سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم
رؤية عمان 2040
نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence
الفيزياء
كتاب الطالب
٩
الفصل الدراسي الثاني
الطبعة التجريبية ١٤٤٢هـ - ٢٠٢٠م
CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

الطبعة التجريبية ١٤٤٢هـ - ٢٠٢٠م

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 ٢٠٢٠ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من كتاب الطالب – العلوم للصف التاسع – 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 ٢٠١٩/٣٠٢ واللجان المنبثقة عنه

محفوظة جميع الحقوق

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.**

المغفور له

السلطان قابوس بن سعيد -طيّب اللّه ثراه-

حضرة صاحب الجلالة

السلطان هيثم بن طارق المعظم

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 الطلاب، 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 الطلاب 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 الحادية عشرة: مصادر الطاقة

١١–١ الطاقة التي نستخدمها ١٥

١١–٢ الشمس كمصدر للطاقة ٢٣

١١–٣ الكفاءة ٢٤

الوحدة الثانية عشرة: انعكاس الضوء

١٢–١ انعكاس الضوء ٣٠

الوحدة الثالثة عشرة: انكسار الضوء

١٣–١ انكسار الضوء ٣٧

١٣–٢ الانعكاس الداخلي الكلّي ٤٢

الوحدة الرابعة عشرة: العدسات المحدّبة الرقيقة

١٤–١ العدسات ٤٩

الوحدة الخامسة عشرة: التيّار وفرق الجهد والقوّة الدافعة الكهربائية

١٥–١ التيّار الكهربائي في الدوائر الكهربائية ٥٨

١٥–٢ فرق الجهد والقوّة الدافعة الكهربائية ٦٣

١٥–٣ الكهرباء والطاقة ٦٤

الوحدة السادسة عشرة: المقاوَمة

١٦–١ المقاوَمة الكهربائية ٧٠

١٦–٢ المزيد عن المقاوَمة الكهربائية ٧٤

مصطلحات علمية ٧٨

ملحق ٨٠

المقدمة

سوف تتعلَّم من خلال هذا المُقرَّر الكثير من الحقائق والمعلومات، كما ستكتسب مهارة التفكير مثل العُلماء. وقد تمَّت مواءمة كتاب الطالب – الفيزياء للصف التاسع – وفق سلسلة كامبريدج للعلوم المُتكامِلة IGCSE.

تتضمَّن وحدات كتاب الطالب البنود الآتية:

الأسئلة

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

الأنشطة

تحتوي كل وحدة على أنشطة مُتنوّعة تهدف إلى مُساعدتك على تطوير مهاراتك العملية.

المُلخَّص

وهو قائمة قصيرة تأتي في نهاية كل وحدة، وتحتوي على النقاط الرئيسية التي تمَّت تغطيتها في الوحدة. وسوف تحتاج إلى معرفة المزيد من التفاصيل عن هذه النقاط من خلال الرجوع إلى موضوعات الوحدة.

من المفيد أيضًا استخدام كتاب النشاط، الذي يُزوّدك بمجموعة من التمارين وأوراق العمل، تُساعدك على توظيف المعرفة التي اكتسبتها في تطوير مهاراتك في التعامل مع المعلومات وحل المشكلات، وكذلك صقل بعض مهاراتك العملية.

كيف تستخدم هذا الكتاب

تتضمَّن كل وحدة مجموعة من الأقسام تُحدِّد الموضوعات الرئيسية التي تتناولها، وتساعدك على التنقُّل خلالها.

الوحدة الثانية عشرة

انعكاس الضوء Reflection of Light

تُغطّي هذه الوحدة:

- قانون انعكاس الضوء.
- كيف تتكوَّن الصورة في المرآة المُستوية.
- لماذا تكون الصورة في المرآة المستوية تقديرية ومقلوبة جانبيًّا.
- كيف تُرسَم مُخطَّطات الأشعَّة لانعكاس الضوء.

مصطلحات علمية

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

مصطلحات علمية

مخطّط الأشعّة Ray diagram: مخطَّط يوضِّح مسارات الأشعَّة الضوئية النموذجية.

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

تذكّر

أنّ زاوية السقوط تُقاس بين العمودي على السطح والشعاع الساقط.

وأنّ زاوية الانعكاس تُقاس بين العمودي على السطح والشعاع المنعكِس.

مثال

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

مثال ١١-١

يُستخدَم محرِّك كهربائي لرفع مصعد في بناية. فتزيد طاقة وضع الجاذبية للمصعد والركّاب بمقدار (45000 J) في (8 s). فإذا كانت قدرة المحرِّك (8000 W)، فكم تبلغ كفاءته؟

القدرة المفيدة الخارجة:

$$p = \frac{E}{t}$$

$$= \frac{45\,000\ \text{J}}{8\ \text{s}}$$

$$= 5625\ \text{W}$$

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{القدرة المفيدة الخارجة}}{\text{القدرة الداخلة}} \times 100\%$$

$$= \frac{5625\ \text{W}}{8000\ \text{W}} \times 100\%$$

$$= 70\%$$

نشاط

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

نشاط ١٦-١

قياس المُقاوَمة الكهربائية

المهارات:

- يحدِّد المتغيرات ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكُّم ببعض المتغيّرات.
- يسجِّل الملاحظات بطريقة منهجية باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقة المناسبة.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدِّمها بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانية والميل.
- يحدِّد الأسباب المحتملة لعدم دقة البيانات أو الاستنتاجات ويقترح التحسينات المناسبة للخطوات التجريبية والتقانة المستخدمة.

تنفيذ بعض التجارب لقياس مُقاوَمة بعض المكوّنات الكهربائية المختلفة.

١ قم بتركيب الدائرة المبيّنة في الشكل ١٦-٣ والتي تحتوي على مُقاوَمة كهربائية لقياس مقدارها.

٢ اضبط فرق الجُهد الخارج من مصدر الجُهد على 2 V.

٣ قِس وسجِّل فرق الجهد عبر المُقاوَمة، وقِس شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق خلالها أيضًا.

٤ احسب قيمة المُقاوَمة. (قد يساعدك تسجيل نتائجك في جدول مشابه للجدول ١٦-١).

٥ كرّر الخطوات (١-٤) لمُقاوِمات أخرى.

٦ ضع المصباح بدلًا من المُقاوَمة. عدّل مصدر الجُهد الكهربائي بحيث يكون فرق الجُهد عبر المصباح 2.0 V. قِس شدَّة التيّار الكهربائي واحسب مُقاوَمة المصباح.

٧ كرّر لعدد من فروق الجُهد المختلفة، (تأكَّد من أنك لا تتجاوز الحدّ الأقصى لجُهد تشغيل المصباح). كيف تتغيّر مُقاوَمة المصباح كلّما أصبح أكثر إضاءة؟

٨ سجِّل كلّ نتائجك عن فرق الجُهد وشدَّة التيّار الكهربائي في الجدول. تأكّد من أن جميع قراءاتك قد نقلتها بدقّة مناسبة.

٩ حدّد أي مصادر للخطأ في هذا الاستقصاء، واقترح أي تحسينات لتقليلها.

أسئلة

ترد في كل وحدة لتقييم معرفة الطلاب واستيعابهم للفيزياء.

أسئلة

١٢-١ أ. اكتب كلمة «إسعاف» كما تبدو عندما تنعكس في مرآة مستوية.

ب. لماذا تُكتب بهذه الطريقة على مقدِّمة سيّارة الإسعاف؟

١٢-٢ أ. ارسم رسمًا تخطيطيًّا يوضّح قانون الانعكاس.

ب. أي زاويتَين في الرسم مُتساويتان وفقًا لقانون الانعكاس؟

١٢-٣ يسقط شعاع ضوئي على سطح عاكس مستوٍ بحيث تكون زاوية السقوط (30°). كم تبلغ الزاوية بين الشعاع المُنعكِس والسطح العاكس؟

١٢-٤ لماذا نقول إن المرآة المستوية تعطي صورة تقديرية؟

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

النسبة المئوية للطاقة التي تغيَّرت إلى طاقة مفيدة.

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

ملخّص

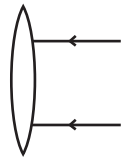
ما يجب أن تعرفه:

- قانون الانعكاس.
- خصائص الصورة المُتكوِّنة في المرآة المستوية.

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

أسئلة نهاية الوحدة

١ يسقط شعاعان متوازيان من الضوء على عدسة محدَّبة رقيقة، كما هو مبيّن في الرسم التخطيطي.



ما تأثير العدسة على شعاعَي الضوء؟

(أ) تجعل شعاعَي الضوء ينكسران أحدهما باتّجاه الآخر.

(ب) تجعل شعاعَي الضوء ينكسران متباعدَين.

(ج) تُبقي أشعة الضوء متوازية.

(د) تُحدث انعكاسًا كلّيًا داخليًا.

٢ للعدسة المحدَّبة الرقيقة بؤرة وبُعد بؤري. صفِ المقصود بـ:

أ. البؤرة.

ب. البُعد البؤري.

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

الوحدة الحادية عشرة

مصادر الطاقة Energy Resources

تُغطّي هذه الوحدة:

- مصادر الطاقة المختلفة التي نستخدمها.
- إيجابيات مصادر الطاقة المختلفة وسلبياتها.
- كيفية الاعتماد على الشمس في معظم مصادر الطاقة.
- الفرق بين مصادر الطاقة المُتجدِّدة ومصادر الطاقة غير المُتجدِّدة.
- القمر كمصدر أساسيّ لطاقة المدّ والجزر.
- انبعاث الطاقة في الشمس.
- مفهوم الكفاءة.
- حساب الكفاءة.

١-١١ الطاقة التي نستخدمها

يعتمد سكان الأرض على الشمس في معظم الطاقة التي يستخدمونها. والشمس نجم مُتوسِّط الحجم، يبعد عن الأرض حوالي 150 مليون كيلومتر، تصل منه الحرارة والضوء عبر الفضاء الفارغ خلال ثماني دقائق تقريبًا. وبفضل تلك الطاقة تقوم النباتات بعملية التمثيل الضوئي وتحتفظ الحيوانات بالدفء.

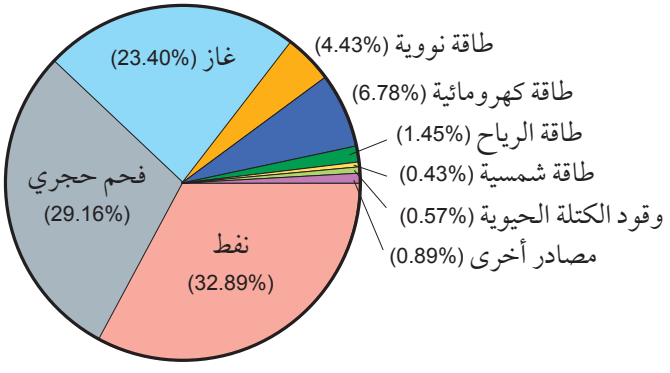
من مظاهر قدرة الله تعالى أن جعل الأرض تبعد عن الشمس مسافة تناسب حياة الكائنات الحيَّة. فأشعّة الشمس قوية بما يكفي للحياة، ولكنها ليست قويَّة جدًّا؛ ذلك أن مُتوسِّط درجة حرارة سطح الأرض يبلغ 15 °C تقريبًا؛ وهو مناسب لحياة الكائنات الحية. ولو كنّا أقرب إلى الشمس لما تمكَّنّا من العيش في جوّ حارّ لا يُحتمل أشبه بسطح كوكب الزُّهرة، الذي يزيد متوسِّط درجة حرارته على 400 °C.

ولو أننا أكثر بُعدًا عن الشمس لما تمكَّنّا من أن نعيش أيضًا في جوّ بارد جدًّا كما لو كنّا على كوكب زُحَل الذي يبعد عن الشمس عشرة أمثال بُعدنا عنها تقريبًا. لذا يبدو قُطر الشمس في السماء عند النظر إليها من زُحَل عُشر قطرها الذي نراه نحن من سطح الأرض. أضف إلى ذلك أن شدّة إشعاعها الذي يصل إلى سطح زحل يعادل 1% من شدَّته التي نشعر بها نحن على سطح الأرض، حيث تبلغ درجة حرارة سطح زُحَل 180 °C– تقريبًا.

بالرغم من أنَّ معظم الطاقة التي نستخدمها مصدرُها الشمس، فإنّ ما نستخدمه منها بصورة مباشرة قليل جدًّا. فأنت تجلس تحت أشعَّة الشمس في صباح يوم بارد لكنَّه مشمِس لتُدفئ جسمك. وقد يكون تصميم منزلك مناسبًا لتجميع الدفء من أشعَّة الشمس، كأن يكون في الجهة المشمِسة منه نوافذ كبيرة. ولهذا فإن معظم الطاقة التي نستخدمها تأتي بشكل غير مباشر من الشمس، ويجب تحويلها لكي تكون أكثر نفعًا. ومثال على ذلك تحويل الطاقة الضوئية من الشمس إلى طاقة كيميائية (وقود أحفوري)، ثم إلى طاقة كهربائية (الصورة ١١-١).

الصورة ١١-١ يُحرق الوقود الأحفوري منذ سنوات عديدة في محطّات الطاقة، كمحطَّة صحار لإنتاج الكهرباء في ميناء صحار

يوضِّح المخطَّط البياني الدائري في الشكل ١١-١ النسب المئوية التي تساهم بها مختلف مصادر الطاقة، والوقود في الاستهلاك العالمي للطاقة. يعكس هذا المخطَّط أنماط استهلاك الطاقة في السنوات الأولى من القرن الحادي والعشرين. فكثير من الناس، الذين يعيشون في بلدان صناعية يستهلِكون اليوم كمّيّات ضخمة من الطاقة وخصوصًا الوقود الأحفوري (Fossils fuel) (الفحم الحجري والنفط والغاز)، في حين يستهلك السكّان الذين يعيشون في البلدان الأقلّ نموًّا طاقة أقلّ بكثير ممّا يستهلكه الناس في البلدان الصناعية، وهم يستخدمون في الغالب وقود الكُتلة الحيوية (Biomass) لاسيما الخشب. فمنذ ألف سنة مضت كان شكل المخطّط مختلفًا كلّيًّا. ذلك أنَّ استهلاك الوقود الأحفوري آنذاك كان أقلّ أهمّية، لأن معظم الناس كانوا يعتمدون على حرق الأخشاب لتوفير مُتطلّبات الطاقة اللازمة لهم.



