سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم
رؤية عمان 2040
نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence
الفيزياء
كتاب الطالب
١٠
الفصل الدراسي الثاني
الطبعة التجريبية ١٤٤٣هـ - ٢٠٢١م
CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

كتاب الطالب

١٠

الفصل الدراسي الثاني

الطبعة التجريبية ١٤٤٣هـ - ٢٠٢١م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

مطبعة جامعة كامبريدج، الرمز البريدي CB2 8BS، المملكة المتحدة.

تشكل مطبعة جامعة كامبريدج جزءًا من الجامعة.
وللمطبعة دور في تعزيز رسالة الجامعة من خلال نشر المعرفة، سعيًا وراء
تحقيق التعليم والتعلم وتوفير أدوات البحث على أعلى مستويات التميز العالمية.

© مطبعة جامعة كامبريدج ووزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي
المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.
لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من
مطبعة جامعة كامبريدج ومن وزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

الطبعة التجريبية ٢٠٢١ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من كتاب الطالب – الفيزياء للصف العاشر – من سلسلة كامبريدج للعلوم
المتكاملة IGCSE للمؤلفين ماري جونز، ريتشارد هاروود، إيان لودج، ودايفيد سانغ.

تمت مواءمة هذا الكتاب بناءً على العقد الموقع بين وزارة التربية والتعليم ومطبعة
جامعة كامبريدج رقم ٢٠٢٠/٤٠.
لا تتحمل مطبعة جامعة كامبريدج المسؤولية تجاه توفُّر أو دقة المواقع الإلكترونية
المستخدمة في هذا الكتاب، ولا تؤكد أن المحتوى الوارد على تلك المواقع دقيق
وملائم، أو أنه سيبقى كذلك.

تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢١/٩٠ واللجان المنبثقة عنه

جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم

ولا يجوز طبع الكتاب أو تصويره أو إعادة نسخه كاملاً أو مجزّأً أو ترجمته
أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات بهدف تجاري بأي شكل من الأشكال
إلا بإذن كتابي مسبق من الوزارة، وفي حالة الاقتباس القصير يجب ذكر المصدر.

حضرة صاحب الجلالة

السلطان هيثم بن طارق المعظم

-حفظه اللّه ورعاه-

المغفور له

السلطان قابوس بن سعيد

-طيّب اللّه ثراه-

سلطنـــــة عُمـــــان

النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يا رَبَّنا احْفَظْ لنا جَلالَةَ السُّلْطان
وَالشَّعْبَ في الأَوْطان بِالْعِزِّ والأَمان
وَلْيَدُمْ مُؤَيَّدًا عاهِلاً مُمَجَّدًا
بِالنُّفوسِ يُفْتَدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ
فارْتَقي هامَ السَّماء وَامْلَئي الْكَوْنَ الضِّياء
وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخاء

تقديم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خير المرسلين، سيّدنا مُحمَّد، وعلى آله وصحبه أجمعين. وبعد:

فقد حرصت وزارة التربية والتعليم على تطوير المنظومة التعليمية في جوانبها ومجالاتها المختلفة كافة؛ لتُلبّي مُتطلّبات المجتمع الحالية، وتطلُّعاته المستقبلية، ولتتواكب مع المُستجدّات العالمية في اقتصاد المعرفة، والعلوم الحياتية المختلفة؛ بما يؤدّي إلى تمكين المخرجات التعليمية من المشاركة في مجالات التنمية الشاملة للسلطنة.

وقد حظيت المناهج الدراسية، باعتبارها مكوِّنًا أساسيًا من مكوِّنات المنظومة التعليمية، بمراجعة مستمرة وتطوير شامل في نواحيها المختلفة؛ بدءًا من المقررات الدراسية، وطرائق التدريس، وأساليب التقويم وغيرها؛ وذلك لتتناسب مع الرؤية المستقبلية للتعليم في السلطنة، ولتتوافق مع فلسفته وأهدافه.

وقد أولت الوزارة مجال تدريس العلوم والرياضيات اهتمامًا كبيرًا يتلاءم مع مستجدات التطور العلمي والتكنولوجي والمعرفي. ومن هذا المنطلق اتَّجهت إلى الاستفادة من الخبرات الدولية؛ اتساقًا مع التطوُّر المتسارع في هذا المجال، من خلال تبنّي مشروع السلاسل العالمية في تدريس هاتَين المادّتَين وفق المعايير الدولية؛ من أجل تنمية مهارات البحث والتقصّي والاستنتاج لدى الطلبة، وتعميق فهمهم للظواهر العلمية المختلفة، وتطوير قدراتهم التنافُسية في المسابقات العلمية والمعرفية، وتحقيق نتائج أفضل في الدراسات الدولية.

إن هذا الكتاب، بما يحويه من معارف ومهارات وقيَم واتجاهات، جاء مُحقِّقًا لأهداف التعليم في السلطنة، وموائمًا للبيئة العمانية، والخصوصية الثقافية للبلد، بما يتضمَّنه من أنشطة وصور ورسومات. وهو أحد مصادر المعرفة الداعمة لتعلُّم الطالب، بالإضافة إلى غيره من المصادر المختلفة.

مُتمنّية لأبنائنا الطلبة النجاح، ولزملائنا المعلّمين التوفيق فيما يبذلونه من جهود مُخلِصة، لتحقيق أهداف الرسالة التربوية السامية؛ خدمة لهذا الوطن العزيز، تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظّم، حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم

المحتويات

المقدمة xi

كيف تستخدم هذا الكتاب xii

الوحدة الثانية عشرة: خصائص الموجات

١٢-١ وصف الموجات ١٥

١٢-٢ السرعة والتردّد وطول الموجة ٢١

١٢-٣ الظواهر المرتبطة بالموجات ٢٣

الوحدة الثالثة عشرة: الطيف الكهرومغناطيسي

١٣-١ الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجية ٣٠

١٣-٢ الموجات الكهرومغناطيسية ٣٣

الوحدة الرابعة عشرة: الصوت

١٤-١ إصدار الأصوات ٣٨

١٤-٢ سرعة الصوت ٣٩

١٤-٣ تمثيل الأصوات ٤٢

١٤-٤ كيف تنتقل الأصوات ٤٥

الوحدة الخامسة عشرة: ظواهر بسيطة للمغناطيسيّة

١٥-١ المغناطيس الدائم ٤٩

١٥-٢ المجالات المغناطيسية ٥٢

الوحدة السادسة عشرة: التأثير المغناطيسي للتيّار الكهربائي

١٦-١ الكهرباء والمغناطيسية ٥٨

١٦-٢ التأثير المغناطيسي لتيّار كهربائي ٥٩

الوحدة السابعة عشرة: تأثير المحرّك

١٧-١ القوّة المؤثّرة على موصّل حامل لتيّار كهربائي موضوع داخل مجال مغناطيسي ٦٣

١٧-٢ المحرّكات الكهربائية ٦٥

الوحدة الثامنة عشرة: الحثّ الكهرومغناطيسي ومولّد التيّار المتردّد

١٨-١ توليد الكهرباء ٧٠

الوحدة التاسعة عشرة: المحوّلات الكهربائية

١٩-١ خطوط الطاقة الكهربائية والمحوّلات .. ٧٦

مصطلحات علمية ٨٤

ملحق ٨٦

المقدمة

سوف تتعلَّم في هذا المُقرَّر الكثير من الحقائق والمعلومات، وستكتسب مهارة التفكير كالعلماء. وقد تمَّت مواءمة كتاب الطالب – الفيزياء للصف العاشر – وفق سلسلة كامبريدج للعلوم المُتكامِلة IGCSE.

تتضمَّن وحدات كتاب الطالب البنود الآتية:

الأسئلة

تتضمَّن كل وحدة مجموعة مُتعدِّدة من الأسئلة تأتي ضمن سياق فقراتها لتعزيز الفهم، وبعضها يحتاج إلى إجابات قصيرة. كما ترد في نهاية الوحدة أسئلة تهيء الطالب لخوض الاختبارات.

الأنشطة

تتضمَّن كل وحدة على أنشطة مُتنوّعة تهدف إلى مساعدة الطالب على تطوير مهارته العملية.

المُلخَّص

قائمة قصيرة تأتي في نهاية كل وحدة، وتحتوي على النقاط الرئيسية التي تمَّت تغطيتها في الوحدة.

يلازم كتاب الطالب كتاب النشاط، الذي يزوّد الطالب بمجموعة من التمارين وأوراق العمل، ويساعده على توظيف المعرفة التي اكتسبها في تطوير مهارته في التعامل مع المعلومات وحلّ المشكلات، وصقل بعض مهارته العملية.

كيف تستخدم هذا الكتاب

تتضمَّن كل وحدة مجموعة من البنود تساعد الطالب على التنقُّل خلالها.

الوحدة التاسعة عشرة

المحوّلات الكهربائية Transformers

تُغطّي هذه الوحدة:

- تركيب المحوِّلات الكهربائية وآليّة عملها.
- أسباب استخدام المحوِّلات الكهربائية.
- المحوّلات الرافعة والمحوّلات الخافضة.
- الحسابات المتعلّقة بفرق الجهد وشدّة التيار الكهربائي وعدد اللفّات في ملفّ المحوّل الكهربائي.

مصطلحات علمية

تحتوي المُربَّعات على تعريفات واضحة للمُصطلحات العلمية الرئيسية في كل وحدة.

مصطلحات علمية

الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum:
نطاق من الأشعّة الكهرومغناطيسية تختلف من حيث التردُّد والطول الموجي، وتمتدّ من موجات الراديو إلى أشعّة جاما.

تذكّر

مُربَّعات تحتوي على نصائح موجَّهة إلى الطلبة ليتجنَّبوا المفاهيم الخاطئة الشائعة، وتقدِّم إليهم الدعم للإجابة عن الأسئلة.

تذكّر

أنّ تصنيف المواد المغناطيسية إلى «صلبة» أو «مطاوعة» يعود إلى سهولة مغنطتها وإزالة مغنطتها، وليس إلى قدرتها على تغيير شكلها.

مثال

تتوافر الأمثلة في كل الوحدات وتحتوي على إرشادات خطوة بخطوة للإجابة عن الأسئلة.

مثال ١٢-١

تبثّ محطّة راديو FM إشارات طول موجتها (3.0 m) بتردُّد (100 MHz). فكم تبلغ سرعتها؟

الخطوة ١: ابدأ بكتابة ما تعرفه، ثم ما تريد أن تعرفه.

التردُّد: $f = 100\ \text{MHz} = 100\,000\,000\ \text{Hz} = 10^8\ \text{Hz}$

طول الموجة: $\lambda = 3.0\ \text{m}$

السرعة: $v = ?$

الخطوة ٢: اكتب معادلة سرعة الموجة وعوّض القيَم فيها.

$$v = f\lambda$$
$$= 10^8 \times 3.0$$
$$v = 3 \times 10^8\ \text{m/s}$$

إذن تنتقل موجات الراديو في الهواء بسرعة $3 \times 10^8\ \text{m/s}$ وهي سرعة الضوء التي تنتقل بها جميع الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ.

نشاط

ترد الأنشطة في موضوعات الوحدة، وتوفِّر إرشادات وتوجيهات لإجراء استقصاءات عملية.

نشاط ١٧-١

تأثير المحرّك

المهارات:

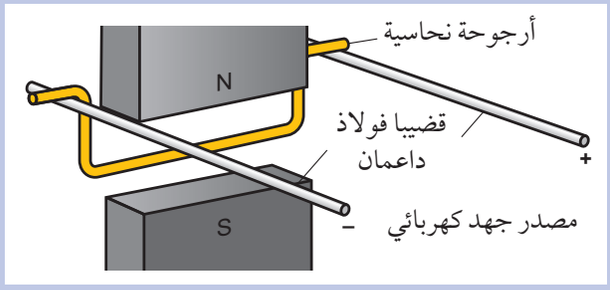
- **يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.**
- **يكوّن التنبّؤات والفرضيات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة).**

جرّب طريقة بسيطة لإظهار القوّة المؤثّرة على الموصّل الحامل للتيّار الكهربائي.

١ ثبّت قضيبَين من الفولاذ بحيث يكونان متوازيَين أفقيًّا.

٢ اثنِ قضيبًا نحاسيًّا كما هو مبيّن أدناه لتشكيل «أرجوحة»، بحيث تتدلّى بين قضيبَي الفولاذ.

٣ صِل مغناطيسَين بداعم بحيث يكون القطبان المتعاكسان متقابلَين كما هو مبيّن أدناه.



٤ صِل أحد طرفَي قضيبَي الفولاذ بتيّار كهربائي مستمرّ لمصدر جهد كهربائي منخفض، ويجب أن يكون باستطاعة التيّار الكهربائي التدفُّق على طول أحد القضيبَين، ثم خلال الأرجوحة، ثم العودة للخروج عبر القضيب الآخر.

٥ شغّل مصدر الجهد، ولاحظ ما إذا كانت هناك قوّة تؤثّر على الأرجوحة. اشرح مصدر هذه القوّة التي تحرّك الأرجوحة.

٦ تنبّأ بشكل منفصل عن تأثير ما يأتي على حركة الأرجوحة:

- عكس اتّجاه التيّار.
- عكس اتّجاه المجال المغناطيسي.

إذا كان لديك متّسع من الوقت، فاختبر هذه التنبّؤات من خلال إجراء التغييرات.

أسئلة

ترد في كل وحدة لتقييم معرفة الطلبة واستيعابهم للفيزياء.

أسئلة

٥-١٧ انظر إلى المحرّك المبيّن في الشكل ١٧-٤ وإلى شرح آلية عمله. اشرح كيف سيدور الملفّ إذا تمّ عكس قطبَي المغناطيس المواجهَين للملفّ.

٦-١٧ أ. لماذا يجب أن ينعكس اتّجاه التيّار الكهربائي مرّتَين خلال كلّ دورة للملفّ الدوّار في محرّك التيّار الكهربائي المستمرّ؟

ب. ما الأداة التي تعكس اتّجاه التيّار الكهربائي؟

٧-١٧ صف كيف سيتغيّر عزم الدوران لمحرّك تيّار كهربائي مستمرّ، إذا زادت شدّة التيّار الكهربائي المتدفّق عبر ملفّ المحرّك.

تحتوي هذه الأُطر الزرقاء على معلومات مُهمّة تُعزِّز نقطة رئيسيّة أو تتوسَّع فيها.

لتلخيص ذلك نقول:

- الصوت الأكثر حدّة (رفيع) يعني الصوت ذا التردّد الأكبر، والصوت الأقلّ حدّة (غليظ) يعني الصوت ذا التردّد الأصغر.
- الصوت الأكثر شدّة (قوي) يعني الصوت ذا السعة الأكبر، والصوت الأقلّ شدّة (ضعيف) يعني الصوت ذا السعة الأصغر.

يرد **ملخّص** في نهاية كل وحدة ويتضمَّن تلخيصًا للموضوعات الرئيسية.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- مناطق الطيف الكهرومغناطيسي.
- سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ.
- خصائص واستخدامات مناطق الطيف الكهرومغناطيسي.

تلي فقرة مُلخَّص مجموعة مختارة من **أسئلة نهاية الوحدة** لمساعدة الطلبة على مراجعة الوحدة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ اشرح كيف يُصدِر كلّ من الطبل والحبال الصوتية البشرية وبوق السيارة صوتًا.

٢ يُصدِر مكبّر الصوت صوتًا، فتنتقل الموجة الصوتية منه إلى أذن الشخص.

أ. صف كيف تنتقل هذه الموجة الصوتية خلال الهواء. مضمّنًا إجابتك أفكارًا عن الجُسيمات.

ب. اشرح سبب عدم انتقال الصوت خلال الفراغ.

ج. مكبّر صوت موضوع داخل ناقوس زجاجي. ويمكن سماع الصوت خارج هذا الناقوس. يُفرّغ بعد ذلك معظم الهواء من الناقوس، بحيث يكون عدد جُزيئات الهواء في الناقوس أقلّ بكثير من قبل. لماذا أصبح الصوت من مكبّر الصوت الآن أضعف؟

٣ وصّل معلّم مكبّر صوت بمولّد إشارة، وضبَط مولّد الإشارة على تردُّد (2000 Hz)، ثمّ ضبَط ارتفاع الصوت، لكي يتمكّن الطلاب من سماع الصوت على نحو مريح.

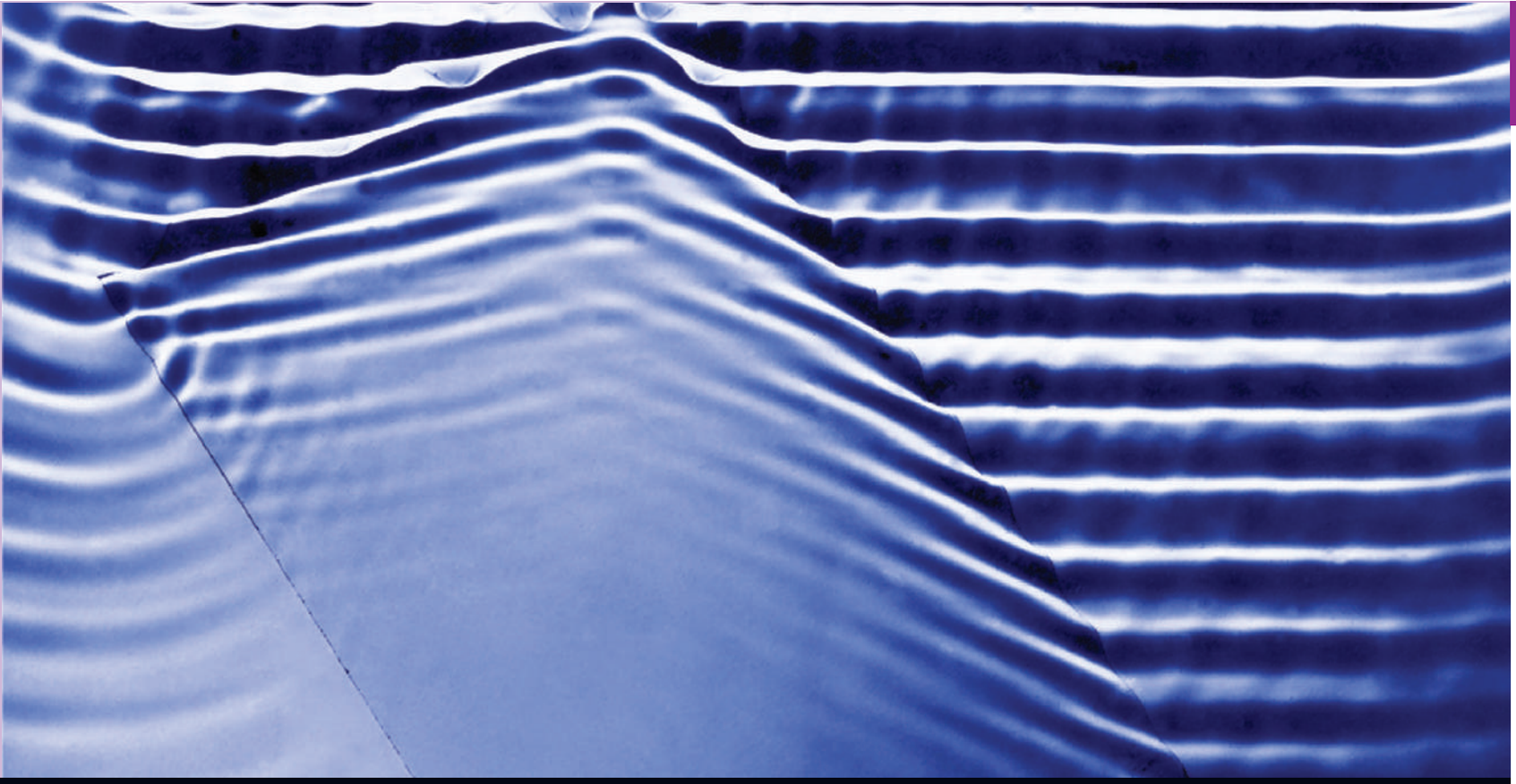
أ. خفّض المعلّم التردُّد. اذكر التردُّد التقريبي الذي يجب أن **يتوقّف** عنده سماع الطلاب ذوي السمع السليم للصوت.

ب. زاد المعلّم التردُّد.

١. اذكر التردّد التقريبي الذي يجب أن يتوقّف عنده سماع الطلاب ذوي السمع السليم للصوت.

٢. عندما يزداد التّردّد، لماذا يتوقّف المعلّم عن سماع الصوت الصادر عن مكبّر الصوت قبل سماع الطلاب له؟

قائمة رموز المواد الإثرائية لمادّة الفيزياء				
النوع	المصطلحات العلمية	أسئلة اختيار من متعدِّد	الأنشطة الإثرائية	معايير النجاح
QR Code				



الوحدة الثانية عشرة

خصائص الموجات The Properties of Waves

تُغطّي هذه الوحدة:

- وصف الموجة بدلالة السرعة والسعة والتردُّد وطول الموجة.
- الموجات تنقل الطاقة دون نقل المادة.
- الفرق بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية.
- حساب سرعة الموجة.
- وصف الموجات باستخدام جبهات الموجة.
- وصف انعكاس الموجة وشرحه.
- شرح انكسار الموجات.
- وصف حيود الموجات وشرحه.

١-١٢ وصف الموجات

قد يكون مخيفًا أن تكون على متن قارب صغير تائهًا في بحر هائج، تتقاذفك موجاته إلى الأعلى وإلى الأسفل. لكنّ ذلك يُعدّ لبعض الطيور ممارسة عادية، فقد يصل ارتفاع الموجات إلى 20 m، مما يجعل منزلًا من طابقَين يبدو وكأنه صغير بالنسبة لارتفاع الموجة، غير أنّ الطيور تشعر بأمان على أسطح تلك الموجات أكثر مما لو كانت على صخور الشواطئ؛ فطيور الغلموت مثلًا، تتجمّع معًا في أسراب تحملها الموجات إلى الأعلى وإلى الأسفل (الصورة ١٢-١). من شأن هذه الحركة أن تجعلك تشعر بدوار البحر إذا كنت على متن سفينة في طقس عاصف.

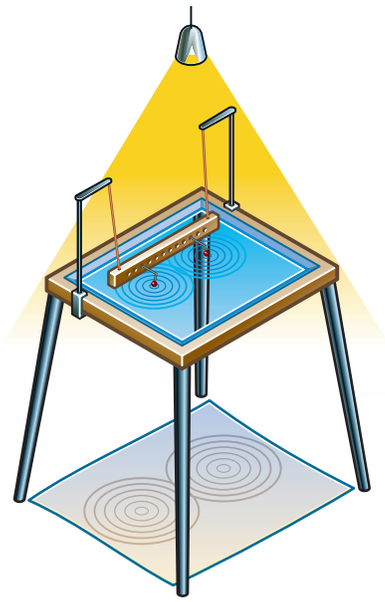
الصورة ١٢-١ تقضي كثير من الطيور البحرية مثل طيور الغلموت، كلّ شتاء في المحيط. فهي تتجمّع معًا في أسراب وتقضي أيامها ولياليها في ركوب الموجات إلى الأعلى وإلى الأسفل

تبدأ الموجات بالتحطُّم عندما تصل إلى الشاطئ، وهي بذلك تشكِّل الميدان الطبيعي لراكبي الأمواج (الصورة ١٢-٢).

الصورة ١٢-٢ يبحث راكبو الأمواج عن الموجات التي بدأت بالتحطّم؛ ممّا يتيح لهم الدفع الذي يحتاجون إليه لبدء التحرُّك

يستخدم الفيزيائيّون موجات الماء نموذجًا لشرح سلوك الضوء والصوت والظواهر المرتبطة بهما.

يمكننا أن نبدأ بفهم هذا النموذج في المختبر باستخدام حوض الموجات المائية (الشكل ١٢-١)، حيث يكون الحوض شفّافًا ضحل العمق، ويحتوي على كمّية قليلة من الماء، إذ يشكّل الضوء المُسلّط على الحوض من الأعلى ظلالًا للموجات على الأرضية تحت الحوض، فيظهر النمط الذي تكوِّنه تلك الموجات.



الشكل ١٢-١ تنتج الموجات على سطح الماء في حوض الموجات المائية هذا بواسطة كُرات صغيرة متّصلة بالذراع الذي يهتز إلى الأعلى وإلى الأسفل. يمكن رؤية نمط الموجات بسهولة عن طريق تسليط الضوء من الأعلى على سطح الماء، وهذا الضوء يُشكّل ظلالًا من الموجات على الأرضية تحت قاع الحوض الشفّاف

تُبيّن الصورة ١٢-٣ نمطَين من الموجات: (أ) مستقيمة و (ب) دائرية، تكوّنت بطرائق مختلفة:

أ. استخدام ساق رفيعة موضوعة بشكل أفقي بحيث تلامس سطح الماء، وتهتزّ الساق إلى الأعلى وإلى الأسفل بمعدّل ثابت. وهذا يُنتج موجات مستقيمة على سطح الماء تتباعد عن بعضها بمسافات متساوية كما في الصورة ١٢-٣ (أ).

ب. استخدام جسم كُروي صغير بحيث يلامس سطح الماء، وعندما يهتز إلى الأعلى وإلى الأسفل تنتشر موجات دائرية على سطح الماء بحيث تكون المسافة بين كل موجة وأخرى متساوية كما في الصورة ١٢-٣ (ب).

حيث تدفع الساق الرفيعة أو الجسم الكُروي الصغير جُزيئات الماء إلى الأعلى وإلى الأسفل. ويشدّ كل جُزيء الجُزيئات المُجاورة إلى الأعلى وإلى الأسفل. وتبدأ تلك الجُزيئات بدورها في تحريك ما يجاورها من جُزيئات، وهكذا ... وقد يجعلك هذا تفكّر في الطيور البحرية التي ذُكرت سابقًا؛ فهي تطفو على سطح البحر المضطرب، حيث تتجاوز الموجات الطيور، التي تطفو ببساطة على سطح الماء.

تتحرّك الموجات المستقيمة المتوازية في نفس الاتّجاه كما في الصورة ١٢-٣ (أ). وتُعدّ نموذجًا جيدًا لموجات الضوء التي تنبعث في حزمة ضيّقة من صندوق الأشعّة الضوئية. صحيح أنّنا لا نستطيع رؤية الاهتزازات في الموجة الضوئية، لكنها تشبه الموجات المائية.

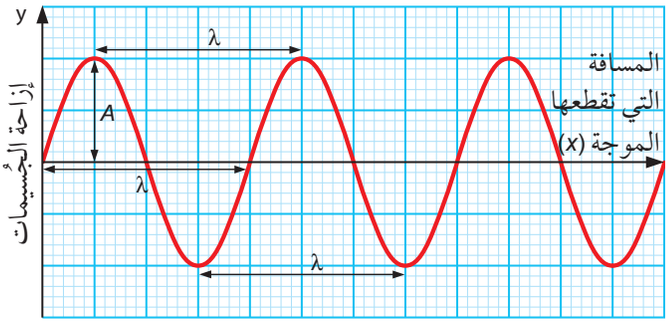
تتحرّك الموجات الدائرية في الصورة ١٢-٣ (ب) من النقطة التي يلامس فيها الجسم الكروي سطح الماء في جميع الاتّجاهات (على الرغم من ظهور 4 أسهم فقط)، لذا تُعدّ هذه الموجات نموذجًا جيدًا لموجات الضوء المنتشرة من مصدر صغير، كمصباح أو لهب شمعة. في حالة المصدر الضوئي الصغير، تنتشر الموجات الضوئية في جميع الاتّجاهات في الحيّز المحيط بالمصدر، ولكن على شكل سطوح كروية ثلاثية الأبعاد بدلًا من الدوائر المسطّحة ثنائية الأبعاد.

تتحرّك موجات الماء أبطأ بكثير من موجات الضوء، لذا يعدّ نموذج موجات الماء مثاليًّا لأنه يرينا بوضوح كيف تتحرّك الموجات وكيف تسلك في ظل ظروف مختلفة.

طول الموجة والسعة

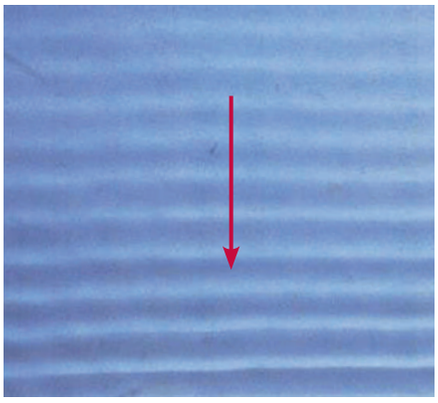
يوضح الخطّ المتموِّج في الشكل ١٢-٢ الطريقة الأكثر شيوعًا لتمثيل الموجة. نلاحظ أنّ هذا الخطّ المتموّج يشبه جزءًا من الموجات التي تتشكّل في حوض الموجات المائية، حيث تظهر القمم Crests والقيعان Troughs التي تتكوّن منها الموجات متتالية بعضها بعد بعض.

يبيّن التمثيل البياني في الشكل ١٢-٢ موجة تنتقل من اليسار إلى اليمين، حيث يُظهر المحور السيني المسافة التي تقطعها الموجة أفقيًّا (x). في حين يبيّن المحور الصادي إزاحة الجُسيمات y عن موضع سكونها (موضع الاتّزان). يمكننا اعتبار المحور السيني على أنه مستوى سطح الماء عندما لا يكون مضطربًا، وبالتالي فإن منحنى التمثيل البياني يبيّن المسافة التي تنزاحها الجُسيمات عن مستواه غير المضطرب (موضع الاتّزان).

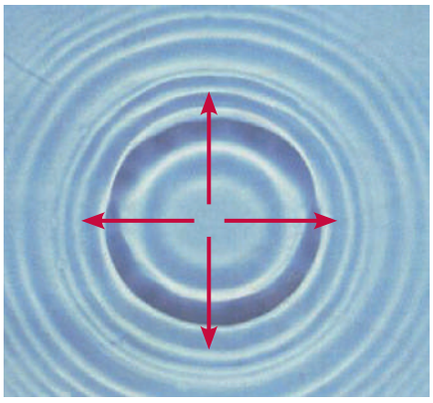


الشكل ١٢-٢ تمثيل الموجة كخطّ متموّج. يُعرف هذا الشكل بالتمثيل البياني الجَيبي

(أ)



(ب)



الصورة ١٢-٣ نمطان من الموجات عبر سطح الماء: (أ) موجات مستقيمة متوازية. (ب) موجات دائرية. توضّح الأسهم الحمراء الاتّجاه الذي تنتقل فيه الموجات

من تمثيل الموجة في الشكل ١٢-٢، يمكننا أن نحدّد بصورة عامّة خاصيّتَين للموجات، هما:

- **طول الموجة (λ) Wavelength** هو المسافة من إحدى قمم الموجة إلى القمّة التي تليها (أو من أحد القيعان إلى القاع الذي يليه) أو المسافة التي تقطعها الموجة الواحدة في اتّجاه انتشارها. ونظرًا إلى أن طول الموجة هو مسافة، فإنه يُقاس بوحدة المتر (m) ويُرمز إليه بالحرف اليوناني λ «لامدا».
- **السعة (*A*) Amplitude** لموجة هي أقصى إزاحة للجُسيمات عن موضع الاتّزان، وهي بعبارة أخرى ارتفاع القمّة عن موضع الاتّزان. ولمّا كانت السعة مسافة أيضًا، فإنّها تُقاس بوحدة المتر (m) ويُرمز إليها بالحرف *A*.

قد يبلغ طول الموجة في حوض الموجات المائية ملّيمترات قليلة، وتبلغ السعة ملّيمترًا واحدًا أو اثنَين، في حين تكون هاتان الكمّيتان للموجات في عرض البحر أكبر بكثير؛ فأطوالها الموجية قد تصل إلى عشرات الأمتار، في حين تتراوح سعتها من بضعة سنتيمترات إلى عدّة أمتار.

مصطلحات علمية

طول الموجة (λ) Wavelength: المسافة بين قمّتَين متتاليتَين أو قاعَين متتاليَين لموجة ما، أو المسافة التي تقطعها الموجة الواحدة في اتّجاه انتشارها.

السعة (*A*) Amplitude: أقصى إزاحة لموجة عن مستواها غير المضطرب (موضع الاتّزان).

تذكّر

أن السعة تُقاس من المستوى غير المضطرب (موضع الاتّزان) حتى القمّة، ولا تُقاس من القاع إلى القمّة.

التردُّد

عندما تهتزّ الساق الموضوعة في حوض الموجات المائية، فإنّها تُرسل موجات. حيث تمثّل كل حركة إلى الأعلى وإلى الأسفل تكوّن موجة واحدة. وكلّما ازداد اهتزاز الساق في كل ثانية، ازداد عدد الموجات التي ترسلها. يظهر هذا في التمثيل البياني في الشكل ١٢-٣. لكن عليك الانتباه! إذ يبدو هذا التمثيل البياني مُشابهًا جدًّا للتمثيل البياني الموجي السابق في الشكل ١٢-٢، ولكن هنا يبيّن المحور السيني الزمن وليس المسافة. يوضّح هذا التمثيل البياني كيف تتحرّك الجُسيمات عند نقطة معيّنة إلى الأعلى وإلى الأسفل مع مرور الزمن.

يمكننا من التمثيل البياني المبيّن في الشكل ١٢-٣، تعريف **التردّد (*f*) Frequency** للموجة على أنه عدد الموجات التي تعبر نقطة ما كلّ ثانية، ويُقاس التردُّد بوحدة الهرتز (Hz). والهرتز الواحد (1 Hz) هو موجة كاملة واحدة في الثانية.

من المهمّ الانتباه إلى أنّ المحور السيني للتمثيل البياني الموجي يمثّل الزمن أو المسافة.

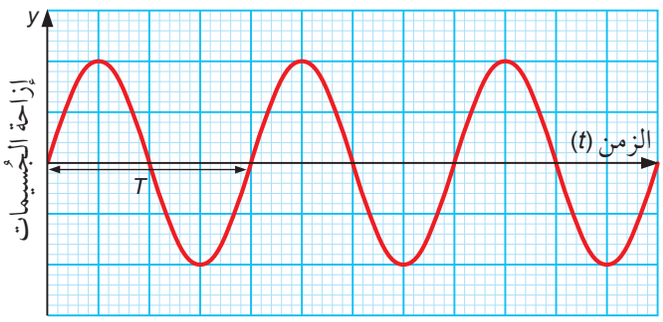
يمكننا استخدام التمثيل البياني في الشكل ١٢-٣ لحساب تردُّد الموجة، والرمز *T* يمثّل الزمن المُستغرَق لإحداث اهتزازة كاملة واحدة لموجة واحدة. لذلك، فإنّ:

$$\text{التردُّد (Hz)} = \frac{1}{\text{الزمن المستغرَق لاهتزازة كاملة (s)}}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\text{الزمن المستغرَق لاهتزازة كاملة (s)} = \frac{1}{\text{التردُّد (Hz)}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$



الشكل ١٢-٣ تمثيل بياني يُظهِر الزمن *T* لإحداث اهتزازة كاملة واحدة لموجة ما. لاحظ أن المحور السيني في هذا التمثيل البياني يمثّل الزمن

قد تكون قيمة الزمن (T) لموجات البحر 10 s، وبالتالي فإن تردُّدها قد يصل إلى 0.1 Hz، وقد يكون تردُّد الموجة الصوتية 1000 Hz، وبالتالي يكون الزمن المستغرَق لإحداث اهتزازة كاملة هو $\frac{1}{1000}$ s، ممّا يعني أن في كل 1 ملّي ثانية (1 ms) تصل موجة.

