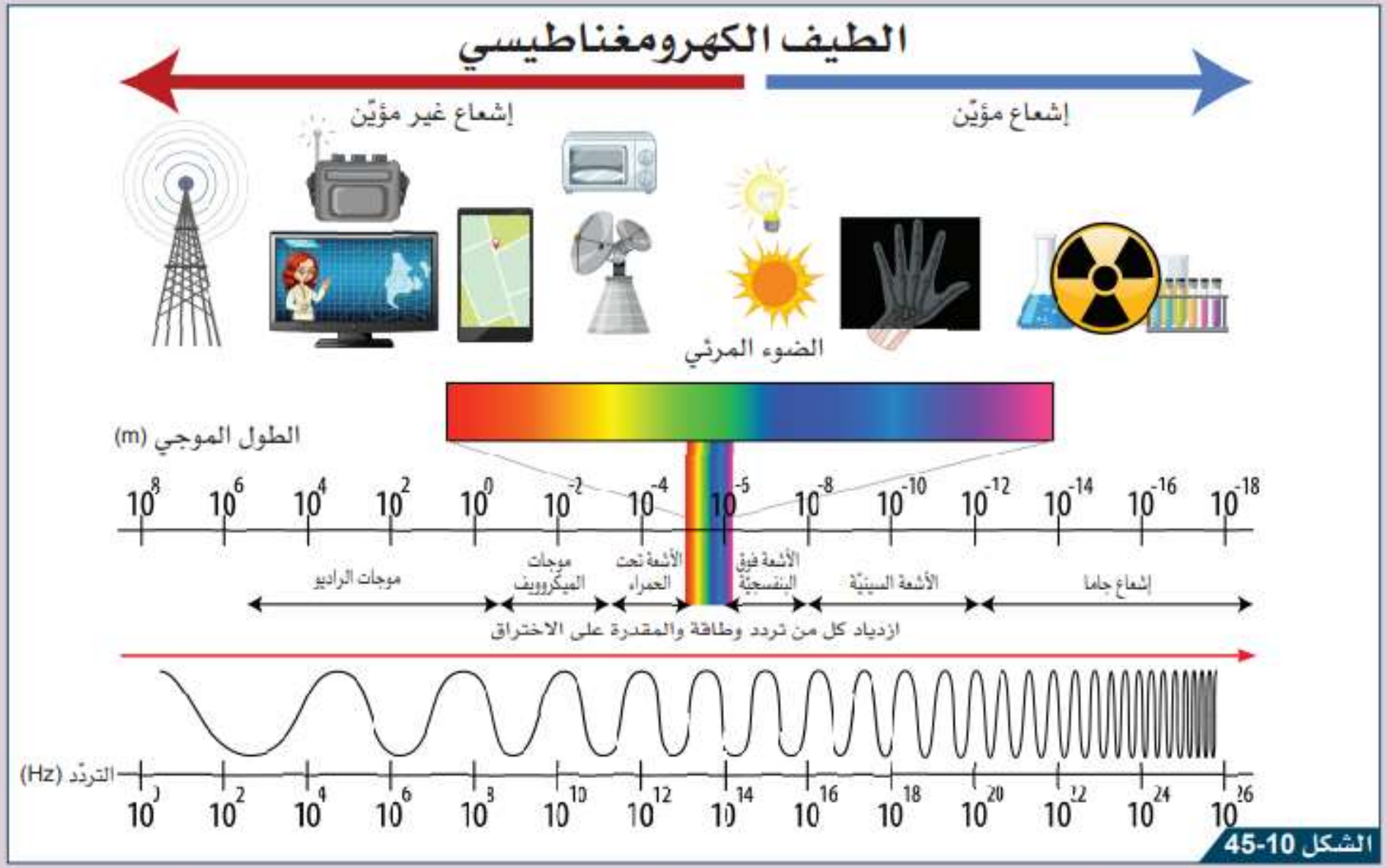
هذا ما تعلَّمتَه:

- تتكوَّن الموجات الكهرومغناطيسية من اهتزازات مترابطة ومتعامدة ما بين المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي كما في الشكل 10-44.
- الضوء المرئي جُزء صغير من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يتألَّف من مجال واسع من الإشعاعات التي تنتقل جميعها بالسرعة نفسها في الفراغ، وتكون مساوية تقريبًا لسرعة انتقالها في الهواء، وهي أعلى سُرعة مُمكنة وتُساوي $3 \times 10^8\ m/s$.
- يتكوَّن طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي من:
  - موجات الراديو Radio waves.
  - موجات الميكروويف Microwave.
  - الأشعَة تحت الحمراء Infrared radiation.
  - الضوء المرئي Visible light (تُصنَّف عادةً إلى ألوان الطيف السبعة).
  - الأشعَة فوق البنفسجيَة Ultraviolet radiation.
  - الأشعة السينية X-ray.
  - أشعَة جاما Gamma radiations.

الشكل 10-44

الموجة الكهرومغناطيسية.

تُعرَّف نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي من خلال الطول الموجي وتردُّد الإشعاع كما هو مُوضَّح في الشكل 10-45.



الشكل 10-45

الطيف الكهرومغناطيسي.

هذا ما تعلمته:

- يمتلك كلّ نطاق من نطاقات الطيف الكهرومغناطيسي مجموعة من الاستخدامات والمخاطر، وهي مُلخّصة في الجدول 10-15.

النطاق	مثال على استخداماتها	المخاطر (إن وُجدت)
موجات الراديو	الاتّصالات، والبث الإذاعي والتلفزيوني.	لا مخاطر، إلّا إذا كنت قريبًا جدًّا من جهاز إرسال ذي طاقة عالية.
موجات الميكروويف	طهي الطعام، وشبكات الهاتف الجوّال، وأقمار الاتصالات الاصطناعية.	يُمكن أن يُسبب تسخينًا للأعضاء الداخلية.
الأشعّة تحت الحمراء	أجهزة التحكّم عن بُعد والطهي.	يُمكن أن يُسبب حروقًا للجلد.
الضوء المرئي	صور مرئيّة.	يُمكن أن يُسبب الضوء البرّاق ضررًا للعينين.
الأشعة فوق البنفسجيّة	قتل البكتيريا (التعقيم)، وكشف الأوراق النقديّة المُزوّرة.	يُمكن أن يُلحق ضررًا بالجلد، وسرطان الجلد، وضررًا بالنّظر.
الأشعّة السينية	فحص العظام، نظام الحماية في المطارات.	يقتل الخلايا الحيّة في الجسم وقد يُسبب السرطان.
أشعّة جاما	علاج مرض السرطان.	يقتل الخلايا الحيّة في الجسم وقد يُسبب السرطان.

الجدول 10-15

- يُسبّب إشعاع التأيين Ionising radiation فقدان الذرّات للإلكترونات، لتكوين أيونات.
- تُلحق عملية التأيين Ionization ضررًا بالخلايا الحيّة، وقد تؤدّي إلى الإصابة بالسرطان.
- تُشكّل كلّ من الأشعّة فوق البنفسجية، والأشعّة السينية، وأشعّة جاما إشعاعات تأيين.