الشكل ١١-١ يُظهر المخطَّط البياني الدائري النسب المئوية لمختلف مصادر الطاقة والوقود، التي أسهمت في استهلاك الطاقة عام 2015 م في جميع أنحاء العالم. ويتبيّن أن أكثر من ثلاثة أرباع الاستهلاك العالمي للطاقة عام 2015 م كان مصدره الوقود الأحفوري

الطاقة مباشرةً من الشمس

تُستخدَم السخّانات الشمسية، في البلدان الحارّة المشمِسة، لجمع الطاقة الحرارية والطاقة الضوئية من الشمس (الصورة ١١-٢). فمثلاً، عندما يعلو لوح سخّان شمسي كبير سطح منزل، يمتصّ طاقة أشعَّة الشمس التي تُسخِّن الماء داخله، فيمدّ المنزل بالماء الساخن للاستحمام والاستخدام اليومي. ويمكن أيضًا ضخّ هذا الماء الساخن في أنابيب المُشعّات الحرارية المتفرِّعة، لتوفير تدفئة مركزية منخفِضة التكلفة في فصل الشتاء.

الصورة ١١-٢ السخّانات الشمسية الموضوعة على سطح هذا المنزل توفّر الطاقة الحرارية لتسخين الماء وللتدفئة

الصورة ١١-٣ مجموعة خلايا شمسية لإنتاج الطاقة الكهربائية في مدرسة السلطان قابوس بالبريمي، ضمن مشروع الطاقة الشمسية في مدارس السلطنة

يمكننا أيضًا توفير الكهرباء مباشرة من ضوء الشمس (الصورة ١١-٣)، وذلك بوضع مجموعة كبيرة من **الخلايا الشمسية Solar cells** مقابل أشعَّة الشمس، لتمتصَّها وتُنتِج الكهرباء. وكلّما أصبحت تكاليف تلك التقانة منخفضة أصبح لها المزيد من الاستخدامات. فهي ذات فائدة في المناطق التي لا تتوفر فيها الكهرباء بشكل مستمر، حيث تُستخدَم لتشغيل الثلّاجات التي تُخزِّن الأدوية في تلك المناطق، أو لتشغيل هواتف الطوارئ على جوانب الطرق في المناطق الصحراوية. وتُستخدَم الخلايا الشمسية أيضًا على نطاق واسع لتشغيل المركبات الفضائية.

توصَّل خلية الطاقة الشمسية ببطارية قابلة للشحن من خلال تقانة؛ لتخزين الطاقة التي يجري تجميعها كي تُستخدَم في أوقات الظلام وفي الطقس الغائم.

مصطلحات علمية

الخلية الشمسية Solar cell: جهاز يحوِّل الطاقة الضوئية للشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية، عن طريق جهد كهربائي ينتج من سقوط الضوء على الخلية.

ولكن لا يمكن لكل البلدان الاعتماد على الطاقة الشمسية؛ بسبب طقسها الغائم. وحتّى عندما تتوفَّر تلك الطاقة الصادرة من الشمس فإنّ شدّتها تختلف باختلاف الفصول، باستثناء المناطق المدارية والقريبة من خطّ الاستواء. ومع أن الحصول على الطاقة الشمسيَّة لا يحتاج إلى تكاليف وقود، إلّا أن تكلفة تركيب الخلايا الشمسية وصيانتها عالية. ومن أجل إنتاج ما يكفي من الطاقة الكهربائية لبلدة صغيرة سنحتاج إلى خلايا شمسية تغطّي مساحة أكبر كثيرًا ممّا تتطلَّبه مصادر الطاقة الأخرى.

طاقة الرياح والأمواج

تتسبَّب الشمس بتكوُّن الرياح والأمواج. فالشمس تسخّن بعض أجزاء الغلاف الجوي أكثر من أجزاء أخرى، فيتمدَّد الهواء الساخن ويبدأ بالتحرُّك بعيدًا. وهكذا تنشأ الرياح وتُسمّى هذه الظاهرة، الحمل الحراري، (انظر للوحدة التاسعة من الفصل الدراسي الأول). ومن الجدير بالذكر أن معظم طاقة الرياح يكسبها البحر على شكل أمواج تنشأ نتيجة احتكاك الرياح بالمياه. وتخزِّن الأمواج الناشئة في البحر طاقة حركة وطاقة وضع الجاذبية.

تتوافر تقانات كثيرة لاستخراج طاقة من الرياح، منها طواحين الهواء التقليدية التي تطحن الحبوب وتضخُّ المياه، ومنها التوربينات الهوائية الحديثة القادرة على إنتاج الكهرباء (الصورة ١١-٤).

الصورة ١١-٤ توربينات هوائية ضخمة في محطَّة ظفار لطاقة الرياح تنتج طاقة تلبّي حاجة 16 ألف منزل من الكهرباء

لكن لا يمكن الاعتماد على طاقة الرياح؛ لأنّ الأيام التي لا تهبّ الرياح فيها، لا تُنتَج فيها كهرباء. صحيح أنّ الرياح مجّانية، وهذا من فضل الله تعالى ونعمه علينا، ولكن قد تكون تكلفة إنشاء توربينات الرياح مُرتفعة. أضف إلى ذلك أنّ توربينات الرياح تحتاج إلى تثبيت في الأماكن المكشوفة، الأمر الذي يُسبِّب شكلًا من أشكال التلوُّث البصري، بالإضافة إلى اضطراب الحياة البرّية نتيجة وجود التوربينات، بما في ذلك تحليق الطيور والخفافيش.

تُعدّ تقنية إنتاج الطاقة من أمواج البحر أكثر صعوبة من غيرها. إذ تستخدم إحدى الطرائق طاقة الأمواج كي تضخّ مياه البحر خلال أنبوب إلى التوربينات لتشغيل المولّد الكهربائي. وتستخدم طريقة أخرى أنبوبًا رأسيًّا في الماء، فعندما تمرّ الموجة يرتفع مستوى الماء داخل الأنبوب، مما يضغط الهواء في أعلى الأنبوب، ويمكن استخدام هذا الهواء المضغوط لتشغيل المولد الكهربائي. ويواجه تحقيق هذا الأمر بعض الصعوبات، لأن البحار أماكن خطرة للعمل؛ لما تنطوي عليه من حدوث أعاصير وهبوب عواصف عاتية في بعض الأحيان، تقابلها أحيانًا أخرى أمواج هادئة لا تُنتج طاقة تكفي لتشغيل التوربينات.

أسئلة

١١-١ لماذا لا يمكن الاعتماد على طاقة الرياح والأمواج لتوفير احتياج دولة من الكهرباء؟

١١-٢ تُنتج الخلية الشمسيَّة الكهرباء عندما تتعرَّض لأشعَّة الشمس. ما تغيّرات الطاقة التي حدثت هنا؟

١١-٣ عندما تنتشر موجة عبر سطح البحر، فإن الماء يتحرَّك صعودًا وهبوطًا. ما شكلا الطاقة المخزَّنة في الموجات؟

وقود الكُتلة الحيويَّة

يُعدّ الخشب لدى كثير من الناس في العالم أكثر الوقود أهمّية؛ فهو يُدفئ منازلهم، ويوفِّر الحرارة اللازمة لطهو طعامهم. يؤخَذ الخشب من الأشجار والشجَيرات، وهو يخزِّن الطاقة التي اكتسبها النبات من أشعَّة الشمس في عملية التمثيل الضوئي. فعندما نحرق الخشب، نكون قد حرَّرنا الطاقة التي أُخذت من الشمس في الماضي القريب، أو قبل عشرات السنين، بل مئات السنين.

يُعدّ الخشب مثالاً واحدًا من الأمثلة على **وقود الكُتلة الحيوية Biomass fuel**. فأشكالها الأخرى تشمل روث الحيوانات والغاز الحيوي (Biogas) الذي ينشأ من تعفُّن المواد النباتية. وربما اعتُبِر هذا النوع من الوقود مُهمًّا جدًّا في المُجتمعات التي يعتمد فيها معظم الناس على الزراعة.

معلوم أنّ التزايد في استخدام وقود الكتلة الحيوية يتطلَّب مساحات كبيرة ومناخًا مناسبًا، لذلك لا يمكن لجميع البلدان الاستفادة من مصدر الطاقة هذا على نطاق واسع.

مصطلحات علمية

وقود الكتلة الحيوية Biomass fuel: موادّ مكوَّنة من نباتات وحيوانات كانت حيّة منذ وقت قريب، تُستخدم كوقود، ويمكن استخدامها لإنتاج الكهرباء.

الوقود الأحفوري

يُعدّ النفط والفحم الحجري والغاز أمثلة على **الوقود الأحفوري Fossil fuel**، وهو يتكوَّن من الهيدروكربونات (مُركَّبات الهيدروجين والكربون). فعندما تحترق تلك المواد تتَّحد مع أكسجين الهواء، وينتج من تلك العملية ثاني أكسيد الكربون، والماء، وتتحرّر طاقة.

يمكننا كتابة هذا التفاعُل الكيميائي بالمعادلة الآتية:

طاقة + ماء + ثاني أكسيد الكربون ← المركّب الهيدروكربوني + أكسجين

بناء على ذلك يمكننا أن نفكِّر في الوقود الأحفوري على أنه مخزن للطاقة؛ فهو يخزّن الطاقة على شكل طاقة كيميائية، ولكن ما مصدر تلك الطاقة؟

الوقود الأحفوري هو بقايا لنباتات وحيوانات عاشت في الماضي. فعلى سبيل المثال تشكَّل الكثير من الاحتياطي الأرضي للفحم الحجري من الأشجار التي عاشت في العصر الكربوني، أي قبل مدَّة تتراوح ما بين (360 - 286) مليون سنة. اكتسبت تلك الأشجار الطاقة الشمسية عن طريق التمثيل الضوئي خلال مراحل نمو النبات وحتّى موته.

مصطلحات علمية

الوقود الأحفوري Fossil fuel: مادّة متكوّنة من كائنات ميتة منذ القِدم، تُستخدم كوقود، ويمكن استخدامها لإنتاج الكهرباء.

ينتج عن احتراق الوقود الأحفوري ثاني أكسيد الكربون الذي يزيد من الاحتباس الحراري، وغازات أخرى ملوّثة للجو مثل غاز ثنائي أكسيد الكبريت الذي يساهم في تكوُّن المطر الحمضي والضباب الضوئي الكيميائي (Photochemical smog). ومع ذلك يُعدّ الوقود الأحفوري مصدرًا أساسيًّا للطاقة؛ إذ إن كمّية الطاقة المتوفّرة من كل وحدة كتلة تُعتبَر كمّية كبيرة.

الوقود النووي

تطوّرت الطاقة النووية في النصف الثاني من القرن العشرين، وهي طاقة تحتاج إلى مُتطلَّبات كثيرة وضوابط صارمة؛ نظرًا إلى جسامة الضرر الذي يمكن أن تُحدثه إن وقع حادث ما.

ويُعدّ اليورانيوم الوقود الأساسي في محطَّة الطاقة النووية (الصورة ١١-٥)، وكذلك البلوتونيوم في بعض الأحيان، وهما مادّتان مُشعّتان، حيث تنشطر أنويتهما داخل المُفاعِل النووي فتتحرَّر الطاقة منها، في عملية تُسمّى **الانشطار النووي Nuclear fission**.

الصورة ١١-٥ محطَّة طاقة نووية تولّد الكهرباء، وقودها من اليورانيوم. ينجم عن استخدام هذا الوقود نفايات مُشعّة، يجب أن تُعامَل بعناية فائقة لتجنُّب الضرر على المناطق المحيطة بالمحطَّة. وفي هذه الصورة يجري اختبار المنطقة المحيطة؛ للتأكُّد من أن مستوى المواد المُشعَّة آمن قرب المحطَّة النووية لإنتاج الكهرباء

مصطلحات علمية

الانشطار النووي Nuclear fission: عملية تُطلِق طاقة من خلال انشطار نواة ثقيلة كبيرة إلى نواتَين (أو أكثر) أقلّ كتلة.

يشكّل اليورانيوم مخزنًا عالي التركيز للطاقة على شكل **طاقة نووية Nuclear energy**. إذ تستقبل محطَّة الطاقة النووية النموذجية حمولة شاحنة واحدة تقريبًا من الوقود النووي الجديد كل أسبوع. بينما تحتاج محطَّة إنتاج كهرباء تعمل بالفحم الحجري إلى حمولة قطار كامل من الفحم كل ساعة لكي تعمل، ذلك أن الفحم الحجري يُعدّ وقودًا منخفِض التركيز للطاقة مقارنة باليورانيوم. أما محطّة إنتاج كهرباء تعمل بطاقة الرياح، فتحتاج إلى مساحة كبيرة من الأرض قد تصل إلى 20 كيلومترًا مربَّعًا.

أسئلة

١١-٤ **أ.** اذكر ثلاثة أنواع من الوقود الأحفوري.

ب. اذكر نوعَين من الوقود غير الأحفوري.