مصطلحات علمية

التردّد (f) Frequency: عدد الاهتزازات في الثانية أو عدد الموجات التي تعبر نقطة ما في الثانية، ويُقاس بوحدة الهرتز (Hz).

سرعة الموجة

سرعة الموجة (v) Wave speed هي المعدّل الذي تنتقل فيه قمّة الموجة في اتّجاه معيّن، وقد تكون أيضًا المسافة التي تقطعها قمة الموجة فوق سطح الماء في وحدة الزمن. تُقاس سرعة الموجة بوحدة المتر في الثانية (m/s).

تختلف السرعة باختلاف نوع الموجات، وقد تتفاوت إلى حدّ بعيد؛ فالموجات الصوتية تنتقل بسرعة 330 m/s عبر الهواء، في حين تنتقل الموجات الضوئية بسرعة تُقارب 300 000 000 m/s عبر الهواء.

مصطلحات علمية

سرعة الموجة (v) Wave speed: المسافة التي تقطعها موجة ما في وحدة الزمن (ثانية واحدة).

الموجات والطاقة

يمكننا أيضًا التفكير في سرعة الموجة على أنها السرعة التي تنتقل بها الطاقة التي تحملها الموجة من مكان إلى آخر.

تأمّل في خلق الله تعالى للشمس التي تمدّنا بالطاقة، حيث تصل طاقتها إلينا على شكل إشعاع مكوّن من موجات ضوئية وموجات أشعّة تحت الحمراء، وهي تنتقل عبر الفراغ وتمتصّ الأرض جزءًا كبيرًا منها.

فكِّر في مكبِّر الصوت الذي يهتزّ ويسبّب اهتزاز الهواء القريب منه. تنتشر تلك الاهتزازات في الهواء كموجة صوتية، وعندما تصل إلى آذاننا تهتزّ طبلة الأذن، وتكون الطاقة بذلك قد انتقلت إلى آذاننا بواسطة الموجات الصوتية.

إذا سبق أن دفعتك موجة ما في البحر فستعرف أن موجات الماء تحمل طاقة أيضًا. من المهم أن تدرك أنه عندما تنتقل موجة ما، فإنها تحمل طاقة، وأثناء انتقال الموجة لا تنتقل المادة معها؛ إذ يمكن للمادة (الجُسيمات أو الجُزيئات) أن تنزاح إلى الأعلى وإلى الأسفل، أو جنبًا إلى جنب في الاتّجاه الذي تنتقل فيه الموجة عبر هذه المادة. إضافة إلى ذلك، يمكن لبعض الموجات (كالضوء) أن تنتقل في الفراغ، وهذا دليل آخر على أن الموجات تنقل الطاقة وليس المادة.

تذكَّر

أن الموجة تنقل الطاقة دون أن تنتقل المادّة معها.

أسئلة

١-١٢ يتشابه التمثيلان البيانيّان الموضحّان في الشكلَين ١٢-٢ و ١٢-٣، ما الفرق الأساسي بينهما؟

٢-١٢ ارسم مخطّطًا لتبيّن المقصود بسعة الموجة.

٣-١٢ كيف تحدّد طول الموجة الموضّح في الصورة ١٢-٣ (أ)؟

٤-١٢ **أ.** إذا وصلت إلى أذنك 100 موجة صوتية كلّ ثانية، فكم يبلغ تردُّدها؟

ب. ما الزمن الذي تستغرقه اهتزازة واحدة كاملة؟

الموجات المستعرضة والموجات الطولية

تمثّل التموُّجات في حوض الموجات المائية إحدى طرائق مراقبة حركة موجة ما، وتستطيع إظهار حركة الموجات بطرائق أخرى. يبيّن الشكل ١٢-٤ (أ) أنّ بإمكان زنبرك مرن مشدود أن يُظهِر حركة الموجات. ثبِّت أحد طرفَي الزنبرك، وحرّك نهاية الطرف الآخر من جانب إلى آخر، سترى موجة تنتقل على طول الزنبرك. (وقد تلاحظ أنها تنعكس أيضًا عند النقطة الثابتة في نهاية الزنبرك). يمكنك

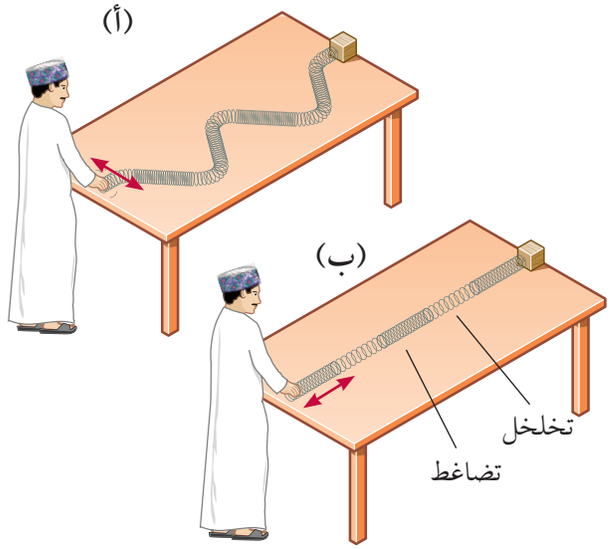
إظهار النوع نفسه من الموجات باستخدام حبل مشدود أو شريط طويل من المطّاط.

يمكن أيضًا إظهار نوع ثانٍ من الموجات باستخدام الزنبرك المرن المشدود؛ فبدلًا من أن تُحرّك نهاية الطرف الحرّ من جانب إلى آخر، حرّكه إلى الخلف وإلى الأمام كما في الشكل ١٢-٤ (ب)، فتنتقل على طول الزنبرك سلسلة من **التضاغطات Compressions**، وهي المناطق التي تكون فيها حلقات الزنبرك متضاغطة (متقاربة) معًا. في حين تتوسّط التضاغطات، مناطق تسمّى **التخلخُلات Rarefactions**، وهي المناطق التي تكون فيها حلقات الزنبرك متباعدة، لكنّ هذا النوع من الموجات لا يمكن إظهاره في الحبل.

في الموجات الطولية، يمثّل الطول الموجي المسافة بين منتصفَي تضاغطَين متتاليَين، أو منتصفَي تخلخلَين متتاليَين.

يتبيّن من الشكل ١٢-٤ أن هناك نوعَين مختلفَين من الموجات، هما:

- **الموجات المستعرضة Transverse waves**، وهي الموجات التي تتحرّك معها الجُسيمات من جانب إلى آخر، عموديًا على الاتّجاه الذي تنتقل فيه الموجة.
- **الموجات الطولية Longitudinal waves**، وهي الموجات التي تتحرّك معها الجُسيمات إلى الأمام وإلى الخلف، في نفس الاتّجاه الذي تنتقل فيه الموجة.



الشكل ١٢-٤ موجات على طول زنبرك مرن مشدود. (أ) الموجة المستعرضة. (ب) الموجة الطولية

وتُعدّ الموجات المائية مثالًا على الموجة المستعرضة، حيث تتحرّك جُزيئات الماء إلى الأعلى وإلى الأسفل أثناء انتقال الموجة أفقيًا.

أمّا الموجات الصوتية فتُعدّ مثالًا على الموجات الطولية، حيث تتحرّك جُزيئات الهواء إلى الأمام والى الخلف أثناء انتقال الموجة. سوف تتعلّم المزيد عن كيفية انتقال الموجات الصوتية في الوحدة الرابعة عشرة. يبيّن الجدول ١٢-١ أمثلة على الموجات المستعرضة والموجات الطولية.

الموجات المستعرضة	الموجات الطولية
الموجات المائية	الصوت
الضوء وجميع الموجات الكهرومغناطيسية	الموجات في الزنبرك عند التحريك إلى الأمام وإلى الخلف كما في الشكل ١٢-٤ (ب)

الجدول ١٢-١ أمثلة على الموجات المستعرضة والموجات الطولية

مصطلحات علمية

الموجة المستعرضة Transverse wave: موجة تتحرّك معها الجُسيمات من جانب إلى آخر، عموديًا على الاتّجاه الذي تنتقل فيه الموجة.

الموجة الطولية Longitudinal wave: موجة تتحرّك معها الجُسيمات في نفس الاتّجاه الذي تنتقل فيه الموجة.

نشاط ١٢-١

ملاحظة الموجات

المهارات:

- يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.
- يكوّن التنبّؤات والفرضيات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة).

تنفيذ بعض التجارب لملاحظة الموجات المستعرضة والموجات الطولية.

١ قم بشدّ زنبرك طويل «مرن» على طول طاولة، وذلك بإمساك النهاية «الحرّة»، في حين يمسك زميلك النهاية «الثابتة».

٢ حرّك الطرف الحرّ من جانب إلى آخر، كما يبدو في الشكل ١٢-٤ (أ). شاهد حركة الموجات المستعرضة على طول الزنبرك وانعكاسها عند النهاية الثابتة، حاول إرسال موجة واحدة على طول الزنبرك.

٣ حرِّك الطرف الحرّ إلى الخلف وإلى الأمام على طول الزنبرك، كما يبدو في الشكل ١٢-٤ (ب)، شاهد حركة الموجات الطولية.

٤ حاول قياس سرعة الموجات على طول الزنبرك. هل تنتقل الموجات المستعرضة والموجات الطولية بالسرعة نفسها؟

٥ اربط أحد طرفَي حبل مرن طويل بنقطة ثابتة عند نهاية المختبر. قم بشدّ الحبل، وأرسل موجات على طوله. هل يمكنك قياس سرعتها؟ هل تتغيّر سرعتها إذا جعلت الحبل مشدودًا أو مرتخيًا قليلاً؟

٦ كيف تتنبّأ أن السرعة ستتغيّر إذا جعلت الحبل مشدودًا أو مرتخيًا قليلاً؟ اختبر تنبؤاتك عن طريق تحديد سرعة الموجات المختلفة.

أسئلة

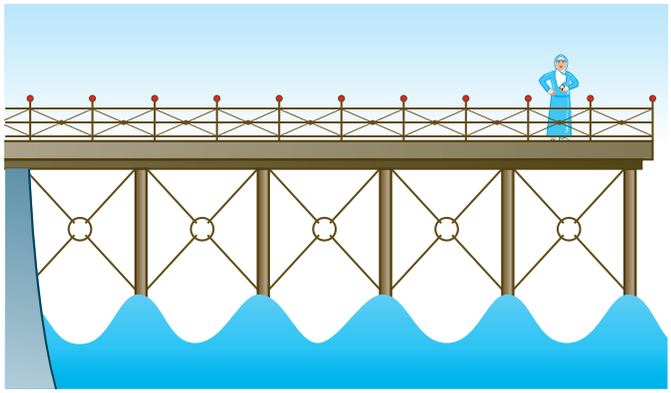
٥-١٢ صِف حركة جُزيئات الماء أثناء انتقال موجة على سطح الماء في حوض الموجات المائية.

٦-١٢ فسّر لماذا تُعدّ الموجات الصوتية موجات طولية.

٢-١٢ السرعة والتردّد وطول الموجة

ما مدى سرعة انتقال الموجات عبر سطح البحر؟ إذا كنت تقف عند نهاية مرفأ سفن طوله 60 m، ولاحظت أن خمسة أطوال موجية بالضبط تكوّنت مع طول المرفأ (الشكل ١٢-٥)، عندها يمكنك من هذه المعلومات استنتاج طول الموجة الواحدة عند قياسك زمن وصول الموجات:

$$\lambda = \frac{60}{5} = 12\ \text{m}$$



الشكل ١٢-٥ يمكنك إيجاد سرعة انتقال الموجات بقياس زمن انتقال الموجات وقياس طول موجتها

فإذا كان الفاصل الزمني بين القمم المتتالية 4.0 s، فكم تبلغ سرعة انتقال هذه الموجات؟ يعبر طول موجة واحدة 12 m في 4.0 s، وبالتالي تُحسَب سرعة الموجات (v) على النحو الآتي:

$$v = \frac{12}{4.0} = 3.0\ \text{m/s}$$

درسنا في الموضوع ١٢-١ كمّيات مختلفة للموجة: كطول الموجة، والسعة، والتردّد، والسرعة، والزمن المستغرق لإحداث اهتزازة كاملة واحدة.

ترتبط سرعة الموجة (v) بتردُّدها (f) وبطول موجتها (λ). ويمكننا كتابة العلاقة بالمعادلة الآتية:

السرعة (m/s) = التردُّد (Hz) × طول الموجة (m)

$$v = f\lambda$$

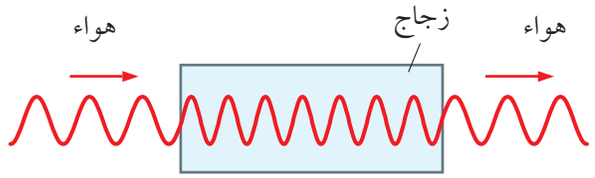
هناك طريقة أخرى للتفكير في هذا، وهي القول بأن السرعة تمثّل عدد الموجات التي تعبر نقطة ما في الثانية مضروبًا في طول الموجة. فإذا عبرت 100 موجة في كل ثانية (f = 100 Hz)، وطول الموجة 4.0 m (λ = 4.0 m)، فستكون سرعة الموجات 400 m/s، وهذا يعني أن الموجات تقطع مسافة 400 متر في الثانية.

تذكّر

أن الهيرتز الواحد = موجة واحدة لكلّ ثانية.

تغيير الوسط يغيِّر السرعة

عندما تنتقل الموجات من وسط مادّي إلى آخر تتغيّر سرعتها، إذ ينتقل الضوء ببطء في الزجاج أكثر من انتقاله في الهواء. وينتقل الصوت في الفولاذ أسرع من انتقاله في الهواء، وعندما يحدث هذا، فإن تردُّد الموجات يبقى دون تغيير. ونتيجة لذلك، لا بدّ من تغيُّر طول الموجة. يبيّن الشكل ١٢-٦ رسمًا تخطيطيًّا لانتقال موجات الضوء بسرعة أكبر عبر الهواء، وعندما تدخل الزجاج تُبطئ، ويقصر طول موجتها. وعندما تغادر الزجاج مرّة أخرى، تعود إلى سرعتها، فيزداد طول موجتها مرّة أخرى.



الشكل ١٢-٦ يتغيّر طول الموجة للموجات عندما تتغيّر سرعتها، في حين يبقى تردُّدها ثابتًا

مثال ١٢-١

تبثّ محطّة راديو FM إشارات طول موجتها (3.0 m) بتردُّد (100 MHz). فكم تبلغ سرعتها؟

الخطوة ١: ابدأ بكتابة ما تعرفه، ثم ما تريد أن تعرفه.

التردُّد: $f = 100\ \text{MHz} = 100\,000\,000\ \text{Hz} = 10^8\ \text{Hz}$

طول الموجة: $\lambda = 3.0\ \text{m}$

السرعة: $v = ?$

الخطوة ٢: اكتب معادلة سرعة الموجة وعوّض القيَم فيها.

$$v = f\lambda$$
$$= 10^8 \times 3.0$$
$$v = 3 \times 10^8\ \text{m/s}$$

إذن تنتقل موجات الراديو في الهواء بسرعة $3 \times 10^8\ \text{m/s}$ وهي سرعة الضوء التي تنتقل بها جميع الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ.

مثال ١٢-٢

يعزف عازف البيانو على النغمة دو الوسطى (C) التي يبلغ تردُّدها (256 Hz). فكم يبلغ طول موجة الموجات الصوتية الصادرة؟ (سرعة الصوت في الهواء = 330 m/s).

الخطوة ١: ابدأ بكتابة ما تعرفه، ثم ما تريد أن تعرفه.

التردُّد: $f = 256\ \text{Hz}$

السرعة: $v = 330\ \text{m/s}$

طول الموجة: $\lambda = ?$

الخطوة ٢: اكتب معادلة سرعة الموجة، وأعد ترتيبها لحساب طول الموجة λ.

$$v = f\lambda$$
$$\lambda = \frac{v}{f}$$

الخطوة ٣: عوّض القيَم فيها وأوجد الإجابة.

$$\lambda = \frac{330}{256} = 1.29\ \text{m}$$

إذن طول الموجة لنغمة دو الوسطى (C) في الهواء يساوي 1.29 m.

أسئلة

١٢-٧ اكتب معادلة تربط بين سرعة الموجة وتردُّدها وطول موجتها. حدّد وحدات قياس كلّ كمّية في النظام الدولي للوحدات (SI).

١٢-٨ إذا عبرت 10 موجات نقطة ما في الثانية، وكان طول موجتها (30 m)، فكم تبلغ سرعتها؟

١٢-٩ تنتقل جميع الموجات الصوتية بالسرعة نفسها في الهواء. أيُّهما تردُّدها أعلى: موجة صوتية طول موجتها (15.0 cm) أم موجة صوتية طول موجتها (1.0 m)؟

١٢-١٠ أيّ موجة راديو لها أطول طول موجة في الهواء: التي يبلغ تردُّدها (90 MHz) أم التي يبلغ تردُّدها (100 MHz)؟

١٢-١١ يتباطأ الضوء عندما ينتقل من الهواء إلى الماء.

أ. ماذا يحدث لسرعة الضوء؟

ب. ماذا يحدث لطول موجة الضوء؟

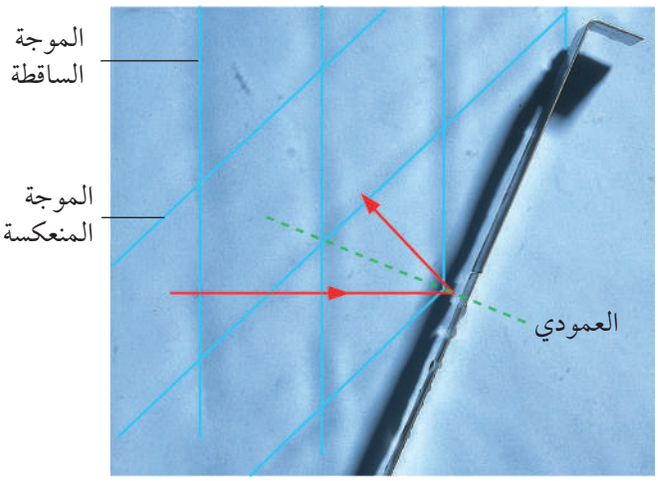
ج. ماذا يحدث لتردُّد الضوء؟

١٢-٣ الظواهر المرتبطة بالموجات

إذا نظرنا إلى الموجات المنتقلة عبر سطح الماء في حوض الموجات المائية، يمكننا معرفة سبب قول الفيزيائيين إنّ الضوء يسلك عند انتقاله كما لو كان شكلًا من أشكال الموجات، وتكون الموجات في حوض الموجات المائية أكثر انتظامًا من موجات البحر، لذلك تُعدّ نموذجًا جيّدًا لدراسة الموجات. يمكن استخدام حوض الموجات المائية لإظهار الانعكاس، والانكسار، والحيود.

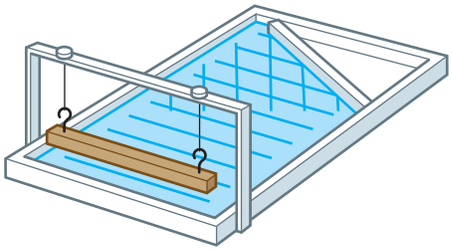
انعكاس الموجة

تبيّن الصورة ١٢-٤ والشكل ١٢-٧ ما يحدث عندما يوضع حاجز فلزّي مستوٍ في حوض الموجات المائية؛ حيث تبيّن الصورة ١٢-٤ نمط الموجات المتكوّنة، ويبيّن الشكل ١٢-٧ كيفية تشكُّل تلك الموجات. تنعكس الموجات المستقيمة (الموجات المستوية) عند اصطدامها بالحاجز. حيث يعمل الحاجز الفلزّي عمل المرآة، فترتدّ عنه الموجات. كما يتبيّن من ذلك أمر مهمّ عن كيفية سلوك الموجات؛ فهي تعبر بعضها عندما تتقاطع.

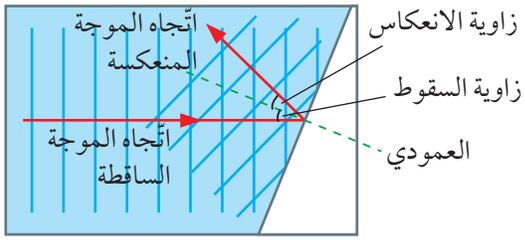


الصورة ١٢-٤ انعكاس الموجات المستقيمة (المستوية) بواسطة حاجز فلزّي مستوٍ. يلاحَظ في هذا النمط المتقاطع من القمم أن الموجات المنعكِسة تعبر الموجات الساقطة على الحاجز

(أ)



(ب)



الشكل ١٢-٧ (أ) تكوُّن الموجات المنعكسة نتيجة وجود حاجز مستوٍ في حوض الموجات المائية. (ب) تُبيّن الأسهم كيف يتغيّر اتّجاه انتقال الموجات عندما تنعكس عن الحاجز، حيث تتساوى زاويتا السقوط والانعكاس، تمامًا كما في قانون انعكاس الضوء

تُمثّل الخطوط الزرقاء في الشكل ١٢-٧ (ب) قمم الموجات. تُعرف هذه الخطوط باسم **جبهات الموجة Wavefronts**، ويساوي الفاصل بين جبهتَي موجتَين متتاليتَين طول الموجة للموجات.

انظر مرّة أخرى إلى الصورة ١٢-٣ (أ) و (ب). يمكن وصف هذه الأنماط الآن على أنها أنماط لجبهات الموجة. يمكنك التفكير في جبهة الموجة كخطّ يوضّح موضع قمّة الموجة. توضّح الأسهم الحمراء المبيّنة على تلك الصور اتّجاه حركة جبهات الموجة. لاحظ كيف تكون الأسهم دائمًا بزاوية 90° على جبهات الموجة.

يبيّن الشكل ١٢-٧ (ب) اتجاه انتقال الموجات (الأسهم الحمراء) للإشارة إلى الطريقة التي يتغيّر فيها اتّجاه انتقال الموجات. يجب أن يذكّرك هذا الشكل بالرسم التخطيطي لقانون انعكاس الضوء الذي درسته في الوحدة الثانية عشرة من الصف التاسع، حيث تنعكس الموجات بواسطة الحاجز، بحيث تتساوى زاويتا السقوط والانعكاس.

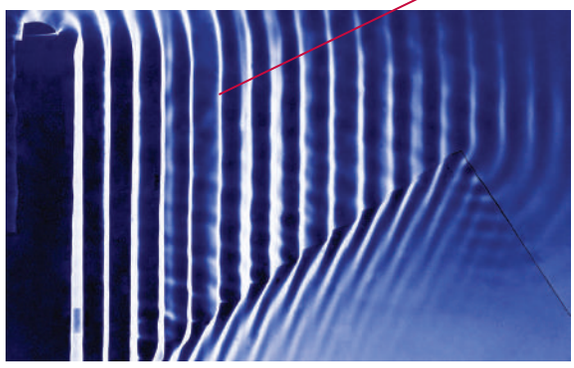
مصطلحات علمية

جبهات الموجة Wavefronts: خطّ يربط بين جميع النقاط على قمم الموجات للموجة نفسها.

انكسار الموجة

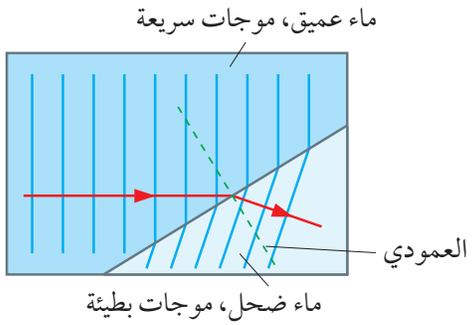
يحدث الانكسار عندما تتغيّر سرعة الضوء، كما وُصِف في الصف التاسع (الوحدة الثالثة عشرة). يمكننا أن نرى نفس التأثير للموجات في حوض الموجات المائية (الصورة ١٢-٥ والشكل ١٢-٨)، حيث غُمِر لوح زجاجي في الماء لجعل الماء أكثر ضحالة في هذا الجزء من الحوض، فتتحرّك الموجات هناك بشكل أبطأ لأن السطح العلوي للوح الزجاج المغمور يعرقل حركتها.

يمكنك أن ترى في الصورة ١٢-٥ أن هذه الموجات متأخّرة عن الموجات الأسرع في الماء الأعمق، وأنّ اتّجاه انتقالها قد تغيّر. يبيّن الشكل ١٢-٨ التأثير نفسه، ولكن كمخطّط لجبهة الموجة؛ فالموجات في الماء العميق تتحرّك بشكل أسرع، وتتقدّم بسرعة ثابتة إلى الأمام، في حين تتحرّك الموجات في الماء الضحل بشكل أبطأ.



الصورة ١٢-٥ انكسار الموجات المستوية بواسطة لوح زجاجي مستوٍ في حوض الموجات المائية. يجعل اللوح الزجاجي المغمور الماء أكثر ضحالة فتتحرّك الموجات في تلك المنطقة ببطء أكثر، بحيث تتأخّر عن الموجات في الماء الأعمق

تبيّن الأشعّة (الأسهم الحمراء) الموضّحة في الشكل ١٢-٨ الاتّجاه الذي تنتقل فيه الموجات، وتكون دائمًا متعامدة على جبهات الموجة. وهذا يؤكّد الآليّة التي تنحرف فيها الموجات بحيث يكون اتّجاه انتقالها أقرب إلى العمودي لأنها تبطئ، تمامًا كما رأينا في انكسار الضوء في الوحدة الثالثة عشرة في الصف التاسع.



الشكل ١٢-٨ يبيّن مخطّطًا لجبهات الموجة المبيّن في الصورة ١٢-٥. وتُظهِر الأشعّة أن الشعاع المُنكسِر أقرب إلى العمودي، تمامًا كما يحدث عندما يتباطأ الضوء عند دخوله الزجاج

تذكّر

تُرسَم الأشعّة دائمًا متعامدة على جبهات الموجة.

نشاط ١٢-٢

حوض الموجات المائية

المهارات:

- يرسم الأشكال التخطيطيّة للجهاز ويسمّي أجزاءه.

لاحظ انعكاس الموجات وانكسارها في حوض الموجات المائية. ارسم حوض الموجات الذي استخدمته وسمِّ أجزاءه.

أسئلة

١٢-١٢ ارسم مخطّطًا لتوضيح ما يحدث للموجات المستوية عندما تصطدم بحاجز مستوٍ موضوع بحيث يصنع زاوية مقدارها (45°) مع اتّجاه انتقالها.

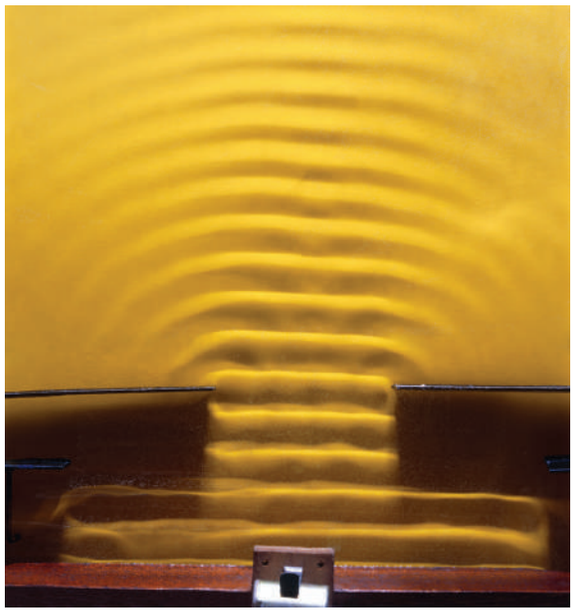
١٢-١٣ كيف يمكن تغيير سرعة الموجات في حوض الموجات المائية؟

حيود الموجات

يمكننا أن نرى ظاهرة مثيرة للاهتمام، عندما ننظر إلى سلوك الموجات وهي تمرّ عبر فجوة في حاجز. توضّح الصورة ١٢-٦ ما يحدث، إذ تحيد (تنحرف) الموجات عند عبورها فجوة في حاجز، وتنتشر الموجات في جميع الاتّجاهات، في الحيّز الذي يقع وراء الحاجز. وهذا مثال على ظاهرة تسمّى **الحيود Diffraction**.

(أ)

(ب)



الصورة ١٢-٦ تحيد الموجات أثناء عبورها فجوة في حاجز، وتنتشر في جميع الاتّجاهات في الحيّز الذي يقع وراء الحاجز. يكون التأثير أكبر في الحالة (أ) عمّا هو عليه في الحالة (ب)، لأن الفجوة أضيق في (أ)

قد تلاحظ حيود موجات الماء في الميناء، حيث تعبر الموجات مدخل الميناء وتنتشر حول الزوايا، عندئذ تهتزّ القوارب إلى الأعلى وإلى الأسفل على الموجات أثناء حيودها.

تحيد الموجات الصوتية بسهولة عند حواف الأبواب والنوافذ؛ فسماع الأصوات بين الغرف المجاورة يعتمد على ظاهرة الحيود. وهذا يدعم فكرة انتقال الصوت كموجة.

تحيد موجات الضوء أيضًا عندما تمرّ عبر فجوات صغيرة جدًّا. وقد تلاحظ أن مصابيح الشوارع ومصابيح السيّارات الأمامية تبدو محاطةً بـ «هالة» من الضوء في الليالي الضبابية. وسبب ذلك أنّ الضوء يحيد بواسطة قطرات الماء الصغيرة في الهواء. يمكن رؤية التأثير نفسه في بعض الأحيان حول الشمس خلال النهار (انظر الصورة ١٢-٧).

الصورة ١٢-٧ يحيد ضوء الشمس أثناء عبوره الهواء الضبابي (الممتلئ بقطرات صغيرة من الماء)، فترتسم حوله هالة من الضوء

مصطلحات علمية

الحيود Diffraction: انحراف الموجات عن اتّجاه انتشارها الأصلي عند عبورها فجوة صغيرة أو اصطدامها بحافة حاجز.

سؤال

١٤-١٢ ماذا تلاحظ عندما تعبر الموجات فجوة صغيرة في حاجز ما؟

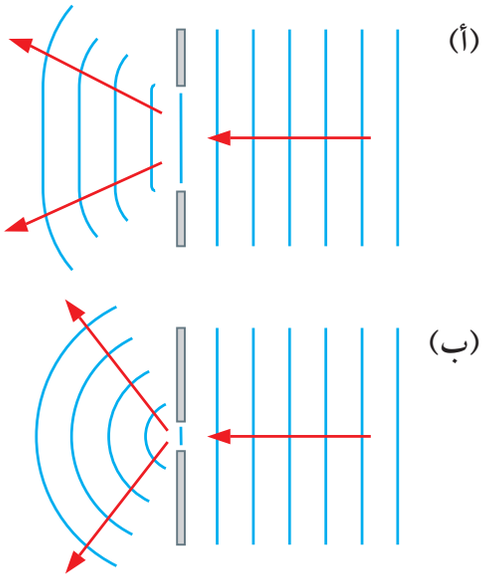
الحيود أكبر أم أقلّ؟

تحيد الموجات عندما تعبر فجوة أو تصطدم بحافة حاجز ما، ويكون التأثير أكبر عندما يكون عرض الفجوة مماثلًا لطول الموجة أو يكون أقلّ منه (الشكل ١٢-٩).

تتراوح الأطوال الموجية للموجات الصوتية ما بين 10 mm و 10 m. وهذا هو سبب حيودها لدى عبورها الأبواب والنوافذ. في حين أن الموجات الضوئية لها أطوال موجية أقصر من ذلك بكثير؛ فهي أقلّ من جزء من مليون من المتر. وهذا هو سبب الحاجة إلى أن تكون الفجوات صغيرة جدًّا لرؤية حيود الضوء.

يمكننا شرح الحيود على النحو الآتي: عند وصول الموجات إلى الفجوة في الحاجز، يتحرّك الماء على حافة الفجوة إلى الأعلى وإلى الأسفل. وهذا يؤدّي إلى تكوّن موجات دائرية جديدة، تنتشر خلف الحاجز.

فإذا نظرت إلى حيود الموجات في الشكل ١٢-٩، فسترى أن الجزء المركزي من الموجة لا يزال مستقيمًا بعد أن يعبر الفجوة. لكن عند الحواف يكون للموجات شكل قوس دائري.



الشكل ١٢-٩ يكون الحيود أكبر عندما يكون عرض الفجوة مماثِلًا لطول الموجة للموجات التي تحيد، أو أصغر منه

تذكّر

أن الموجات تحيد أكثر عندما يكون عرض الفجوة مماثِلًا لطول الموجة للموجات أو أصغر منه.

أسئلة

١٥-١٢ كيف يجب أن يكون عرض الفجوة للحصول على حيود أكبر؟

١٦-١٢ ارسم مخطّطًا لتوضّح كيف تتغيّر سلسلة من جبهات الموجة المتوازية والمستقيمة لدى عبورها فجوة عرضها مساوٍ لطول موجتها.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- الموجات تنقل الطاقة دون نقل المادة.
- الموجات التي تنتقل عبر سطح الماء أو حبل أو زنبرك مشدود.
- سعة الاهتزازات لحركة الموجة.
- الموجات تكون مستعرضة أو طولية.
- العلاقة بين السرعة والتردُّد وطول الموجة.
- انعكاس الموجات وانكسارها.
- الانكسار يحدث لدى تغيُّر سرعة الموجة عند الحدّ الفاصل بين وسطين مختلفين.
- نموذج الموجة وجبهات الموجة يستخدمان لشرح الانعكاس والانكسار.
- الموجات تخضع للحيود.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أكمل الجملة الآتية باستخدام المفردات المناسبة.

تنقل جميع الموجات ..... دون نقل ..... .

٢ هناك نوعان مختلفان من الموجات، هما: الموجات المستعرضة والموجات الطولية.

أ. ١. ما المقصود بالموجة المستعرضة؟

٢. أعط مثالًا واحدًا على موجة مستعرضة.

ب. ١. ما المقصود بالموجة الطولية؟

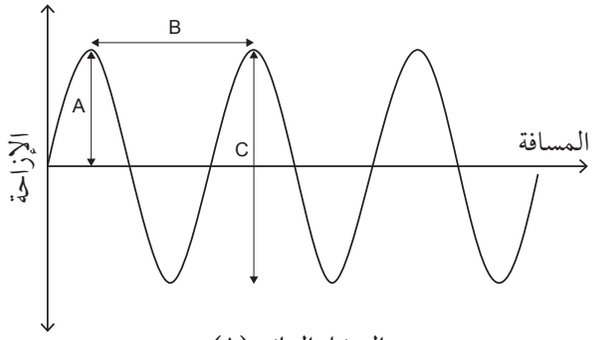
٢. أعط مثالًا واحدًا على موجة طولية.

ج. تمّ شد زنبرك طويل على الأرضية. رُبِط أحد طرفَي الزنبرك بجدار في حين أمسك طالب الطرف الآخر منه. صِف باستخدام مخطّط بسيط، ما يجب على الطالب فعله لتكوين:

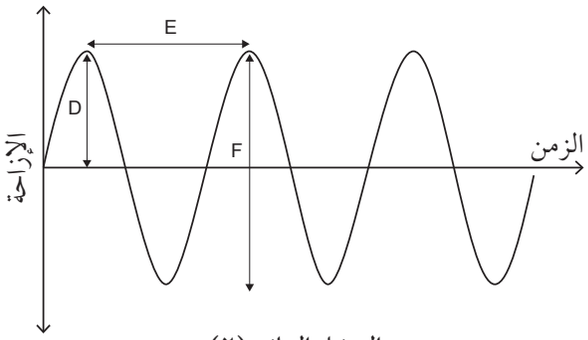
١. موجة مستعرضة في الزنبرك.

٢. موجة طولية في الزنبرك.

٣ يوضّح التمثيلان البيانيّان (١ و ٢) حركة موجة على سطح الماء، إذ يبيّن التمثيل البياني (١) إزاحة جُسيمات الماء مع المسافة على طول مسار الموجة، في حين يبيّن التمثيل البياني (٢) إزاحة جُسيم واحد مع الزمن.



التمثيل البياني (١)



التمثيل البياني (٢)

اكتب الحرف الذي يمثّل:

أ. طول الموجة.

ب. السعة.

ج. الزمن المستغرق لإحداث اهتزازة واحدة كاملة.

٤ **أ.** اكتب بالرموز المعادلة التي تربط سرعة الموجة بتردُّدها وطول موجتها.

ب. ما المقصود بالتردُّد؟

ج. احسب كلًّا من الكمّيات الآتية، مع ذكر وحدة القياس الصحيحة في إجابتك:

١. سرعة موجة في زنبرك تردُّدها (2.0 Hz) وطولها (0.45 m).

٢. تردُّد موجة مائية سرعتها (15 m/s) وطولها (60 m).

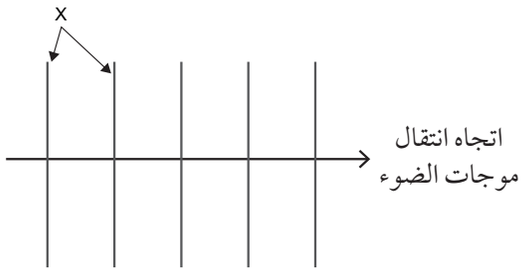
٣. طول موجة ضوئية سرعتها (3.0×10^8 m/s) وتردُّدها (5.0×10^{14} Hz).

٥ ينكسر الضوء عندما يعبر من الهواء إلى الزجاج .

أ. اذكر خاصّية الموجة التي تتغيّر لتُسبِّب الانكسار.

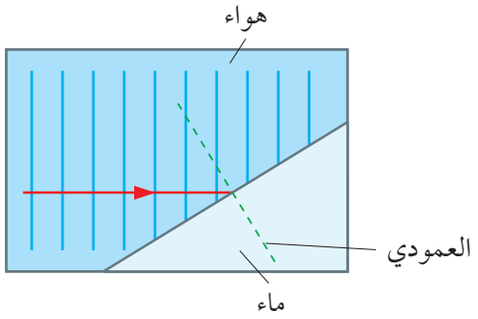
ب. اذكر خاصّية الموجة التي لا تتغيّر عند الانكسار.

٦ يبيّن المخطّط أدناه طريقة لتمثيل موجات الضوء.

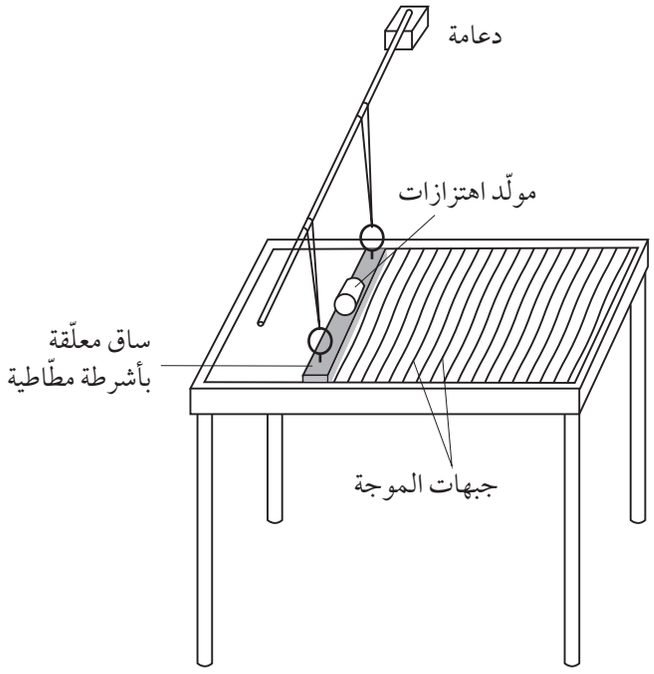


أ. علامَ يدلّ الرمز X الموضّح في المخطّط؟

ب. انسخ المخطّط أدناه وأكمله لتوضِّح آليّة انكسار الضوء عند الحدّ الفاصل بين الهواء والماء حين تتناقص سرعة الموجة.



٧ يبيّن المخطّط أدناه موجات الماء الناتجة في حوض الموجات المائية.



أ. صِف كيف يُستخدَم الحوض للحصول على أقصى حيود لموجات الماء.

ب. ارسم مخطّطًا مع تسميته لتُبيّن النمط الذي تتوقّع رؤيته عند حيود موجات الماء، وارسم الموجات كما تُشاهَد من الأعلى. ليس مطلوبًا منك رسم حوض الموجات المائية كاملًا.

الوحدة الثالثة عشرة

الطيف الكهرومغناطيسي The Electromagnetic Spectrum

تُغطّي هذه الوحدة:

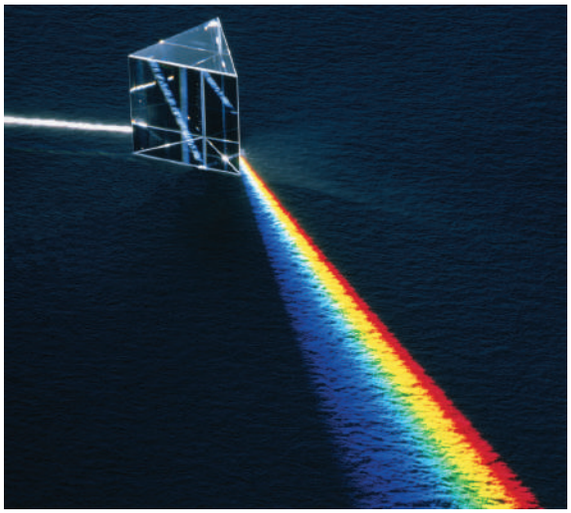
- وصف الخصائص الرئيسية لمناطق الطيف الكهرومغناطيسي.
- استخدامات الموجات الكهرومغناطيسية ومخاطرها.
- سرعة الموجات الكهرومغناطيسية.

١٣-١ الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجية

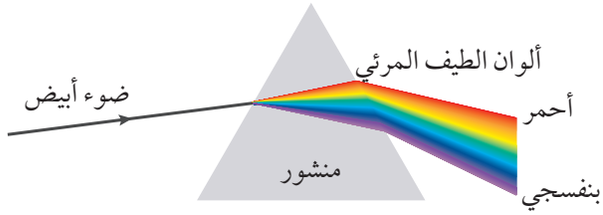
عندما يمرّ الضوء الأبيض عبر منشور، فإنه يتشتّت إلى طيف Spectrum من الألوان (الصورة ١٣-١)، وألوان الطيف السبعة هي:

أحمر، برتقالي، أصفر، أخضر، أزرق، نيلي، بنفسجي.

ما الذي يحدث في المنشور لإنتاج الطيف؟ عندما ينتقل الضوء الأبيض من الهواء إلى المنشور، فإن سرعته تقلّ، فينكسر ويتغيّر اتّجاهه، وينكسر كل لون بمقدار مختلف عن الآخر (الشكل ١٣-١)، حيث تقلّ سرعة الضوء البنفسجي أكثر من سواه، وبالتالي يكون انكساره أكثر، في حين يكون انكسار الضوء الأحمر أقلّ من باقي ألوان الطيف.



الصورة ١٣-١ يتمّ إنتاج الطيف المرئي من خلال تسليط شعاع من الضوء الأبيض على منشور زجاجي، فينكسر الضوء الأبيض ويَنتج طيف من الألوان



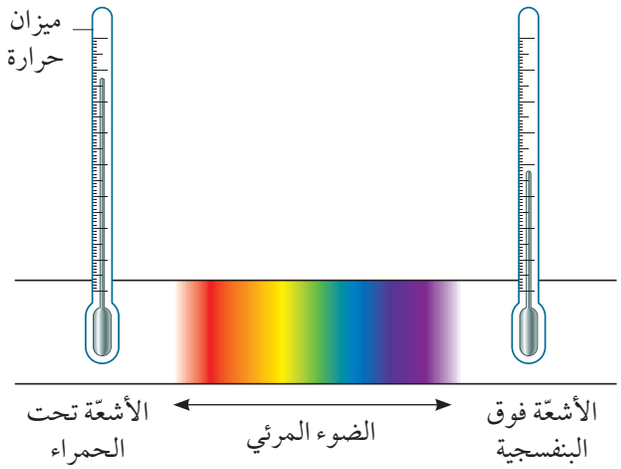
الشكل ١٣-١ ينكسر الضوء البنفسجي أكثر من الضوء الأحمر عند عبوره منشور

سؤال

١٣-١ لماذا تنكسر بعض ألوان الطيف المرئي أكثر من سواها عندما تدخل الزجاج؟

ما بعد اللون الأحمر

في عام 1799 م، كان عالِم الفلك الألماني ويليام هيرشل William Herschel يُعاين طيف الضوء القادم من الشمس، فسلّط ضوء الشمس عبر منشور لإنتاج طيف، ووضع ميزان حرارة في نقاط مختلفة من الطيف، فارتفعت القراءة على ميزان الحرارة؛ لأن الأجسام تصبح دافئة عندما تمتصّ الضوء. لاحظ هيرشل تأثيرًا مثيرًا للاهتمام هو أن قراءة ميزان الحرارة تزداد كلّما تحرّك نحو طرف اللون الأحمر للطيف، فماذا سيحدث عند وضع ميزان الحرارة إلى ما بعد نهاية الطيف؟ دُهِش هيرشل عندما وجد أن قراءة ميزان الحرارة لا تزال مستمرة في الارتفاع. لم يكن هناك ما يمكن رؤيته بعد اللون الأحمر كما في الشكل ١٣-٢، ولكن بالتأكيد كان هناك شيء ما؛ فبعد اللون الأحمر بقليل، ظلّ الزئبق مرتفعًا في ميزان الحرارة إلى الأعلى. وبعد ذلك بقليل بدأ الزئبق بالانخفاض.



الشكل ١٣-٢ يتضمّن الطيف القادم من الشمس الأشعّة تحت الحمراء، والضوء المرئي، والأشعّة فوق البنفسجية، بالإضافة إلى أنواع أخرى من الأشعّة

اكتشف هيرشل إشعاعًا غيرَ مرئيٍّ من الطيف القادم من الشمس، سمّاه **الأشعّة تحت الحمراء Infrared radiation**. يمكنك تجربة الأشعّة تحت الحمراء باستخدام غلّاية تمّ غلي الماء فيها للتوّ. قرّب ظهر يدك من الغلّاية، مع الحذر من ملامستها. سوف تشعر بدفء الغلّاية عندما يمتصّه جلدك؛ لأن الأشعّة تحت الحمراء تنبعث من الغلّاية. (يُطلق على هذه الأشعّة أحيانًا، كما هو موضّح في الوحدة التاسعة من الصف التاسع، اسم «الإشعاع الحراري»، وهو الذي يمثّل «الأشعّة تحت الحمراء»).

ليس مستغربًا معرفتنا بأننا نتلقّى طاقة حرارية (إشعاعًا حراريًا) من الشمس. ولكن ما هو مستغرب أن هذا الإشعاع يسلك سلوكًا مُشابِهًا للضوء. فيبدو كما لو أنه كان امتدادًا لطيف الضوء المرئي.

مصطلحات علمية

الأشعّة تحت الحمراء Infrared radiation: الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يلي الضوء الأحمر ويكون طول موجته أكبر من طول موجة الضوء المرئي. ويُعرف أحيانًا باسم الإشعاع الحراري.

ما بعد اللون البنفسجي

أسهم اكتشاف الإشعاع بعد اللون الأحمر للطيف المرئي في النظر إلى ما بعد اللون البنفسجي للطيف المرئي؛ فقد استخدم العالِم الألماني يوهان ريتر Johan Ritter عام 1801 م كلوريد الفضّة للبحث عن الأشعّة غير المرئية؛ لأنّ أملاح الفضّة تسوَدّ عند التعرُّض لأشعّة الشمس (هكذا تعمل أفلام التصوير الفوتوغرافي). لذلك سلّط طيفًا من ضوء الشمس على ورقة منقوعة في محلول كلوريد الفضّة، فأصبحت الورقة سوداء. دُهش يوهان عندما شاهد أن التأثير كان أقوى بعد نهاية اللون البنفسجي لنطاق الطيف المرئي. وبهذا اكتشف يوهان امتدادًا آخر للطيف المرئي، أصبح يُسمّى **الأشعّة فوق البنفسجية Ultraviolet radiation**. وبالرغم من أن أعيننا لا تستطيع الكشف عن الأشعّة فوق البنفسجية، فإنّ فيلم التصوير الحسّاس يستطيع الكشف عنها.

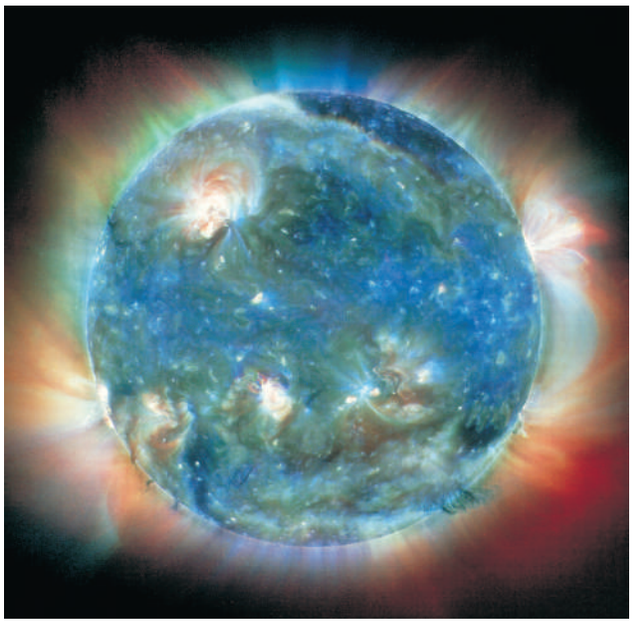
تمّ اكتشاف كلّ من الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجية من خلال طيف الضوء القادم من الشمس، لكن ليس من الضروري أن يكون مصدر هذه الأشعة هو الشمس. تخيّل قطعة من الحديد تسخّنها على لهب بنزن، ستظهر في البداية داكنة وسوداء، ولكن حين إبعادها عن اللهب تنبعث منها أشعّة تحت الحمراء. عند وضعها مرّة أخرى على اللهب وتسخينها أكثر سوف تتوهّج بداية باللون الأحمر الباهت، ثم تتوهّج أكثر باللون الأصفر؛ لتصبح في النهاية بلون أبيض، إذ ينبعث منها عندئذ ضوء مرئي. وعندما تصل درجة حرارتها إلى حوالي 1000 °C، تنبعث منها كمّيات كبيرة من الأشعّة فوق البنفسجية.

يجب أن توحي لك هذه التجربة بوجود علاقة تربط بين الأشعّة تحت الحمراء والطيف المرئي والأشعّة فوق البنفسجية.

مصطلحات علمية

الأشعّة فوق البنفسجية Ultraviolet radiation: الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يلي الضوء البنفسجي ويكون تردّده أعلى من تردّد الضوء المرئي.

الشمس جسم ساخن جدًّا (الصورة ١٣-٢)، إذ تبلغ درجة حرارة سطحها حوالي 6000 °C، لذلك تُصدِر الكثير من الأشعّة فوق البنفسجية. ومن رحمة الله تعالى علينا أنّ معظم هذه الأشعّة يمتصّها الغلاف الجوّي، لا سيما طبقة الأوزون. ولا يصلنا سوى كمّية صغيرة من هذه الأشعّة، وعندما تقلّ سماكة طبقة الأوزون بسبب التلوث الناتج من النشاط البشري، فإن كمّية الإشعاعات المنبعثة تزداد. ولا شكّ في أن تعرُّضنا المتزايد للأشعّة فوق البنفسجية يثير مخاوفنا، لأنه يزيد من خطر الإصابة بسرطان الجلد.



الصورة ١٣-٢ التقط القمر الاصطناعي سوهو (SOHO) صورة للشمس، وتمّ اكتشاف الأشعّة فوق البنفسجية المنبعثة من الشمس. يمكنك أن ترى بعض التفاصيل عن سطح الشمس، بما في ذلك شواظ شمسية عملاقة (Giant prominences) تنبعث من الشمس على شكل حلقات في الفضاء. تُشير الألوان المختلفة إلى اختلافات في درجة حرارة سطح الشمس من منطقة إلى أخرى

نشاط ١٣-١ (إثرائي)

رؤية الأشعّة تحت الحمراء

الأشعّة تحت الحمراء لا تراها أعيننا. ولكن قد يكون لديك كاميرا يمكنها الكشف عنها.

١٣-٢ الموجات الكهرومغناطيسية

سبق أن رأينا في الموضوع ١٣-١ أن الطيف المرئي يتشكّل عندما يعبر ضوء الشمس من خلال منشور؛ لأن بعض الألوان تنكسر أكثر من سواها مثل اللون البنفسجي. ويمكننا أن نستنتج أن الأشعّة فوق البنفسجية تنكسر أكثر من الضوء البنفسجي، وأنّ الأشعّة تحت الحمراء تنكسر أقلّ من الضوء الأحمر.

تمكّن الفيزيائيون من شرح الطيف وخصائص الضوء الأخرى، إذ قام عالِم الفيزياء الاسكتلندي جيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell عام 1860 م، بتوضيح أن الضوء هو في الواقع اهتزازات صغيرة للمجالَين الكهربائي والمغناطيسي، أو موجات كهرومغناطيسية. وقد أتاحت له نظريته هذه توقُّع أن يكون لكل من هذه الموجات قيمة للتردُّد، أي أنّه فضلًا عن مناطق الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجية من الطيف، لا بدّ من أن يكون هناك أكثر من نوع من الموجات الكهرومغناطيسية (أو الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic radiation).

في بداية القرن العشرين، اكتشف الفيزيائيون عدّة أنواع من الموجات الكهرومغناطيسية من مصادر طبيعية، كما تمّ إنتاج عدّة أنواع اصطناعية من الموجات في المختبرات لإكمال **الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum**. توقّع ماكسويل أن جميع الموجات الكهرومغناطيسية تنتقل بالسرعة نفسها عبر الفراغ، وهي سرعة الضوء التي تساوي 300 000 000 m/s تقريبًا.

مصطلحات علمية

الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum: نطاق من الأشعّة الكهرومغناطيسية تختلف من حيث التردُّد والطول الموجي، وتمتدّ من موجات الراديو إلى أشعّة جاما.

سرعة الموجات الكهرومغناطيسية

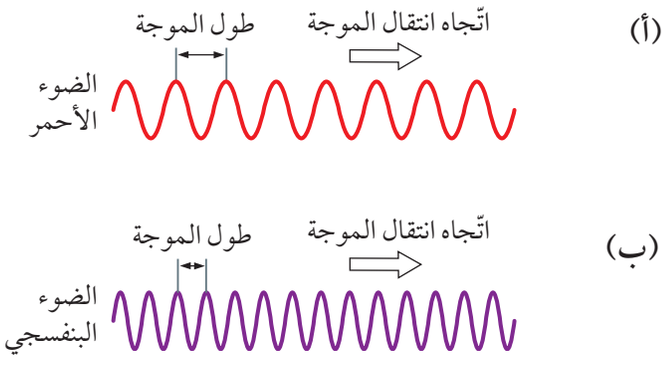
تشترك جميع أنواع الموجات الكهرومغناطيسية بأنّها تنتقل بالسرعة نفسها في الفراغ؛ أي تنتقل بسرعة الضوء التي تقارب قيمتها 3×10^8 m/s، وتعتمد سرعة انتقال الموجات الكهرومغناطيسية، مثل الضوء على المادة التي تنتقل عبرها؛ فهي تنتقل بشكل أسرع عبر الفراغ، وأبطأ قليلًا في الهواء. ولمّا كانت السرعتان متقاربتَين كثيرًا، فيمكن اعتبارهما سرعة واحدة في العمليات الحسابية.

تذكّر

أن سرعة الضوء في الفراغ تساوي 3×10^8 m/s تقريبًا وينتقل الضوء والأنواع الأخرى من الإشعاع الكهرومغناطيسي بشكل أبطأ في المواد الأخرى.

طول الموجة والتردُّد

يُعدّ الضوء موجة مستعرضة، التي سبق ذكرها في الوحدة الثانية عشرة. يُقارن الشكل ١٣-٣ الضوء الأحمر بالضوء البنفسجي؛ فالضوء الأحمر له طول موجة أكبر من طول موجة الضوء البنفسجي، أي أن هناك مسافة أكبر من إحدى قمم الموجة إلى القمة التي تليها. ومع أنّ الضوء الأحمر والضوء البنفسجي ينتقلان بالسرعة نفسها (كما توقّع ماكسويل)، فإنّ الضوء البنفسجي له تردُّد أكبر، أي أن عدد الموجات للضوء البنفسجي أكثر من عدد الموجات للضوء الأحمر، ضمن نفس المسافة المقطوعة.



الشكل ١٣-٣ شكل تخطيطي للمقارنة بين موجات الضوء الأحمر وموجات الضوء البنفسجي. كلتاهما تنتقل بالسرعة نفسها، لكن لكل منهما طول موجة مختلف؛ فطول موجة الضوء الأحمر أكبر وتردُّده أقلّ من الضوء البنفسجي

تتميّز الموجات التي يتكوّن منها الضوء المرئي بتردُّدات عالية جدًّا تفوق مئة مليون مليون هرتز، أو 10^{14} Hz، في حين أن طول موجتها صغير جدًّا، تتراوح بين 400 nm للضوء البنفسجي و 700 nm للضوء الأحمر؛ (واحد نانومتر (1 nm)) هو واحد من المليار (واحد من ألف مليون، $\frac{1}{1000000000}$) من المتر، لذلك $400\ nm = 400 \times 10^{-9}\ m$). يعني ذلك أنّ حزمة من الضوء بطول متر واحد تحتوي على أكثر من مليون طول موجة من الضوء المرئي.

يبيّن الشكل ١٣-٤ الطيف الكهرومغناطيسي، مع الأطوال الموجية والتردُّدات لكل منطقة، لا يمكننا تحديد نهاية كل منطقة وبداية المنطقة التي تليها بدقّة؛ لأن الطيف المرئي هو نطاق مستمرّ (متواصل) من دون فواصل.

أسئلة

٢-١٣ انظر إلى الطيف المبيّن في الشكل ١٣-٤.

أ. أيُّ الموجات لها أقصر طول موجة؟

ب. أيُّ الموجات لها أدنى تردُّد؟

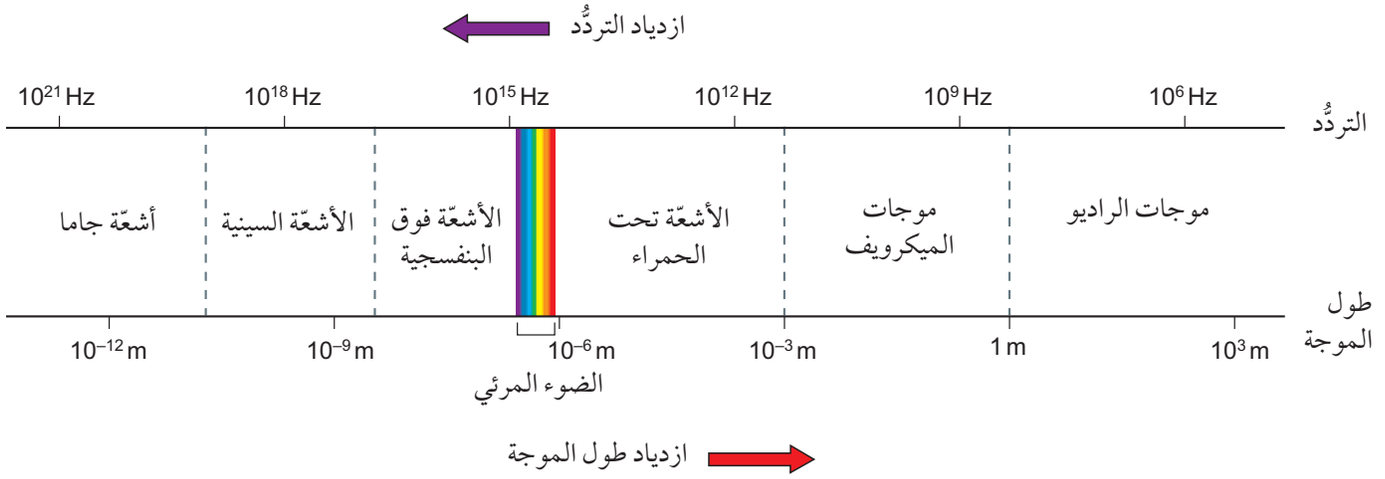
٣-١٣ أ. أيُّهما ينتقل أسرع في الفراغ: الضوء البنفسجي أم الضوء الأحمر؟

ب. أيُّهما ينتقل أسرع في الزجاج: الضوء البنفسجي أم الضوء الأحمر؟

استخدامات الموجات الكهرومغناطيسية

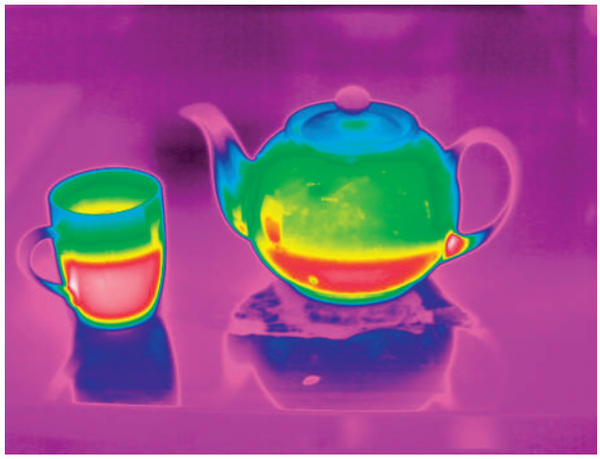
هناك استخدامات كثيرة لموجات الطيف الكهرومغناطيسي وفيما يلي بعضٌ منها:

- **موجات الراديو:** تُستخدم موجات الراديو لبثّ إشارات الراديو والتلفاز، حيث تُرسَل هذه الإشارات من جهاز إرسال يبعد بضعة كيلومترات ليلتقطها هوائي على سطح منزل ما. يمكن استخدام تردُّدات أخرى في منطقة موجات الراديو للاتّصال عبر آلاف الكيلومترات.
- **موجات الميكروويف:** تُستخدم موجات الميكروويف في البثّ التلفازيّ عبر الأقمار الاصطناعية؛ لأن موجات الميكروويف تعبر الغلاف الجوّي بسهولة أثناء انتقالها إلى أقمار البث الاصطناعية، قاطعةً آلاف الكيلومترات في الفضاء، ثم يُعاد إرسالها بعد ذلك إلى المشتركين على الأرض. تُستخدم موجات الميكروويف أيضًا لنقل إشارات الهاتف المحمول بين أبراج البثّ، التي قد تصل المسافات بينها إلى 20 km.
- **الأشعّة تحت الحمراء:** تُستخدم في أجهزة التحكّم عن بُعد كأجهزة التلفاز، حيث تحمل حزمة من الأشعّة المنبعثة من جهاز التحكّم عن بُعد إشارة مشفّرة إلى الجهاز. عندئذ يغيّر الجهاز القناة مثلًا، أو يبدأ بالتسجيل، أو



الشكل ١٣-٤ الطيف الكهرومغناطيسي. يتضح أن هناك علاقة عكسية بين الطول الموجي والتردُّد. نطاق طول موجة الضوء المرئي من البنفسجي إلى الأحمر هو بين 7×10^{-7} m و 4×10^{-7} m تقريبًا

أي أمر آخر. يمكنك استخدام كاميرا رقمية (ككاميرا الهاتف المحمول) لملاحظة هذا الإشعاع، الذي لا تراه عيناك. حيث تكتشف كاميرا التصوير الحراري الأشعّة تحت الحمراء القادمة من أي جسم أمامها؛ تُبيّن الصورة ١٣-٣ كيف تُظهِر صورة على شاشة الكاميرا مناطق ذات درجات حرارة مختلفة. ومن هذا المنطلق تُرسل أجهزة الإنذار الأمنية حزمًا من الأشعّة تحت الحمراء فتكتشف التغييرات في الإشعاع المنعكس الذي قد يشير إلى وجود أمر ما في المكان.



الصورة ١٣-٣ صورة حرارية لإبريق شاي وكوب؛ فالمناطق الحمراء هي الأكثر سخونة، في حين يظهر اللون الأرجواني للمقابض، لأنها باردة إلى درجة تسمح بلمسها

- **الضوء المرئي:** يُستخدم الضوء المرئي في التصوير الفوتوغرافي وفي الألياف البصرية. وهو يُستخدم طبّيًا في الألياف البصرية لرؤية ما بداخل الجسم، وفي مجال آخر لنقل بيانات مكالمات الهواتف الأرضية والشبكة العالمية للاتصالات الدولية (الإنترنت).
- **الأشعّة فوق البنفسجية:** تُستخدم الأشعّة فوق البنفسجية لتعقيم المعدّات الطبّية، ويمكن أن يكون التعرُّض المحدود للأشعّة فوق البنفسجية من الشمس مفيدًا لأنها تساعد خلايا الجلد على إنتاج فيتامين «د».
- **الأشعّة السينية:** تستطيع هذه الأشعّة اختراق المواد الصلبة، وبالتالي يمكن استخدامها في الماسحات الضوئية الأمنية في المطارات (انظر الصورة ١٣-٤). وتُستخدم أيضًا في المستشفيات والعيادات لرؤية ما في داخل أجسام المرضى، دون الحاجة إلى إجراء عملية جراحية. تمتصّ العظام الأشعّة السينية، لذلك تظهر العظام كظلّ في الصورة. يمكن الكشف عن الأشعّة السينية باستخدام أجهزة كشف إلكترونية (كتلك المستخدَمة في الكاميرات الرقمية).

الصورة ١٣-٤ استخدامان للإشعاع الكهرومغناطيسي في الفحص الأمني بالمطار: تُستخدم الأشعّة السينية لرؤية ما بداخل الأمتعة، في حين تكشف موجات الراديو الأجسام الفلزّية أثناء مرور الركّاب من بوّابة الفحص الأمني

- **أشعّة جاما:** تُستخدم أشعّة جاما في العلاج الإشعاعي لبعض أنواع السرطان، وفي تعقيم المواد الغذائية والمُعدّات. ويمكن استخدام كلّ من أشعّة جاما والأشعّة السينية لفحص سلامة الهياكل الفلزّية كالأنابيب وأجزاء محرّكات الطائرات.

أخطار الأشعّة الكهرومغناطيسية

قد تكون جميع أنواع الإشعاع خطرة، بما في ذلك الضوء الساطع المسلّط على عينَيك الذي قد يسبّب فقد البصر، لذا على الأشخاص الذين يتعاملون مع الإشعاع الكهرومغناطيسي توخّي الحذر، واتّخاذ الاحتياطات المناسبة.

تُسبّب الأشعّة فوق البنفسجية المنبعثة من الشمس تسميرًا (Tanning) للجلد، وهذا أمر في منتهى الخطورة؛ لأنّ التعرّض لهذه الأشعّة لفترة طويلة جدًّا يسبّب حروقًا في الجلد. كما أنّ التعرُّض المفرط لمصابيح التسمير قد يسبّب حروقًا في الجلد، إضافة إلى تلف في الخلايا يمكن أن يؤدّي إلى الإصابة بالسرطان.

تُستخدم موجات الميكروويف لطهو الطعام في أفران الميكروويف. وهذا يدل على أن لها تأثير تسخين عندما تمتصّها الأطعمة. ويجب فحص أفران الميكروويف المحلّية للتأكّد من عدم تسرّب أي إشعاع منها إلى الخارج. وعلى صعيد آخر يجب أن يحرص مهندسو شبكات الهواتف المحمولة، على عدم تعريض أنفسهم لموجات الميكروويف أثناء عملهم على أبراج شبكة الهواتف المحمولة.

ويجب على الطاقم الطبّي الذي يعمل بالأشعّة السينية تقليل تعرُّضهم لتلك الأشعّة، كأن يؤدّوا عملهم بالوقوف بعيدًا عندما تتمّ مُعاينة المريض، أو من خلال وضع الجهاز في غلاف فلزّي يمتصّ الأشعة السينية.

أسئلة

١٣-٤ اذكر **نوعَين** من الإشعاع الكهرومغناطيسي يمكن استخدامهما لطهو الطعام.

١٣-٥ اشرح كيف يمكن أن تسهم كلّ من موجات الراديو وموجات الميكروويف والأشعّة تحت الحمراء جميعها بدور عندما تشاهد برنامجًا تلفزيونيًّا.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- مناطق الطيف الكهرومغناطيسي.
- سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ.
- خصائص واستخدامات مناطق الطيف الكهرومغناطيسي.

أسئلة نهاية الوحدة

١ ما المصطلح العلمي الذي يوصف بأنه نطاق من الأشعّة الكهرومغناطيسية تختلف من حيث التردُّد والطول الموجي وتمتد من موجات الراديو إلى أشعة جاما؟

٢ **أ.** بالنظر إلى الشكل ١٣-٤، اكتب قائمة بالمناطق السبع للطيف الكهرومغناطيسي بالترتيب بدءًا بموجات الراديو.

ب. اذكر في قائمتك المُرتّبة ما يحدث لكل من:

١. تردُّد الموجات.

٢. طول الموجة.

٣. سرعة الموجات عندما تُقاس في الهواء.

٣ **أ.** سمِّ منطقة الطيف الكهرومغناطيسي المستخدمة في:

١. التصوير الطبّي.

٢. أجهزة التحكّم عن بُعد الخاصة بجهاز التلفاز.

ب. اذكر **منطقتَين** من الطيف الكهرومغناطيسي تُستخدمان للاتّصالات الصوتية عبر مسافات طويلة باستخدام الهواء كوسط.

٤ **أ.** ما مقدار السرعة التي تنتقل بها الأشعّة فوق البنفسجية في الفراغ؟

ب. قد تكون الأشعّة فوق البنفسجية ضارّة بالجلد والعينَين.

١. اذكر **مصدرَين** للأشعّة فوق البنفسجية.

٢. وضّح بإيجاز الآثار الضارّة التي تُلحقها الأشعّة فوق البنفسجية بالجلد والعينَين.

٥ اشرح السبب في وجوب عدم تعريض جسمك للماسح الأمني للأمتعة في المطار.

الوحدة الرابعة عشرة

الصوت Sound

تُغطّي هذه الوحدة:

- آليّة إصدار الأصوات.
- قياس سرعة الصوت.
- علاقة حدّة الصوت وشدّته بالتردُّد والسعة.
- مدى التردُّد التقريبي للسمع البشري.
- الطبيعة الطولية للموجات الصوتية.
- آليّة انتقال الصوت خلال وسط ما.
- سرعة الصوت في المواد المختلفة.
- علاقة انعكاس الصوت بظاهرة الصدى.