١١-٥ ما تغيُّر الطاقة الذي يحدث نتيجة استخدام الفحم الحجري كوقود للشواء؟

الصورة ١١-٦ سد إيتايبو العملاق المُشيَّد على نهر بارانا في أمريكا الجنوبية ينتج الكهرباء للبرازيل والباراغواي

مصطلحات علمية

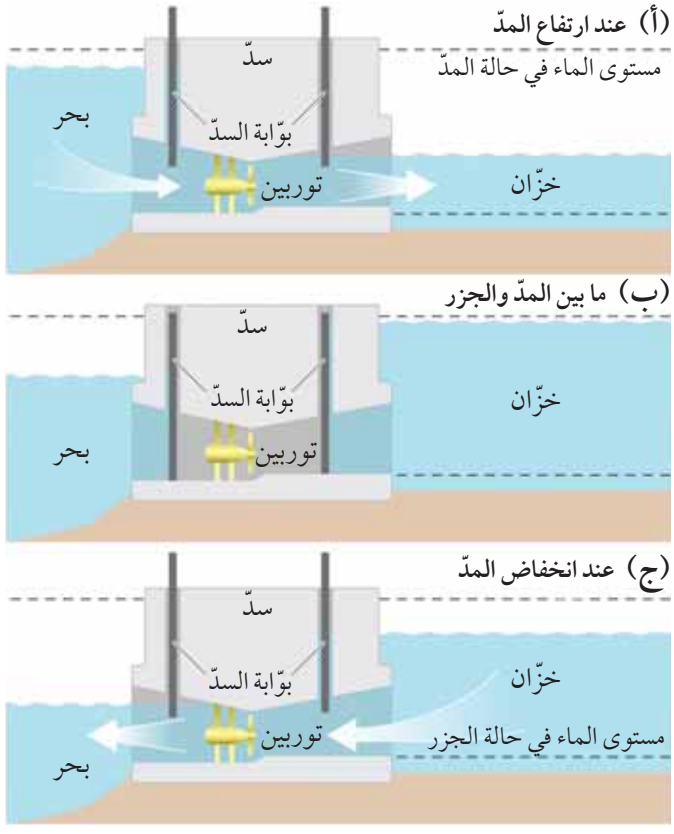
الطاقة الكهرومائية Hydroelectric energy: طاقة وضع الجاذبية المُخزَّنة في مياه الأمطار والمحجوزة خلف سدّ لإنتاج الكهرباء باستخدام توربينات.

الطاقة الكهرومائية

تُعدّ **الطاقة الكهرومائية Hydroelectric energy** واحدة من أصغر المساهمات في المخطَّط البياني الدائري الذي ورد في الشكل ١١-١. فقد استخدم الناس لقرون عدّة من الزمن طاقة حركة جريان المياه من أجل تشغيل التوربينات المائية، التي تُشغِّل بدورها آلات من جميع الأنواع، كطاحونة القمح وغيره من المحاصيل، وآلة ضخّ المياه، وآلة نسج القماش. وتأتي أكبر مساهمة للطاقة المائية اليوم على شكل طاقة كهرومائية، إذ يمكن حجز مياه الأنهار أو الأودية بواسطة السدود (الصورة ١١-٦)، فيرتفع منسوب المياه خلف جدار السدّ مخزّنة طاقة وضع الجاذبية، وعند تدفُّقها تعمل على تشغيل توربينات تُشغّل بدورها مُولِّدات كهربائية. وهذه طريقة آمنة للغاية ونظيفة وموثوقة لإنتاج الكهرباء، لكنها لا تخلو من المُشكلات؛ ذلك أن فيضان الخزّان قد يغمر الأراضي المُستخدَمة للصيد أو الزراعة، وقد يصبح السكّان هناك بلا مأوى، فضلاً عن تدمير مَواطِن الحيوانات البرية.

يمكن إنتاج كمّيَّة صغيرة من الطاقة الكهرومائية من المدّ والجزر في المُحيطات. فالقمر والشمس كلاهما يساهم في **قوَّتَي المدّ والجزر Tidal forces** (يكون تأثير القمر أقوى كثيرًا من تأثير الشمس). تؤدّي قوة جذبهما لماء البحار والمحيطات إلى رفع مستوى سطح مياه البحر أو المُحيط وهبوطه كل اثنتي عشرة ساعة.

وفي بعض المناطق الساحلية في العالم، يمكن أن يكون التغيُّر اليومي في مستوى سطح مياه البحر عدّة أمتار (مدى المدّ والجزر). تسمح حواجز المدّ للمياه بالحركة إلى داخل خليج أو نهر خلال المدّ العالي فتشغّل التوربينات والتي بدورها تشغِّل مولّدات الكهرباء (الشكل ١١-٢ (أ)). وعندما يكون مُستوى مياه المدّ في الخزّان مرتفعًا تُغلَق البوّابات وتُحجَز المياه خلفها كما في الشكل ١١-٢ (ب). وفي وقت لاحق عندما يكون المدّ مُنخفضًا، يمكن فتح البوابات والسماح بتدفُّق المياه لتشغيل توربينات تُشغّل بدورها مُولِّدات كهرباء، كما في الشكل ١١-٢ (ج). وبديلًا عن ذلك يمكن تركيب توربينات تحت الماء تدور مع تدفُّق مياه المد والجزر عند اندفاعها صعودًا أو تراجعها هبوطًا.



الشكل ١١-٢ (أ) فتح بوّابات السدّ؛ ليتدفَّق الماء إلى الخزان عند ارتفاع المدّ، وبالتالي تشغيل التوربين. (ب) إغلاق بوّابات السدّ؛ لحجز المياه خلف الحاجز. (ج) فتح بوابات السدّ وإطلاق الماء عند انخفاض المدّ، لتشغيل التوربين

طاقة المد والجزر Tidal energy هي طاقة موثوقة، يمكن الاعتماد عليها واستخدامها على نطاق واسع في البلدان التي لها سواحل طويلة، ومدّ وجزر مداهما كبير أو تدفُّقهما سريع. لكن بناء حواجز للمدّ والجزر على خطّ طويل عبر أجزاء من الساحل قد يُفسد الجمال الطبيعي لتلك المناطق، ويُربِك حياة الكائنات البحرية.

مصطلحات علمية

طاقة المدّ والجزر Tidal energy: طاقة وضع الجاذبية المُخزّنة في مياه البحار أو المحيطات المحجوزة في المدّ العالي، لإنتاج الكهرباء باستخدام توربينات.

الطاقة الحرارية الجوفية

يُعدّ باطن الأرض حارًّا؛ نظرًا إلى وجود صخور ساخنة على عمق قليل تحت سطح الأرض (تكون تلك الصخور حارَّة؛ بسبب وجود موادّ مشعَّة في باطن الأرض). وهذه السخونة مفيدة كمصدر للطاقة إذا استطعنا الحصول عليها وتسمّى **بالطاقة الحرارية الجوفية Geothermal energy**. وللاستفادة من هذه الطاقة، يُضخّ الماء خلال هذه الصخور، فيغلي ويعود إلى سطح الأرض على شكل بخار بضغط عالٍ، يُمكن عندها استخدامه لإنتاج الكهرباء.

توجد عادة الصخور الحارَّة القريبة إلى سطح الأرض، في الأماكن التي توجد فيها براكين نشطة. فأيسلندا، مثلًا، لديها العديد من محطّات الطاقة الحرارية الجوفية، التي تُزوّد المنازل والمباني القريبة بالمياه الساخنة لتدفئتها.

توفِّر محطّات الطاقة الحرارية الجوفية مصدرًا موثوقًا للكهرباء. ولكن الدول التي تقع تحت سطح أرضها صخور ساخنة هي فقط التي يمكنها الاستفادة من الطاقة الحرارية الجوفية على نطاق واسع.

مصطلحات علمية

الطاقة الحرارية الجوفية Geothermal energy: الطاقة المُخزّنة في الصخور الساخنة في باطن الأرض.

كذلك يوجد في سلطنة عُمان عيون مياه طبيعيّة كعين الكسفة (الصورة ١١-٧)، وهي عبارة عن مياه طبيعيّة تصل درجة حرارتها إلى 45 °C ثابتة (صيفًا وشتاءً). تخرج منها المياه الساخنة لريّ البساتين، ولعلاج أمراض الروماتيزم وبعض الأمراض الجلدية نظرًا لطبيعتها الكبريتية.

الصورة ١١-٧ عين الكسفة بولاية الرستاق

سؤال

١١-٦ ما تغيُّر الطاقة الذي يحدث نتيجة استخدام محطَّة الطاقة النووية وقود اليورانيوم لإنتاج الكهرباء؟

مصادر الطاقة المُتجدِّدة ومصادر الطاقة غير المُتجدِّدة

يُبيّن الشكل ١١-١ الوارد في الصفحة ١٦ أن معظم مصادر الطاقة التي نستخدمها هي وقود أحفوري من فحم حجري ونفط وغاز. وهناك كمّية محدودة من ذلك الاحتياطي، ومع الاستمرار في استخدامها فإنها ستنفد في يوم ما. وتوصف هذه المصادر بأنها مصادر طاقة **غير مُتجدِّدة Non-renewables**.

توصف مصادر الطاقة الأخرى، كطاقة الرياح والأمواج والطاقة الشمسية وطاقة الكُتلة الحيوية، بأنَّها مصادر طاقة **مُتجدِّدة Renewables** لأنّها ستتجدَّد بعد استخدامها. فالرياح ستهبّ مرَّة أخرى، وستُشع الشمس مرَّة أخرى. أضف إلى ذلك أنّنا بعد حصاد محصول الكتلة الحيوية، يمكننا زراعة محصول آخر.

يجب علينا تطوير «اقتصاد الطاقة» المبني على مصادر الطاقة المُتجدِّدة. عندئذ لا داعي للقلق على مصادر الطاقة التي ستنفد وتنضب، وسوف نكون قادرين على تجنُّب مُشكلات الاحتباس الحراري وتغيُّر المُناخ أيضًا.

مصطلحات علمية

مصادر الطاقة غير المتجدّدة Non-renewable sources: مصادر الطاقة التي تنفد باستمرارية استخدامها ثمّ تزول نهائيًا.

مصادر الطاقة المتجدّدة Renewable sources: مصادر الطاقة التي تتجدَّد باستمرار.

مُقارنة مصادر الطاقة

نستخدم الوقود الأحفوري كثيرًا لأنه يمثِّل نسبيًّا مصدرًا عالي التركيز للطاقة. وقد تُبنى محطَّة كهرباء حديثة تعمل بالغاز على مساحة ملعب كرة قدم لتزوِّد مدينة يسكنها 100 000 شخص بالكهرباء. في حين يتطلَّب استبدال تلك المحطَّة بمحطَّة لطاقة الرياح، 50 توربينًا أو أكثر من توربينات الرياح موزَّعة على مساحة عدّة كيلومترات مُربَّعة؛ ذلك أنّ الرياح مصدر منخفض التركيز للطاقة.

يوضّح ما أوردناه سابقًا، بعض الأفكار التي نستخدمها عندما نقارن بين مصادر الطاقة المختلفة. فلكل مصدر منها إيجابيّات وسلبيّات. ولهذا نحتاج إلى التفكير في العوامل الآتية:

- **قابلية التجدُّد:** ليست كل مصادر الطاقة مُتجدِّدة. فالوقود النووي غير مُتجدِّد، ولكن بما أنّه مصدر طاقة مُركّز فسيستمر لمدّة زمنية طويلة جدًّا.
- **التكلفة:** يجب أن نفصل هنا بين التكاليف الأوَّلية وتكاليف التشغيل. فشراء الخلية الشمسية باهظ الثمن، ولكن لا تترتَّب تكاليف جديدة على الوقود فيما بعد؛ فمن نِعَم الله تعالى علينا، أن ضوء الشمس مجّاني.
- **الموثوقية:** هل تتوفَّر إمدادات الطاقة دائمًا وباستمرار؟ فالرياح مُتغيّرة، لذلك لا يُعتمَد دائمًا على طاقتها. كذلك الحروب والنزاعات التجارية قد تقطع إمدادات الوقود.
- **الحيِّز:** ناقشنا سابقًا أن محطَّة طاقة تعمل بالوقود الأحفوري يمكن أن تُبنى على مساحة محدودة وتوفّر الطاقة لعدد كبير من السكان، في حين أنّنا نحتاج إلى عدَّة أمتار مُربَّعة من الخلايا الشمسية لتزويد أسرة صغيرة بالطاقة.
- **الأثر البيئي:** يؤدّي الاستخدام المُتواصِل للوقود الأحفوري إلى تغيُّر في المناخ. كما أنّه قد يفيض سدّ كهرومائي ويغمر أرضًا صالحة للزراعة. يعني ذلك أنّ كلّ مصدر طاقة له بعض التأثيرات على البيئة.

سؤال

١١-٧ حدِّد ما إذا كانت مصادر الطاقة الآتية مُتجدِّدة أو غير مُتجدِّدة، مع ذكر السبب:

أ. طاقة نووية تعمل باليورانيوم.

ب. طاقة الأمواج.

١١-٢ الشمس كمصدر للطاقة

يمكن إرجاع معظم مصادر الطاقة التي نستخدمها إلى الشمس، وتقسم إلى مصادر مباشرة من الشمس ومصادر غير مباشرة:

- المصادر المباشرة، تتمثَّل في الأشعَّة (الطاقة الضوئية والحرارية) القادمة من الشمس والتي يمكن امتصاصها بواسطة السخّانات الشمسية والخلايا الشمسية.
- المصادر غير المباشرة، وتتمثَّل في:
  - الوقود الأحفوري، وهو مخزن لطاقة مصدرها الشمس قبل ملايين السنين.
  - الرياح، تتكوَّن عندما تُسخّن الشمس الهواء، فيرتفع الهواء الدافئ، ويتدفَّق الهواء البارد ليحلّ محلّه. لذا يمكن استخدام الهواء المُتحرِّك لإنتاج الكهرباء باستخدام توربينات الرياح.
  - الطاقة الكهرومائية، تأتي معظمها من الشمس، فأشعَّة الشمس تُسبِّب تبخُّر الماء من البحار والمحيطات وسطح الأرض. ويتكثَّف بخار الماء في النهاية على شكل غيوم في الغلاف الجوي على ارتفاعات مختلفة. وبعد ذلك تهطل الأمطار وبخاصة على الأراضي المرتفعة، ويمكن حصرها خلف السدود.

إضافة إلى ذلك، فإنّنا نستخدم كمّية صغيرة من الطاقة التي لا تأتي من ضوء الشمس. وهنا سنذكر ثلاثة أمثلة:

- طاقة المدّ والجزر، تعتمد على جاذبية القمر بشكل أساسي، لأن تأثير القمر أقوى كثيرًا من تأثير طاقة الشمس. يمكننا أيضًا الاعتماد على هذه الطاقة حتى خلال الليل، وعندما تكون الشمس مُحتجبة خلف الغيوم.
- الطاقة النووية، تنتج من استخدام الوقود النووي، وهو في الغالب اليورانيوم المُستخرَج من باطن الأرض، وهو موجود في الأرض منذ أن تشكَّلت مع بقيَّة النظام الشمسي، أيّ قبل 4.5 مليار سنة. وبالتالي لم يحصل اليورانيوم على طاقته من الشمس.
- الطاقة الحرارية الجوفية، تعتمد على وجود الموادّ المُشعَّة في باطن الأرض. وهذه المواد موجودة منذ أن تشكَّلت الأرض، ومخزونها من الطاقة يتحرّر باستمرار منذ ذلك الحين.

مصدر طاقة الشمس

تُطلق الشمس كمّيات هائلة من الطاقة، لكنّ طاقتها ليست ناتجة عن حرق وقود بالطريقة نفسها التي رأيناها في الوقود الأحفوري. فالشمس تتكوَّن إلى حدّ بعيد من الهيدروجين، ولكن لا يوجد أكسجين لحرق ذلك الغاز. فالطاقة في الشمس تتحرَّر بعملية الاندماج النووي. ففي **الاندماج النووي Nuclear fusion** تتصادم كل أربع نوى هيدروجين نشيطة (لها طاقة عالية جدًا) وتندمج لتُشكِّل نواة ذرَّة هيليوم.

يتطلَّب الاندماج النووي درجات حرارة مرتفعة جدًا وضغطًا مرتفعًا جدًا. إذ تقترب درجة الحرارة في باطن الشمس من حوالي 15 مليون درجة سيليزية. ويكون الضغط في باطنها مرتفعًا جدًا. وهذا يُجبر نوى الهيدروجين على التقارُب الشديد ويسمح لها بالاندماج.

يرغب العلماء والمهندسون في التمكُّن من إحداث الاندماج بطريقة مماثلة هنا على الأرض. فبُنيت المُفاعِلات التجريبية لذلك. ولكن لا يزال صعبًا حتى الآن توفير الشروط اللازمة لإحداث الاندماج بطريقة يمكن التحكّم بها والسيطرة عليها. وقد يحدث في يوم من الأيام القادمة اندماج بطريقة آمنة ونظيفة لإنتاج إمدادات كهربائية موثوقة.

مصطلحات علمية

الاندماج النووي Nuclear fusion: عملية تُطلِق طاقة من خلال دمج نواتَين خفيفتَين صغيرتَين معًا لتشكيل نواة جديدة ثقيلة.

سؤال

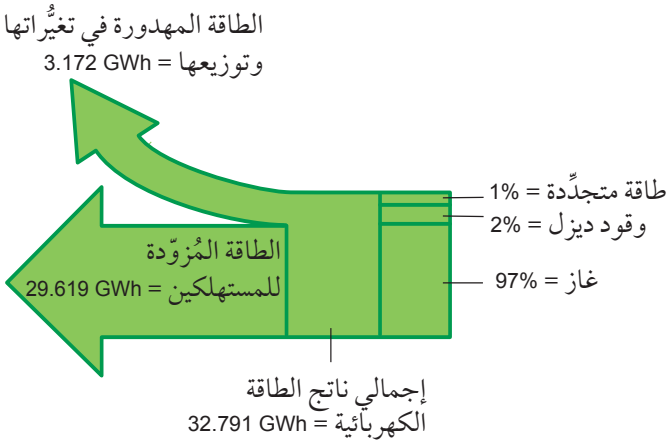
١١-٨ اذكر ثلاثة مصادر طاقة لا يكون مصدرها الأصلي الشمس.

١١-٣ الكفاءة

الطاقة باهظة الثمن؛ لذا يجب علينا عدم هدرها. أضف إلى ذلك أن استخدام طاقة أكثر مما نحتاج يزيد من الضرر الذي نُلحقه بالبيئة. يُعتبر الغاز المصدر الأساسي في إنتاج الطاقة الكهربائية في سلطنة عُمان، حيث يشكِّل نسبة 97% من إنتاج الكهرباء، بينما يُشكِّل وقود الديزل والطاقة المتجدِّدة (الشمسية والرياح) ما نسبته 2% و 1% على التوالي.

ونظرًا لتوجُّه الحكومة نحو تحقيق تنمية مستدامة في جميع الجوانب الاقتصادية والبيئية والاجتماعية؛ لخلق توازُن بين مختلف مصادر إنتاج الطاقة الكهربائية، فقد عملت الحكومة على استكشاف إمكانات مصادر الطاقة المتجدِّدة في السلطنة، حيث من المرجو أن يصل استخدام مصادر الطاقة المتجدِّدة إلى ما نسبته 5% - 0% بحلول عام 2040م، وفق رؤية عُمان 2040.

يبيِّن الشكل ١١-٣ رسمًا تخطيطيًّا يمثِّل تدفُّقات الطاقة الكهربائية في الشبكة الرئيسية المرتبطة لعام 2019م والتي تمثِّل 88% من إجمالي الكهرباء المزوَّد بها في السلطنة. ويُلاحَظ أن معظم الطاقة الكهربائية المُنتَجة التي تتدفَّق إلى السلطنة مصدرها استخدام الغاز الطبيعي ووقود الديزل. وتُهدَر على مرحلتَين عامّتَين إحداهما عندما تتحوَّل من طاقة كيمائية مختزنة في الغاز إلى طاقة كهربائية، والثانية عند استخدامها في المصابيح على سبيل المثال. فنسبة كبيرة من الطاقة الكهربائية التي يوفّرها الغاز تُهدَر عندما تتحوَّل الطاقة من شكل لآخر. فبعض هذه الطاقة المهدورة أمر لا بدَّ منه، ولكن يمكن تقليلها وتقليل الأضرار البيئية والتكلفة، عن طريق العزل الجيّد واستخدام آلات أكثر كفاءة للطاقة.



الشكل ١١-٣ الطاقة الكهربائية المُنتَجة والمزوَّدة للمستهلكين والمهدورة في الشبكة الرئيسية المرتبطة في سلطنة عُمان عام 2019م

وتنتهي مُعظم الطاقة المهدورة كطاقة حرارية. وهناك سببان رئيسيّان لذلك:

- عند حرق الغاز (لإنتاج الكهرباء أو لقيادة سيّارة مثلًا) فإنّ الطاقة الحرارية تنتقل كخطوة وسيطة. وتفقد الأشياء الساخنة الطاقة بسهولة إلى محيطها، حتّى وإن كانت معزولة جيّدًا، وخاصة المُحرِّكات والمراجل (خزّانات تسخين الماء) التي تهدر طاقة حرارية أيضًا نتيجة طريقة عملها؛ كذلك تنتج عن محطّات الطاقة مياه دافئة جرّاء تبريد أجزاء منها، وتنتج عن السيّارات غازات عادمة ساخنة.
- غالبًا ما يسبِّب الاحتكاك مشكلة عندما تكون الأشياء متحرِّكة. فالاحتكاك بطبيعته يولّد طاقة حرارية. ويمكن أن يساعد تشحيم الأجزاء المتحرِّكة في الآلات على تقليل الاحتكاك، ولكن تستحيل إزالته تمامًا. وكذلك يمكن أن يقلّل التصميم الانسيابي للمركبات من مُقاوَمة الهواء لحركتها.

الاستفادة من الطاقة على نحو أفضل

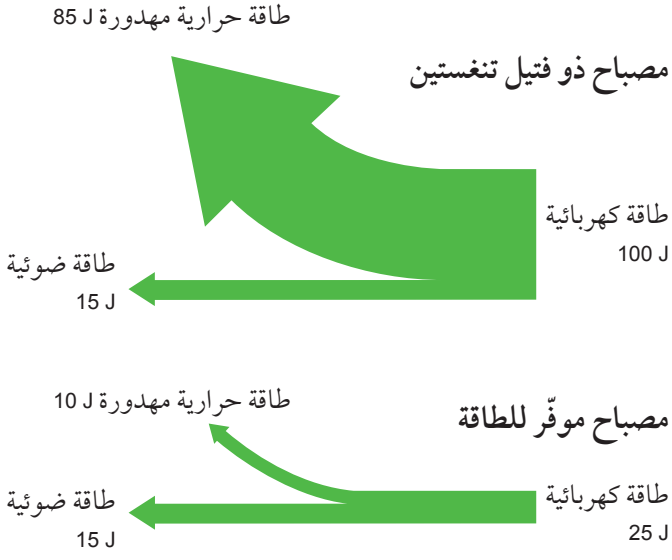
ما يُهمّنا هو الاستفادة من مصادر الطاقة المتوفِّرة لنا. ذلك أن الطاقة باهظة الثمن، وغالبًا ما تكون إمداداتها محدودة، ويمكن أن يؤدّي استخدامنا لها إلى إلحاق الضرر بالبيئة. لذا يجب علينا استخدام المصادر بكفاءة. ويُقصَد **بالكفاءة Efficiency**:

> النسبة المئوية للطاقة التي تغيَّرت إلى طاقة مفيدة.

تُبيّن الصورة ١١-٨ والشكل ١١-٤ طريقة واحدة لجعل استخدام الكهرباء أكثر كفاءة. فنحن نستخدم مصابيح الإضاءة لتوفِّر لنا الضوء. تُبيّن الصورة ١١-٨ نوعَين من المصابيح الكهربائية، المصباح الأيمن مُوفِّر للطاقة والمصباح الأيسر ذا فتيل من التنغستين.

الصورة ١١-٨ يوفّر كل من هذَين المصباحَين القدر نفسه من الضوء

يبيّن الشكل ١١-٤ رسمًا تخطيطيًّا للطاقة التي يستخدمها كلّ منهما في الثانية. حيث يتَّضح أن كلًّا منهما يُنتج الكمّية نفسها من الطاقة الضوئية. ومع ذلك فإن المصباح الموفّر للطاقة يهدر طاقة للتسخين أقلّ كثيرًا من المصباح الآخر، ولهذا يتطلَّب استخدامه طاقة كهربائية أقلّ بكثير.



الشكل ١١-٤ رسم تخطيطي يُبيّن تغيُّرات الطاقة في المصباحَين الكهربائيَّين للنوعَين في الصورة ١١-٨. فالمصباح الموفّر للطاقة يهدر طاقة حرارية أقلّ كثيرًا من المصباح الآخر

يوضِّح الجدول ١١-١ الكفاءة النموذجية لبعض الأجهزة المُهمَّة. ويمكنك أن تُلاحظ أنّ محطَّة كهرباء حديثة تعمل بالغاز نسبة كفاءتها 50% فقط. أيّ إنَّها تهدر نصف الطاقة التي تُزوّد بها.

الأجهزة	الكفاءة النموذجية (%)
سخّان كهربائي	100
مُحرِّك كهربائي كبير	90
مُحرِّك الغسّالة	70
محطَّة كهرباء تعمل بالغاز	50
مُحرِّك ديزل	40
مُحرِّك سيّارة بنزين	30
قاطرة بخارية	10

الجدول ١١-١ كفاءة الطاقة لبعض الأجهزة. تكون كفاءة معظم الأجهزة أقلّ من 100%، لأنها تُنتِج دائمًا طاقة حرارية مهدورة، في حين أن السخّان الكهربائي كفاءته 100% لأن الطاقة الكهربائية التي يُزوَّد بها تتغيَّر كلّها إلى طاقة حرارية. فلا توجد مشكلة تتعلّق بالطاقة المهدورة هنا!

أسئلة

١١-٩ **أ.** ما شكل الطاقة الأكثر شيوعًا لهدر الطاقة؟
ب. اذكر شكلًا آخر تُهدر فيه الطاقة أحيانًا.

١١-١٠ لماذا يهمُّنا عدم هدر الطاقة؟ اذكر ثلاثة أسباب.

حساب الكفاءة

لحساب كفاءة جهاز معيَّن، نقسم الطاقة المفيدة الخارجة على الطاقة الداخلة.

ويمكنك أن ترى من الجدول ١١-١ أن الكفاءة غالبًا ما تعطى كنسبة مئوية. ويمكننا حساب كفاءة تغيُّر الطاقة على النحو الآتي:

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الطاقة المفيدة الخارجة}}{\text{الطاقة الداخلة}} \times 100\%$$

فعندما يُزوَّد المصباح ذو فتيل التنغستين الموضَّح في الصورة ١١-٨ بطاقة كهربائية مقدارها 100 J، وينتج 15 J من الطاقة الضوئية المفيدة، تُحسَب كفاءته على النحو الآتي:

كفاءة المصباح ذي فتيل التنغستين:

$$\frac{15}{100} \times 100\% = 15\%$$

أسئلة

١١-١١ احسب كفاءة المصباح الموفِّر للطاقة من البيانات الظاهرة في الشكل ١١-٤.

١١-١٢ تُنتِج محطَّة طاقة كهربائية تعمل بالفحم الحجري (100 MJ) من الطاقة الكهربائية عندما تُزوَّد بطاقة مقدارها (400 MJ). احسب كفاءتها.

وصفنا سابقًا في الوحدة الثامنة من الفصل الدراسي الأوَّل أن القُدرة هي المعدَّل الذي تنتقل فيه الطاقة. لذلك يمكننا أن نعبّر عن كفاءة الجهاز بالقدرة المفيدة الخارجة أيضًا.