١٤-١ إصدار الأصوات

تُصدر الآلات الموسيقية المختلفة أصواتًا بطرائق مختلفة. وهذه الآلات هي:

- **الآلات الوترية:** تُنقَر الأوتار أو تُطرَق لجعلها تهتزّ ثم تنتقل هذه الاهتزازات في معظم الآلات الوترية إلى جسم الآلة، الذي يهتزّ مع الهواء المنتشر بداخله أيضًا. قد تكون الاهتزازات صغيرة جدًّا أو سريعة جدًّا بحيث لا يمكن رؤيتها، ولكن يمكن إظهارها باستخدام تقنيّات الليزر (انظر الصورة ١٤-١).

الصورة ١٤-١ رغم أن العازف يلمس أوتار الجيتار فقط، إلا أن جسم الآلة كلّه يهتزّ لإصدار النغمات التي نسمعها. يظهر ذلك في هذه الصورة الناتجة عن تسليط ضوء الليزر على الجيتار، حيث إن النغمات المختلفة من السلّم الموسيقي لها تردُّدات مختلفة

- **آلات النفخ:** تحتوي آلة النفخ على عمود هوائي يهتزّ بواسطة النفخ عند طرف الأنبوب، أو في داخله (الصورة ١٤-٢). تحتوي أصغر آلات النفخ على عمود هواء مستقيم، في حين أنّ الآلات الأكبر القادرة على عزف نغمات أعمق (مثل البوق وآلة التوبا) تحتوي كلّ منها على عمود هوائي منحنٍ، لتجنُّب الحجم الكبير لجسم الآلة.

الصورة ١٤-٢ يبدو الريكوردان متشابهَين جدًّا، لكن الريكورد السفلي (البنّي) مصنوع من الخشب والعُلوي (الأسود) من البلاستيك. إن المادة التي صُنعت منها الآلة ليست هي التي تُحدِّد النغمة التي تُصدرها؛ ذلك أن الهواء الذي في داخلها يهتز فيُصدر النغمة المرغوبة. يؤدّي النفخ في الآلة إلى اهتزاز عمود الهواء داخلها، ثمّ انتقال الاهتزازات إلى الهواء خارجها

- **الآلات الإيقاعية:** يُعزف على هذه الآلات بالطَّرق فتنشأ الاهتزازات، كما يحدث مثلًا في مفاتيح آلة الاكسيلفون (آلة طَرق)، أو غشاء الطبل.

في الآلات الموسيقية السابقة ينشأ من كل حالة اهتزاز في جزء من الآلة أو في الآلة كلّها، الأمر الذي يسبّب اهتزاز الهواء المجاور، لتنتقل تلك الاهتزازات من ثمّ خلال الهواء إلى آذان الحضور. أضف إلى ذلك أن بعض الاهتزازات تصل إلينا عبر الأرضية؛ ممّا يجعل كل أجسامنا تهتزّ. فإذا جلست على مقربة من فرقة موسيقية أو أوركسترا تعزف موسيقى صاخبة، فقد تشعر أن جسمك كلّه يهتزّ نتيجة انتقال الاهتزازات.

تنتقل الأصوات خلال الهواء على شكل اهتزازات، يمكنها عبور أي مادّة؛ فهي تعبر الأرضية الصلبة، والألواح الزجاجية للنوافذ، والماء أيضًا. ومن الجدير بالذكر أنّ أنواعًا كثيرةً من الحيوانات، كالحيتان والدلافين، تستخدم الأصوات للتواصل فيما بينها تحت الماء؛ ذلك أنّ الموجات الصوتية يمكنها أن تنتقل في الماء مئات الكيلومترات.

عندما تصل الاهتزازات إلى أذنك، تسبّب اهتزاز طبلة الأذن. فتنتقل الاهتزازات إلى الأذن الداخلية حيث تتحوّل إلى إشارات كهربائية تعبر إلى الدماغ. يعمل ناقل الصوت (الميكروفون) بطريقة مماثلة. حيث تؤدّي اهتزازات الصوت إلى اهتزاز جزء من ناقل الصوت، فتتحوّل تلك الاهتزازات إلى تيّار كهربائي متغيّر، كنمط اهتزازات الصوت نفسها.

أسئلة

١٤-١ أيٌّ المواد الآتية ينتقل الصوت خلالها: الخشب أم الهواء أم الماء؟

١٤-٢ صف كيف يصدر الصوت عند نقر وتر آلة عود.

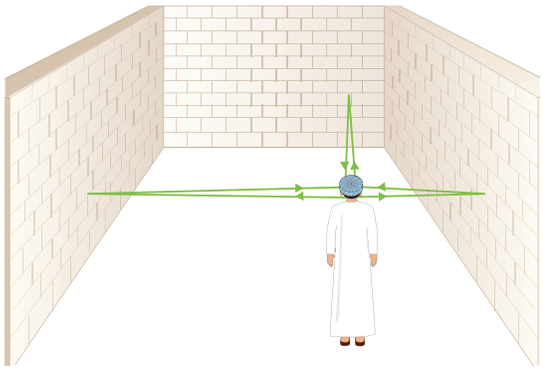
١٤-٢ سرعة الصوت

تبلغ سرعة الصوت في الهواء نحو 340 m/s أو 1224 km/h، أي أنّ سرعته تعادِل نحو عشرة أضعاف سرعة السيّارات على الطريق الرئيسي السريع. تتأثّر سرعة الصوت في الهواء بعوامل عدّة مثل: درجة الحرارة، والضغط، والرطوبة. لذلك تتفاوت سرعة الصوت ضمن نطاق 350 m/s – 330. فعندما يتحدّث شخص ما، يبدو لنا أننا نسمع الصوت الذي يُصدره في الحال عندما أصدره. ومع ذلك، فإنه يستغرق مقدارًا قليلًا من الزمن للوصول إلى آذاننا. فإذا كنّا نتحدّث إلى شخص على بُعد 1 m فقط، فإن الصوت يستغرق للانتقال بيننا:

$$\frac{1\ \text{m}}{340\ \text{m/s}} = 0.003\ \text{s} = 3\ \text{ms}$$

وهذا زمن قصير جدًّا يصعب إدراكه. ومع ذلك فإنّ هناك حالات قد نلاحظ فيها الزمن الذي يستغرقه انتقال الأصوات.

تخيّل أنّك تصرخ على مسافة من جدار مرتفع طويل، سوف تسمع صدى صوتك بعد أن تصرخ، وهو الصوت الذي ينعكس عن السطح الصلب ويعود إلى أذنَيك (انظر الشكل ١٤-١). يبيّن المثال ١٤-١ كذلك كيفية حساب الزمن الذي يستغرقه الصوت لانتقاله إلى الجدار، وعودته إليك مرّة أخرى.



الشكل ١٤-١ يُسمع صدى عندما ينعكس الصوت عن سطح صلب مثل جدار كبير. فالصوت ينتقل إلى الخارج من المصدر، ويرتدّ عن الجدار. وسوف يعود بعض من الصوت إلى مصدره. فإذا كان هناك كثير من الأسطح العاكسة، فقد يُسمَع الصدى مرّات عدّة

مثال ١٤-١

يصرخ شخص بصوت عالٍ قرب جدار مرتفع (انظر الشكل ١٤-١)، فيُسمع صدى صوته. فإذا كان الشخص على بُعد (40 m) من الجدار، فكم من الزمن سيستغرق الصدى حتى يُسمَع بعد الصراخ؟ (سرعة الصوت في الهواء = 340 m/s).

الخطوة ١: احسب المسافة التي قطعها الصوت. وهي ضعف المسافة من الشخص إلى الجدار (لأن الصوت ينتقل ذهابًا وإيابًا).

المسافة التي قطعها الصوت:

$$d = 2 \times 40 = 80 \text{ m}$$

الخطوة ٢: احسب الزمن المستغرَق ليقطع الصوت هذه المسافة.

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

$$= \frac{80}{340}$$

$$t = 0.24 \text{ s}$$

لذلك يسمع الشخص صدى صراخه بعد 0.24 s (أي نحو ربع ثانية).

إذا شاهدت أشخاصًا يلعبون الكريكيت أو البيسبول مثلًا، فسوف ترى شخصًا ما يضرب الكرة، وبعد جزء من الثانية تسمع صوت الضربة. ويحدث هذا الفاصل الزمني بين رؤية الضربة وسماع صوتها، لأن الصوت ينتقل ببطء نسبيًّا إلى أذنَيك، مقارنة بالضوء الذي ينتقل بسرعة أكبر بكثير إلى عينيك. لذلك يصل إليك الضوء أوّلًا؛ فترى قبل أن تسمع. وعندما تُبثّ مباريات الكريكيت على التلفاز، تُستخدَم نواقل صوتية (ميكروفونات) داخل المضرب نفسه لالتقاط أصوات اللعبة، حيث لا يعود هناك أي فاصل زمني ملحوظ بين ما تراه وما تسمعه.

وعليه نرى في العادة وميض البرق قبل أن نسمع صوت الرعد المُصاحب له. عدّ الثواني بين وميض البرق وصوت الرعد، ثم اقسم عددها على ثلاثة لمعرفة مدى بُعد البرق عنك بالكيلومترات؛ لأن الصوت يستغرق حوالي 3 s لقطع مسافة 1 km، في حين يقطع الضوء المسافة نفسها في أجزاء من مليون من الثانية.

تذكّر

أن الصوت ينتقل في الهواء مسافة 1 km في 3 s تقريبًا.

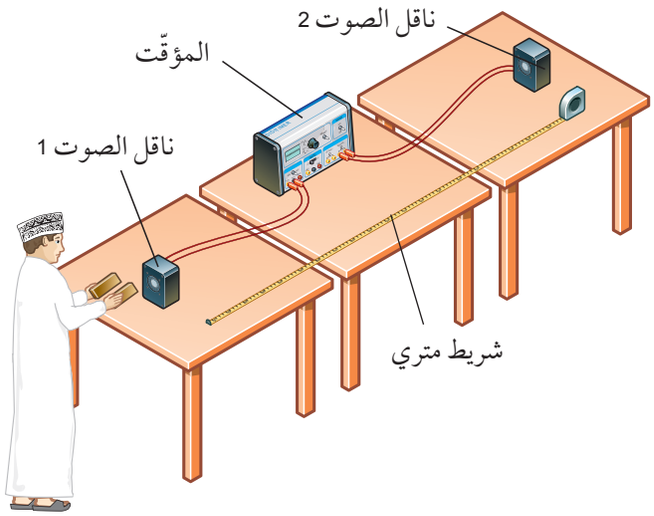
قياس سرعة الصوت

تتمثّل إحدى طرائق قياس سرعة الصوت في المختبر في قياس الفترة الزمنية التي يستغرقها الصوت لقطع مسافة معلومة، كما لو كنت تقيس سرعة سيّارة متحرّكة أو درّاجة. ولأن الصوت ينتقل بسرعة كبيرة، فيجب أن تكون قادرًا على قياس فترات زمنية قصيرة. يبيّن الشكل ١٤-٢ إحدى الطرائق.

عندما يضرب طالب قطعتَين من الخشب إحداهما بالأخرى، فإن صوتًا عاليًا يصدر منهما. يصل الصوت إلى ناقل الصوت 1، فتنتقل نبضة من التيّار الكهربائي إلى المؤقّت، فيبدأ بالعمل. وبعد جزء من الثانية، يصل الصوت إلى ناقل الصوت 2، فتنتقل نبضة ثانية من التيّار الكهربائي لتوقف

عمل المؤقّت. أصبحت قراءة المؤقّت تشير إلى الزمن المستغرَق لانتقال الصوت من ناقل الصوت 1 إلى ناقل الصوت 2.

من المهمّ أن يكون ناقلا الصوت متباعدَين مسافة ثلاثة أو أربعة أمتار، مثلًا. وكلّما كان التباعد أكبر، كان ذلك أفضل، لأنّه سيوفّر زمنًا أطول لانتقال الصوت من ناقل الصوت 1 إلى ناقل الصوت 2.



الشكل ١٤-٢ طريقة لقياس سرعة الصوت. حيث تُرتَّب القطعتان الخشبيّتان وناقلا الصوت في خطّ مستقيم. يُلتقَط صوت ضرب القطعتَين أوّلًا بواسطة ناقل الصوت 1، ثم يصل إلى ناقل الصوت 2. فالأوّل يُشغّل المؤقّت فيعمل، والثاني يوقف عمل المؤقّت. تُحسَب سرعة الصوت من المسافة بين ناقلَي الصوت والزمن الذي يستغرقه انتقال الصوت بينهما

نشاط ١٤-١

قياس سرعة الصوت في الهواء

المهارات:

- يصف الخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدِّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانية والميل.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.
- يسجِّل الملاحظات بطريقة منهجية باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقة المناسبة.
- يبرِّر اختيار الأجهزة والمواد والأدوات لاستخدامها في إجراء التجارب.
- يحدِّد الأسباب المحتملة لعدم دقة البيانات أو الاستنتاجات ويقترح التحسينات المناسبة للخطوات التجريبية والتقانة المستخدمة.
- يكوّن التنبّؤات والفرضيات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة).

استخدم الصدى لمساعدتك على قياس سرعة الصوت في الهواء.

يجب إجراء هذه التجربة في الخارج. فأنت في حاجة إلى سطح عاكس كبير؛ كجدار مبنى مثلًا.

الخطوات

١ قف على مسافة أكثر من 20 m من الجدار. اطرق قَعطتَين خشبيّتَين إحداهما بالأخرى مرّة واحدة، واستمع إلى الصدى.

٢ اطرقهما الآن بمعدَّل منتظم، بحيث تتزامن كل ضربة مع الصدى السابق لها. (سوف تحتاج في ذلك إلى بعض الممارسة).

٣ اطلب إلى زميلك قياس زمن عشر طَرقات. احسب الزمن لطرقة واحدة. هذا هو الزمن الذي يستغرقه الصوت للانتقال إلى الجدار والعودة منه مرّة أخرى.

٤ قِس المسافة من المكان الذي تقف فيه إلى الجدار.

٥ استخدم قياساتك لحساب سرعة الصوت.

أسئلة

١ اكتب قائمة ببعض الأدوات المستخدَمة في قياس الزمن، واقترح أيُّها سيكون أنسب استخدامًا هنا.

٢ هل كنت واقفًا في أفضل مكان لتسمع صدى الصوت؟

٣ تنبّأ ما سيحدث للزمن بين الصوت وصدى الصوت إذا كنت ستقف بعيدًا عن الحائط. اشرح تنبّؤك. ولماذا يعطي الوقوف بعيدًا عن الحائط نتيجة أكثر دقّة؟

٤ اكتب متغيّرَين يجب أن يكونا ثابتَين عند إجراء هذا الاستقصاء.

سؤال

١٤-٣ يستغرق الصوت نحو (3 ms) للانتقال عبر مسافة (1 m).

أ. احسب الزمن المستغرَق للانتقال من مركز ملعب الكريكيت إلى المشاهدين على بُعد (200 m).

ب. احسب الزمن بين رؤية البرق وسماع الرعد في عاصفة تبعد عنك مسافة (10 km).

موادّ مختلفة، سرعات مختلفة

نتحدّث عن سرعة الصوت على أنها تساوي 340 m/s، والأصحّ أن نقول: إن سرعة الصوت هذه في الهواء عند درجة حرارة 15 °C؛ إذ تتغيّر سرعة الصوت بتغيُّر درجة حرارة الهواء، وبتغيُّر رطوبته.

يبيّن الجدول ١٤-١ سرعة الصوت في بعض الموادّ المختلفة. يمكنك معرفة أن الصوت ينتقل خلال المواد الصلبة أسرع من انتقاله في المواد الغازيّة؛ وتتراوح سرعته في المواد السائلة بين سرعته في المواد الصلبة وسرعته في المواد الغازيّة.

حالة المادة	المادة (الوسط)	سرعة الصوت (m/s)
غازيّة	الهواء	331
	الهيدروجين	1480
	الأكسجين	316
	ثاني أكسيد الكربون	268
سائلة	الماء	1500
	ماء البحر	1530
	الزئبق	1450
صلبة	الزجاج	5000
	الحديد والفولاذ	5100
	الرصاص	1400
	النحاس	2300
	الخشب (البلوط)	3800

الجدول ١٤-١ سرعة الصوت في المواد المختلفة (عند درجة حرارة 0 °C وضغط 100 000 Pa للغازات)

أسئلة

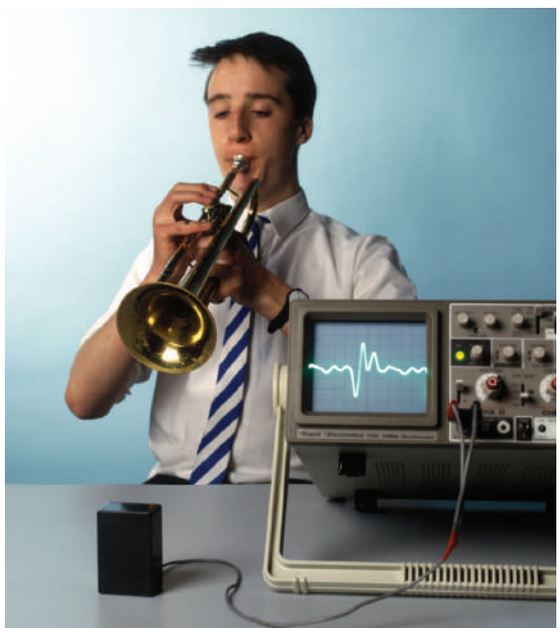
١٤-٤ انظر إلى تجربة قياس سرعة الصوت المبيّنة في الشكل ١٤-٢. لماذا يجب أن تكون القطعتان الخشبيّتان وناقلا الصوت على استقامة واحدة؟

١٤-٥ أيُّهما أسرع انتقالًا: الضوء أم الصوت؟ صِف ملاحظة واحدة تُدعّم إجابتك.

١٤-٣ تمثيل الأصوات

عندما يقوم العازف بالعزف على الناي، يجعل الهواء يهتزّ بداخله، وكذلك يفعل عازف البوق. ولكن لماذا تُصدر الآلتان صوتَين مختلفَين؟ يحتوي كل من الناي والبوق على «عمود هواء» يهتز ليُصدر نغمة موسيقية، وبما أنّ الآلتَين مختلفتان في الشكل، فهما تُصدران إلى آذاننا نغمتَين مختلفتَين في صوتهما.

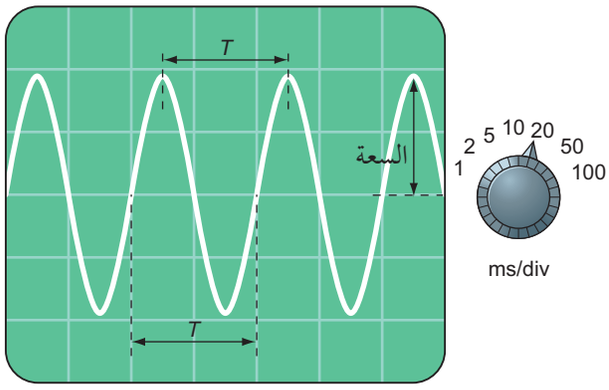
يمكن إنتاج صورة عن النغمات من خلال تشغيل الآلة قرب ناقل صوت متّصل بجهاز رسم الذبذبات (الصورة ١٤-٤)، إذ يستقبل ناقل الصوت الاهتزازات من الآلة ويحوّلها إلى إشارات كهربائية تُعرَض على شاشة جهاز رسم الذبذبات، حيث يُظهِر العرض على الشاشة النمط العادي للاهتزازات المتّجهة إلى الأعلى وإلى الأسفل، التي تشكِّل الصوت.



الصورة ١٤-٤ عرض لاهتزازات النغمات الموسيقية، على شاشة جهاز رسم الذبذبات

نغمات نقية

يمكن لمولّد الإشارات إصدار نغمات نقية، يكون لها شكل بسيط جدًّا عند عرضها على شاشة جهاز رسم الذبذبات، كما هو مبيّن في الشكل ١٤-٣. يمكننا استخدام هذا العرض على الشاشة كتمثيل بياني لإجراء القياسات. ويمكننا كذلك أن نرى **السعة Amplitude** ونحسب الفاصل الزمني بين الاهتزازات. كلّما قصرت هذه الفترة الزمنية، تقاربت الموجات. وهذا يعني أن **تردُّد Frequency** الاهتزازات يزداد. يُقاس التردُّد بوحدة الهرتز (Hz). ويمثّل تردُّد 1 Hz اهتزازة واحدة في الثانية.



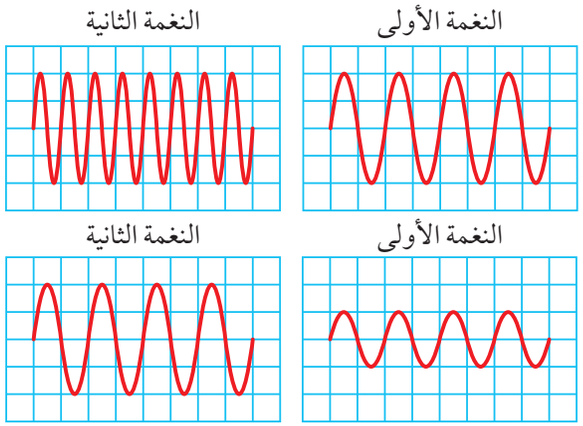
الشكل ١٤-٣ نغمة نقية لها الشكل المبيّن على شاشة جهاز رسم الذبذبات

> **تذكّر**
> أن الموجات الصوتية لا تبدو هكذا في الواقع. سننظر كيف تبدو في الموضوع ١٤-٤.

صوت رفيع وغليظ، صوت قويّ وضعيف

يمكنك أن تفهم كيف يعمل جهاز رسم الذبذبات من خلال توصيله بمولّد إشارة يعطي نغمات تردُّدها منخفض (كتردُّد 0.1 Hz). سوف ترى أن هناك نقطة واحدة تتحرّك بثبات نحو اليمين عبر شاشة جهاز رسم الذبذبات. تجعل الإشارة الكهربائية من مولّد الإشارة هذه النقطة تتحرّك إلى الأعلى وإلى الأسفل بانتظام. وتعمل زيادة التردُّد على جعل النقطة تتحرّك إلى الأعلى وإلى الأسفل بصورة أسرع، حتى تتحوّل إلى خطّ مستمرّ.

يتيح لك تغيير الإعدادات في مولّد الإشارة أن تشاهد إشارات النغمات مختلفة التردُّدات والشدّة. ويتيح لك مكبّر الصوت سماعها كما هي مبيّنة في الشكل ١٤-٤، حيث تعمل زيادة تردّد النغمات على تقريب الاهتزازات معًا على الشاشة. وتكون النغمة التي تسمعها ذات صوت أكثر **حدّة Pitch**. وتؤدّي زيادة شدّة الصوت إلى جعل الإشارات تتحرّك إلى الأعلى وإلى الأسفل أكثر، حيث تزداد السعة (Amplitude).



الشكل ١٤-٤ (أ) نغمتان لهما السعة نفسها، يعني أنّ لهما شدَّة الصوت نفسها. لكن النغمة الثانية فيها مزيد من الموجات محصورة في الحيّز نفسه، لذلك يكون تردُّدها أعلى فتكون أكثر حدّة. (ب) نغمتان لهما التردُّد نفسه، لكن النغمة الثانية لها سعة أكبر، لذلك يكون صوتها أكثر شدّة

لتلخيص ذلك نقول:

- الصوت الأكثر حدّة (رفيع) يعني الصوت ذا التردّد الأكبر، والصوت الأقلّ حدّة (غليظ) يعني الصوت ذا التردّد الأصغر.
- الصوت الأكثر شدّة (قوي) يعني الصوت ذا السعة الأكبر، والصوت الأقلّ شدّة (ضعيف) يعني الصوت ذا السعة الأصغر.

مصطلحات علمية

حدّة الصوت Pitch: الخاصّية التي تميّز بها الأذن الصوت من حيث الرفعة والغلظة، وكلّما كان التردُّد أعلى يكون الصوت أكثر رفعة.

مدى السمع

تغطّي لوحة مفاتيح البيانو مجموعة كبيرة من النغمات الموسيقية، بتردّدات تتراوح بين 30 Hz و 3500 Hz. وتغطّي معظم الآلات الأخرى مدى أضيق من هذا؛ إذ يتراوح مدى آلة الكمان مثلًا بين 200 Hz و 2500 Hz تقريبًا. غير أنّ مدى السمع عند الإنسان أكبر من هذا؛ حيث يمكننا عادة سماع النغمات التي تتراوح تردّداتها بين 20 Hz و 20 000 Hz تقريبًا. ولكن كبار السن يفقدون القدرة على سماع الأصوات الأكثر حدّة تدريجيًا. فينخفض الحدّ الأعلى للسمع عندهم إلى 2 kHz تقريبًا كلّما اجتازوا عقدًا من أعمارهم.

نشاط ١٤-٢

تمثيل الأصوات

المهارات:

- **يصف الخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.**
- **يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.**

استخدم مولّد إشارة وجهاز رسم الذبذبات لإظهار ذبذبات لأصوات مختلفة، واختبر مدى سمعك.

١ استخدم سلكَي توصيل لتوصيل مكبّر الصوت بمخرج المقاومة المنخفضة لمولّد الإشارة.

٢ شغّل مولّد الإشارة. اضبط تردّد مخرجه على 100 Hz حتى تحصل على شدّة صوت بمستوى سمع مريح.

٣ اخفض التردّد الآن حتى يختفي الصوت. لاحظ التردّد. هذا هو الحدّ الأدنى للسمع.

٤ اضبط التردّد الآن على 10 kHz. ستسمع صوت صفير مرتفع الحدّة. ارفع التردّد حتى لا تسمع الصوت مرّة أخرى. لاحظ التردّد. هذا هو الحدّ الأعلى لسمعك.

٥ أنت الآن جاهز لاستخدام جهاز رسم الذبذبات. اضبط تردّد مولّد الإشارة على 100 Hz مرّة أخرى، ثم صِل مخرج المقاومة العالية بمدخل جهاز رسم الذبذبات. اضبط مفتاح مقسم الجهد ومفتاح القاعدة الزمنية حتى تكون لديك شاشة تُظهر موجتَين كاملتَين أو ثلاثًا على الشاشة.

٦ عدّل شدّة صوت مولّد الإشارة إلى الأعلى وإلى الأسفل، ولاحظ مدى التغيّرات التي تطرأ على السعة. ثمّ عدّل التردّد ولاحظ التغيُّر الذي يحدث.

٧ إذا كان مولّد الإشارة الخاص بك يحتوي على مخرج موجة مربّعة ومثلّثة، فجرّب تلك الموجات. كيف يتغيّر الصوت؟ وكيف يعرض جهاز رسم الذبذبات هذا التغيّر؟

٨ أوقف تشغيل مولّد الإشارة وافصله عن جهاز رسم الذبذبات، وصِل ناقل صوت بمدخل جهاز رسم الذبذبات.

٩ اعزف على آلة موسيقية (أو ببساطة استخدم صافرة) لإعطاء نغمة ثابتة. لاحظ عرضها على الشاشة. حاول تغيير التردّد وشدّة الصوت، ولاحظ التغيّر.

أسئلة

١٤-٦ ماذا يحدث لحدّة الصوت إذا ازداد تردُّده؟

١٤-٧ ماذا يحدث لشدّة الصوت إذا انخفضت سعته؟

١٤-٨ **أ.** ما مدى التردُّد التقريبي للسمع البشري؟

ب. كيف يتغيّر ذلك مع تقدُّم العمر؟

١٤-٩ ارسم الذبذبات التي تتوقّع رؤيتها على شاشة جهاز رسم الذبذبات، والذي ينتج عن نغمة نقية. أشر إلى المسافة بين قمّتَين متتاليتَين، التي ستتغيّر عندما يتغيير التردُّد.

١٤-١٠ يبلغ الزمن بين اهتزازتَين متتاليتَين في الصوت A (0.010 s)، وفي الصوت B (0.020 s).

أ. أيُّهما له تردُّد أكبر؟

ب. أيُّهما سيكون صوته أكثر حدّة؟

١٤-٤ كيف تنتقل الأصوات

تُعرَف الأصوات بأنّها اهتزازات تنتقل خلال الهواء أو أيِّ وسط آخر، وتنتج عن اهتزاز الأجسام. كيف يمكننا تصّور حركة جُزيئات الغاز في الهواء أثناء انتقال الصوت خلاله؟ يبيّن الشكل ١٤-٥ كيفية انتقال اهتزازات الشوكة الرنانة خلال الهواء؛ فعندما يتحرّك أحد فرعَي الشوكة إلى اليمين، فإنه يدفع جُزيئات الهواء إلى هذا الجانب ويضغطها معًا. فتدفع هذه الجُزيئات بدورها الجُزيئات المجاورة لها، التي تصبح كذلك متضاغطة، وهي كذلك تضغط بدورها الجُزيئات المجاورة لها، وهكذا...

من المهمّ ملاحظة أن جُزيئات الهواء لا تنتقل بعيدًا عن الشوكة المهتزّة؛ فهي تُدفَع ذهابًا وإيابًا فقط. الاهتزازات وحدها تنتقل خلال الهواء إلى آذاننا. تتحرّك الجُزيئات في الهواء ذهابًا وإيابًا على طول خطّ انتقال الموجة الصوتية؛ لذلك تُعدّ الموجة الصوتية مثالًا على الموجة الطولية التي وُصفت في الوحدة الثانية عشرة.

يبيّن هذا التصوّر كيفية انتقال الصوت وسبب استحالة انتقاله في الفراغ؛ لعدم وجود جُزيئات أو جُسيمات أخرى في الفراغ.

استخدمنا هنا **نموذجَين** مختلفَين لتمثيل الصوت، هما:

١. انتقال الاهتزازات خلال وسط؛ فجُسيمات الوسط تتضاغط ثم تتخلخل بالتناوب أثناء عبور الصوت خلالها.

٢. اعتبار الصوت موجة، وهي خطّ متموّج إلى الأعلى وإلى الأسفل، أشبه بعرض الموجة على شاشة جهاز رسم الذبذبات.

يُقدّم النموذج الأول تصوّرًا أفضل لما يمكن أن نراه، إذا كان بإمكاننا ملاحظة جُسيمات المادة التي يعبر من خلالها الصوت. أما النموذج الثاني فهو أسهل للرسم، فالخطّ المتموّج يعبّر أن للموجات الصوتية سعة وطول موجة ممّا يجعله يشبه إلى حدّ ما شكل الموجات في البحر.

التضاغط والتخلخل

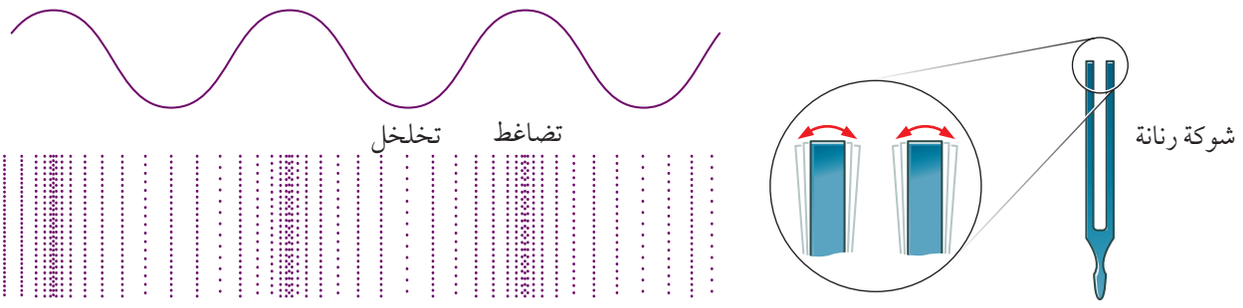
انظر إلى الشكل ١٤-٥. تسمّى مناطق الموجة الصوتية التي تتقارب جُزيئات الهواء فيها **التضاغطات Compressions**؛ فعندما تهتزّ الشوكة الرنّانة إلى الأمام وإلى الخلف، تنتقل التضاغطات في الهواء المحيط بها. وبين التضاغطات يوجد **تخلخلات Rarefactions**، وهي مناطق تكون جُزيئات الهواء فيها أقل تقاربًا بعضها من بعض (متباعدة) أو متخلخلة.

رُسِمت الموجة الصوتية بحيث تمثّل التضاغطات قمم الموجات، في حين تمثّل التخلخلات قيعان الموجات. وعليه فإن الموجة تمثّل التغيّرات التي تحدث في ضغط الهواء أثناء انتقال الصوت من مصدره.

مصطلحات علمية

التضاغط Compression: منطقة من الموجة الصوتية يتم فيها دفع الجُسيمات بعضها إلى بعض، وتمثّل القمم في الموجة.

التخلخل Rarefaction: منطقة من الموجة الصوتية تكون فيها الجُسيمات متباعدة، وتمثّل القيعان في الموجة.



الشكل ١٤-٥ تُصدر الشوكة الرنانة المهتزة سلسلة من التضاغطات والتخلخلات؛ لأنها تدفع جُزيئات الهواء إلى الأمام وإلى الخلف. وهذه هي الطريقة التي ينتقل بها الصوت خلال الهواء (أو أيّ وسط آخر)، ويمكننا ربط هذا بالعرض المتموّج على شاشة جهاز رسم الذبذبات

أسئلة

١٤-١١ أي من الآتي لا ينتقل عبره الصوت:
فلزّ، صخرة، جليد، ماء، ثاني أكسيد الكربون، الفراغ؟
فسّر إجابتك.

١٤-١٢ اكتب تفسيرًا لطالب في الصف السادس لماذا لا يتطلّب انتقال الهواء من فمك إلى أذن شخص معيّن عندما تتحدّث إليه؟

١٤-١٣ ما الفرق بين التضاغط والتخلخل في موجة صوتية؟ وضّح إجابتك بمخطّط.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- آلية إصدار الأصوات وانتقالها.
- انعكاس الصوت والصدى.
- السرعات المختلفة للصوت في المواد الصلبة والسائلة والغازيّة.
- علاقة تردُّد الصوت وسعته بحدّة الصوت وشدّته.
- قياس سرعة الصوت في الهواء.
- مدى السمع.
- آلية انتقال الصوت عبر وسط على شكل تضاغطات وتخلخلات.

أسئلة نهاية الوحدة

١ اشرح كيف يُصدِر كلّ من الطبل، والحبال الصوتية البشرية، وبوق السيارة صوتًا.

٢ يُصدِر مكبّر الصوت صوتًا، فتنتقل الموجة الصوتية منه إلى أذن الشخص.

أ. صف كيف تنتقل هذه الموجة الصوتية خلال الهواء. مضمّنًا إجابتك أفكارًا عن الجُسيمات.

ب. اشرح سبب عدم انتقال الصوت خلال الفراغ.

ج. مكبّر صوت موضوع داخل ناقوس زجاجي. ويمكن سماع الصوت خارج هذا الناقوس. يُفرّغ بعد ذلك معظم الهواء من الناقوس، بحيث يكون عدد جُزيئات الهواء في الناقوس أقلّ بكثير من قبل. لماذا أصبح الصوت من مكبّر الصوت الآن أضعف؟

٣ وصّل معلّم مكبّر صوت بمولّد إشارة، وضبَط مولّد الإشارة على تردُّد (2000 Hz)، ثمّ ضبَط ارتفاع الصوت، لكي يتمكّن الطلاب من سماع الصوت على نحو مريح.

أ. خفّض المعلّم التردُّد. اذكر التردُّد التقريبي الذي يجب أن **يتوقّف** عنده سماع الطلاب ذوي السمع السليم للصوت.

ب. زاد المعلّم التردُّد.

١. اذكر التردّد التقريبي الذي يجب أن يتوقّف عنده سماع الطلاب ذوي السمع السليم للصوت.

٢. عندما يزداد التّردّد، لماذا يتوقّف المعلّم عن سماع الصوت الصادر عن مكبّر الصوت قبل سماع الطلاب له؟

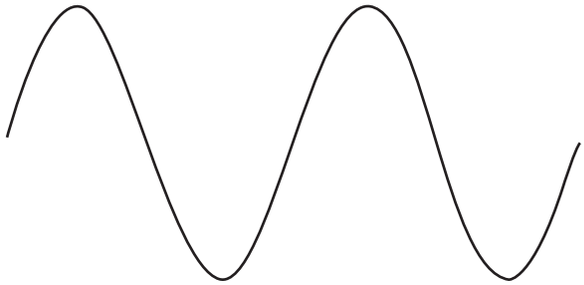
٤ لدى ماهر:

- مقعد خشبي طويل
- قطعتان من الخشب
- ناقلا صوت مثبّتان على المقعد
- مؤقّت رقمي يعمل عند التقاط الصوت بواسطة ناقل الصوت
- شريط متري

أ. صِف كيف يستطيع ماهر استخدام هذه الأدوات لقياس سرعة الصوت في الهواء. أضف أي حسابات يجب على ماهر تنفيذها. قد تجد أنّ من المفيد رسم مخطّط تسمّي عليه الأدوات للمساعدة في وصفك.

ب. يكرّر ماهر التجربة باستخدام قطعة خشبية واحدة، فيطرقها مرّة واحدة على المقعد الخشبي. يسجّل المؤقّت إثر ذلك **صوتَين** يصلان إلى ناقل الصوت الثاني. وعندما حُسبَت سرعتا هذَين الصوتَين، كانت (340 m/s) و (4000 m/s). اقترح سببًا لذلك.

٥ يمكن تمثيل الموجات الصوتية من خلال عرضها على شاشة جهاز رسم الذبذبات. يُظهِر المخطّط موجة صوتية ممثّلة بهذه الطريقة.



انسخ مخطّط هذه الموجة، وارسم مخطّطَين منفصلَين لإظهار الآتي:

أ. موجة أخرى لها نفس حدّة الصوت، ولكن بصوت أكثر شدّة من الموجة الأولى.

ب. موجة أخرى ذات حدّة أعلى، وبنفس شدّة الموجة الأولى.

٦ تصدر حيوانات كالخفافيش أصواتًا لتحديد مواقع الأجسام المحيطة بها. كذلك تستخدم الحيوانات انعكاس الصوت عن الأجسام لتحديد مواقع تلك الأجسام.

أ. سمِّ الصوت المنعكِس.

ب. اقترح كيف يستخدم الخفّاش هذا الصوت المنعكِس ليقدّر بُعد الجسم عنه.

الوحدة الخامسة عشرة

ظواهر بسيطة للمغناطيسيّة

Simple Phenomena of Magnetism

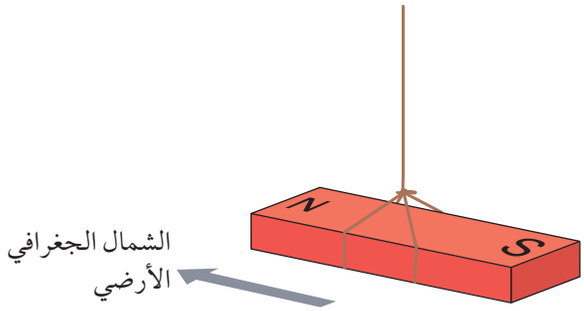
تُغطّي هذه الوحدة:

- القوى بين المغانط.
- المغناطيس الدائم والمواد المغناطيسية.
- المواد التي يمكن مغنطتها وإزالة مغنطتها بسهولة.
- طرائق المغنطة.
- آليّة تمثيل نمط خطوط المجال المغناطيسي.
- الحثّ المغناطيسي.
- آليّة صنع المغانط الكهربائية واستخدامها.

١-١٥ المغناطيس الدائم

يُعدّ تطوير البوصلة المغناطيسية أمرًا ضروريًّا للملاحة لاسيما في الأماكن البعيدة، كالمحيطات، لقد شهدت الصين أول استخدام للبوصلة المغناطيسية في الملاحة منذ 1000 سنة تقريبًا، ولكن هذه البوصلات كانت صعبة الاستخدام، بعدئذ صنع المسلمون العرب أوّل بوصلة سهلة الاستخدام، صُنعت البوصلة من خلال دلك إبرة حديدية بقطعة من مادّة مغناطيسية طبيعية تسمّى «حجر المغناطيس».

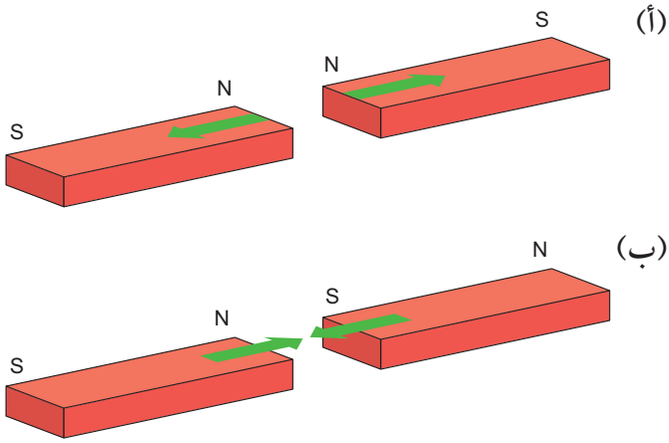
تُشبه إبرة البوصلة قضيب المغناطيس، فعندما تكون حرَّة الحركة (الشكل ١٥-١) فإنّها تشير إلى اتّجاه شمال - جنوب، حيث يشير أحد طرفَيها إلى الشمال، ويكون هو القطب الشمالي للمغناطيس الذي يشير بشكل تقريبي إلى اتّجاه القطب الشمالي الجغرافي الأرضي. في حين يكون الطرف الآخر هو القطب الجنوبي للمغناطيس. (يُطلَق في بعض الأحيان على القطبَين الشمالي والجنوبي للمغناطيس اسم «القطب الباحث عن الشمال» و «القطب الباحث عن الجنوب»، على التوالي).



الشكل ١٥-١ يدور مغناطيس معلّق بحرّية مشيرًا إلى الشمال والجنوب

عندما تُقرّب مغناطيسًا من آخر، تنشأ بينهما قوّة؛ فالقطب الشمالي لأحدهما سيجذب القطب الجنوبي للآخر. وفي المقابل يتنافر القطبان الشماليّان، وكذلك الجنوبيّان (الشكل ١٥-٢). ويمكن تلخيص ذلك كالآتي:

- القطبان المتشابهان يتنافران.
- القطبان المختلفان يتجاذبان.



الشكل ١٥-٢ (أ) قطبان مغناطيسيّان متشابهان يتنافر أحدهما مع الآخر. (ب) قطبان مغناطيسيّان مختلفان يجذب أحدهما الآخر

ولمّا كان القطب الشمالي لإبرة البوصلة ينجذب إلى القطب الشمالي الجغرافي الأرضي، بسبب وقوع القطب المغناطيسي الجنوبي الأرضي تحت جليد القطب الشمالي! فهذا يعني أن الأرض نفسها ممغنطة، كما لو كان بداخلها قضيب مغناطيسي عملاق.

تذكّر

أن الأرض لها قطب جنوبي مغناطيسي عند قطبها الشمالي الجغرافي.

المواد المغناطيسية

نعلم أنّ إبرة البوصلة مغناطيس دائم مثلها مثل كثير من قضبان المغناطيس، وهي مصنوعة من الفولاذ الصلب. ربما سمعت بنوع آخر من المواد المغناطيسية تسمّى الفرّايت (Ferrite). وهي مادّة خزفية تُستخدَم لصنع مغناطيس الثلاجة. ويُستخدَم المغناطيس أحيانًا لإبقاء أبواب الخزانة مغلقة. وهناك أيضًا مغانط صغيرة مكوّنة من عناصر أرضية نادرة تُستخدَم في أجهزة سمّاعات الرأس مع مشغّلات أجهزة MP3، وهي تعتمد على عناصر مثل النيوديميوم.

تحتوي معظم المواد المغناطيسية (بما في ذلك الفولاذ والفرّايت) على الحديد، وهو العنصر المغناطيسي الأكثر شيوعًا. لهذا السبب تُعرف هذه المواد باسم المواد الفرّومغناطيسية (فرّو Ferrum كلمة لاتينية تعني «الحديد»). وتشمل العناصر المغناطيسية الأخرى الكوبالت والنيكل. (إذا كانت مادة تحتوي على حديد فلا يعني ذلك أنها ستكون ممغنطة؛ فالفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless steel) مثلًا يحتوي على الكثير من الحديد، إلا أن المغناطيس لا يجذب بعضًا من أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ).

يتمّ تصنيف المواد المغناطيسية على أنها **مواد مغناطيسية صلبة Hard magnetic materials** أو **مواد مغناطيسية مطاوعة Soft magnetic materials**. ويلخّص الجدول ١٥-١ الاختلافات بين المواد المغناطيسية؛ فالمواد المغناطيسية المطاوعة كالحديد المطاوع هي التي تتمغنط بسهولة وتُزال مغنطتها بسهولة أيضًا.

مصطلحات علمية

مادة مغناطيسية صلبة Hard magnetic material: مادة بمجرد أن تتمغنط تصعب إزالة مغنطتها.

مادة مغناطيسية مطاوعة Soft magnetic material: مادة بمجرد أن تتمغنط تسهل إزالة مغنطتها.

المادة المغناطيسية	الوصف	الأمثلة	الاستخدامات
الصلبة	تتمغنط بصعوبة، وتحتفظ بمغنطتها جيّدًا، وتزال مغنطتها بصعوبة	الفولاذ الصلب	المغناطيس الدائم، إبرة البوصلة، مغناطيس مكبّر الصوت
المطاوعة	تتمغنط بسهولة، ولكنّها تفقد مغنطتها بسهولة	الحديد المطاوع	قلب المغانط الكهربائية والمحوّلات

الجدول ١٥-١ المواد المغناطيسية الصلبة والمطاوعة. «الفولاذ الصلب» و «الحديد المطاوع»

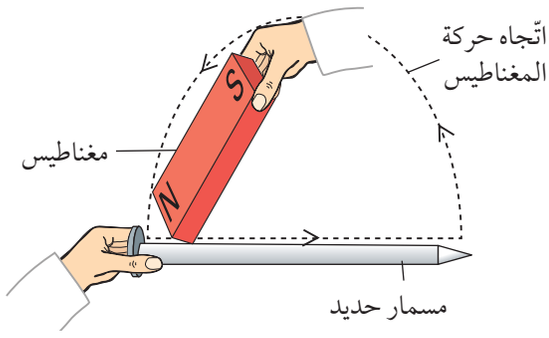
تذكّر

أنّ تصنيف المواد المغناطيسية إلى «صلبة» أو «مطاوعة» يعود إلى سهولة مغنطتها وإزالة مغنطتها، وليس إلى قدرتها على تغيير شكلها.

المغنطة

تكون المواد المغناطيسية عادة في حالة غير ممغنطة، ولإجراء عملية مغنطتها التي تسمّى التمغنط (Magnetisation)، هناك ثلاث طرائق، هي:

١. دلك قطعة من المادة المغناطيسية بقطعة مغناطيس دائم من أحد الطرفَين إلى الآخر بصورة مستمرّة (ولكن من دون العودة بالاتّجاه المعاكس)، حتى تصبح ممغنطة (الشكل ١٥-٣).



الشكل ١٥-٣ جسم من مادّة مغناطيسية يمكن مغنطته بدلكه بأحد قطبَي مغناطيس. في هذه الحالة، يكون رأس المسمار القطب الجنوبي

٢. وضع المادّة في مجال مغناطيسي قوي كالذي ينتج من مغناطيس كهربائي. يتضمّن المغناطيس الكهربائي ملفًّا من الأسلاك، ولهذا الغرض يُوصَّل ببطّارية أو مصدر طاقة كهربائية بحيث يتدفَّق خلاله تيّار ثابت ومستمرّ (D.C.)، فينتج مجالًا مغناطيسيًّا داخل الملفّ، يُمغنِط المادّة.

٣. وضع المادّة في مجال مغناطيسي قوي بحيث يوضع الجسم على طول اتّجاه خطوط المجال المغناطيسي، وإذا طرقتَ على الجسم عدّة مرّات بمطرقة فيصبح الجسم ممغنطًا.

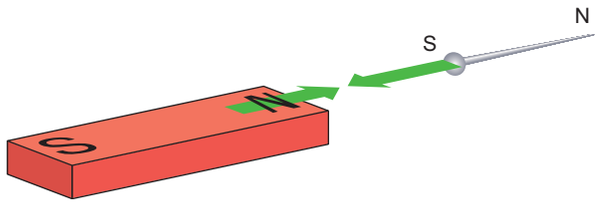
الحثّ المغناطيسي

يُعدّ قضيب المغناطيس مثالًا على المغناطيس الدائم، لقدرته على البقاء ممغنطًا، من دون أن «تُستهلَك» مغناطيسيّته. ويصنع المغناطيس الدائم عادة من موادّ مغناطيسية صلبة.

يتجاذب المغناطيس ويتنافر مع أيِّ مغناطيس دائم آخر. يمكنه أيضًا جذب المواد المغناطيسية الأخرى غير الممغنطة، كأن يجذب قضيب مغناطيسي دبابيس فولاذية أو مشابك ورقية، أو يلتصق بمغناطيس باب الثلاجة الصلب.

ماذا يجري هنا؟ يبدو أنّ الدبابيس الفولاذية مصنوعة من مادة مغناطيسية؛ فعندما يُقرّب القطب الشمالي لمغناطيس

دائم من دبّوس، ينجذب الدبّوس إلى المغناطيس (انظر الشكل ١٥-٤). يدلّ هذا التجاذب على أن طرف الدبّوس الأقرب إلى القطب المغناطيسي يجب أن يكون قطبًا مغناطيسيًّا جنوبيًّا، وهذا ما يُعرف باسم **الحثّ المغناطيسي Induced magnetism**. وعندما يُبعَد المغناطيس الدائم، يعود الدبّوس إلى حالته غير الممغنطة (أو قد يحتفظ بكمّية صغيرة من المغناطيسية).



الشكل ١٥-٤ يتمغنط الدبّوس الفولاذي مؤقّتًا عندما يُوضَع مغناطيس دائم بالقرب منه

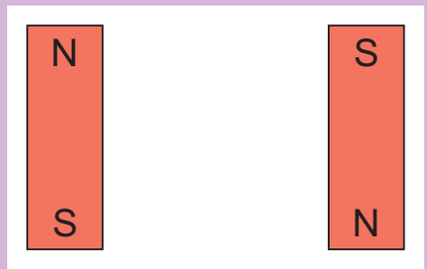
نشاط ١٥-١ (إثرائي)

صنع مغناطيس

اصنع مغناطيسًا واختبره ثمّ جرّب إزالة مغنطته.

أسئلة

١٥-١ وُضع قضيبان مغناطيسيّان متجاوران كما هو مبيّن أدناه.



أ. انسخ مخطّط المغناطيسَين، وبيّن اتّجاه القوّة التي يؤثّر بها كلّ منهما على الآخر بأسهم. اذكر ما إذا كانا سيتجاذبان أم يتنافران.

ب. عُكِس أحد المغناطيسَين بحيث أصبح قطبه الشمالي مكان قطبه الجنوبي. ارسم مخطّط الوضع الجديد، وبيّن القوّة التي يؤثّر بها الآن كلّ منهما على الآخر.

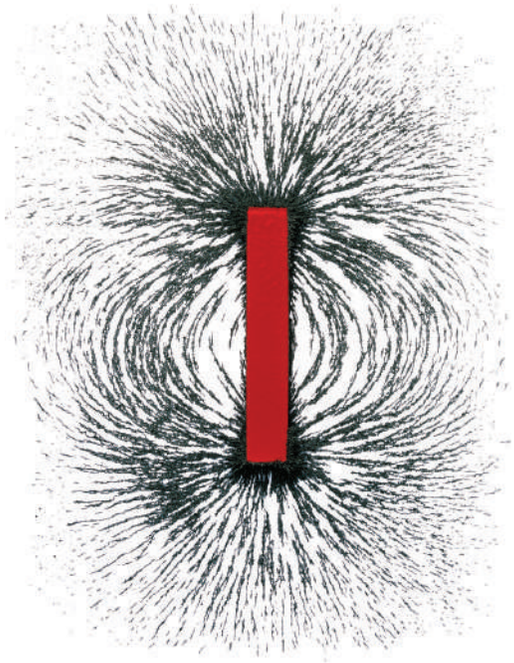
١٥-٢ يوصَف الحديد غالبًا بأنه مادّة مغناطيسية مطاوعة. وتوصَف أنواع كثيرة من الفولاذ بأنها موادّ مغناطيسية صلبة.

أ. اشرح الفرق بين هذَين النوعَين من المواد المغناطيسية.

ب. لماذا يجب أن يكون المغناطيس الدائم مصنوعًا من الفولاذ بدلًا من الحديد؟

١٥-٢ المجالات المغناطيسية

يؤثّر المغناطيس على أي قطعة مصنوعة من مادة مغناطيسية قريبة منه. ويمكن القول عندئذ: إن هناك **مجالًا مغناطيسيًّا Magnetic field** حول المغناطيس. وربما أجريت تجارب على برادة الحديد أو البوصلات الصغيرة لإظهار المجال المغناطيسي للمغناطيس. تُبيّن الصورة ١٥-١ المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي كما يظهر بواسطة برادة الحديد.



الصورة ١٥-١ إظهار نمط المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي بواسطة برادة حديد، حيث تتجمّع برادة الحديد بكثرة حول قطبَي المغناطيس. وهذا هو المكان الذي يكون فيه المجال المغناطيسي أشدّ (أقوى)

مصطلحات علمية

المجال المغناطيسي Magnetic field: الحيّز المحيط بالمغناطيس أو بالموصّل الذي يمرّ به تيّار كهربائي وتظهر فيه تأثير قوّة ما.

يبيّن الشكل ١٥-٥ (أ) كيف نمثّل المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي منفرد باستخدام خطوط المجال المغناطيسي.

لا شكّ في أنّ المجال المغناطيسي يملأ كل الفراغ المحيط بالمغناطيس، ولكن يمكننا رسم مجموعة مختارة من الخطوط لتمثيله فقط، ويشير هذا النمط إلى أمرَين بخصوص المجال المغناطيسي، هما:

- **الاتّجاه:** إذا وضعتَ بوصلة صغيرة في نقطة ما من المجال المغناطيسي، فسوف تحاذي إبرتها امتداد خطّ المجال المغناطيسي عند تلك النقطة. وعليه فإن خطوط المجال المغناطيسي تخرج من القطب الشمالي وتدخل في القطب الجنوبي.
- **الشدّة:** تشير الخطوط المتقاربة إلى مجال مغناطيسي قوي.

يمكننا إظهار نمطَي المجال المغناطيسي لمغناطيسَين متجاذبَين أيضًا كما في الشكل ١٥-٥ (ب) وآخرَين متنافرَين كما في الشكل ١٥-٥ (ج). لاحظ أن هناك نقطة بين المغناطيسَين المتنافرَين لا يكون فيها خطوط للمجال المغناطيسي.

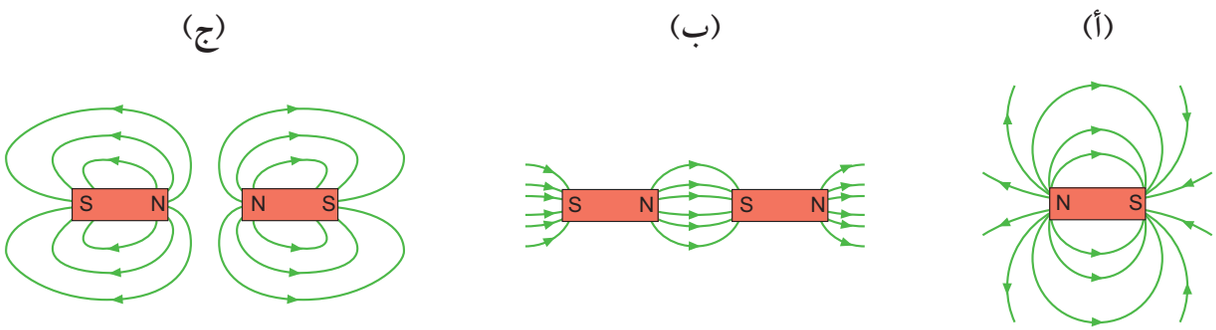
المغانط الكهربائية

لا يُعدّ استخدام المواد المغناطيسية الطريقة الوحيدة لصنع مغناطيس؛ فهناك طريقة بديلة هي استخدام **المغناطيس الكهربائي Electromagnet**. يتكوّن المغناطيس الكهربائي النموذجي من ملفّ من الأسلاك النحاسية، ويسمّى مثل هذا الملف أحيانًا الملف الحلزوني (Solenoid)؛ فعندما يتدفّق تيّار عبر السلك، يتكوّن مجال مغناطيسي حول الملفّ. ويفترض ألّا يكون الملف مصنوعًا من مواد مغناطيسية لكي يصبح مغناطيسًا كهربائيًّا، وغالبًا ما تُستخدَم الأسلاك النحاسية بسبب مقاومتها المنخفضة رغم إمكانية استخدام فلزّات سواها، وتتمثّل النقطة المهمّة هنا في أن التيّار هو الذي يُنتِج المجال المغناطيسي.

سترى في الوحدة السادسة عشرة أن المجال المغناطيسي حول الملفّ الحلزوني يشبه المجال المغناطيسي حول قضيب مغناطيسي، ويكون أحد طرفَي الملفّ الحلزوني قطبًا شماليًّا والطرف الآخر قطبًا جنوبيًّا.

مصطلحات علمية

المغناطيس الكهربائي Electromagnet: ملفّ من الأسلاك يصبح مغناطيسًا عندما يتدفّق تيّار كهربائي بداخله.



الشكل ١٥-٥ (أ) استخدام خطوط المجال لتمثيل المجال المغناطيسي حول قضيب مغناطيسي. (ب) إظهار نمط المجال المغناطيسي بين قطبَين مغناطيسيَّين مختلفَين متجاذبَين. (ج) إظهار نمط المجال المغناطيسي بين قطبَين مغناطيسيَّين متشابهَين متنافرَين

هناك ثلاث طرائق لزيادة شدّة المغناطيس الكهربائي، هي:

- زيادة شدّة التيّار الكهربائي المتدفِّق خلاله؛ فكلما ازدادت شدّة التيّار الكهربائي ازدادت شدّة المجال المغناطيسي.
- زيادة عدد لفّات الأسلاك في الملفّ، وهذا لا يعني جعل الملفّ أطول، بل يعني إضافة مزيد من اللفّات حول المساحة نفسها لتركيز المجال المغناطيسي.
- إضافة قلب من الحديد المطاوع، وهي قطعة من الحديد أسطوانية الشكل توضع داخل الملفّ، حيث يصبح القلب الحديدي أشدّ تمغنطًا في المجال المغناطيسي، وهذا يجعل المجال المغناطيسي الكلّي في الملفّ أقوى بكثير.

تمتلك المغانط الكهربائية ميزة مهمَّة، وهي إمكانية تشغيلها وإيقافها، ذلك أنّ إيقاف التيّار الكهربائي وتشغيله يجعل المجال المغناطيسي حول الملفّ يختفي ببساطة. وهذا هو أساس عدد من التطبيقات، مثل الرافعات الكهرومغناطيسية التي تُحرّك القطع الفلزّية الكبيرة وأكوام الخردة في ساحة الخردة (الصورة ١٥-٢)، حيث يُشغّل التيّار الكهربائي لتنشيط المغناطيس، والتقاط الخردة الفلزّية. وعندما تُنقَل إلى الموقع المطلوب، يوقف تشغيل المغناطيس الكهربائي، فتنفصل الخردة الفلزّية عن المغناطيس الكهربائي.

تُستخدَم المغانط الكهربائية أيضًا في أجراس الأبواب الكهربائية، وفي مكبّرات الصوت والمحرِّكات الكهربائية والمحوّلات. سوف توصف المحرّكات الكهربائية بالتفصيل في الوحدة السابعة عشرة، والمحوّلات في الوحدة التاسعة عشرة.

الصورة ١٥-٢ استخدام مغناطيس كهربائي في ساحة خردة. عند تشغيل التيّار الكهربائي، وحدها الفلزّات المغناطيسية كالحديد والفولاذ ستنجذب إلى المغناطيس، وتبقى الفلزّات غير المغناطيسية على الأرضية، وعند وقف تشغيل التيار الكهربائي تنفصل هذه الفلزّات المغناطيسية عن المغناطيس

نشاط ١٥-٢

الجرس الكهربائي

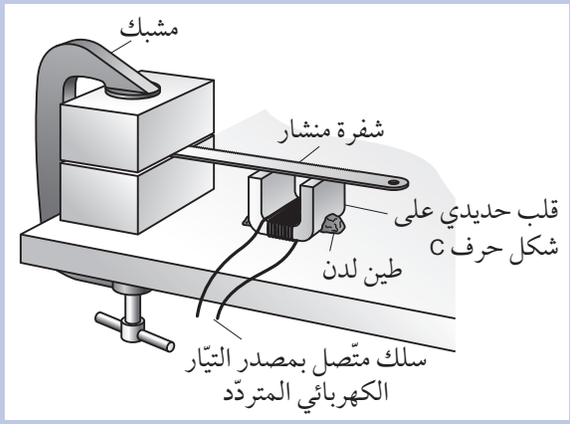
المهارات:

- **يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرِّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.**

استخدم مغناطيسًا كهربائيًّا لصنع جرس كهربائي. إنّ هذا يجعلك تعتمد الحقيقة الآتية: عندما يكون تردُّد التيّار الكهربائي المتردّد 50 Hz، فإن التيّار الكهربائي يتدفَّق خلال الملفّ بعكس اتّجاهه 50 مرّة في كلّ ثانية. وبناء على ذلك، سوف ينعكس اتّجاه المجال المغناطيسي في الملفّ 50 مرّة في كلّ ثانية كذلك.

١ لفّ 2.0 m من السلك الرفيع حول قلب حديدي C لصنع مغناطيس كهربائي. دَع 30 cm تقريبًا من السلك عند كل طرف من دون لفّ.

٢ صِل الأطراف الحرّة للسلك بمخرجَي مصدر التيّار الكهربائي المتردّد (A.C.). سيوضّح لك معلّمك كيفية القيام بذلك، وستعرف المزيد عن التيّار المتردّد في الوحدة الثامنة عشرة.



٣ ثبّت المغناطيس الكهربائي على سطح الطاولة بواسطة طين لدن. اربط شفرة المنشار بحيث تثبّتها على ارتفاع 2 mm أو 3 mm فوق المغناطيس الكهربائي.

٤ شغِّل مصدر التيّار الكهربائي، وزِد الجهد تدريجيًّا. يجب أن تهتزّ الشفرة إلى الأعلى وإلى الأسفل؛ فإذا وضعتَها بشكل صحيح، فسوف تُصدر ضوضاء مزعجة نتيجة طرقِها على طرفَي القلب الحديدي.

٥ اشرح سبب تحرُّك شفرة المنشار إلى الأعلى وإلى الأسفل. تذكّر ما يلي: عندما يعكس التيّار الكهربائي المتردّد اتّجاهه، فسيكون هناك تيّار كهربائي يساوي الصفر في لحظة قصيرة.

أسئلة

١٥-٣ ارسم مخطّطًا لإظهار نمط خطوط المجال المغناطيسي بين مغناطيسَين لهما شدّة متساوية ووُضع قطباهما الجنوبيّان متقاربَين.

١٥-٤ صِف كيف يُستخدَم مغناطيس كهربائي لفصل النحاس عن الحديد في ساحة الخردة.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- القوى بين الأقطاب المغناطيسية.
- الحثّ المغناطيسي.
- آليّة مغنطة المواد المغناطيسية.
- الاختلاف بين المواد التي يمكن مغنطتها وإزالة مغنطتها بسهولة لتصبح مغناطيسًا مؤقّتًا (مثل الحديد المطاوع)، والمواد دائمة المغناطيسية (مثل الفولاذ).
- آليّة تمثيل المجالات المغناطيسية باستخدام خطوط المجال.
- كيفية صنع مغناطيس كهربائي.
- الطرائق المختلفة لاستخدام المغانط الكهربائية والمغانط الدائمة.

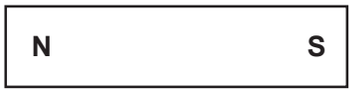
أسئلة نهاية الوحدة

١ صنّف الفلزّات الآتية إلى فلزّات مغناطيسية وفلزّات غير مغناطيسية.

الألومنيوم	النحاس	الحديد	الذهب	الفولاذ	النيكل
	النحاس الأصفر	الفضّة	الزنك		

٢ لدى عمار مغناطيسان دائمان وقطعة فلزّ مغناطيسية غير ممغنطة. كل هذه الأجسام الثلاثة تبدو متشابهة. صف كيف يمكن أن يستخدم عمار هذه الأجسام الثلاثة دون أي معدّات ليعرف طبيعة كلّ منها.

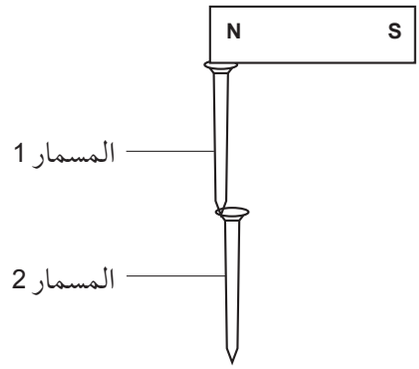
٣ انسخ مخطّط قضيب المغناطيس أدناه، وأكمل المخطّط لتُظهِر نمط خطوط مجاله المغناطيسي.



٤ لدى أنفال مسمار مصنوع من الحديد المطاوع.

أ. ما المقصود بالمطاوع في هذا السياق؟

ب. لم يكن المسمار ممغنطًا، وقد استخدمت أنفال قضيبًا مغناطيسيًّا لرفع اثنَين من تلك المسامير كما هو مبيّن في المخطّط أدناه.



اشرح القوّة التي تشدّ المسمار 2.

٥ اشرح آليّة صنع مغناطيس كهربائي بسيط. يمكنك رسم مخطّط وتسمية أجزائه.

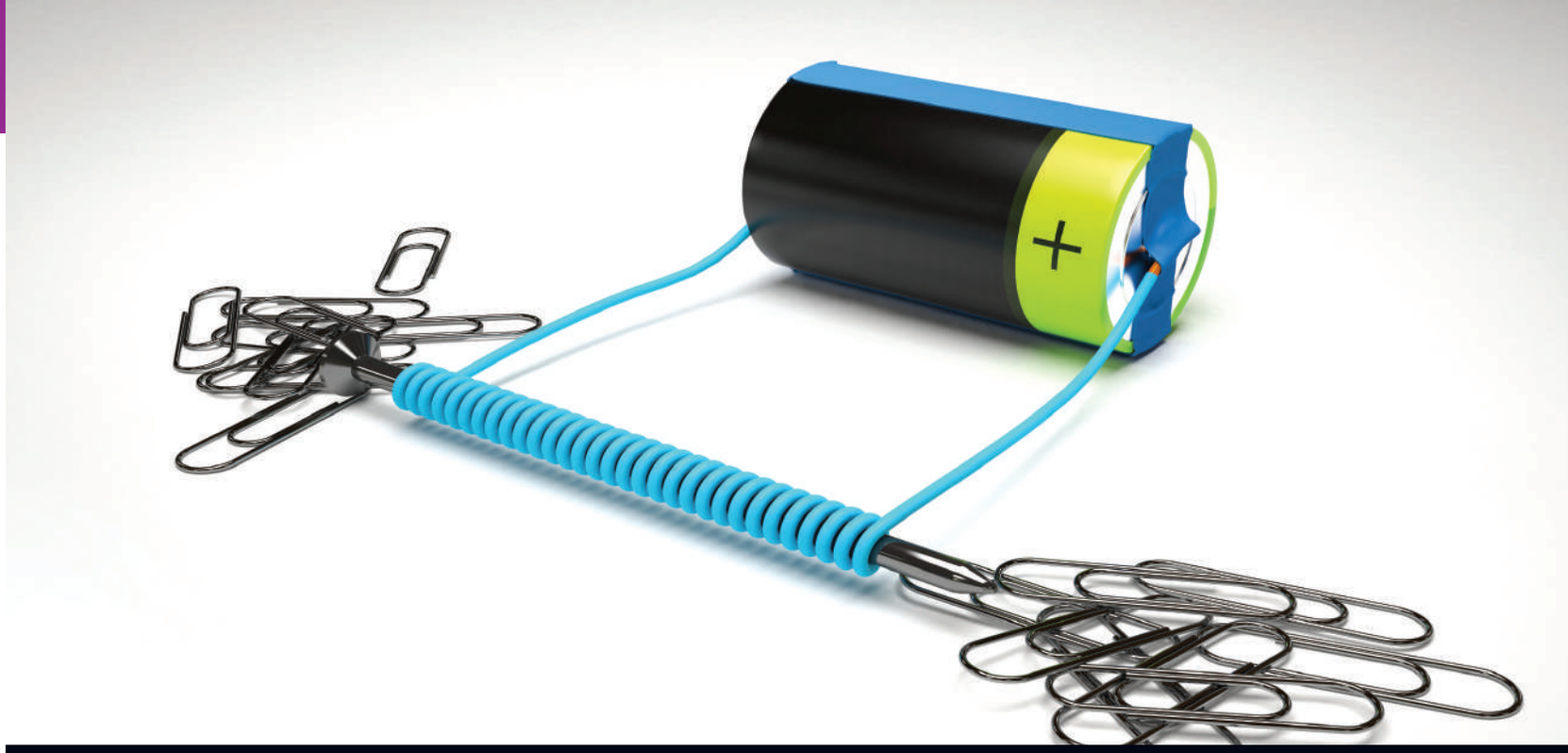
٦ يمكن مغنطة المادّة المغناطيسية.

أ. اذكر المقصود بـ:

١. مادّة مغناطيسية.

٢. مغنطة.

ب. لتُمغنط مادّة مغناطيسية، نضعها داخل المجال المغناطيسي الناشئ عن مغناطيس كهربائي. صِف **طريقتَين** أُخريَين لمغنطة مادّة مغناطيسية.



الوحدة السادسة عشرة

التأثير المغناطيسي للتيّار الكهربائي

Magnetic Effect of an Electric Current

تُغطّي هذه الوحدة:

- المجال المغناطيسي حول ملفّ حلزوني، وحول سلك مستقيم.
- وصف تأثير تغيّر شدّة التيّار الكهربائي واتّجاهه على المجال المغناطيسي.