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{القدرة المفيدة الخارجة}}{\text{القدرة الداخلة}} \times 100\%$$

يمكنك في الجدول ١١-١ مثلًا أن ترى أن مُحرِّك الديزل يحوّل 40% من الطاقة التي يحصل عليها من الوقود إلى طاقة مفيدة. وهذه النسبة ستكون هي نفسها للقدرة الداخلة التي تتغيّر إلى قدرة مفيدة، وبالتالي فإن كفاءة محرِّك الديزل تبلغ 40%.

مثال ١١-١

يُستخدَم محرِّك كهربائي لرفع مصعد في بناية. فتزيد طاقة وضع الجاذبية للمصعد والركّاب بمقدار (45000 J) في (8 s). فإذا كانت قدرة المحرِّك (8000 W)، فكم تبلغ كفاءته؟

القدرة المفيدة الخارجة:

$$p = \frac{E}{t}$$
$$= \frac{45\,000\ \text{J}}{8\ \text{s}}$$
$$= 5625\ \text{W}$$

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{القدرة المفيدة الخارجة}}{\text{القدرة الداخلة}} \times 100\%$$

$$= \frac{5625\ \text{W}}{8000\ \text{W}} \times 100\%$$
$$= 70\%$$

أسئلة

١١-١٣ تبلغ كفاءة مصباح (10%). ما مقدار الطاقة الكهربائية التي يجب تزويده بها في كل ثانية لينتج (20 J) من الطاقة الضوئية في الثانية؟

١١-١٤ تبلغ القدرة الخارجة من محطَّة طاقة كهرومائية (2.2 MW). ويبلغ التغيُّر في طاقة وضع الجاذبية للماء الساقط في الثانية عبر التوربينات (2.5 MJ) في الثانية. احسب كفاءة محطَّة الطاقة.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تغيُّر مصادر الطاقة بما في ذلك الوقود، أشكال الطاقة المختلفة إلى طاقة أكثر فائدة؛ يمكن استخدامها لإنتاج الكهرباء.
- مصادر الطاقة المُتجدِّدة ومصادر الطاقة غير المُتجدِّدة.
- إيجابيات كلّ مصدر للطاقة وسلبيّاته.
- القمر مصدر أساسي لطاقة المدّ والجزر.
- أن معظم طاقتنا تأتي من الشمس.
- تنتج طاقة الشمس من الاندماج النووي.
- كفاءة انتقال الطاقة تصف نسبة الطاقة المفيدة المنقولة.
- حساب الكفاءة باستخدام الطاقة أو القدرة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ ما المقصود بمصطلح **مصادر الطاقة**؟

(أ) الوقود الأحفوري كالنفط والغاز الطبيعي فقط.

(ب) الوقود المُتجدِّد كالغاز الحيوي فقط.

(ج) أي مصدر للطاقة يمكن الاستفادة منه.

(د) الوقود غير المُتجدِّد كالوقود النووي فقط.

٢ صنّف كلًّا من مصادر الطاقة الآتية إلى مصدر مُتجدِّد أو مصدر غير مُتجدِّد.

الوقود الأحفوري	**طاقة المدّ والجزر**	**الوقود النووي**	**الطاقة الشمسية**
وقود الكُتلة الحيوية	**طاقة الرياح**	**الطاقة الكهرومائية**	

٣ الشمس مصدر للطاقة الشمسية.

أ. لماذا تعدّ الشمس أيضًا مصدر الطاقة لما يأتي:

١. الوقود الأحفوري؟

٢. الطاقة الكهرومائية؟

ب. لماذا **لا** تكون الشمس مصدر الطاقة لما يأتي:

١. طاقة المدّ والجزر؟

٢. الطاقة الحرارية الجوفية؟

٤ قد تُقرِّر مُستقبَلًا الدول التي تُنتِج مُعظم طاقتها الكهربائية من النفط والغاز إنتاج مزيد من الطاقة الكهربائية من الطاقة المائية.

أ. اقترح **سببَين** لذلك.

ب. صف **ثلاث** طُرق لإنتاج الكهرباء من الطاقة المائية.

٥ الغاز الحيوي وقود يمكن إنتاجه من تعفُّن الموادّ النباتية. ويحتوي الغاز الحيوي في الغالب على غاز الميثان.

أ. لماذا يُعدّ الغاز الحيوي **مصدرًا متجدِّدًا** للطاقة؟

ب. يمكن حرق الغاز الحيوي في محطّات الطاقة لإنتاج الكهرباء. فالطاقة المُتحرّرة من حرق الغاز تُستخدَم لتسخين المياه بهدف إنتاج بخار الماء. والبخار يُشغّل التوربين المُتَّصل بمُولِّد كهربائي. اذكر تغيُّرات الطاقة التي تحدث في محطَّة طاقة الغاز الحيوي.

ج. يُعدّ الغاز الحيوي نوعًا من وقود الكُتلة الحيوية. اذكر نوعًا آخر من وقود الكتلة الحيوية يكون مادَّة صلبة.

٦ تعمل حواجز المدّ والجزر بطريقة مُماثلة للسدود الكهرومائية، باستثناء إمكانية تدفُّق المياه في كلا الاتِّجاهين عبر البوّابات. توضع الحواجز عبر خليج في مكان يرتفع فيه مستوى سطح البحر وينخفض لأكثر من (2 m) إلى (3 m)، ما بين مدّ مرتفِع وجزر مُنخفِض. عند المد المرتفِع تُغلَق البوّابات ويُحتجَز الماء خلفها في الخليج. ويمكن إطلاق هذه المياه عبر توربينات عندما يهبط مستوى سطح البحر في الجانب الآخر من الحاجز.

اقترح تأثيرَين على البيئة لبناء محطّة طاقة كهذه: أحدهما سلبي والآخر إيجابي.

٧ أكمِل هذه الجُمل باستخدام مفردات من القائمة الآتية. يمكنك استخدام كل مُفردة مرَّة أو أكثر، أو عدم استخدامها على الإطلاق.

الأكسجين	**الكيميائي**	**ثاني أكسيد الكربون**	**اليورانيوم**	**الانشطارية**	**الاندماجية**

أ. تأتي الطاقة في الشمس من التفاعُلات ..... .

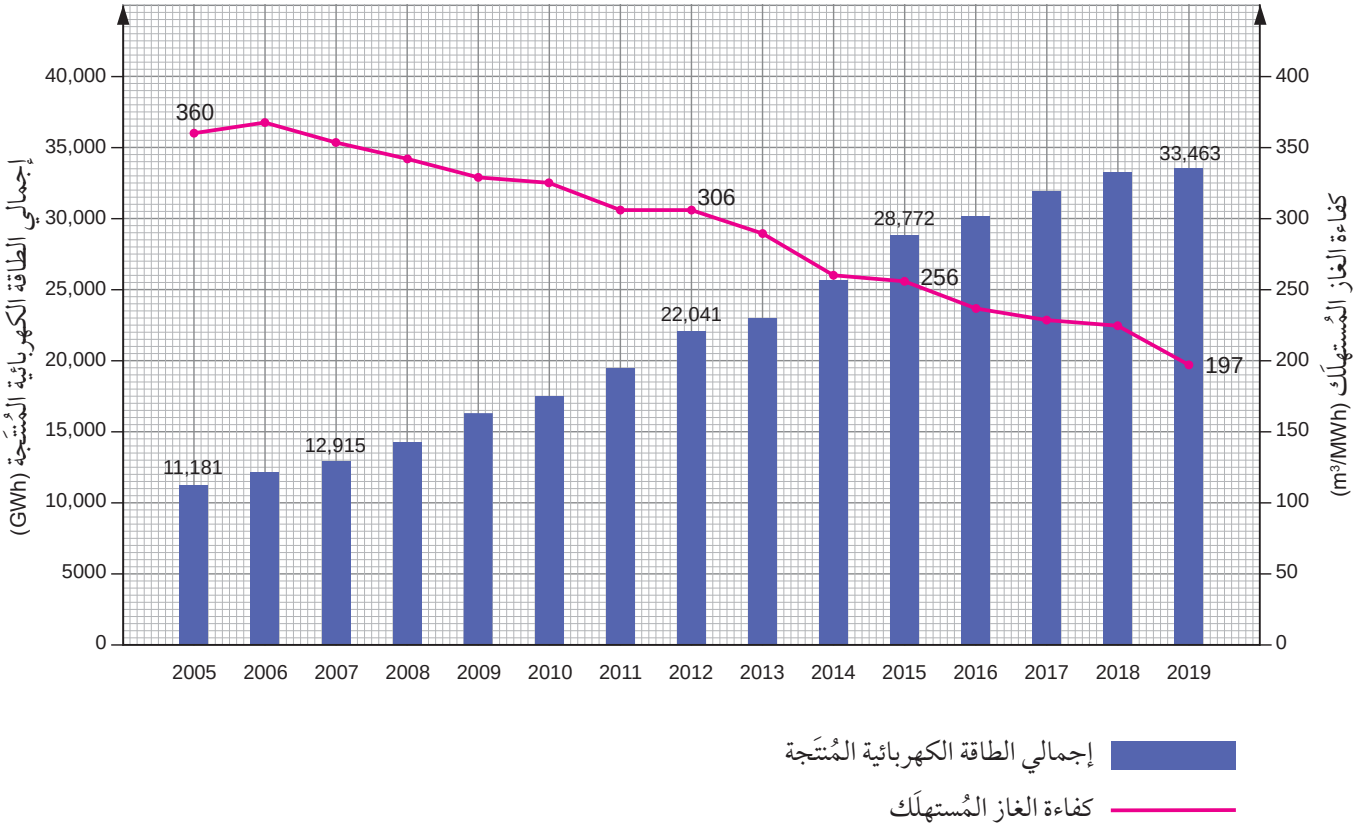
ب. تستخدم محطّات الطاقة النووية التفاعُلات ..... ويمكن أن يكون وقود هذه التفاعُلات ..... .

٨ يبيِّن الشكل أدناه، انخفاض استهلاك الغاز للمحطّات الموصّلة بالشبكة الرئيسية في سلطنة عُمان إلى ($197\ m^3$) في عام 2019 م، مقارنة بـ ($360\ m^3$) في عام 2005 م، أي أقلّ بنسبة (45%)، في حين أن إنتاج الكهرباء، قد وصل إلى (199%) قياسًا على ما كان عليه في عام 2005 م. استنتج مستعينًا بالمخطَّط:

أ. كفاءة الغاز المُستهلَك في العام 2017 م.

ب. إجمالي الطاقة الكهربائية المُنتَجة بالـ (MWh) في عام 2017 م.

ج. حجم الغاز المُستهلَك في عام 2017 م. (1 جيجاوات ساعة (GWh) = 1000 ميجاوات ساعة (MWh))



٩ **أ.** تُنتِج محطَّة طاقة حرارية جوفية، قدرة كهربائية مقدارها (300 MW). وتبلغ القدرة الداخلة إليها (2000 MW).

احسب كفاءة محطَّة الطاقة.

ب. تبلغ كفاءة محطَّة إنتاج الطاقة التي تعمل بحرق الفحم الحجري (48%). وتبلغ أقصى طاقة كهربائية خارجة تُنتِجها في الثانية الواحدة (2.4 GJ).

احسب أقصى طاقة يلزم إدخالها إلى المحطَّة في الثانية الواحدة لتحقيق هذا المقدار من الطاقة الخارجة.

الوحدة الثانية عشرة

انعكاس الضوء Reflection of Light

تُغطّي هذه الوحدة:

- قانون انعكاس الضوء.
- كيف تتكوَّن الصورة في المرآة المُستوية.
- لماذا تكون الصورة في المرآة المستوية تقديرية ومقلوبة جانبيًا.
- كيف تُرسَم مُخطَّطات الأشعَّة لانعكاس الضوء.

١-١٢ انعكاس الضوء

قبل أن يغادر روّاد فضاء أبولو القمر، تركوا عاكسات على سطحه. كان الهدف منها قياس المسافة من الأرض إلى القمر. حيث يُوجَّه شُعاع ليزر من محطَّة رصد على الأرض (كما يظهر في الصورة أعلاه) فتنعكس الأشعَّة عن تلك العاكسات التي تُركت على سطح القمر إلى الأرض. وهكذا يُقاس الزمن المُستغرَق لانتقال الضوء ذهابًا وإيابًا إلى القمر. وبما أنّ سُرعة الضوء معروفة، يصبح مُمكنًا حساب المسافة.

تستخدم هذه التجربة فكرتَين سنبحثهما في هذه الوحدة وهما: الطريقة التي ينتقل بها الضوء، وكيف ينعكس الضوء بواسطة المرايا.

ينتقل الضوء عادة في خطوط مُستقيمة. ويُغيّر اتِّجاهه إذا سقط على سطح لامع، أو إذا انتقل من وسط مادّي إلى آخر. يُسمّى التغيُّر في الاتِّجاه نتيجة السقوط على سطح لامع كالمرآة **بالانعكاس Reflection**. وسوف نتناول الانعكاس في هذا الموضوع.

مصطلحات علمية

الانعكاس Reflection: التغيُّر في اتّجاه الشعاع الضوئي عندما يرتدّ عن سطح عاكس دون المرور عبره.

يمكنك أن ترى أن الضوء ينتقل في خطّ مستقيم إذا استخدمتَ **صندوق أشعَّة ضوئية** (ray box)، كما توضّح الصورة ١٢-١، حيث يُنتِج المصباح الكهربائي ضوءًا ينتشر في جميع الاتِّجاهات. وإذا وُضِع المصباح داخل صندوق الأشعَّة الضوئية فإنّ الصندوق يُنتِج حُزمة ضوئية واسعة. وإذا وضعتَ شقًّا ضيّقًا في مسار تلك الحُزمة، تستطيع رؤية حُزمة واحدة ضيّقة أو شُعاعًا ضوئيًّا. يُضيء الشعاع على طول ورقة موضوعة على طاولة الاختبار، ويمكنك رصد موقع الشعاع بوضع نقاط على طول مساره. وإذا وضعتَ مسطرة على طول تلك النقاط يتبيّن أنها تقع على خطّ مُستقيم.