١-١٦ الكهرباء والمغناطيسية

لدينا طريقتان لإنتاج مجال مغناطيسي: طريقة يُستخدَم فيها مغناطيس دائم، وأخرى يُستخدَم فيها مغناطيس كهربائي (ملفّ من سلك يتدفَّق خلاله تيّار كهربائي). تُظهِر الطريقة الثانية وجود صلة وثيقة بين الكهرباء والمغناطيسية. اكتشف هذه الصلة العالِم الدنماركي هانز كريستيان أورستد Hans Christian Oersted في أوائل القرن التاسع عشر عندما لاحظ أن كلًّا من الكهرباء الساكنة والمغناطيسية قد أظهرت أنماطًا متشابهة من قوى التجاذب والتنافر، فضلًا عن وجود نوعَين من الشحنات أو الأقطاب، وأن القوّة تضعف مع البُعد. غير أنّ معظم العلماء الآخرين اعتقدوا أن هذه كانت مجرّد مصادفة مثيرة للاهتمام. وحده أورستد اعتقد أن هناك المزيد لاكتشافه؛ إذ كان متأكّدًا من إمكانية وجود صلة بين الكهرباء والمغناطيسية، وقد وجدها فعلًا!

ألقى أورستد محاضرة عن الكهرباء عام 1816 م، وصف فيها سفينة ضربها البرق، فتأثّرت بوصلتها، بحيث انعكس اتّجاه قطبَيها الشمالي والجنوبي. كان أورستد على يقين من أن هذا يثبت الصلة بين الكهرباء والمغناطيسية، فراوده تساؤل عن إمكانية إجراء تجربة لاختبار فكرته، حيث كان لديه سلك وبوصلة على طاولته (الصورة ١٦-١)، وضع البوصلة تحت السلك، وعندما وصّل مساعده السلك بالبطارية، بحيث يتدفّق التيّار الكهربائي عبر السلك، تحرّكت إبرة البوصلة. لم يكن أحد في تلك اللحظة منبهرًا

بما حدث حتى أورستد. لكنه كان كلّما فكّر في ذلك، يدرك أنه لاحظ شيئًا مهمًا؛ كان التيّار الكهربائي في السلك يُنتِج تأثيرًا مغناطيسيًّا يؤثّر على إبرة البوصلة. واكتشف بواسطة تحريك البوصلة بالقرب من السلك أن التأثير المغناطيسي يُظهِر نمطًا دائريًّا حول السلك الذي يتدفَّق فيه التيّار الكهربائي. وبهذا الاكتشاف بدأت دراسة الكهرومغناطيسية.

الصورة ١٦-١ أورستد ومساعده يمسك بالأسلاك

١٦-٢ التأثير المغناطيسي لتيّار كهربائي

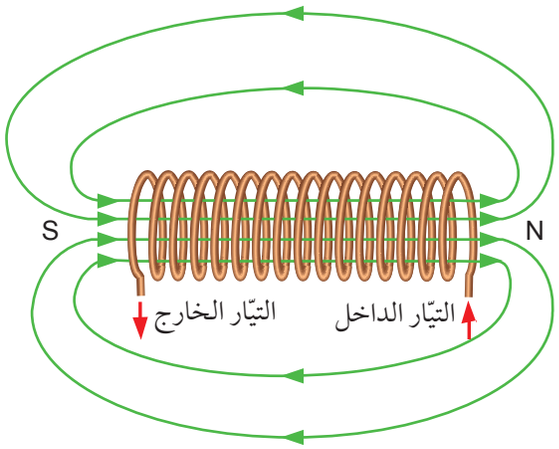
رأينا في الوحدة الخامسة عشرة أنه بالإمكان صنع **مغناطيس كهربائي Electromagnet** عن طريق تمرير تيّار كهربائي عبر ملفّ من سلك (ملفّ حلزوني Solenoid).

المجال المغناطيسي حول الملفّ الحلزوني

عندما يتدفّق تيّار كهربائي عبر ملفّ حلزوني، يَنتج مجال مغناطيسي داخل الملفّ وخارجه (انظر الشكل ١٦-١). هذا المجال مشابه لذلك المجال المحيط بقضيب مغناطيسي على النحو الآتي:

- أحد طرفَي الملفّ الحلزوني قطب شمالي والطرف الآخر قطب جنوبي. تخرج خطوط المجال المغناطيسي من القطب الشمالي وتدخل في القطب الجنوبي.
- تكون خطوط المجال أكثر تقاربًا عند القطبَين، وهذا هو المكان الذي يكون فيه المجال المغناطيسي أشدّ (أقوى).
- تُظهِر الخطوط المتباعدة أن المجال أضعف في هذه المناطق من المناطق التي خطوطها متقاربة.

يمكن زيادة شدّة المجال بواسطة زيادة شدَّة التيّار الكهربائي. ويمكن عكس اتّجاه المجال عن طريق عكس اتّجاه التيّار الكهربائي.



الشكل ١٦-١ ملفّ حلزوني. عندما يتدفَّق تيّار كهربائي عبر سلك الملفّ، ينتج مجال مغناطيسي. المجال مشابه في شكله لشكل المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي. لاحظ أن خطوط المجال يمرّ كلّ منها في طريقه عبر مركز الملفّ

لتحديد اتّجاه المجال المغناطيسي حول ملفّ حلزوني يتدفّق خلاله تيّار كهربائي، عليك تخيّل أنك تنظر إلى إحدى نهايتَي الملفّ؛ إذا كان التيّار الكهربائي يتدفّق في اتّجاه عقارب الساعة، فإن هذه النهاية هي قطب مغناطيسي جنوبي (S)، أما إذا كان التيّار الكهربائي يتدفّق عكس اتّجاه عقارب الساعة، فإن هذه النهاية هي القطب الشمالي المغناطيسي (N).

من الطرائق الملائمة لتذكّر ذلك استخدم **قاعدة قبضة اليد اليمنى Right-hand grip rule**. افترض أنك تمسك الملفّ الحلزوني بيدك اليمنى. يجب لفّ أصابع يدك اليمنى حول الملفّ في اتّجاه التيّار الكهربائي. عند القيام بذلك، فإنّ إبهامك سيشير إلى اتّجاه القطب الشمالي. تظهر هذه الطريقة في الشكل ١٦-٢.

الشكل ١٦-٢ يمكن استخدام قاعدة قبضة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي عند مرور تيّار كهربائي في الملفّ الحلزوني

تذكّر

أننا نمثّل المجالات المغناطيسية برسم خطوط المجال. تُظهِر الأسهم على الخطوط اتّجاه المجال في أي نقطة. هذا هو اتّجاه القوّة المؤثّرة على القطب المغناطيسي الشمالي لبوصلة موضوعة في هذا المجال.

سؤال

١٦-١ أ. ارسم مخطّطًا لنمط خطوط المجال المغناطيسي لملفّ حلزوني.

ب. كيف سيتغيّر هذا النمط إذا عُكِس اتّجاه التيّار الكهربائي في الملفّ الحلزوني؟

مصطلحات علمية

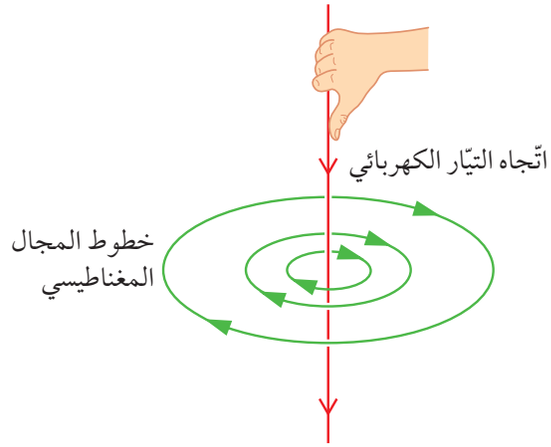
قاعدة قبضة اليد اليمنى Right-hand grip rule: القاعدة المُستخدَمة لتحديد اتّجاه المجال المغناطيسي حول سلك أو ملفّ حلزوني يمر به تيّار كهربائي.

المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم

إذا فككت سلك ملفّ حلزوني فسيكون لديك سلك مستقيم، يتدفّق خلاله تيّار كهربائي، وله مجال مغناطيسي حوله كما هو مبيّن في الشكل ١٦-٣. وتكون خطوط المجال على شكل دوائر حول السلك الذي يتدفَّق فيه التيّار الكهربائي.

يُحيط بكلّ تيّار كهربائي المجال المغناطيسي الذي نشأ عنه. والمغناطيس الكهربائي هو ببساطة طريقة للاستفادة من ذلك؛ لأن لفّ السلك في ملفّ حلزوني طريقة لتركيز المجال المغناطيسي.

ترشدك قاعدة قبضة اليد اليمنى إلى اتّجاه خطوط المجال المغناطيسي حول السلك. تخيّل أنك أمسكت السلك بيدك اليمنى بحيث يشير إبهامك إلى اتّجاه التيّار الكهربائي، عندئذ سوف تشير بقية أصابعك إلى اتّجاه خطوط المجال المغناطيسي.



الشكل ١٦-٣ المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يتدفق فيه تيار كهربائي. تكون خطوط المجال على شكل دوائر حول السلك. وكلما ابتعدنا عن السلك، كان المجال أضعف. ترشدك قاعدة قبضة اليد اليمنى إلى اتّجاه خطوط المجال حول السلك

تذكّر

عند تحديد اتّجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في سلك ما، فإننا نستخدم التيّار الكهربائي الاصطلاحي الذي يتّجه من الطرف الموجب لمصدر جهد كهربائي إلى الطرف السالب للمصدر.

سؤال

١٦-٢ يتدفَّق تيّار كهربائي إلى الأعلى في سلك موضوع رأسيًا خلال ثقب صغير في سطح طاولة. هل سيكون اتّجاه خطوط المجال المغناطيسي حوله في اتّجاه عقارب الساعة أم بعكس اتّجاه عقارب الساعة؟

مقارنة المجالات المغناطيسية

يتولّد مجال مغناطيسي حول تيّار كهربائي مارّ في الملف الحلزوني وفي سلك مستقيم، وفيما يلي مقارنة بين نمط المجالات المغناطيسية المتكوّنة عند مرور تيّار كهربائي:

- **في ملفّ حلزوني:** تكون خطوط المجال متقاربة عند قطبَي المغناطيس الكهربائي. وبعيدًا عن الملفّ، تكون الخطوط متباعدة (المجال أضعف). وتكون خطوط المجال داخل الملف متوازية لتُظهِر أن المجال منتظم (شدّته ثابتة). تولّد زيادة شدّة التيّار الكهربائي مرَّة أُخرى مجالًا أشدّ (أقوى)، وإذا عُكِس التيّار الكهربائي فإن اتّجاه المجال المغناطيسي ينعكس أيضًا.
- **في سلك:** تكون خطوط المجال على شكل دوائر حول السلك، وكلّما ابتعدنا عن السلك تتباعد خطوط المجال لتظهر أن المجال يكون أضعف. وإذا كانت شدّة التيّار الكهربائي أكبر، يكون المجال المغناطيسي أقوى، وبالتالي تكون الخطوط متقاربة أكثر. وإذا عُكِس التيّار الكهربائي ينعكس اتّجاه المجال المغناطيسي أيضًا.

سؤال

١٦-٣ ارجع إلى نمط خطوط المجال المغناطيسي المبيّن في الشكل ١٦-٣. كيف تتحدّث عن نمط خطوط المجال المغناطيسي، وعن أن المجال يضعف كلّما ابتعدت عن السلك؟

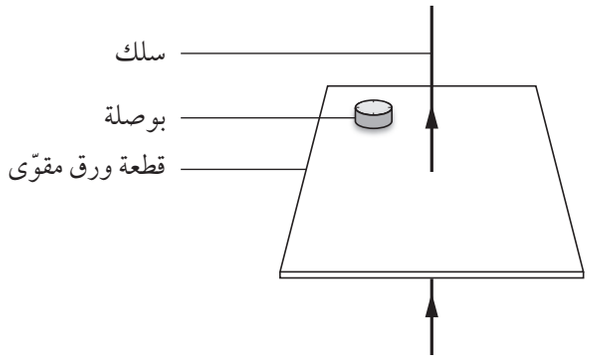
ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- وصف نمط خطوط المجال المغناطيسي حول كلّ من الملف الحلزوني والأسلاك المستقيمة التي يمرّ بها تيّار كهربائي.
- تأثير تغيُّر كلّ من شدَّة التيّار الكهربائي واتّجاهه على المجال المغناطيسي الناشىء عن مرور التيّار الكهربائي في ملفّ حلزوني وسلك مستقيم.

أسئلة نهاية الوحدة

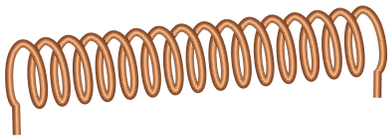
١ يستخدم محمود قطعة من الورق المقوّى، وبوصلة صغيرة لتحديد نمط خطوط المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يتدفَّق فيه تيّار كهربائي، كما هو موضّح في الرسم التخطيطي أدناه. يوضّح السهم اتّجاه التيّار الكهربائي في السلك.



أ. ارسم مربّعًا يمثّل قطعة الورق المقوّى، وارسم في هذا المربّع نمط خطوط المجال المغناطيسي الناتج عن تدفُّق التيّار الكهربائي في السلك، مع توضيح اتّجاه المؤشر في البوصلة.

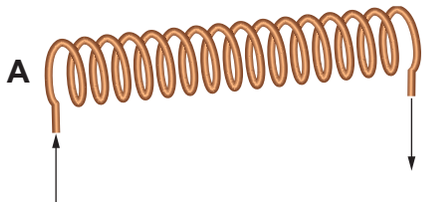
ب. يزيد محمود بعد ذلك شدّة التيّار الكهربائي في السلك، ويعكس اتّجاهه.
ارسم في مربع آخر نمط خطوط المجال المغناطيسي الناتج عن تدفُّق التيّار الكهربائي في السلك بعد حدوث هذَين التغيُّرَين، مع توضيح اتّجاه المؤشر في البوصلة.

٢ يقوم علي بعمل ملفّ من سلك نحاسي، كما هو موضّح في الرسم التخطيطي أدناه.

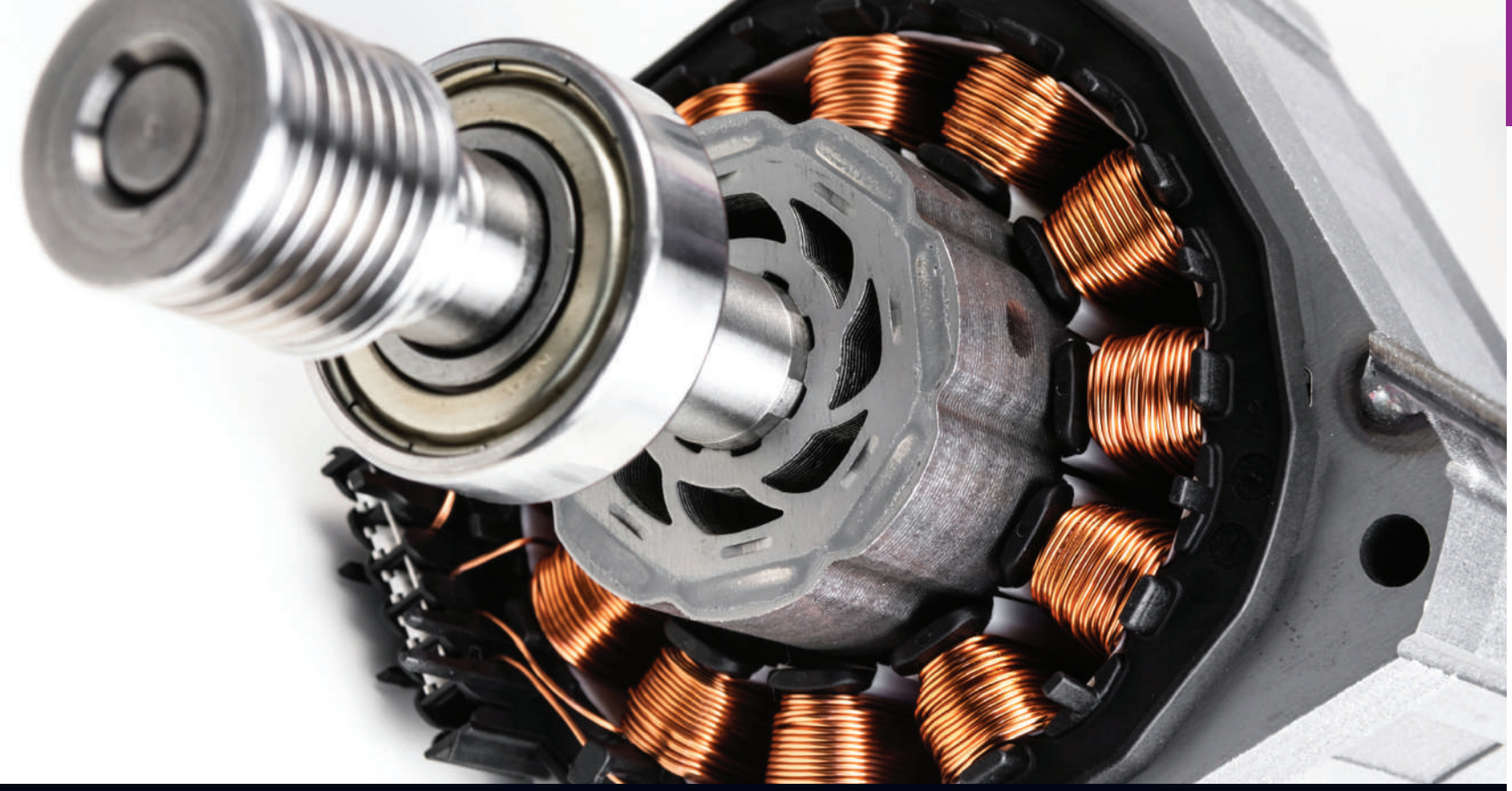


أ. ما الاسم الذي يُطلَق على هذا النوع من الملفّات المصمّمة لحمل تيّار كهربائي؟

ب. يوصّل علي الملفّ بمصدر جهد كهربائي. يتدفّق التيّار الكهربائي عبر الملفّ في الاتّجاه الذي تُظهِره الأسهم في الرسم أدناه.



١. قرّب علي بوصلة مغناطيسية من الطرف A للملفّ. اذكر ما سيلاحظه على إبرة البوصلة، واشرحه.
٢. وضَع علي البوصلة داخل منتصف الملفّ. تنبّأ بما سوف يلاحظه.
٣. حرّك علي البوصلة خارج الملفّ قرب الطرف A مرّة أخرى، ثم عكسَ اتّجاه التيّار الكهربائي. صف ما سوف يحدث لإبرة البوصلة.



الوحدة السابعة عشرة

تأثير المحرّك The Motor Effect

تُغطّي هذه الوحدة:

- القوّة المؤثّرة على موصّل حامل لتيّار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي.
- قاعدة اليد اليسرى لتحديد الاتّجاهات للقوّة والتيّار الكهربائي والمجال المغناطيسي.
- فكرة عمل المحرّك الكهربائي والعوامل التي تؤثّر على القوّة التي يُنتجها المحرّك.

١-١٧ القوّة المؤثّرة على موصّل حامل لتيّار كهربائي موضوع داخل مجال مغناطيسي

عندما يتدفَّق تيّار كهربائي في موصّل موضوع في مجال مغناطيسي يتأثّر الموصّل بقوّة، وهناك شرطان أساسيّان لا بُدّ من توفّرهما لكي يتأثّر الموصّل بهذه القوّة، هما:

- وجود مجال مغناطيسي.
- تدفُّق تيّار كهربائي في الموصِّل الموضوع في المجال المغناطيسي.

يبيّن الشكل ١٧-١ طريقة لعرض ذلك في المختبر، حيث يكون قضيب النحاس حرّ الحركة على طول قضيبَي الألومنيوم الداعمَين له. أضف إلى ذلك أن التيّار الكهربائي يتدفَّق من مصدر الجهد الكهربائي على طول أحد القضيبَين الداعمَين، ثم خلال قضيب النحاس، ليخرج بعد ذلك من خلال القضيب الداعم الآخر، ويوفِّر المغناطيسان مجالًا مغناطيسيًّا عموديًّا على اتّجاه التيّار الكهربائي المارّ في القضيبَين.

ماذا يحدث عندما يبدأ التيّار الكهربائي بالتدفُّق؟ يتدحرج قضيب النحاس أفقيًّا على طول القضيبَين الداعمَين؛ إذ يُدفع بقوّة أفقية، وتنتج هذه القوّة من تنافر المجال المغناطيسي المتولِّد حول التيّار الكهربائي مع المجال المغناطيسي للمغناطيس الدائم.

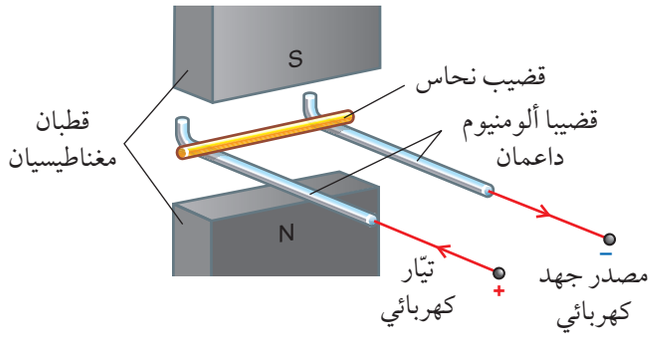
ويمكن زيادة هذه القوَّة بطريقتَين، هما:

- زيادة شدّة التيّار الكهربائي.
- استخدام مغانط ذات مجال مغناطيسي أشدّ.

تُعرَف هذه القوّة التي يعتمد عليها كل محرِّك كهربائي باسم **تأثير المحرّك Motor effect**.

يمكنك عكس اتّجاه التيّار الكهربائي في قضيب النحاس بعكس توصيل أقطاب مصدر الجهد الكهربائي، عندئذٍ يتدحرج القضيب باتّجاه معاكس لما سبق، ممّا يدلّ على أن القوَّة المؤثّرة عليه قد عُكِست. وبالمثل إذا عُكِس المغناطيسان، فإن اتّجاه المجال المغناطيسي سوف ينعكس، وكذلك اتّجاه القوَّة المؤثّرة على قضيب النحاس، وبناء على ذلك فإن اتّجاه القوَّة التي يسبِّبها تأثير المحرّك ينعكس إذا:

- عُكِس اتّجاه التيّار الكهربائي.
- عُكِس اتّجاه المجال المغناطيسي.



الشكل ١٧-١ ينشأ مجال مغناطيسي حول التيّار الكهربائي في قضيب النحاس. وينجم عن ذلك قوّة أفقية تؤثّر على قضيب النحاس، ويُستخدَم قضيب نحاسي لأنه من مادة غير مغناطيسية

مصطلحات علمية

تأثير المحرّك Motor effect: يعبّر عن القوّة الكهرومغناطيسية المؤثّرة عندما يكون الموصِّل الحامل للتيّار الكهربائي موضوعًا في مجال مغناطيسي.

سؤال

١٧-١ اذكر **طريقتَين** لعكس القوَّة المؤثّرة على الموصِّل الحامل لتيّار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي.

نشاط ١٧-١

تأثير المحرّك

المهارات:

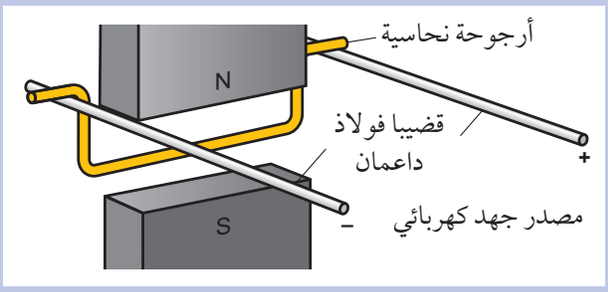
- **يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.**
- **يكوّن التنبّؤات والفرضيات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة).**

جرّب طريقة بسيطة لإظهار القوّة المؤثّرة على الموصّل الحامل للتيّار الكهربائي.

١ ثبّت قضيبَين من الفولاذ بحيث يكونان متوازيَين أفقيًّا.

٢ اثنِ قضيبًا نحاسيًّا كما هو مبيّن أدناه لتشكيل «أرجوحة»، بحيث تتدلّى بين قضيبَي الفولاذ.

٣ صِل مغناطيسَين بداعم بحيث يكون القطبان المتعاكسان متقابلَين كما هو مبيّن أدناه.



٤ صِل أحد طرفَي قضيبَي الفولاذ بتيّار كهربائي مستمرّ لمصدر جهد كهربائي منخفض، ويجب أن يكون باستطاعة التيّار الكهربائي التدفُّق على طول أحد القضيبَين، ثم خلال الأرجوحة، ثم العودة للخروج عبر القضيب الآخر.

٥ شغّل مصدر الجهد، ولاحظ ما إذا كانت هناك قوَّة تؤثّر على الأرجوحة. اشرح مصدر هذه القوّة التي تحرّك الأرجوحة.

٦ تنبّأ بشكل منفصل عن تأثير ما يأتي على حركة الأرجوحة:

- عكس اتّجاه التيّار.
- عكس اتّجاه المجال المغناطيسي.

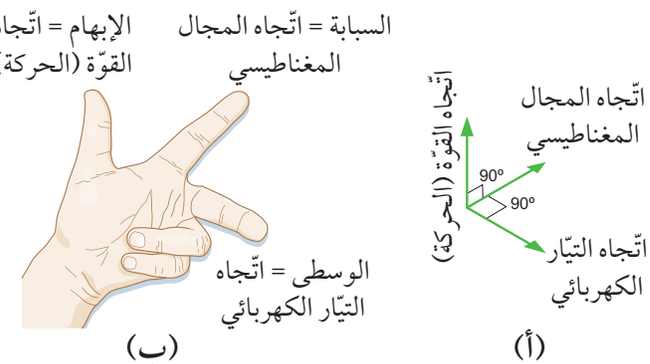
إذا كان لديك متّسع من الوقت، فاختبر هذه التنبّؤات من خلال إجراء التغييرات.

قاعدة اليد اليسرى لفلمنج

هناك ثلاث كمّيات فيزيائية في الشكل ١٧-٢، لكلّ منها اتّجاه مختلف، هي:

- المجال المغناطيسي.
- التيّار الكهربائي.
- القوّة (الحركة).

فالمجال المغناطيسي عمودي، في حين أن التيّار الكهربائي والقوّة (حركة القضيب النحاسي) أفقيّان، وكل منهما متعامد مع الآخر. ولهذا لدينا ثلاث كمّيات فيزيائية متعامدة بزوايا قائمة كما في الشكل ١٧-٢ (أ). يستخدم الفيزيائيون **قاعدة اليد اليسرى لفلمنج Fleming's left-hand rule** كما في الشكل ١٧-٢ (ب). ويجدر بك التدرُّب على وضع إبهامك وإصبعَيك المجاورَين له (السبَّابة والوسطى) بشكل متعامد كما هو مبيّن في الشكل ١٧-٢.



الشكل ١٧-٢ (أ) تتعامد القوّة والمجال والتيّار الكهربائي مشكّلين زوايا قائمة. (ب) قاعدة اليد اليسرى لفلمنج

نستخدم قاعدة اليد اليسرى لفلمنج لتحديد اتّجاه القوّة المؤثّرة على موصّل حامل لتيّار كهربائي في مجال مغناطيسي. وبإبقاء إبهامك وإصبعَيك (السبَّابة والوسطى) بشكل متعامد مشكّلين زوايا قائمة، يمكنك أن تُظهِر أن عكس اتّجاه التيّار الكهربائي أو المجال المغناطيسي يعكس اتّجاه القوّة أيضًا. تذكّر أن تُبقي إبهامك وأصبعَيك في زوايا قائمة لبعضهما بعضًا.

تذكّر

عندما تستخدم قاعدة اليد اليسرى لفلمنج من أجل أن تجيب عن سؤال ما، ضع يدك في وضع مريح، ودوّر الصفحة بحيث تتناسب مع اتّجاه أصابع يدك.

أسئلة

١٧-٢ اكتب الكمّيات الفيزيائية الثلاث المتعامدة، استنادًا إلى قاعدة اليد اليسرى لفلمنج. اكتب اسم الإصبع التي يمثّلها كلّ من الكمّيات الثلاث.

١٧-٣ اذكر **طريقتَين** لزيادة القوّة المؤثّرة على موصّل حامل لتيّار كهربائي في مجال مغناطيسي.

١٧-٤ ما مقدار القوّة المؤثّرة على موصّل حامل لتيّار كهربائي عندما يكون الموصّل موازيًا للمجال المغناطيسي؟

مصطلحات علمية

قاعدة اليد اليسرى لفلمنج Fleming's left-hand rule:
القاعدة المُستخدَمة لتحديد اتّجاه القوّة المؤثّرة على موصّل حامل لتيّار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي.

١٧-٢ المحرّكات الكهربائية

تُستخدَم المغانط الكهربائية في كثير من التطبيقات، فالمحرّك الكهربائي يتكوّن من ملفّ واحد على الأقلّ. فكيف يعمل المحرّك الكهربائي؟

تعتمد فكرة عمل المحرّك الكهربائي على مرور تيّار كهربائي في ملفّ، بحيث يوضع في مجال مغناطيسي خارجي وثابت الشدّة، باستخدام مغناطيس دائم؛ فينتج عن ذلك عزم دوران في الملفّ يسبِّب دورانه.

رأينا في الوحدة الخامسة عشرة كيف نجعل المجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيس كهربائي أشدّ. ولا بدّ من أن يعطيك ذلك أفكارًا عن كيفية زيادة عزم الدوران للملفّ، بحيث يكون المحرّك أقوى. ويتم ذلك بواسطة:

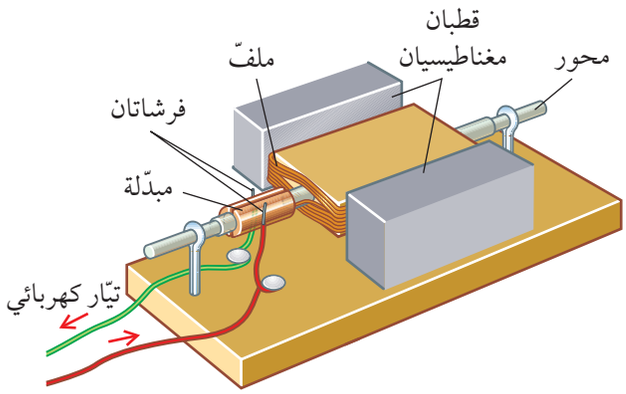
- زيادة شدّة التيّار الكهربائي في المغناطيس الكهربائي.
- زيادة عدد لفّات السلك في الملفّ.
- جعل المغناطيس الدائم أقوى.

المحرّك الذي يستمرّ في الدوران

كيف يمكن للمحرّك أن يستمرّ في الدوران حتى يُنتِج حركة دوران مستمرّة؟ إذا وضعتَ مغناطيسَين معًا بحيث يتنافران فإنهما يتحرّكان متباعدَين ثم يتوقّفان. صُمِّم المحرّك الكهربائي بطريقة ذكية لإنتاج حركة دورانية مستمرّة طالما أن التيّار الكهربائي يتدفَّق عبره. تمّ ذلك بتكوين مجالَين مغناطيسيَّين، وصمّم لجعل القوّة بين المجالَين المغناطيسيَّين تبقى في نفس الاتّجاه خلال دوران المحرِّك.

ربّما بنيت من قبل نموذجًا لمحرّك كهربائي مثل المبيَّن في الشكل ١٧-٣. صُمِّم هذا النموذج بحيث يكون سهل البناء والفهم. وتتمثّل مكوّناته الأساسية في:

- ملفّ من سلك، يعمل كمغناطيس كهربائي عندما يتدفّق خلاله تيّار كهربائي مستمرّ.
- مغناطيسَين، لتوفير مجال مغناطيسي ثابت يخترق الملفّ.
- **مبدّلة Commutator** عبارة عن حلقة مشقوقة تعمل على عكس اتّجاه التيّار الكهربائي الذي يعبر الملفّ.
- فرشاتَين، وهما سلكان يعملان كزنبركَين يضغطان على الشقَّين الفلزّيَّين لحلقة المبدّلة.



الشكل ١٧-٣ نموذج لمحرّك كهربائي

مصطلحات علمية

المبدّلة Commutator: أداة تعكس اتّجاه التيّار الكهربائي المتدفِّق عبر الملفّ في كلّ نصف دورة؛ ممّا يجعل الملفّ يستمرّ في الدوران بالاتّجاه نفسه.

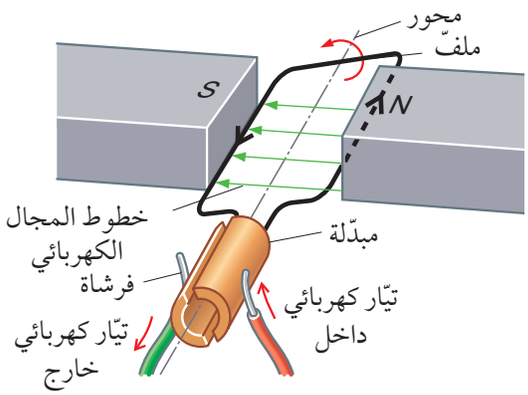
يوضّح الشكل ١٧-٤ المكوّنات الأساسية والمهمّة للمحرّك. وفيما يأتي شرح كيفية عمل المحرّك الكهربائي.

أ. يتدفَّق التيّار الكهربائي عبر الفرشاة اليمنى، ثم عبر الملفّ، ويخرج من خلال الفرشاة اليسرى.

ب. يصبح الملفّ مغناطيسًا كهربائيًّا عندما يتدفَّق فيه التيّار الكهربائي، ويتفاعل المجال المغناطيسي الناتج عن المغناطيس الكهربائي مع المجال المغناطيسي الناتج عن قطبَي المغناطيس الدائم، ويجعل الملفّ يدور. يمكنك استخدام قاعدة اليد اليسرى مع الشكل ١٧-٤ للتنبّؤ لأي جهة سوف يدور كل جانب من الملفّ. يتنافر القطب الشمالي للملفّ مع القطب الشمالي للمغناطيس الدائم نحو اليسار، وهكذا يبدأ الملفّ في الدوران نحو اليسار (عكس اتّجاه عقارب الساعة).

ج. يؤدّي عزم دوران الملفّ إلى جعله يعبر الوضع الرأسي. والآن يبدأ دور المبدّلة، إذ ينعكس توصيل الفرشاة بشقَّي حلقة المبدّلة، فيتدفَّق التيّار الكهربائي في الاتّجاه المعاكس في الملفّ.

د. تضمن المبدّلة أن التيّار الكهربائي في جزء الملفّ المحاذي للقطب بجانب القطب الشمالي للمغناطيس يتدفَّق مبتعدًا، والتيّار الكهربائي في جزء الملفّ المحاذي للقطب بجانب القطب الجنوبي للمغناطيس يتدفَّق نحوه. هذا يعني أن الملفّ يستمرّ بالدوران في نفس الاتّجاه طالما يتدفَّق تيّار كهربائي عبر الملفّ.



الشكل ١٧-٤ محرك كهربائي. يتمثّل الملفّ في مغناطيس كهربائي ينجذب ليدور بواسطة المغناطيس الدائم. تعكس المبدّلة تدفُّق التيّار الكهربائي عبر الملف في كل نصف دورة؛ ممّا يجعل الملفّ يستمر في الدوران بالاتّجاه نفسه

فإذا كنت قد بنيتَ نموذجًا كالنموذج المبيّن في الشكل ١٧-٣، فربما لاحظت وجود شرارات كهربائية تومض حول المبدِّلة، تحدث هذه الشرارات عندما ينقطع الاتّصال بين الفرشاة وأحد شقَّي حلقة المبدِّلة، وكذلك عندما تتّصل الفرشاة بالشقّ الآخر من حلقة المبدِّلة. دور الفرشاتَين هو الحفاظ على الاتّصال المباشر بين مصدر الجهد الكهربائي والمبدّلة الدوّارة. وفي المحرّكات التجارية، تكون الفرشاتان قاسيتَين جدًا حيث لا تحتاج إلى استبدالهما كثيرًا.

وللحصول على أيّ استخدام لمحرّك التيّار الكهربائي المستمرّ، لا بدّ من أن يكون محوره متّصلًا بشيء يدور مثل عجلة أو بكرة أو مضخّة، ولا يكون هذا المحرّك النموذجي قويًّا جدًّا؛ إذ يمكن زيادة عزم الدوران بزيادة عدد لفّات السلك حول الملفّ.

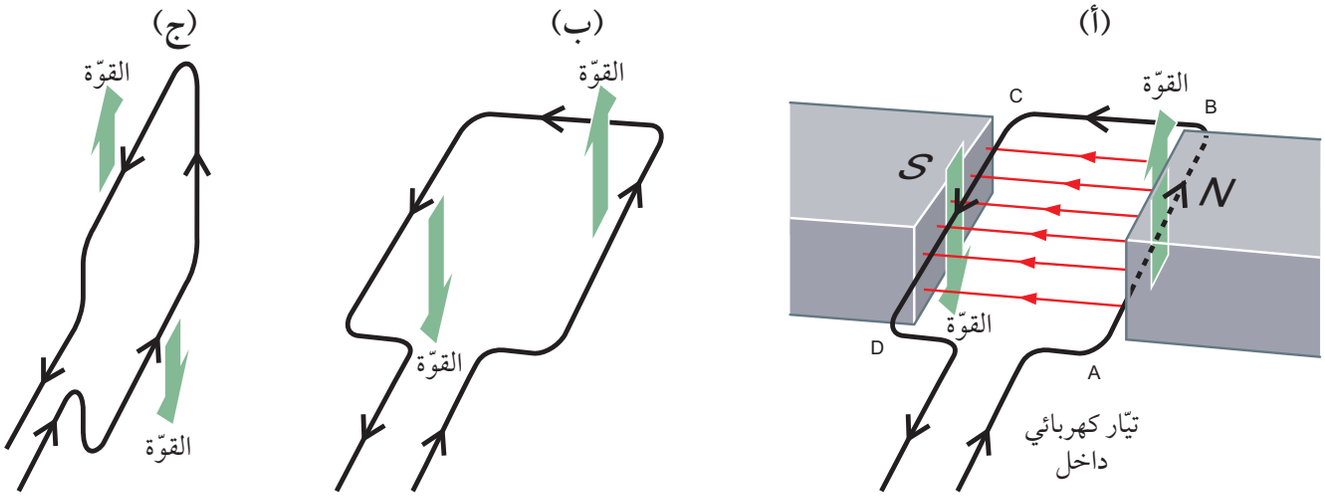
تذكّر

أن هناك مجالَين مغناطيسيَّين في المحرّك الكهربائي، هما: مجال المغناطيس الدائم والمجال الناتج عن مرور تيّار كهربائي في الملفّ.

المحرّكات الكهربائية وقاعدة اليد اليسرى لفلمنج

تُطبَّق قاعدة اليد اليسرى لفلمنج على المحرّك الكهربائي. يبيّن الشكل ١٧-٥ (أ) محرِّكًا كهربائيًّا بسيطًا يحتوي على ملفّ أفقي في مجال مغناطيسي أفقي، ويكون الملفّ على شكل مستطيل. ما القوى التي تعمل على كل ضلع من أضلاعه الأربعة؟

- الضلع AB: يتدفَّق التيّار الكهربائي من A إلى B خلال المجال المغناطيسي. تُظهِر قاعدة اليد اليسرى لفلمنج أن القوّة التي تعمل على هذا الضلع رأسية إلى الأعلى.
- الضلع CD: يتدفَّق التيّار الكهربائي في هذا الضلع باتّجاه معاكس لتدفُّق التيّار الكهربائي في الضلع AB، لذا فإن القوّة التي تعمل على الضلع CD تكون بالاتّجاه المعاكس؛ أي رأسية إلى الأسفل.
- الضلعان BC و DA: اتّجاه تدفُّق التيّار الكهربائي هنا موازٍ للمجال المغناطيسي. ونظرًا لأنه لا يقطع المجال المغناطيسي بل يوازيه، فلا توجد قوّة تعمل على هذَين الضلعَين.



الشكل ١٧-٥ (أ) محرّك كهربائي بسيط. يتأثّر الضلعان الأطول فقط بقوة، لأن كلًّا منهما يقطع خطوط المجال المغناطيسي. (ب) توفر القوّتان عزم الدوران اللازم لجعل الملف يدور. (ج) عندما يكون الملفّ في الوضع الرأسي، لا يكون للقوى عزم دوران

يبيّن الشكل ١٧-٥ (ب) القوّتَين اللتَين تعملان على الملفّ وتسبِّبان دوران الملفّ بعكس اتّجاه عقارب الساعة. توفّر هاتان القوّتان عزمًا دورانيًّا يتسبَّب بدوران المحرّك، حيث يمكنك أن ترى من الشكل ١٧-٥ (ج) أن القوَّتين لن تديرا الملفّ عندما يكون في وضع رأسي. وهذا هو المكان الذي يجب أن نعتمد فيه على عزم دوران الملفّ الذي يجعل الملفّ يدور أبعد متجاوزًا هذا الوضع الرأسي. وعلى الرغم من أن القوّة المؤثّرة على الملفّ تساوي صفرًا عندما يكون في الوضع الرأسي، فإنها لن تتوقّف لأنها تدور أصلًا.

تبيّن الرسوم التوضيحية للملفّ المبيَّنة في الشكل ١٧-٥ كما لو كان مكوّنًا من لفّة واحدة من السلك. ولكن من الناحية العملية، قد يحتوي الملفّ على مئات اللفّات من السلك، ممّا ينتج عنه قوى أكبر بمئات المرّات، حيث يتسبَّب الملفّ عندئذٍ بتدفُّق التيّار الكهربائي عبر المجال المغناطيسي مرّات كثيرة، وفي كل لفّة يعطي قوّة؛ فالملفّ الذي يحتوي على لفّات كثيرة من السلك هو وسيلة لمضاعفة القوّة مقارنة بملفّ يحتوي على لفّة واحدة من السلك.

أسئلة

١٧-٥ انظر إلى المحرّك المبيّن في الشكل ١٧-٤ وإلى شرح آلية عمله. اشرح كيف سيدور الملفّ إذا تمّ عكس قطبَي المغناطيس المواجهَين للملفّ.

١٧-٦ **أ.** لماذا يجب أن ينعكس اتّجاه التيّار الكهربائي مرّتَين خلال كلّ دورة للملفّ الدوّار في محرّك التيّار الكهربائي المستمرّ؟

ب. ما الأداة التي تعكس اتّجاه التيّار الكهربائي؟

١٧-٧ صف كيف سيتغيّر عزم الدوران لمحرّك تيّار كهربائي مستمرّ، إذا زادت شدّة التيّار الكهربائي المتدفّق عبر ملفّ المحرّك.

ملخّص

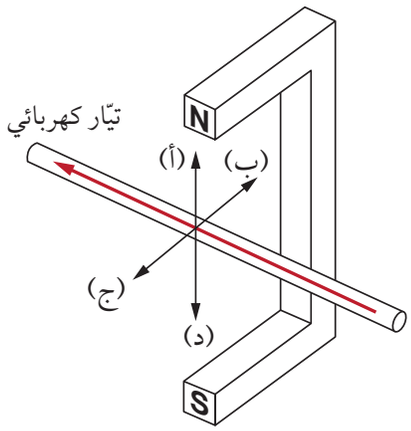
ما يجب أن تعرفه:

- القوّة المؤثّرة على موصّل حامل لتيّار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي.
- قاعدة اليد اليسرى لفلمنج.
- العزم الدوراني على ملفّ حامل لتيّار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي.
- كيفية زيادة مقدار عزم الدوران.
- كيفية ضبط المبدّلة لاتّجاه التيّار الكهربائي في ملفّ المحرّك.

أسئلة نهاية الوحدة

١ عندما يوضع موصِّل حامل لتيّار كهربائي في مجال مغناطيسي فإنه يخضع لقوّة. سمِّ القاعدة التي يمكن استخدامها لتحديد اتّجاه هذه القوّة.

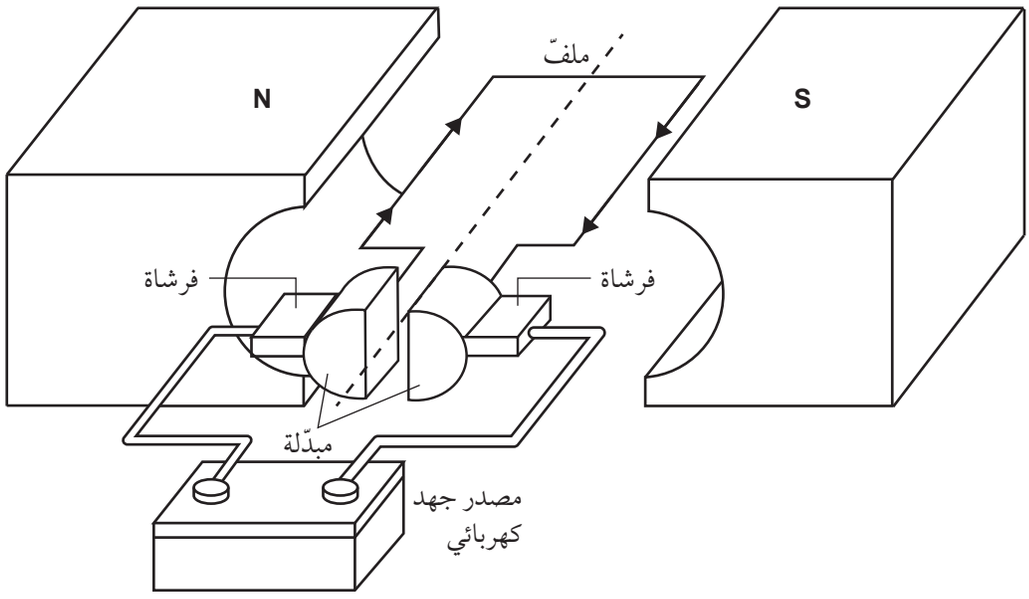
٢ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه موصِّلًا يحمل تيّارًا كهربائيًّا موضوعًا في مجال مغناطيسي.



أ. اكتب الحرف الذي يبيّن اتّجاه القوّة المؤثّرة على الموصِّل.

ب. اذكر ما سيحدث لهذه القوّة إذا عُكس اتّجاه التيّار الكهربائي في الموصِّل، وازدادت شدّته.

٣ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه محرّكًا كهربائيًّا.



أ. اذكر اتّجاه عزم الدوران على المحرّك.

ب. اشرح الغرض من المبدّلة.

ج. ضَع قائمة بثلاث طرائق يمكن بواسطتها زيادة عزم الدوران على المحرّك.

الوحدة الثامنة عشرة

الحثّ الكهرومغناطيسي ومولّد التيّار المتردّد

Electromagnetic Induction and the A.C. Generator

تُغطّي هذه الوحدة:

- كيفية تولُّد قوّة دافعة كهربائية محتثّة في دائرة ما.
- العوامل التي تؤثّر على مقدار القوّة الدافعة الكهربائية المحتثّة.
- الفرق بين التيّار الكهربائي المستمرّ والتيّار الكهربائي المتردِّد.
- عمل مولّد التيّار الكهربائي المتردّد.

١٨-١ توليد الكهرباء

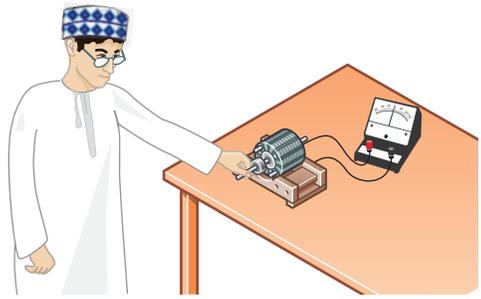
المحرّك الكهربائي هو جهاز يُستخدَم لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (طاقة حركة). وإذا أردنا توليد الكهرباء فإنّنا نحتاج إلى جهاز يعمل بالعكس؛ أي يحوِّل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. ولحسن الحظ، يمكننا ببساطة أن نعكس استخدام المحرّك الكهربائي، بمجرّد أن توصّله بفولتميتر وتُدير محوره. حينئذ، سوف يُظهر الفولتميتر أنك قد ولّدت فرق جهد كهربائي.

يدور الملفّ حول نفسه داخل المحرّك في مجال مغناطيسي توفرّه مغانط دائمة. فينتج عن ذلك تدفُّق تيّار كهربائي في الملفّ، ويظهر هذا بواسطة أمّيتر مزدوج (فولتميتر حسّاس) كما في الشكل ١٨-١. عندئذ يمكننا القول: إنّ التيّار الكهربائي محتثّ، وإنّ المحرِّك يعمل كمولّد كهربائي.

تتوفّر تصميمات متنوّعة للمولّدات، شأنها شأن المحرّكات الكهربائية. ومع ذلك، تشترك المولِّدات في ثلاثة أمور، هي:

- مجال مغناطيسي (مغناطيس دائم أو مغناطيس كهربائي).
- ملفّ (ثابت أو متحرّك).
- الحركة (يتحرّك الملفّ أو المغناطيس أحدهما بالنسبة إلى الآخر).

عندما يتحرَّك الملفّ أو المغناطيس أحدهما بالنسبة إلى الآخر، يتدفَّق تيّار كهربائي في الملفّ في حال كونه جزءًا من دائرة كهربائية كاملة. يُعرف هذا بالتيّار الكهربائي المحتثّ.



الشكل ١٨-١ يمكن أن يعمل المحرّك كمولِّد. إن أدرت المحرّك فسيُظهِر الأمّيتر المزدوج (الڤولتميتر الحسّاس) تيّارًا كهربائيًّا مُحتثًّا يتدفّق في الدائرة الكهربائية

مبادئ الحثّ الكهرومغناطيسي

يُطلَق على عملية توليد الكهرباء من الحركة في مجال مغناطيسي اسم الحثّ الكهرومغناطيسي. لقد تطوّر علم الكهرومغناطيسية إلى حدٍّ كبير على يد مايكل فاراداي Michael Faraday، الذي اكتشف فكرة المجال المغناطيسي، ورسم خطوط المجال المغناطيسي لتمثيله، كما اخترع أول محرّك كهربائي. بعد ذلك، وسّع دراسته ليبيّن كيفيّة عمل تأثير المحرّك بالاتّجاه المعاكس لتوليد الكهرباء، وسنتناول في هذا الموضوع مبادئ الحثّ الكهرومغناطيسي التي اكتشفها فاراداي.

في الواقع يكفي سلك واحد لتوليد قوّة دافعة كهربائية محتثّة، كما هو مبيّن في الشكل ١٨-٢ (أ)، ويكون السلك متّصلًا بأمّيتر مزدوج (ڤولتميتر حسّاس) لإظهار تدفُّق التيّار الكهربائي المحتثّ.

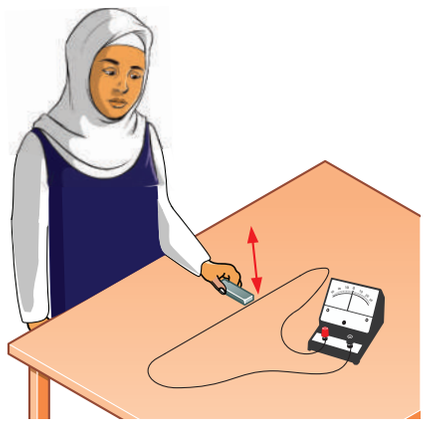
- عند تحريك أحد قطبَي المغناطيس إلى الأسفل مقتربًا من السلك، يتدفَّق تيّار كهربائي.
- عند تحريك المغناطيس إلى الأعلى مبتعدًا عن السلك، يتدفَّق تيّار كهربائي في الاتّجاه المعاكس.
- بدلاً من تحريك المغناطيس نبقيه ثابتًا، ونحرّك السلك إلى الأعلى وإلى الأسفل بالقرب من المغناطيس.

يمكنك رؤية تأثيرات مماثلة باستخدام مغناطيس وملفّ كما في الشكل ١٨-٢ (ب). ذلك أن دفع المغناطيس داخل الملفّ وخارجه يولّد تدفُّق تيار كهربائي ذهابًا وإيابًا في الملفّ. وفيما يأتي ملاحظتان:

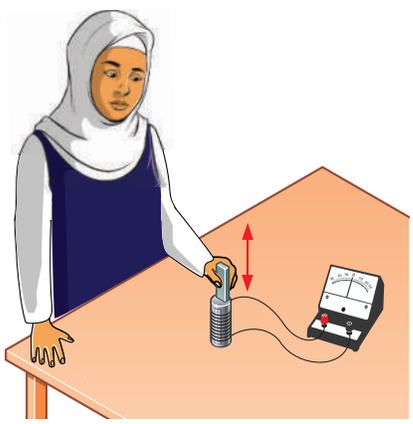
- عند عكس قطبَي المغناطيس سوف يتدفَّق التيّار الكهربائي في الاتّجاه المعاكس.
- عند وضع المغناطيس مستقرًّا دون حركة بجوار السلك أو الملفّ، لن يتدفَّق تيّار كهربائي؛ أيّ يجب أن يتحرّك أحدهما بالنسبة إلى الآخر، أو لن يحدث شيء.

من المفيد في هذه التجارب استخدام أمّيتر مزدوج، بحيث إذا تحرّكت الإبرة إلى اليسار، فهذا يدل على أن التيّار الكهربائي يتدفَّق في اتّجاه معيّن؛ وإذا تحرّكت إلى اليمين، فإن ذلك يدلّ على أن التيّار الكهربائي يتدفَّق في الاتّجاه الآخر.

(أ)



(ب)



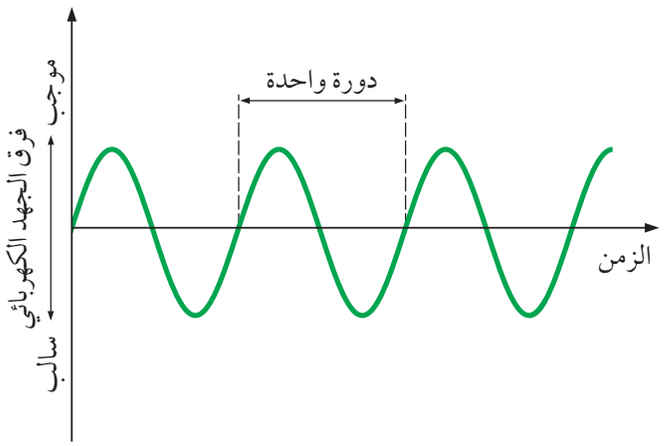
الشكل ١٨-٢ (أ) حرّك مغناطيسًا مقتربًا ومبتعدًا من سلك ثابت، سوف يتدفّق تيّار كهربائي محتثّ. (ب) حرِّك المغناطيس إلى داخل ملفّ وخارجه، يتدفّق تيّار كهربائي محتثّ مرّة أخرى

توليد تيّار كهربائي متردّد

أدّى اكتشاف فاراداي للحثّ الكهرومغناطيسي إلى تطوير إنتاج الكهرباء، فسمح على وجه الخصوص للمهندسين، مثل نيكولا تيسلا Nikola Tesla، بتصميم مولّدات يمكنها توفير الكهرباء، وطُبِّقت هذه التصميمات في البداية على مولِّدات ذات أحجام صغيرة فقط، ولكن تدريجيًّا أصبحت أحجام المولِّدات أكبر، حتى أصبحت قادرة على توفير الكهرباء لآلاف المنازل.

يُنتِج المولِّد الكهربائي من هذا النوع **تيّارًا كهربائيًّا متردّدًا (Alternating current (A.C.**، وهذا يعني أن التيّار الكهربائي ليس تيّارًا كهربائيًّا مستمرًّا (D.C.) يتدفَّق دائمًا في الاتّجاه نفسه، بل هو تيّار كهربائي متردّد يتدفّق ذهابًا وإيابًا (في اتّجاهَين متعاكسَين).

يبيّن الشكل ١٨-٣ تمثيلًا بيانيًّا لفرق جهد متردّد خارج من المولِّد الكهربائي. حيث يكون فرق الجهد موجبًا في نصف زمن دورة كاملة، ثم ينعكس ويصبح سالبًا في النصف الآخر. ويُعرّف تردُّد مصدر الإمداد بالتيّار الكهربائي المتردّد بأنّه عدد الدورات التي ينتجها المولِّد في الثانية.



الشكل ١٨-٣ تمثيل بياني لفرق الجهد الكهربائي المتردّد الذي ينتجه مولِّد تيّار كهربائي متردّد. يكون موجبًا في النصف الأول من الدورة، ثم ينعكس ويصبح سالبًا في نصفها الآخَر

تذكّر

يكون تردُّد التيّار المتردِّد لمصادر الإمداد بالكهرباء في معظم البلدان 50 Hz أو 60 Hz.

نشاط ١٨-١ (إثرائي)

الكهرباء المحتثّة

دوِّن بعض الملاحظات عن الحثّ الكهرومغناطيسي.

أسئلة

١٨-١ ارسم مخطّطًا تبيّن فيه محوّلات الطاقة في كلّ من الآتي، من خلال مخطّط الطاقة كالنوع الذي استخدمته في الصف التاسع، الفصل الدراسي الأوّل:

أ. المحرّك الكهربائي.

ب. المولِّد الكهربائي.

١٨-٢ إذا كنت تحمل ملفًّا بجانب مغناطيس، فلن يتدفَّق أيّ تيّار كهربائي. فما المطلوب إذن لتوليد تيّار كهربائي محتثّ؟

الحثّ وخطوط المجال المغناطيسي

يمكننا فهم الحثّ الكهرومغناطيسي باستخدام فكرة فاراداي عن خطوط المجال المغناطيسي. في الشكل ١٨-٢، سوف تجد أنّ خطوط المجال أثناء تحريك المغناطيس تُقطَع بواسطة السلك، وهذا القطع هو الذي يستحثّ التيّار الكهربائي.

تساعدنا هذه الفكرة في فهم العوامل التي تؤثّر على مقدار القوَّة الدافعة الكهربائية المحتثّة واتّجاهها.

- إذا كان المغناطيس ساكنًا، فلن يحدث قطع لخطوط المجال المغناطيسي؛ وبذلك لا تتولّد قوَّة دافعة كهربائية محتثّة.

- إذا كان المغناطيس بعيدًا عن السلك، فإن خطوط المجال المغناطيسي تكون متباعدة، ويُقطَع عدد قليل منها عند تحريك المغناطيس، ممّا يولّد قوّة دافعة كهربائية محتثّة صغيرة.
- إذا حُرّك المغناطيس بسرعة، فإن قَطع خطوط المجال المغناطيسي يكون بسرعة أكبر، وبالتالي تكون القوّة الدافعة الكهربائية المحتثّة أكبر.
- يعطي الملفّ تأثيرًا أكبر من السلك الواحد، لأن كل لفّة من السلك تقطع خطوط المجال المغناطيسي، وكلّ واحدة تسهم بدورها في توليد قوّة دافعة كهربائية محتثّة.

مولِّد التيّار الكهربائي المتردّد

يبيّن الشكل ١٨-٤ **مولِّد تيار كهربائي متردّد A.C. generator** ذا ملف دوّار بسيط، وهو المولِّد الذي يُنتج تيّارًا كهربائيًا متردّدًا. من حيث المبدأ فإن عمل المولّد يشبه العمل المعاكس للمحرّك الكهربائي الذي يعمل على التيّار الكهربائي المستمرّ؛ عندما يبدأ محور المولِّد بالدوران، يدور الملفّ في المجال المغناطيسي، فيتولّد تيّار كهربائي محتثّ، ويتمثّل الاختلاف الآخر بينهما في طريقة توصيل الملفّ بالدائرة الخارجية، حيث يستخدم محرِّك التيّار المستمرّ الحلقة المشقوقة (مبدّلة) Commutator، في حين أن مولِّد التيّار المتردّد يستخدم حلقتَي انزلاق Slip rings.

لماذا يُنتِج هذا المولِّد التيّار المتردّد؟ يمرّ كلّ ضلع من ضلعَي الملفّ الطويلَين أثناء دورانه أوّلًا بالقرب من القطب الشمالي للمغناطيس، ثم بالقرب من القطب الجنوبي للمغناطيس، أي أن التيّار المحتثّ يتدفّق أوّلًا باتّجاه معيّن، ثم بعد ذلك بالاتّجاه الآخر. بمعنى آخر يكون التيّار في الملفّ متردّدًا.

يتدفّق التيّار عبر حلقتَي الانزلاق اللتَين تكون كل منهما متّصلة بأحد طرفَي الملفّ. لذا فإن التيّار المتردّد يتدفّق خلال الفرشاتَين اللتَين تضغطان على الحلقتَين.

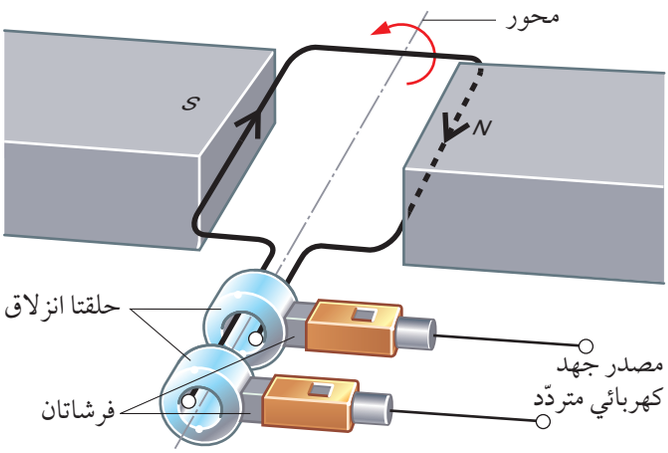
مصطلحات علمية

مولِّد التيّار الكهربائي المتردِّد A.C. generator: جهاز كالدينامو، يُستخدَم لتوليد التيّار الكهربائي المتردِّد.

توجد أربع طرائق لزيادة فرق الجهد المتولّد من مولِّد التيّار الكهربائي المتردِّد، كالمولِّد الذي يظهر في الشكل ١٨-٤، وهذه الطرائق هي:

- تدوير الملفّ بسرعة أكبر.
- استخدام ملفّ فيه عدد أكبر من اللفّات.
- استخدام ملفّ ذي مساحة أكبر.
- استخدام مغانط أقوى.

تمتلك هذه الطرائق جميعها تأثيرًا على زيادة المعدَّل الذي تُقطَع به خطوط المجال المغناطيسي. وعليه فإن القوّة الدافعة الكهربائية المحتثّة ستكون أكبر. تتولّد دورة واحدة من التيّار المتردِّد كلّما دار ملفّ مولِّد التيّار الكهربائي المتردِّد المبيّن في الشكل ١٨-٤ دورة واحدة. فتدوير الملفّ 50 مرّة كل ثانية يولِّد تيّارًا كهربائيًا متردّدًا بتردُّد 50 Hz.

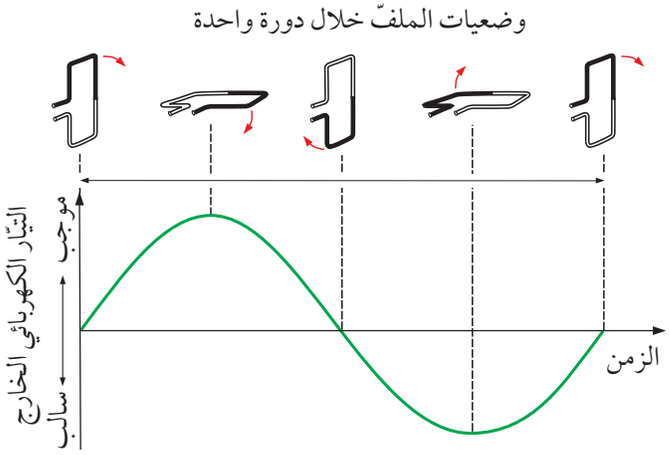


الشكل ١٨-٤ يعمل مولِّد التيّار الكهربائي المتردِّد ذو الملفّ الدوّار البسيط عكس عمل المحرّك الكهربائي. حيث تُستخدَم حلقتا انزلاق وفرشاتان لتوصيل التيّار الكهربائي المتردِّد بالدائرة الخارجية

إذا فكّرنا في كيفية قَطع الملفّ لخطوط المجال المغناطيسي، فيمكننا أن نفهم سبب تغيُّر قيَم شدَّة التيّار المتردِّد بين موجبة وسالبة في التمثيل البياني؛ فعندما يكون الملفّ في الوضع الأفقي، كما هو مبيّن في الشكل ١٨-٤، فإن ضلعَي الملفّ الطويلَين يقطعان خطوط المجال المغناطيسي بسرعة، وهذا يعطي قوَّة دافعة كهربائية محتثّة كبيرة، تتوافق مع قمّة التمثيل البياني لفرق الجهد المتردِّد.

وعندما يكون الملفّ رأسيًّا، فإن ضلعَيه الطويلَين يتحرّكان على طول خطوط المجال المغناطيسي فلا يقطعانهما. ولا تتولّد جرّاء ذلك قوّة دافعة كهربائية محتثّة. وتُعدّ نقطة الصفر على التمثيل البياني لفرق الجهد المتردِّد (انظر الشكل ١٨-٥).

وعندما يدور الملفّ بزاوية 180°، فإن الضلعَين الطويلَين يقطعان خطوط المجال المغناطيسي مرَّة أخرى بسرعة، ولكن بالاتّجاه المعاكس. لذلك تتولّد قوَّة دافعة كهربائية محتثّة. وستكون مرَّة أخرى كبيرة، لكنها سالبة هذه المرّة.



الشكل ١٨-٥ عندما يدور الملفّ عبر المجال المغناطيسي الثابت، تتغيّر شدّة التيّار الكهربائي الخارج باستمرار. يبلغ الحد الأقصى لشدّة التيّار الكهربائي للتيّار عندما يكون الملف أفقيًّا، في حين يبلغ صفرًا عندما يكون الملفّ رأسيًّا. ينعكس اتّجاه التيّار الكهربائي عندما ينقلب الملفّ رأسًا على عقب، وبالتالي ينتج نمط التيّار الكهربائي المتردِّد الموضّح في الرسم البياني

أسئلة

١٨-٣ يتم تحريك القطب الشمالي لمغناطيس باتّجاه الملفّ، كما هو موضّح في الشكل ١٨-٢ (ب)، بحيث يتدفَّق التيّار المحتثّ. حدِّد طريقتَين يمكنك من خلالهما أن تُحدِث تدفُّق تيّار محتثّ في الاتّجاه المعاكس.

١٨-٤ اذكر طريقتَين يمكن من خلالهما زيادة شدّة التيّار الكهربائي المحتثّ في الملفّ (الشكل ١٨-٢ (ب)).

١٨-٥ تحتوي محطّة طاقة كهربائية على مولّد تيار كهربائي متردّد كبير، قادر على توليد فرق جهد كهربائي كبير وإمداد تيّار كهربائي ذي شدّة كبيرة. ضَع قائمة بالخصائص الأربع لهذا المولِّد التي تجعله قادرًا على توليد فرق جهد كهربائي أعلى من ذلك الناتج من نموذج التيّار المتردِّد في المولّد الموضّح في الشكل ١٨-٤.

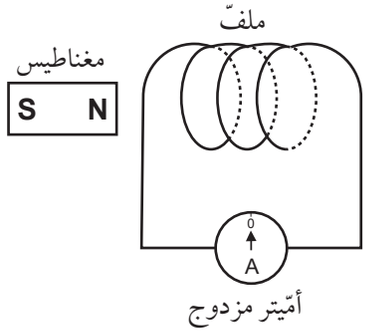
ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- كيف تُستحَثّ القوَّة الدافعة الكهربائية في سلك.
- الفرق بين التيّار الكهربائي المستمرّ والتيّار الكهربائي المتردِّد.
- العوامل التي تؤثّر على مقدار القوَّة الدافعة الكهربائية المحتثّة.
- آليّة عمل مولّد التيّار الكهربائي المتردِّد.

أسئلة نهاية الوحدة

١ لدى أحمد مغناطيس وملفّ متّصل بأمّيتر مزدوج، كما هو مبيّن في المخطّط أدناه.



يتميّز الأمّيتر المزدوج بأن صفره يقع في منتصف التدريج، وأن مؤشّره يتحرّك إلى يسار الصفر أو يمينه حسب اتّجاه التيّار الكهربائي المحتثّ.

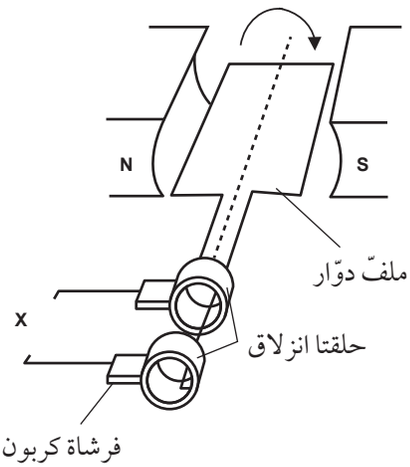
أ. اذكر **طريقتَين** يمكن لأحمد من خلالهما جعل الأمّيتر في المخطَّط يُظهِر تيّارًا كهربائيًّا دون استخدام أي معدّات أخرى.

ب. صِف كيف يجعل أحمد المؤشّر يتحرَّك إلى اليسار وإلى اليمين بالتبادل.

ج. اذكر **عاملَين** يجعلان المؤشّر يتحرَّك أكثر في كلّ من الاتّجاهَين.

٢ صِف الفرق بين التيّار الكهربائي المتردِّد (A.C.) والتيّار الكهربائي المستمرّ (D.C.). استخدم التمثيلات البيانية كجزء من إجابتك.

٣ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه مولّدًا ذا ملفّ دوّار.



أ. اشرح كيف يتمّ إنتاج قوّة دافعة كهربائية محتثّة في الملفّ.

ب. ارسم تمثيلًا بيانيًّا يوضّح كيف يتغيّر فرق الجهد الكهربائي الخارج X مع مرور الزمن.

ج. تنبّأ بما سيحدث لفرق الجهد الخارج إذا تمّ استبدال حلقتَي الانزلاق بمبدّلة الحلقة المشقوقة.

الوحدة التاسعة عشرة

المحوّلات الكهربائية Transformers

تُغطّي هذه الوحدة:

- تركيب المحوِّلات الكهربائية وآليّة عملها.
- أسباب استخدام المحوِّلات الكهربائية.
- المحوّلات الرافعة والمحوّلات الخافضة.
- الحسابات المتعلّقة بفرق الجهد وشدّة التيار الكهربائي وعدد اللفّات في ملفّ المحوّل الكهربائي.

١-١٩ خطوط الطاقة الكهربائية والمحوّلات

تبعد محطات الطاقة الكهربائية أحيانًا 100 km أو أكثر عن الأماكن التي تستهلك الكهرباء من تلك المحطّات. ويُفترَض أن تُوزّع هذه الكهرباء على جميع أنحاء الدولة، حيث تُنتِج محطّات الكهرباء الطاقة الكهربائية بفرق جهد عالٍ. وقد يصل فرق جهد الكهرباء الذي تُنتجه المحطّات الكهربائية إلى مليون فولت. لذلك كان لا بدّ من تجنُّب خطرها على الناس بنقلها في كابلات تسمّى خطوط الطاقة الكهربائية (Power lines)، يتمّ تمديدها عاليًا عن سطح الأرض بين أبراج مرتفعة. تمتدّ خطوط الطاقة الكهربائية بين الأبراج متّجهة نحو المناطق السكنية والصناعية التي تحتاج إلى تلك الطاقة (الصورة ١٩-١).