الصورة ١٢-١ يُنتِج صندوق الأشعّة الضوئية حُزمة واسعة من الضوء، يمكن تضييقها للحصول على شُعاع ضوئي ضيّق باستخدام لوحة فلزّية فيها شقّ

قد ترى عروضًا باستخدام مصادر مختلفة من ضوء **الليزر Laser**. يتَّصف الليزر (الصورة ١٢-٢) بميزة خاصة، وهي أن كل الضوء الذي ينتج عنه يخرج على شكل حُزمة ضيّقة مُستقيمة. وتتركّز كل طاقة الضوء في هذه الحُزمة، بدلاً من الانتشار في جميع الاتِّجاهات (كما هي الحال في مصباح الإضاءة). وهذا هو السبب في أن شعاع الليزر شديد الخطورة إذا دخل إلى عينَيك.

الصورة ١٢-٢ يتمّ استخدام انعكاس أشعّة الليزر في هذا العرض الضوئي

النظر في المرآة

ينظر معظمنا إلى المرآة مرَّة واحدة على الأقلّ في اليوم، لكي نتحقَّق من مظهرنا (الصورة ١٢-٣). ومن الجدير بالذكر أنّ علماء الآثار قد عثروا على مرآة برونزية عُمرها أكثر من 2000 سنة، مما يُثبِت أن الرغبة في الرؤية الواضحة لأنفسنا كانت قائمة منذ زمن بعيد.

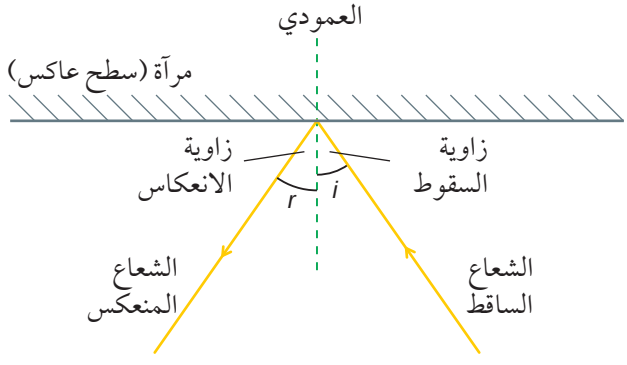
تعطي المرايا الحديثة عندما تنظر فيها صورة واضحة جدًّا. فالمرآة اللامعة السطح تعكس أشعَّة الضوء القادمة من وجهك وتُرجِعها إلى عينَيك، ليبدو لك أنك ترى صورتك خلف المرآة. وإذا أردتَ أن تُدرك سبب ذلك، فأنتَ تحتاج إلى استخدام قانون انعكاس الضوء.

الصورة ١٢-٣ ينظر الفتى في المرآة المستوية فيرى صورته؛ تبدو صورته خلف المرآة واليد اليُسرى في الصورة هي صورة اليد اليُمنى

عندما ينعكس شُعاع من الضوء عن مرآة أو سطح عاكس آخر، فإنه يتَّبع مسارًا كما يظهر في الشكل ١٢-١. يرتدّ الشعاع كما ترتدّ الكُرة عن الحائط. ويُعرف الشعاعان باسم **الشعاع الساقط Incident ray**، **والشعاع المُنعكِس Reflected ray**. وقد وُجد أن **زاوية السقوط** (i) تُساوي **زاوية الانعكاس** (r). وهذا هو **قانون الانعكاس Law of reflection**، الذي يمكن كتابته على النحو الآتي:

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

$$i = r$$



الشكل ١٢-١ قانون انعكاس الضوء

لاحظ أنّنا لكي نجد الزاويتَين i و r، يجب أن نرسم خطًّا عموديًّا (90°) على السطح العاكس عند نقطة سقوط الشعاع الساقط، يسمّى **العمودي Normal**. وتكون الزاويتان الأُخريان بين الشعاعَين والسطح المستوي متساويَتين أيضًا. ومع ذلك، فإننا سنجد صعوبة في قياسهما إذا كان السطح منحنيًا، لذلك نقيس الزاويتَين المرتبطتَين بالعمودي. ومع هذا فإن قانون الانعكاس يعمل أيضًا على السطوح المنحنية، كالمرايا المقعَّرة والمرايا المُحَدَّبة.

تذكّر

أنّ زاوية السقوط تُقاس بين العمودي على السطح والشعاع الساقط.

وأنّ زاوية الانعكاس تُقاس بين العمودي على السطح والشعاع المنعكِس.

نشاط ١٢-١

قانون الانعكاس

المهارات:

- يصف الخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يرسم الأشكال التخطيطية للجهاز ويُسمّي أجزاءه.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.

تحقّق من قانون الانعكاس باستخدام صندوق الأشعّة الضوئية ومرآة مستوية.

الخطوات

١ ضع مرآة مستوية صغيرة عموديًّا على ورقة بيضاء. حدّد موقع السطح العاكس على الورقة البيضاء.

٢ رتِّب صندوق الأشعّة الضوئيَّة ومصدر طاقتها لإعطاء شُعاع أو حُزمة ضيّقة من الضوء.

٣ وجِّه شُعاع الضوء على طول الورقة بحيث يسقط على وسط المرآة. لاحظ الشعاع المُنعكِس.

٤ ضَع نقطتَين على الشعاع الساقط ونقطتَين أُخريين على الشعاع المُنعكِس. أبعد صندوق الأشعّة الضوئيَّة والمرآة.

٥ باستخدام النقاط كدليل، ضع المسطرة على طول موقع الشعاع الساقط، وارسم خطًّا لتمثيل هذا الشعاع. كرّر ذلك مع الشعاع المُنعكِس.

٦ ارسم عند النقطة التي لمس فيها الشعاع سطح المرآة، العمودي على المرآة.

٧ حدّد زاويتَي السقوط والانعكاس، وقِسهما.

٨ كرّر الخطوات من ٣ إلى ٧ بزوايا سقوط مختلفة.

٩ اكتب استنتاجًا من النتائج التي حصلت عليها.

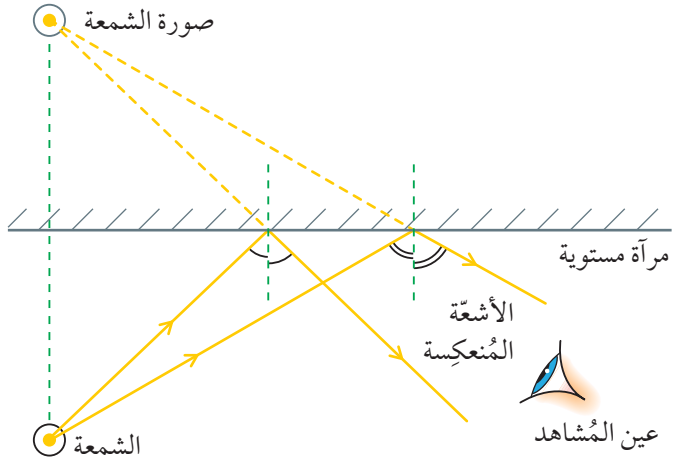
الصورة في مرآة مُستوية

لماذا نرى صورة واضحة عندما ننظر في مرآة مستوية؟ ولماذا تبدو خلف المرآة؟

تُبيّن الصورة ١٢-٤ كيف يمكن لمُشاهد رؤية صورة شمعة في مرآة مستوية. فأشعَّة الضوء من لهب الشمعة تنعكس عن المرآة ويدخل بعضها إلى عيني المُشاهد.

الصورة ١٢-٤ ينظر المُشاهِد في المرآة فيرى صورة الشمعة. تبدو الصورة خلف المرآة

لا بُدّ للمُشاهد في الرسم التخطيطي في الشكل ١٢-٢ أن ينظر إلى الأمام، وإلى اليسار قليلًا، لرؤية صورة الشمعة. يفترض الدماغ أن صورة الشمعة في ذلك الاتِّجاه، كما هو مُبيّن في الخطوط المُتقطِّعة خلف المرآة. تبدو الخطوط المُتقطِّعة قادمة من نقطة خلف المرآة، تبعد عن المرآة نفس بُعد الشمعة عنها. ويمكنك أن ترى هذا من التماثُل في الرسم التخطيطي.



الشكل ١٢-٢ يُبيّن الرسم التخطيطي للأشعَّة كيف تتكوَّن الصورة. تنعكس الأشعَّة القادمة من لهب الشمعة عن المرآة وفقًا لقانون الانعكاس. تُبيّن الخطوط المُتقطِّعة للمُشاهد أن الأشعَّة تبدو قادمة من نقطة خلف المرآة

تبدو الصورة في المرآة كما لو كانت بحجم الشمعة نفسها، وهي بالطبع صورة طبق الأصل أيضًا، **ومقلوبة جانبيًا** من اليسار إلى اليمين **Left–right inverted**. ستعرف ذلك من رؤية الكتابة معكوسة في المرآة. فإذا كنت تستطيع وضع الجسم وصورته جنبًا إلى جنب، سترى أن كلًّا منهما صورة طبق الأصل عن الآخر. وبالطريقة نفسها سترى أن صورة اليد اليُمنى طبق الأصل عنها، ولكنها اليد اليُسرى في الصورة، وينطبق الأمر نفسه على اليد اليُسرى.

صورة الشمعة في المرآة ليست صورة حقيقية. ذلك أنّ **الصورة الحقيقية Real image** هي الصورة التي يمكن تشكيلها على شاشة ما. فإذا وضعتَ قطعة من الورق في موقع الصورة خلف المرآة، فلن ترى صورة الشمعة عليها، لعدم توفُّر أشعَّة ضوء من الشمعة تصل إلى تلك البقعة من الورقة. لهذا السبب رسمنا خطوطًا مُتقطِّعة لنُبيّن من أين **تبدو** الأشعَّة قادمة إلى المُشاهد. نقول حينها إن **الصورة تقديرية Virtual image**.

الخلاصة: عندما ينعكس جسم عن مرآة مستوية، تكون خصائص صورته كالآتي:

- **مساوية لحجم الجسم نفسه.**
- **بُعدها خلف المرآة يساوي بُعد الجسم نفسه أمام المرآة.**
- **مقلوبة من اليسار إلى اليمين (مقلوبة جانبيًا).**
- **تقديرية.**

أسئلة

١٢-١ أ. اكتب كلمة «إسعاف» كما تبدو عندما تنعكس في مرآة مستوية.

ب. لماذا تُكتب بهذه الطريقة على مقدِّمة سيّارة الإسعاف؟

١٢-٢ أ. ارسم رسمًا تخطيطيًا يوضّح قانون الانعكاس.

ب. أي زاويتَين في الرسم مُتساويتان وفقًا لقانون الانعكاس؟

١٢-٣ يسقط شعاع ضوئي على سطح عاكس مستوٍ بحيث تكون زاوية السقوط (30°). كم تبلغ الزاوية بين الشعاع المُنعكِس والسطح العاكس؟

١٢-٤ لماذا نقول إن المرآة المستوية تعطي صورة تقديرية؟

مخطَّطات الأشعَّة

يُعدّ الشكل ١٢ –٢ الذي درسناه سابقًا في هذه الوحدة مثالًا على **مخطَّط الأشعَّة Ray diagram**. تُستخدَم مثل تلك المخطَّطات لتوقُّع موقع الصور المتكوِّنة بواسطة المرايا أو العدسات، عندما تُستخدَم في الأجهزة البصرية. والفكرة هي أن ترسم أوّلًا مواقع الأشياء المعروفة (مثل الشمعة والمرآة)، ثم ترسم أشعَّة الضوء (يجب أن يتمّ اختيار تلك الأشعَّة بعناية إذا أردت إظهار ما تريد أن تراه). يُحدَّد موقع المُشاهِد، ثم تستنتج من أين تبدو الأشعَّة المُنعكِسة قادمة، وهذه هي الخطوط المتقطِّعة المبيّنة في الرسم التخطيطي. يُعرف هذا الرسم التخطيطي بمخطَّط الأشعَّة، ويسمح لنا بتحديد موقع الصورة.

مصطلحات علمية

مخطّط الأشعّة Ray diagram: مخطَّط يوضِّح مسارات الأشعَّة الضوئية النموذجية.

يوضح المثال ١٢–١ خطوات رسم مخطَّط الأشعَّة.

مثال ١٢-١

وُضِع مصباح صغير على بُعد (5 cm) أمام مرآة مستوية. ارسم رسمًا تخطيطيًا دقيقًا للأشعَّة، واستخدمه لتبيّن أن صورة المصباح تبعد (5 cm) خلف المرآة.

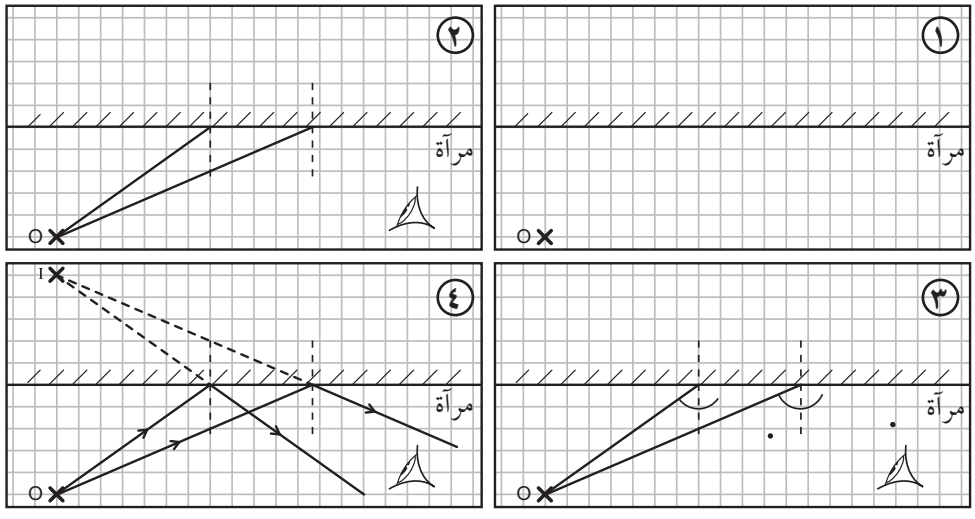
الخُطوات اللازمة لرسم مخطَّط الأشعَّة مدوّنة أدناه ويوضِّحها الشكل الذي يليها. (يساعد على القيام بالعمل استخدام ورق الرسم البياني أو ورق المربّعات. كل مربَّع من مربّعات الورقة المُدرجَة في الرسوم التخطيطية أدناه 1 cm x 1 cm).