الصورة ١٩-١ تُولّد الكهرباء عادة على بُعد من مكان استخدامها. فإذا نظرت إلى خريطة خطوط الطاقة الكهربائية يمكنك تتبّع هذه الخطوط التي تنقل الطاقة الكهربائية إلى منطقتك

عندما تقترب خطوط الطاقة الكهربائية من المنطقة التي ستُستخدَم فيها، تدخل إلى مركز توزيع محلّي في تلك المنطقة، حيث يُخفّض فرق الجهد إلى مستوى أقلّ خطورة، وتُرسَل الطاقة الكهربائية عبر كثير من الكابلات (يتمّ تمديدها فوق سطح الأرض أو المطمورة تحتها) إلى محطّات فرعية. يُخفَّض فرق الجهد الكهربائي في المحطّة الفرعية، إلى فرق جهد الإمداد المحلّي، الذي يبلغ عادة 220 V باستخدام المحوّلات الكهربائية. إذا كنت تسكن جوار محطّة كهرباء فرعية، فسوف تلاحظ أن المحطّة مغلقة بإحكام، وأن المعدّات الكهربائية مُحاطة بسياج يحمل علامات تحذير من الخطر (الصورة ١٩-٢).

الصورة ١٩-٢ يوجد في محطّة الطاقة الكهربائية الفرعية إشارات تحذير من الخطر، كهذه الإشارة التي تُحذّر من الخطر الشديد الناجم عن دخول المحطّة الفرعية

تُوزّع الكهرباء من المحطّة الفرعية على المنازل المجاورة حول المحطّة، وفي حين أن بعض البلدان تعتمد توزيع الكهرباء في كابلات مطمورة تحت الأرض، تعمد دول أخرى في توزيع الكهرباء إلى استخدام «أعمدة» طويلة تحمل الكابلات فوق مستوى حركة المرور في الشوارع.

لماذا يُستخدَم فرق الجهد العالي؟

يُشكّل فرق الجهد العالي المستخدَم لنقل الطاقة الكهربائية في داخل الدولة خطورة شديدة. وهذا هو السبب في أن الكابلات التي تحمل الطاقة الكهربائية تُربَط بأبراج عالية تعلو الناس، وحركة المرور والمباني. إنّ ما يدعو إلى استخدام فرق الجهد العالي هو أن شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق في الكابلات تكون منخفضةً نسبيًّا، الأمر الذي يُخفِّف من هدر الطاقة الكهربائية. ويمكننا فهم هذا على النحو الآتي:

عندما يتدفَّق تيّار كهربائي في سلك ما أو كابل، فإن بعض الطاقة الكهربائية تُفقَد بسبب مقاومة الكابل؛ وتصبح الكابلات ساخنة، ولكن عندما تكون شدّة التيّار الكهربائي قليلة تُهدر طاقة أقلّ ممّا لو كانت شدَّة التيّار الكهربائي كبيرة. ولا يزال المهندسون الكهربائيون يبذلون كلّ ما في وسعهم لتقليل فَقد الطاقة الكهربائية في الكابلات؛ فإذا كان بإمكانهم تقليل شدَّة التيّار الكهربائي إلى نصف قيمته (بمضاعفة فرق الجهد)، فإن الطاقة المفقودة ستكون ربع قيمتها السابقة (باستخدام قانون $P = I^2 R$). يعود السبب في ذلك إلى أن فقد الطاقة في الكابلات يتناسب مع مربّع شدّة التيّار الكهربائي المتدفِّق في الكابلات على النحو الآتي:

- تؤدّي مضاعفة شدَّة التيّار الكهربائي إلى أربعة أضعاف الطاقة المفقودة كطاقة حرارية في الكابلات.
- تؤدّي ثلاثة أضعاف شدَّة التيّار الكهربائي إلى تسعة أضعاف الطاقة المفقودة كطاقة حرارية في الكابلات.

المحوِّلات الكهربائية

المحوِّل الكهربائي Transformer جهاز يُستخدَم لرفع فرق الجهد الكهربائي أو خفضه، وقد صُمِّم ليكون بأعلى كفاءة ممكنة (قد تصل كفاءة المحوِّل إلى 99.9 %)، وفي الوقت الذي تصل فيه الكهرباء إلى منازلنا، تكون قد مرّت بعشرات المحوِّلات منذ خروجها من مولدات إنتاج الطاقة

الكهربائية، وسوف يؤدّي ذلك إلى فقدان 1 % من الطاقة الكهربائية في كل محوِّل، وهذا يُعدّ هدرًا إجماليًّا نسبته 10 % من الطاقة الناتجة من محطّة الطاقة الكهربائية.

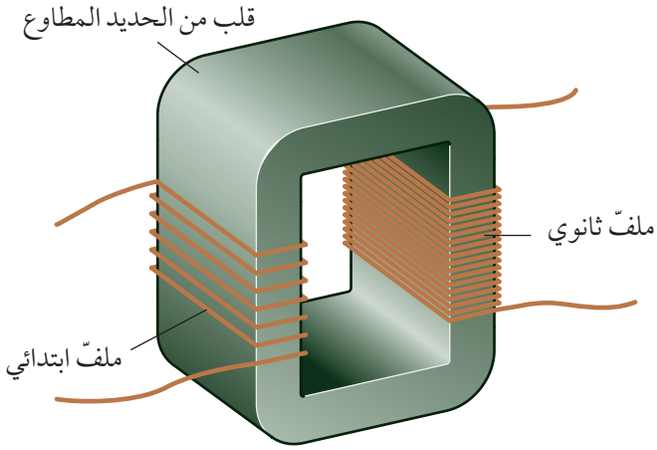
تولِّد محطّات الطاقة الكهربائية الكهرباء عادة عند 25 kV، فإذا كان فرق جهد الشبكة الوطنية لنقل الطاقة يساوي 400 kV مثلًا، فيجب رفع الـ 25 kV إلى 400 kV أي بمُعامل 16 باستخدام محوّلات رافعة. يُبيّن الشكل ١٩-١ تركيب المحوِّل المناسب لذلك. ومن الجدير بالذكر أن كل محوِّل يتكوّن من ثلاثة أجزاء هي:

- ملفّ ابتدائي: يوصَّل الملفّ الابتدائي بمصدر فرق الجهد (V_P).
- ملفّ ثانوي: يوفّر فرق الجهد V_S للدائرة الكهربائية الخارجية.
- قلب من الحديد المطاوع: يربط بين الملفَّين؛ الابتدائي والثانوي.

لاحظ أن الملفَّين ليس بينهما اتّصال كهربائي، بل يربط أحدهما بالآخر قلب الحديد. لاحظ أيضًا أن فرق الجهد الكهربائي بين طرفَي كلّ من الملفَّين هو فرق جهد متردّد. لا يُغيِّر المحوِّل التيّار الكهربائي المتردِّد إلى تيّار مستمرّ أو إلى أي شيء آخر؛ بل يخفّض أو يرفع فرق الجهد الكهربائي المتردد.

يجب أن يبلغ عدد اللفّات في الملفّ الثانوي 16 ضعفًا مقارنة بعددها في الملفّ الابتدائي لزيادة فرق الجهد الداخل بمُعامل 16. ونخلص من مقارنة عدد اللفّات في الملفَّين إلى آليّة تغيُّر فرق الجهد، وهي كالآتي:

- يرفع المحوِّل الرافع (Step-up) فرق الجهد الكهربائي، لذلك يكون عدد لفّات الملفّ الثانوي أكثر من عدد لفّات الملفّ الابتدائي.
- يخفّض المحوِّل الخافض (Step-down) فرق الجهد الكهربائي، لذلك يكون عدد لفّات الملفّ الثانوي أقلّ من عدد لفّات الملفّ الابتدائي.



الشكل ١٩-١ تركيب المحوِّل الكهربائي.
هذا محوِّل رافع؛ لأن عدد اللفّات في الملف الثانوي أكثر من عددها في الملف الابتدائي. فإذا عُكست التوصيلات فيه يصبح محوّلًا خافضًا

في حال رفع فرق الجهد، يجب أن تخفّض شدَّة التيّار الكهربائي، والعكس صحيح.

مصطلحات علمية

المحوِّل الكهربائي Transformer: جهاز يُستخدَم لرفع فرق الجهد الكهربائي المتردِّد أو خفضه.

تشير نسبة عدد الملفّات إلى المُعامل الذي سيغيّر فرق الجهد. وعليه، نستطيع كتابة معادلة تُعرَف باسم معادلة المحوِّل، تربط فرق الجهد بين طرفَي كلّ من الملفَّين V_P و V_S، بعدد لفّات كل من الملفَّين N_P و N_S:

$$\frac{\text{فرق جهد الملفّ الابتدائي}}{\text{فرق جهد الملفّ الثانوي}} = \frac{\text{عدد لفّات الملفّ الابتدائي}}{\text{عدد لفّات الملفّ الثانوي}}$$

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

يتّضح من معادلة المحوِّل أن الملفّ الذي يحتوي على عدد لفّات أكثر يكون له فرق جهد أعلى.

انظر إلى المثال ١٩-١، هل الجواب معقول؟ يجب خفض فرق الجهد بشكل كبير، وبالتالي يجب أن يكون عدد اللفّات في الملفّ الثانوي أقلّ بكثير من 1000. يُظهر الحساب الذهني أن الجهد يجب أن ينخفض بمُعامل حوالي 37 (أي من 220 V إلى 6 V)، وعليه يجب تقليل عدد اللفّات بالمُعامل نفسه. لذا يكون N_S:

$$N_S = \frac{1000}{37} = 27.02$$

أي 27 لفّة تقريبًا.

مثال ١٩-١

هناك حاجة إلى محوِّل لخفض فرق الجهد المنزلي من (220 V) إلى (6 V). إذا كان عدد لفّات الملفّ الابتدائي (1000) لفّة، فما عدد اللفّات الذي يجب أن يكون في الملفّ الثانوي؟

الخطوة ١: اكتب معادلة المحوِّل.

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

الخطوة ٢: عوّض القيَم من السؤال في معادلة المحوِّل.

$$\frac{220}{6} = \frac{1000}{N_S}$$

الخطوة ٣: أعدّ ترتيب المعادلة لحساب N_S.

$$N_S = \frac{1000 \times 6}{220} = 27.3$$

أي نحو 27 لفّة.

لذلك يجب أن يكون عدد لفّات الملفّ الثانوي حوالي 27 لفّة.

تذكّر

أن المحوِّلات الكهربائية تعمل بالتيّار الكهربائي المتردِّد فقط.

أسئلة

١٩-١ لماذا تُنقل الطاقة الكهربائية في شبكة إمداد الكهرباء بفرق جهد عالٍ؟

١٩-٢ سمِّ الأجزاء الثلاثة الأساسية في المحوِّل.

١٩-٣ محوِّل عدد لفّات ملفه الابتدائي (100) لفّة، وعدد لفّات ملفّه الثانوي (1000) لفّة. هل هو محوِّل رافع أم محوِّل خافض؟

١٩-٤ راديو محمول يحتوي على محوِّل يعمل مباشرة بفرق الجهد المنزلي المتردِّد بدلًا من البطّاريات. هل هذا المحوِّل رافع أم خافض لفرق الجهد؟

١٩-٥ محوِّل رافع عدد لفّات ملفّه الابتدائي (2000) لفّة، وعدد لفّات ملفّه الثانوي (5000) لفّة. احسب النسبة $\frac{N_S}{N_P}$ لهذا المحوِّل.

١٩-٦ صُمِّم محوِّل للحصول على فرق جهد (20 V) من قابس منزلي، حيث يبلغ فرق الجهد بين طرفَيه (220 V). فإذا كان عدد لفّات ملفّه الابتدائي (1100) لفّة، فكم يجب أن يكون عدد لفّات ملفّه الثانوي؟

كيف تعمل المحوِّلات الكهربائية؟

تعمل المحوِّلات الكهربائية فقط بالتيّار الكهربائي المتردِّد، ولكي نفهم سبب ذلك، نحتاج إلى النظر في آليّة عمل المحوِّل (الشكل ١٩-٢)؛ فهو يستخدم الحثّ الكهرومغناطيسي.

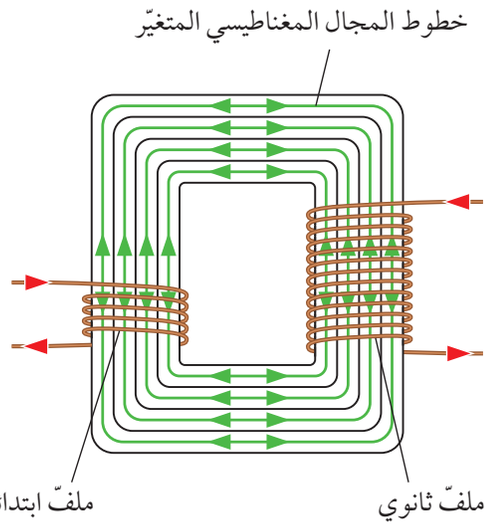
- يتدفَّق خلال الملفّ الابتدائي تيّار متردِّد. يعني ذلك أنّه يشكّل مغناطيسًا كهربائيًا، ويُنتِج مجالًا مغناطيسيًا متردِّدًا.
- ينقل القلب الحديدي هذا المجال المغناطيسي المتغيّر إلى الملفّ الثانوي.
- يُعتبَر الملفّ الثانوي الآن موصِّلًا موضوعًا في مجال مغناطيسي متغيّر، الأمر الذي يولّد تيّارًا كهربائيًا مُحتثًّا في الملفّ الثانوي. (هذا مثال آخر على حثّ كهرومغناطيسي).

لا بدّ من فَقد بعض الطاقة حتى في المحوِّلات جيدة التصميم، بسبب مقاومة أسلاك اللفّات، وبسبب القلب الحديدي الذي يقاوم تدفُّق المجال المغناطيسي المتغيّر أيضًا.

فإذا كان الملفّ الثانوي يتكوّن من بضع لفّات فقط، فإن القوّة الدافعة الكهربائية المحتثّة عبره ستكون قليلة. ولكن إذا كان يتكوّن من عدد كثير من اللفّات، فإن القوَّة الدافعة الكهربائية المحتثّة عبره ستكون كبيرة. فإذا أردنا الحصول على فرق جهد عالٍ، فلا بدّ من أن يكون عدد لفّات الملفّ الثانوي كبيرًا مقارنة بعدد لفّات الملفّ الابتدائي.

إذا وُصّل ملفّ المحوِّل الابتدائي بتيّار مستمرّ، فإنّه لا ينتج فرق جهد في الدائرة الخارجية. يعود السبب في ذلك إلى أن المجال المغناطيسي الذي ينتجه الملفّ الابتدائي لا يتغيّر. ومع المجال المغناطيسي الذي لا يتغيّر عبر الملفّ الثانوي، لا يتولّد فرق جهد بين طرفَيه.

لاحظ من الشكل ١٩-٢ أن المجال المغناطيسي يربط بين الملفَّين؛ الابتدائي والثانوي. إنّ الطاقة التي يحملها التيّار الكهربائي في الملفّ الابتدائي سوف تنتقل إلى الملف الثانوي بواسطة المجال المغناطيسي، ممّا يعني أن القلب الحديدي يجب أن يكون فعّالًا في نقل الطاقة. لذلك يجب استخدام مادّة مغناطيسية مطاوعة، تكون في العادة سبيكة من الحديد مع كمّيات صغيرة من السيليكون. (تذكّر أن المواد المغناطيسية المطاوعة هي التي يمكن أن تُمغنَط بسهولة، وأن تفقد مغنطتها بسهولة أيضًا).



الشكل ١٩-٢ يولّد التيّار الكهربائي المتردِّد في الملفّ الابتدائي مجالًا مغناطيسيًّا مُتغيّرًا في القلب الحديدي. وهذا يحثّ تيّارًا كهربائيًّا متغيّرًا في الملفّ الثانوي

أسئلة

١٩-٧ **أ.** ما وظيفة القلب الحديدي في المحوِّل الكهربائي؟

ب. لماذا يجب أن يكون القلب الحديدي للمحوِّل من مادّة مغناطيسية مطاوعة؟

١٩-٨ لماذا لا يعمل المحوِّل مع تيّار كهربائي مستمرّ؟

حساب شدّة التيّار الكهربائي

إذا أردنا نقل قدرة معيّنة (P)، فإنّنا نستخدم تيّارًا كهربائيًّا صغيرًا شدَّته (I)، في حال تمّ نقل الطاقة بجهد عالٍ (V)، وذلك وفق معادلة القدرة الكهربائية الواردة في الوحدة الخامسة عشرة في الصف التاسع:

$$P = I V$$

يبيّن المثال ١٩-٢ كيفيّة تطبيق هذه المعادلة.

مثال ١٩-٢

لنفترض أن محطّة طاقة كهربائية تولِّد قدرة كهربائية مقدارها (500 MW)، فكم ستبلغ شدَّة التيّار الكهربائي الذي سيتدفَّق من المحطّة إذا نُقلت الطاقة الكهربائية بفرق جهد (50 kV)؟ وكم ستبلغ شدّة التيّار الذي سيتدفَّق إذا نُقلت الطاقة الكهربائية بفرق جهد (1 MV)؟

الخطوة ١: أعد ترتيب المعادلة $P = I V$ التي لدينا، فالمعادلة التي نحتاج إلى استخدامها هي:

$$I = \frac{P}{V}$$

الخطوة ٢: بتعويض قيَم الحالة الأولى في المعادلة: ($P = 500\ \text{MW} = 500 \times 10^6\ \text{W}$ ، $V = 50\ \text{kV} = 50 \times 10^3\ \text{V}$)، تُعطى شدّة التيّار الكهربائي كالآتي:

$$I = \frac{500 \times 10^6}{50 \times 10^3} = 10\,000\ \text{A}$$

الخطوة ٣: والآن ضَع في حسبانك الحالة الثانية: عندما يتمّ نقل قدرة كهربائية (500 MW) بفرق جهد (10^6 V). بتعويض القيَم في المعادلة، تُعطى شدّة التيّار الكهربائي كالآتي:

$$I = \frac{500 \times 10^6}{10^6} = 500\ \text{A}$$

توفير الطاقة

يجب أن تكون قادرًا على فهم سبب انتقال الكهرباء بفرق جهد عالٍ. يلاحَظ من نتائج المثال ١٩-٢ الأمر الآتي: كلّما ازداد فرق الجهد، انخفضت شدَّة التيّار الكهربائي في الكابلات، وبالتالي تكون الطاقة المفقودة أقلّ؛ فزيادة فرق الجهد بمُعامل 20 يخفّض من شدَّة التيّار الكهربائي بمُعامل 20، وهذا يعني أن الطاقة المفقودة في الكابلات تقلّ كثيرًا. يتناسب فقد الطاقة مع مربّع التيار الكهربائي، لذا فإن تخفيض شدّة التيّار الكهربائي بمُعامل 20 يقلّل من فقد الطاقة بمُعامل 20^2، أي 400 مرة.

معلوم أن التيّار الكهربائي المتدفِّق في الكابلات هو تدفُّق شحنات كهربائية بوحدة الكولوم. لذلك يتوفّر في حالة الجهد العالي عدد أقلّ من شحنات الكولوم المتدفِّقة، ولكن كلّ شحنة كولوم عندئذٍ تحمل معها طاقة أكبر.

التفكير في القدرة الكهربائية

إذا كانت كفاءة المحوِّل 100 %، فلن تُفقَد أي طاقة في ملفّاته أو قلبه. وهذا تقدير تقريبي معقول؛ لأن المحوِّلات جيدة التصميم تفقد ما نسبته 0.1 % فقط من الطاقة المنقولة فيها. وهذا يتيح لنا أن نكتب معادلة تتعلّق بالملفّين؛ الابتدائي والثانوي باستخدام المعادلة $P = I V$.

ويتيح لنا أيضًا أن نكتب معادلة تتعلّق بفرق الجهد في كل من الملفّين؛ الابتدائي والثانوي، V_P و V_S، وشدّة التيّار الكهربائي المتدفِّق في كلّ منهما I_P و I_S، باستخدام المعادلة $P = I V$:

القدرة في الملفّ الابتدائي = القدرة في الملفّ الثانوي

$$I_P \times V_P = I_S \times V_S$$

تذكّر

أن هذه المعادلة تفترض عدم فقد أي قدرة في المحوِّلات.

يبيّن المثال ١٩-٣ كيفية استخدام هذه المعادلة.

مثال ١٩-٣

يتّصل الملفّ الابتدائي لمحوِّل بمصدر فرق جهد كهربائي متردِّد (12 V)، ويحمل تيّارًا شدّته (5.0 A). إذا كان فرق الجهد الخارج (220 V)، فما شدَّة التيّار الذي يتدفَّق في الملفّ الثانوي؟ افترض أن كفاءة المحوِّل 100 %.

الخطوة ١: اكتب معادلة قدرة المحوِّل.

$$I_P \times V_P = I_S \times V_S$$

الخطوة ٢: عوّض القيَم في المعادلة.

$$5 \times 12 = I_S \times 220$$

الخطوة ٣: أعد ترتيب المعادلة لإيجاد I_S.

$$I_S = \frac{5 \times 12}{220} = 0.27 \text{ A}$$

الخطوة ٤: فكِّر في الإجابة المعقولة؛ ففرق الجهد رُفع بمُعامل $\frac{220}{12} = 18.3$ (أي من 12 V إلى 220 V). لذلك ستنخفض شدَّة التيّار بالمُعامل نفسه. قد نرى أن شدّة التيّار في الملفّ الثانوي تعادل نحو $\frac{1}{18.3}$ من شدَّة التيّار في الملفّ الابتدائي.

لذلك فإن شدّة التيّار في الملفّ الثانوي ستكون $\frac{5}{18.3} = 0.27$ A.

من ذلك، نستنتج أنّ شدَّة التيّار الكهربائي الذي يوفّره الملفّ الثانوي هي 0.27 A، إذن تنخفض شدَّة التيّار في المحوِّل الرافع؛ فإذا كان كلّ من فرق الجهد وشدَّة التيّار قد ارتفعا، فإننا سنحصل على قدرة كهربائية أكبر، وهذا أمر مستحيل في الفيزياء!

أسئلة

١٩-٩ هل تكون شدّة التيّار الكهربائي في الملفّ الثانوي أكبر أم أصغر من شدّة التيّار الكهربائي في الملفّ الابتدائي في المحوِّل الرافع؟

١٩-١٠ أ. ينقل نظام توزيع القدرة الكهربائية قدرةً مقدارها (200 MW) باستخدام تيّار كهربائي شدّته (500 A)، كم يبلغ فرق الجهد الذي يوزّع به نظام التوزيع الكهربائي تلك القدرة؟ قدّم إجابتك بوحدة (kV).

ب. يُقترح مضاعفة فرق جهد التوزيع. كم ستبلغ شدّة التيّار الكهربائي الذي سيتدفّق في الكابلات عندئذٍ؟

ج. إذا افترضنا أن القدرة المفقودة في النظام الموجود (6 MW)، فاحسب القدرة المفقودة إذا تضاعف فرق الجهد.

١٩-١١ استُخدِم محوِّل لخفض جهد مصدر إمداد بالطاقة الكهربائية من (220 V) إلى (6.0 V) لتشغيل جهاز راديو.

أ. إذا كان الملفّ الابتدائي يحتوي على 6000 لفّة، فما عدد لفّات الملفّ الثانوي؟

ب. إذا كانت شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق في الملفّ الابتدائي (0.040 A)، فكم تبلغ شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق في الملفّ الثانوي عندئذٍ؟

ج. ما الافتراض الذي يجب اعتماده لحلّ الجزء (ب)؟

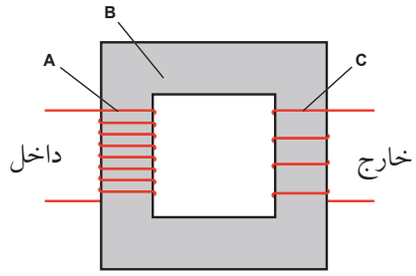
ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- نقل القدرة الكهربائية بجهد عالٍ.
- تركيب المحوِّلات الكهربائية.
- استخدام المحوِّلات الكهربائية وكيفية حثّ تيّار كهربائي متردِّد.
- الحسابات المتعلِّقة بالمحوِّلات الرافعة والخافضة.
- الأسباب التي تجعل فقدان القدرة الكهربائية في الكابلات أقلّ عندما تُنقَل الكهرباء بفرق جهدٍ عالٍ.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه محوِّلًا كهربائيًّا.



أ. سمِّ الأجزاء المشار إليها بالأحرف: A و B و C.

ب. وضّح هل المحوِّل في الرسم رافع أم خافض.

ج. اشرح آليّة عمل هذا المحوِّل لإنتاج فرق جهد عند C.

د. لماذا لا يعمل المحوِّل عندما يكون الملفّ A متَّصلًا بمصدر تيّار مستمرّ؟

٢ افترض في الحسابات الآتية أن كفاءة المحوّلات جميعها 100 %.

أ. احسب عدد لفّات الملفّ الثانوي لمُحوِّل مُستخدَم لخفض فرق جهد مصدر كهربائي من (220 V) إلى (20 V)، إذا كان عدد لفّات الملفّ الابتدائي لهذا المحوِّل (660) لفّة.

ب. احسب فرق الجهد الخارج لمحوِّل عدد لفّات ملفّه الابتدائي (200) وعدد لفّات ملفّه الثانوي (1000) لفّة، ويتّصل هذا المحوِّل بمصدر تيّار متردِّد فرق جهده الكهربائي (24 V).

ج. احسب النسبة $\frac{N_P}{N_S}$ للمحوّل الذي يخفض فرق الجهد الداخل بمقدار الربع.

٣ يبلغ فرق الجهد الخارج لكثير من محطّات الطاقة الكهربائية نحو (25 kV). يُحوّل فرق الجهد الكهربائي هذا إلى ما بين (400 kV) و (1.0 MV) في خطوط توزيع الكهرباء لمسافات طويلة.

أ. سمِّ الجهاز المُستخدَم للتحويل بين فرقَي الجهد.

ب. اشرح سبب نقل الكهرباء بفرق جهد أعلى من فرق الجهد الخارج من محطّة الطاقة الكهربائية.

ج. ينتج عن محطّة طاقة كهربائية (25 kV) و (30 kA). يُحوّل فرق الجهد إلى (450 kV) للنقل. بافتراض أن التحويل يتم بكفاءة 100 %، احسب شدَّة التيّار الكهربائي في خطوط نقل الطاقة الكهربائية.

مصطلحات علمية

الأشعّة تحت الحمراء Infrared radiation: الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يلي الضوء الأحمر ويكون طول موجته أكبر من طول موجة الضوء المرئي. ويُعرف أحيانًا باسم الإشعاع الحراري. (ص ٣١)

الأشعّة فوق البنفسجية Ultraviolet radiation: الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يلي الضوء البنفسجي ويكون تردّده أعلى من تردّد الضوء المرئي. (ص ٣٢)

تأثير المحرّك Motor effect: يعبّر عن القوّة الكهرومغناطيسية المؤثّرة عندما يكون الموصِّل الحامل للتيّار الكهربائي موضوعًا في مجال مغناطيسي. (ص ٦٤)

التخلخل Rarefaction: منطقة من الموجة الصوتية تكون فيها الجُسيمات متباعدة، وتمثّل القيعان في الموجة. (ص ٤٥)

التردّد (*f*) Frequency: عدد الاهتزازات في الثانية أو عدد الموجات التي تعبر نقطة ما في الثانية، ويُقاس بوحدة الهرتز (Hz). (ص ١٩)

التضاغط Compression: منطقة من الموجة الصوتية يتم فيها دفع الجُسيمات بعضها إلى بعض، وتمثّل القمم في الموجة. (ص ٤٥)

جبهات الموجة Wavefronts: خطّ يربط بين جميع النقاط على قمم الموجات للموجة نفسها. (ص ٢٤)

حدّة الصوت Pitch: الخاصّية التي تميّز بها الأذن الصوت من حيث الرفعة والغلظة، وكلّما كان التردُّد أعلى يكون الصوت أكثر رفعة. (ص ٤٤)

الحيود Diffraction: انحراف الموجات عن اتّجاه انتشارها الأصلي عند عبورها فجوة صغيرة أو اصطدامها بحافة حاجز. (ص ٢٥)

سرعة الموجة (*v*) Wave speed: المسافة التي تقطعها موجة ما في وحدة الزمن (ثانية واحدة). (ص ١٩)

السعة (*A*) Amplitude: أقصى إزاحة لموجة عن مستواها غير المضطرب (موضع الاتّزان). (ص ١٨)

طول الموجة (λ) Wavelength: المسافة بين قمّتَين متتاليتَين أو قاعَين متتاليَين لموجة ما، أو المسافة التي تقطعها الموجة الواحدة في اتّجاه انتشارها. (ص ١٨)

الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum: نطاق من الأشعّة الكهرومغناطيسية تختلف من حيث التردُّد والطول الموجي، وتمتدّ من موجات الراديو إلى أشعّة جاما. (ص ٣٣)

قاعدة قبضة اليد اليمنى Right-hand grip rule: القاعدة المُستخدَمة لتحديد اتّجاه المجال المغناطيسي حول سلك أو ملفّ حلزوني يمر به تيّار كهربائي. (ص ٦٠)

قاعدة اليد اليسرى لفلمنج Fleming's left-hand rule: القاعدة المُستخدَمة لتحديد اتّجاه القوّة المؤثّرة على موصّل حامل لتيّار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي. (ص ٦٥)

مادة مغناطيسية صلبة Hard magnetic material: مادة بمجرد أن تتمغنط تصعب إزالة مغنطتها. (ص ٥٠)

مادة مغناطيسية مطاوعة Soft magnetic material: مادة بمجرد أن تتمغنط تسهل إزالة مغنطتها. (ص ٥٠)

المبدّلة Commutator: أداة تعكس اتّجاه التيّار الكهربائي المتدفِّق عبر الملفّ في كلّ نصف دورة؛ ممّا يجعل الملفّ يستمرّ في الدوران بالاتّجاه نفسه. (ص ٦٦)

المجال المغناطيسي Magnetic field: الحيّز المحيط بالمغناطيس أو بالموصّل الذي يمرّ به تيّار كهربائي وتظهر فيه تأثير قوّة ما. (ص ٥٣)

المحوِّل الكهربائي Transformer: جهاز يُستخدَم لرفع الجهد الكهربائي المتردِّد أو خفضه. (ص ٧٨)

المغناطيس الكهربائي Electromagnet: ملفّ من الأسلاك يصبح مغناطيسًا عندما يتدفّق تيّار كهربائي بداخله. (ص ٥٣)

الموجة الطولية Longitudinal wave: موجة تتحرّك معها الجُسيمات في نفس الاتّجاه الذي تنتقل فيه الموجة. (ص ٢٠)

الموجة المستعرضة Transverse wave: موجة تتحرّك معها الجُسيمات من جانب إلى آخر، عموديًّا على الاتّجاه الذي تنتقل فيه الموجة. (ص ٢٠)

مولِّد التيّار الكهربائي المتردِّد A.C. generator: جهاز كالدينامو، يُستخدَم لتوليد التيّار الكهربائي المتردِّد. (ص ٧٣)

مُلحق

بعض وحدات القياس في الفيزياء

الجدول ١: تحويل بعض وحدات القياس في الفيزياء

الكمية	الرمز	الوحدة	الرمز	الأجزاء	المضاعفات
الطول	L	المتر	m	$1\ cm = 10^{-2}\ m$ $1\ nm = 10^{-9}\ m$	$1\ km = 10^{3}\ m$
الزمن	t	الثانية	s	$1\ ms = 10^{-3}\ s$	$1\ h = 3600\ s$
التردّد	f	الهرتز	Hz		$1\ MHz = 10^{6}\ Hz$ $1\ kHz = 10^{3}\ Hz$
السرعة	v	المتر في الثانية	m/s	$1\ cm/s = 10^{-2}\ m/s$	
شدّة التيّار الكهربائي	I	الأمبير	A	$1\ mA = 10^{-3}\ A$	
فرق الجهد	V	الڤولت	V	$1\ mV = 10^{-3}\ V$	$1\ kV = 10^{3}\ V$
القدرة	P	الوات	W	$1\ mW = 10^{-3}\ W$	$1\ MW = 10^{6}\ W$ $1\ kW = 10^{3}\ W$

شكر وتقدير

يتوجه المؤلفون والناشرون بالشكر الجزيل إلى جميع من منحهم حقوق استخدام مصادرهم أو مراجعهم. وبالرغم من رغبتهم فى الإعراب عن تقديرهم لكل جهد تم بذله، وذكر كل مصدر تم استخدامه لإنجاز هذا العمل، إلا أنه يستحيل ذكرها وحصرها جميعًا. وفي حال إغفالهم لأي مصدر أو مرجع فإنه يسرهم ذكره في النسخ القادمة من هذا الكتاب.

BERENICE ABBOTT/SCIENCE PHOTO LIBRARY; Thomas Kitchin & Victoria Hurst/First Light/Getty Images; Rick Strange/Alamy Stock Photo; SCIENCE PHOTO LIBRARY; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY (x4); JOHN FOSTER/SCIENCE PHOTO LIBRARY; itsabreeze photography/Getty Images; DAVID PARKER/SCIENCE PHOTO LIBRARY; NASA/SCIENCE PHOTO LIBRARY; TONY MCCONNELL/SCIENCE PHOTO LIBRARY; boana/Getty Images and Viorel Sima/Shutterstock; Royal Opera House Muscat; Bernard Richardson, Cardiff University; Mode/Richard Gleed/Alamy Stock Photo; Doug Taylor/Alamy Stock Photo; sciencephotos/Alamy Stock Photo; Sylvie Saivin / EyeEm/Getty Images; JEREMY WALKER/SCIENCE PHOTO LIBRARY; haryigit/Shutterstock; SCIENCE PHOTO LIBRARY; Bosca78/Getty Images; DonNichols/Getty Images; wolv/Getty Images; ED MICHAELS/SCIENCE PHOTO LIBRARY; standby/Getty Images

رقم الإيداع : ٤٦٦٢ / ٢٠٢٢م

مطبعة مسقط - روي، هاتف: ٢٤٧٩٤٤٥٢، فاكس: ٢٤٧٠١٢٧٢

الفيزياء

كتاب الطالب ١٠

يزخر كتاب الطالب بالعديد من الموضوعات مع شرح واضح وسهل لكل المفاهيم المتضمنة في هذه الموضوعات، ويقدّم أنشطة ممتعة لاختبار مدى فهم الطلاب.

يتضمن كتاب الطالب:

- أنشطة عملية في كل وحدة، لمساعدة الطلاب على تطوير مهاراتهم العملية.
- أسئلة عن كل موضوع لتعزيز الفهم.
- مصطلحات علمية رئيسية موضَّحة في الوحدات، فضلاً عن قاموس للمصطلحات يرد في آخر الكتاب.
- أسئلة في نهاية كل وحدة من شأنها تأهيل الطلاب لخوض الاختبارات.

إجابات الأسئلة مُتضمَّنة في دليل المعلّم.

يشمل منهج الفيزياء للصف العاشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب النشاط
- دليل المُعلّم

ISBN 978-99969-3-939-6

9 789996 939396

www.moe.gov.om