الخطوة ١: ارسم خطًّا لتمثيل المرآة، وأشر إلى سطحها العاكس برسم خطوط قصيرة على طول سطحها غير العاكس، كما هو موضّح في الرسم التخطيطي رقم ١. حدِّد موقع الجسم بوضع علامة (O).

الخطوة ٢: ارسم شعاعَين من (O) إلى المرآة. ارسم خطَّين عموديَّين متقطّعَين على سطح المرآة في مكانَي سقوط هذَين الشعاعَين على المرآة (الرسم التخطيطي رقم ٢).

الخطوة ٣: باستخدام منقلة، قِس زاوية السقوط لكل شعاع. ضع علامة لزاوية الانعكاس المساوية لكل منهما (الرسم التخطيطي رقم ٣).

الخطوة ٤: ارسم الشعاعَين المنعكسَين ومدّدهما بخطَّين متقطّعين خلف المرآة. فالنقطة التي يتقاطعان فيها هي التي تتكوّن فيها الصورة. سمِّ هذه النقطة (I) (الرسم التخطيطي رقم ٤).



يُستنتَج من الرسم التخطيطي للخطوة ٤، وبشكل واضح، أن الصورة (I) قد تكوَّنت على بُعد (5 cm) من المرآة، ومقابل الجسم (O) مباشرة، وأنَّ الخطّ الذي يصل (O) إلى (I) عمودي على سطح المرآة.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- قانون الانعكاس.
- خصائص الصورة المُتكوِّنة في المرآة المستوية.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أيٌّ من القوانين الآتية هو قانون الانعكاس؟

(أ) زاوية الانعكاس أصغر من زاوية السقوط.

(ب) زاوية الانعكاس تساوي زاوية السقوط.

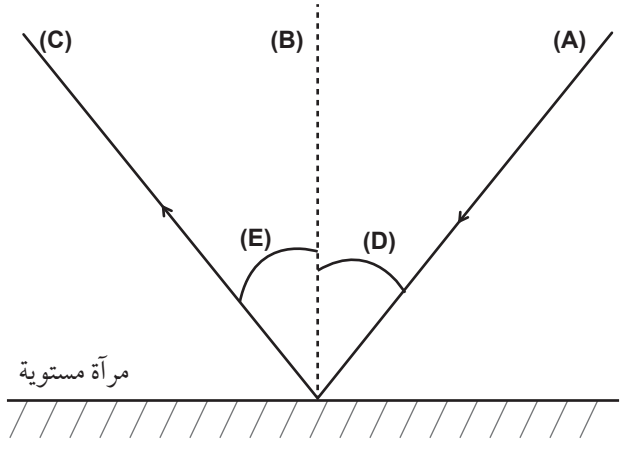
(ج) زاوية الانعكاس أكبر من زاوية السقوط.

(د) زاوية الانعكاس تساوي نصف زاوية السقوط.

٢ تكون الصورة في المرآة المُستوية مساوية لحجم الجسم نفسه.

اذكر **خاصّيَّتَين** أُخريَين للصورة.

٣ يُبيّن مُخطَّط الأشعَّة أدناه الانعكاس عن مرآة مستوية.



أ. سمِّ على مخطَّط الأشعَّة ما يأتي:

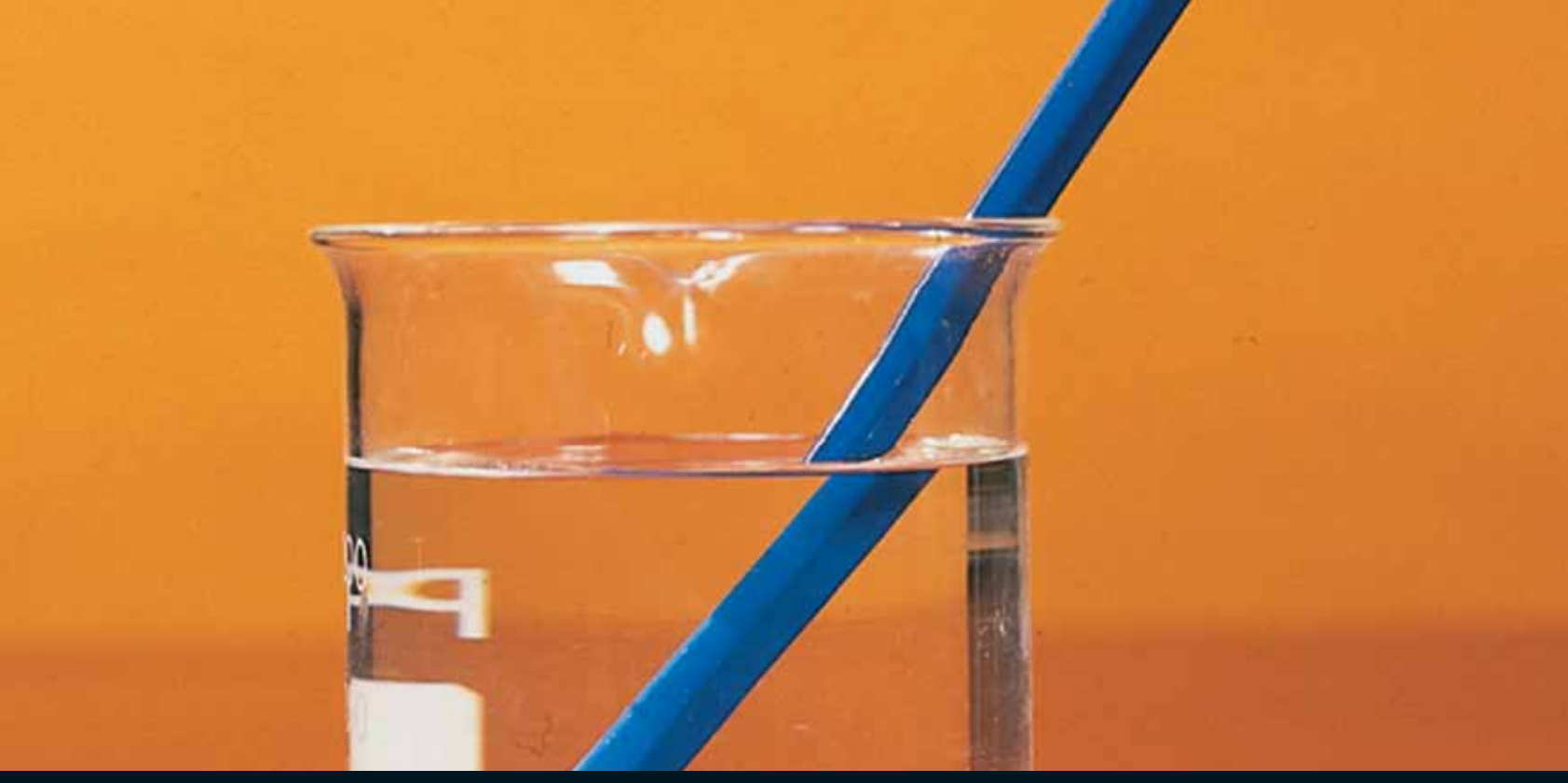
١. الخطوط التي رُمز إليها بالأحرف (A) و (B) و (C).

٢. الزاويتَين (D) و (E).

ب. سجِّل قياس الزاوية بين (B) وسطح المرآة.

٤ ارسم مُخطَّط أشعَّة لتوضّح انعكاس شُعاع من الضوء بواسطة مرآة مستوية. يجب أن تكون زاوية السقوط في الرسم التخطيطي (60°). استخدم منقلة لقياس تلك الزاوية، ولقياس زاوية الانعكاس.

٥ يُظهر الرسم التخطيطي جسمًا (O)، موضوعًا أمام مرآة مستوية. أكمل الرسم لتوضِّح كيف يرى الشخص الذي يُشاهِد من الموقع (م) صورة الجسم. سمِّ الصورة (I).



الوحدة الثالثة عشرة

انكسار الضوء Refraction of Light

تُغطّي هذه الوحدة:

- كيفية انكسار الضوء.
- كيف ترسم مخطّطات الأشعّة لانكسار الضوء.
- معنى الزاوية الحرجة.
- كيفية تحديد مُعامِل الانكسار (n) بدلالة سرعة الضوء في الفراغ ووسط مادّي.
- كيفية تحديد مُعامِل انكسار وسط مادّي من قياس زاوية السقوط وزاوية الانكسار.
- وصفًا للانعكاس الداخلي الكُلّي.
- عمل الألياف البصرية في الطبّ وتكنولوجيا الاتّصالات.

١٣-١ انكسار الضوء

إذا نظرت إلى قاع حوض سباحة، ترى أنماطًا من تموّجات ظلّ. ويعود ذلك إلى سطح الماء غير المنتظِم الناتج من اضطرابات صغيرة لسطح الماء تسبّب تغيُّر اتّجاه أشعّة الشمس عند اختراقها لسطح الماء. فالأجزاء المظلمة التي تراها في قاع البركة، تنتج عن انحراف أشعّة الضوء بعيدًا، مُشكِّلة تأثيرًا كأنّه ظلّ. ويُسمّى انحراف أشعّة الضوء عند انتقالها من **وسط مادّي Medium** إلى وسط آخر **بالانكسار Refraction**.

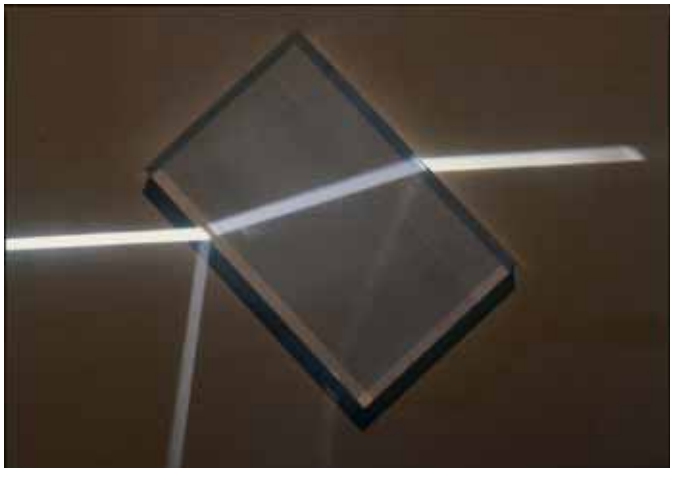
مصطلحات علمية

الوسط المادّي Medium: مادّة تمرّ عبرها موجة يمكن أن تكون صلبة أو سائلة أو غازيَّة.

الانكسار Refraction: هو انحراف شعاع من الضوء عند مروره خلال وسطَين مادّيَّين شفّافَين مختلفَين.

هناك أمثلة متعدِّدة على انكسار الضوء؛ منها تألّق الألماس، والطريقة التي تُنتج العدسة في عينك صورة للعالم من حولك، وتلألؤ النجوم في السماء ليلًا. حتى أن ظاهرة «قلم الرصاص المكسور» (كما هو موضّح في الصورة في بداية الوحدة) هي أيضًا نتيجة للانكسار.

يحدث الانكسار عندما ينتقل شعاع ضوء من وسط مادّي إلى وسط مادّي آخر. قد يغيّر شعاع الضوء اتّجاهه. ويمكنك التحقّق من ذلك باستخدام صندوق أشعَّة ضوئية وكتلة متوازية المستطيلات من الزجاج أو البرسبيكس (البلاستيك)، كما يظهر في الصورة ١٣-١. ويمكنك أيضًا استخدام الدبابيس لتقصّي الانكسار. لاحظ أن الشعاع ينتقل في خطّ مستقيم عندما يكون خارج الزجاج في الهواء. لكن عندما يكون داخل الزجاج، ينحرف فقط عند النقطة التي يدخل منها إلى الزجاج أو يخرج منه. لذلك يكون **تغيُّر الوسط المادي** هو مسبّب انحراف الضوء.



الصورة ١٣-١ انكسار شعاع ضوئي عندما يعبر كتلة على شكل متوازي مستطيلات من الزجاج أو البرسبيكس. ينحرف الشعاع عندما يدخل الكتلة، وينحرف أيضًا عندما يخرج منها، عائدًا إلى اتّجاهه الأصلي

تلاحظ في الصورة ١٣-١، أن اتّجاه انحراف شعاع الضوء يعتمد على الوسط الذي يدخل إليه: هل هو الهواء أم الزجاج؟ والوسط الذي يخرج إليه: هل هو الهواء أم الزجاج؟

- ينحرف الشعاع نحو العمودي، عند دخوله من الهواء إلى الزجاج.
- ينحرف الشعاع بعيدًا عن العمودي عندما يخرج من الزجاج إلى الهواء.

نتيجة لذلك فإنه عندما يعبر شعاع، كتلةً متوازية المستطيلات من الزجاج أو البرسبيكس، فإنه يعود بعد خُروجه إلى الاتّجاه الأصلي لانتقاله. عندما ننظر إلى العالم عبر نافذة، فنحن ننظر عبر لوح متوازي المستطيلات من الزجاج، لكننا لا نرى صورة مشوَّهة، رغم أن أشعّة الضوء قد انزاحت قليلاً أثناء عبورها الزجاج، إلا أن الضوء المنتقِل يصل إلينا في اتّجاهه الأصلي.

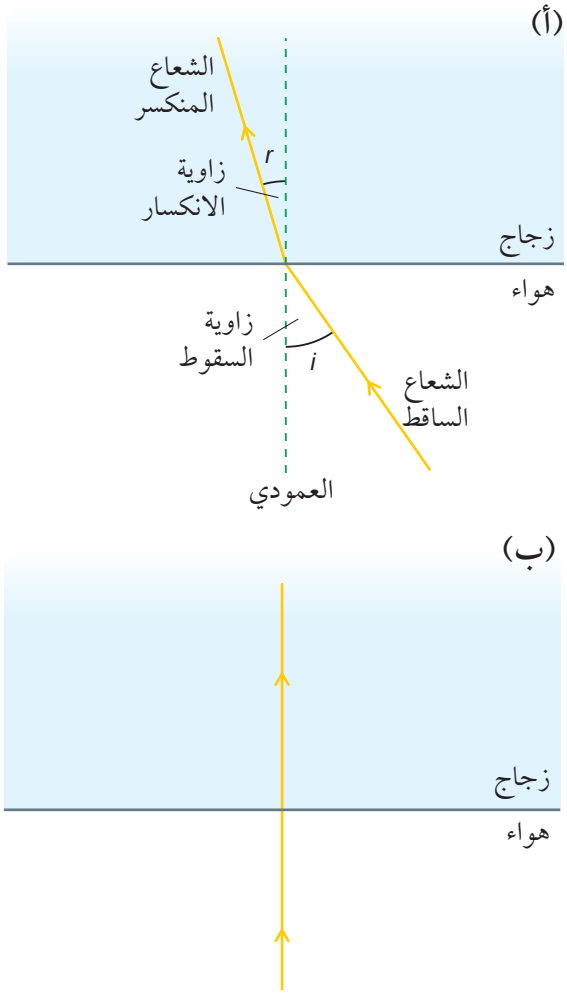
تغيُّر الاتّجاه

يوضّح الشكل ١٣-١ (أ) مسار الأشعَّة عند الانكسار. وكما هو الحال في الانعكاس، فإننا نُحدّد الزوايا بالنسبة إلى العمودي. فعندما يسقط الشعاع على كتلة من الزجاج، نقيس زاوية السقوط (*i*) من الشعاع الساقط إلى العمودي. وينتقل **الشعاع المنكسِر Refracted ray بزاوية انكسار Angle of refraction (*r*)**، وتُقاس نسبة إلى العمودي. (لاحظ أننا عندما ناقشنا الانعكاس استخدمنا (*r*) لزاوية الانعكاس، وهنا نستخدمها لزاوية الانكسار).

قد يسقط شعاع ضوئي عموديًّا على سطح ما، أي بزاوية سقوط مقدارها 0°، كما هو موضّح في الشكل ١٣-١ (ب). في هذه الحالة، لا ينحرف الشعاع، بل يعبر ببساطة عبورًا مباشرًا، ويستمرّ في الاتّجاه نفسه. أي أنّ دخول الضوء عموديًّا على الحدّ الفاصل بين وسطَين، لا يُحدِث انحرافًا.

تذكّر

أن أشعّة الضوء تنتقل في خطوط مستقيمة، فهي تنحرف فقط (تُغيّر اتجاهها) عندما تنعكس عن سطح، أو عندما تعبر من وسط مادّي إلى وسط آخر مختلف.

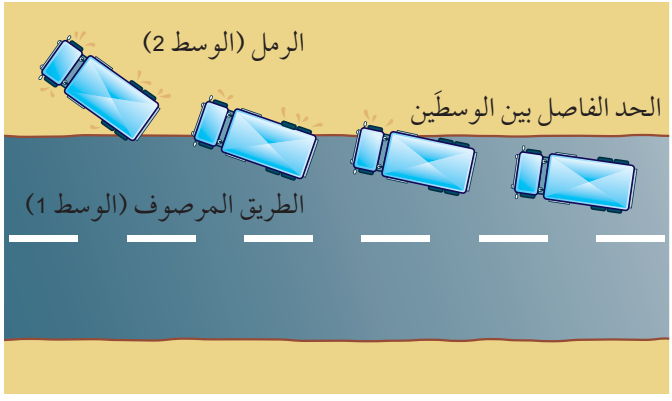


الشكل ١٣-١ (أ) مسار الأشعَّة عند الانكسار. (ب) سقوط الشعاع عموديًّا على السطح الفاصل بين وسطَين مختلفَين (أي بزاوية سقوط 0°)

توضيح الانكسار

لماذا يغيّر الضوء اتّجاهه عندما يعبر من وسط مادّي إلى وسط آخر مختلف؟ تكمن الإجابة في تغيُّر سرعته. ينتقل الضوء في الفراغ (الفضاء الفارغ) بسرعة أكبر، تُعادِل سرعته في الهواء تقريبًا. وينتقل ببطء أكثر في الزجاج والماء والمواد الشفّافة الأخرى.

يُظهر الشكل ١٣-٢ إحدى الطرائق التي توضّح لماذا يؤدّي تغيّر السرعة إلى تغيّر الاتّجاه. فالشاحنة في الشكل يقودها سائق على طريق صحراوية. ويسمح للعجلات اليُمنى من الشاحنة بالانحراف عن الطريق، والسير على الرمال. في حين أن العجلات اليُسرى لا تزال على تماسّ مع الطريق ولا تزال تتحرّك بسرعة. وهذا ما جعل الشاحنة تبدأ بالانحراف نحو اليمين.



الشكل ١٣-٢ من أجل أن نوضّح أن تغيُّر السرعة يفسّر الانحراف الناتج عن الانكسار، نتصوّر شاحنة تنزلق عجلاتها على الطريق في الرمال. فتنحرف الشاحنة إلى الجانب؛ لأنها لا تستطيع التحرُّك بنفس السرعة عبر الرمال

وبناء على ذلك نتوقَّع تحرُّك شعاع الضوء نحو العمودي عندما يدخل وسطًا ماديًّا آخر، وهذا بالفعل ما رأيناه في الزجاج (الصورة ١٣-١)، حيث يتحرّك فيه الضوء ببطء أكثر.

نشاط ١٣-١

استقصاء الانكسار

المهارات:

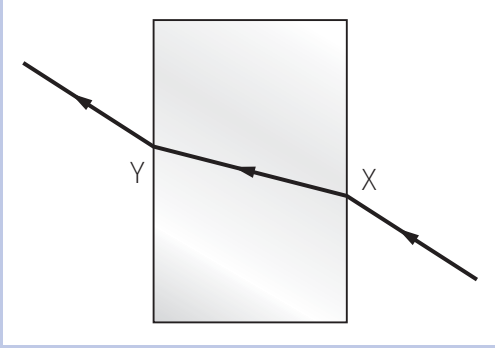
- يصف الخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يرسم الأشكال التخطيطية للجهاز ويُسمّي أجزاءه.
- يبرّر اختيار الأجهزة والمواد والأدوات لاستخدامها في إجراء التجارب.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانية والميل.

يُستخدَم صندوق أشعَّة ضوئية أو دبابيس لاستقصاء انكسار الضوء بواسطة كتلة من الزجاج أو من البلاستيك.

ضع متوازي مستطيلات من الزجاج أو البلاستيك في منتصَف ورقة بيضاء. ارسم خطًّا حول الكتلة لرصد موقعها.

الطريقة الأولى: استخدام صندوق أشعَّة ضوئية

أ. وجّه شعاعًا ضوئيًّا نحو منتصَف أحد الجوانب الطويلة للكتلة، كما يظهر في الرسم التخطيطي.



ب. لاحظ مرور الشعاع المنكسِر من خلال الكتلة.

ج. ضع نقطتَين على الشعاع المنكسِر داخل الكتلة: النقطة X لرصد المكان الذي يدخل الضوء منه في الكتلة، والنقطة Y لرصد المكان الذي يخرج منه.

د. ضع نقطة على الشعاع الساقط تبعد 5 cm على الأقلّ عن النقطة X، وضَع أيضًا نقطة على الشعاع الخارج تبعد 5 cm على الأقلّ عن النقطة Y.

هـ. أبعد الآن صندوق الأشعَّة الضوئية والكتلة، وارسم الشعاع المنكسِر داخل الكتلة.

و. استخدم النقاط كدليل لوضع مسطرة على طول موقع الشعاع الساقط، وارسم خطًّا لتمثيل ذلك الشعاع. كرّر ذلك مع الشعاع الخارج من الكتلة.

الطريقة الثانية: استخدام دبابيس

أ. ارسم الشعاع الساقط على الورقة، وضَع دبّوسًا رأسيًّا عليه، قرب الكتلة. ضع أيضًا على الشعاع الساقط دبّوسًا آخر يبعد عن الكتلة 5 cm على الأقلّ.

ب. ضع أيضًا على الشعاع الخارج من الكتلة دبّوسًا قرب الكتلة، وآخر يبعُد عن الكتلة 5 cm على الأقلّ.

انظر من خلال الجانب Y للكتلة. وابتداءً من آخر دبّوس، حرّك وضعية عينك. سوف تلاحظ أن الدبابيس تصطف جميعها الواحد خلف الآخر.

ج. أبعد الآن الكتلة، واستخدم الدبّوسَين المحاذيَين للكتلة، لرسم الشعاع المنكسِر داخل الكتلة.

١ استخدم المنقلة لقياس زاوية السقوط (i) وزاوية الانكسار (r)، وسجّل قيمتَيهما.

٢ كرّر التجربة مع ثلاث أو أربع قيَم أخرى لزاوية السقوط، وفي كل مرَّة قِس زاوية الانكسار. سجّل نتائجك في جدول.

٣ احسب قيمة $\frac{\sin i}{\sin r}$ لكلّ من قيَم (i). هل تجد أن النتائج ثابتة تقريبًا؟

٤ إذا كان لديك كتل من موادّ مختلفة، استقصِ أي منها يسبِّب مزيدًا من الانكسار (زاوية انكسار أكبَر).

أسئلة

١-١٣ ارسم مخطّطًا يوضّح ما نعنيه بزاوية السقوط وزاوية الانكسار لشعاع ضوء منكسِر.

٢-١٣ يعبر شعاع ضوئي الهواء إلى كتلة من الزجاج. هل ينحرف نحو العمودي أم بعيدًا عنه؟

٣-١٣ **أ.** ارسم مخطّطًا يوضّح كيف يعبر شعاع ضوئي كتلة متوازية المستطيلات من الزجاج أو البرسبيكس.

ب. صِف اتّجاه انتقاله النهائي.

٤-١٣ يسقط شعاع ضوئي بشكل رأسي على سطح الماء الأفقيّ.

أ. كم تبلغ زاوية سقوطه؟

ب. كم تبلغ زاوية انكساره؟

٥-١٣ عندما يعبر شعاع ضوئي الهواء إلى الزجاج، فهل تكون زاوية انكساره أكبر من زاوية سقوطه أم أصغر منها؟

٦-١٣ لماذا نرى منظرًا مشوّهًا عندما ننظر من خلال نافذة مغطّاة بقطرات المطر؟

مُعامِل الانكسار

ينتقل الضوء بسرعة كبيرة عبر الفضاء الفارغ. وتبلغ **سرعة الضوء Speed of light** أثناء انتقاله:

سرعة الضوء في الفراغ = 299 792 458 m/s

ويُرمَز إليها بالرمز (c). يمكننا تقريب القيمة في معظم الحالات إلى:

$$c = 300\,000\,000 \text{ m/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

مصطلحات علمية

سرعة الضوء Speed of light: هي السرعة التي ينتقل بها الضوء (وتكون عادة في الفراغ: 3×10^8 m/s).

عندما يعبر شعاع ضوئي من الهواء إلى الزجاج، تقلّ سرعته وينحرف نحو العمودي. ويُطلَق على الكمّية الفيزيائية التي تصف مقدار الانخفاض في سرعة الضوء اسم **مُعامِل الانكسار Refractive index**. ويمكننا كتابة معادلة مُعامِل الانكسار (n) لوسطٍ مادّي على الشكل الآتي:

$$n = \frac{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}{\text{سرعة الضوء في الوسط المادّي}}$$

فإذا قلّت سرعة الضوء إلى النصف بدخوله مادّة ما يكون مُعامِل انكسار الوسط المادي هو 2.

يبلغ مُعامِل انكسار الماء $n = 1.33$. وهذا يعني أن الضوء ينتقل 1.33 مرّة أسرع في الفراغ، مقارنة بسرعته في الماء.

مصطلحات علمية

مُعامِل الانكسار Refractive index: خاصّية وسط مادّي تُحدِّد مدى الانكسار في أشعَّة الضوء.

يوضّح الجدول ١٣-١ سرعة الضوء في مواد مختلفة. ويبيّن العمود الثالث المُعامِل الذي يتباطأ به الضوء، أي مُعامِل انكسار الوسط المادّي.

المادة	سرعة الضوء (m/s)	$n = \frac{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}{\text{سرعة الضوء في الوسط المادي}}$
الفراغ	2.998×10^8	1
الهواء	2.997×10^8	1.0003
الماء	2.25×10^8	1.33
البرسبيكس	2.0×10^8	1.5
الزجاج	$(1.8–2.0) \times 10^8$	1.5–1.7
الألماس	1.25×10^8	2.4

الجدول ١٣-١ سرعة الضوء في بعض المواد الشفّافة. (قيمة سرعة الضوء في الفراغ موضوعة للمقارنة). لاحظ أن القيَم تقريبية

تذكّر

أن مُعامِل الانكسار هو مجرّد رقم ليس له وحدة. وسبب ذلك أنه سرعة مقسومة على أخرى، فالوحدتان تلغي إحداهما الأخرى.

قانون سنِل

هناك قانون يربط قياس زاوية الانكسار (r) بزاوية السقوط (i). وهذا هو قانون سنِل Snell's law. وهو يشتمل على مُعامِل الانكسار أيضًا. وهكذا كلّما زاد مُعامِل الانكسار، انحرف الشعاع أكثر. يُكتب القانون على شكل معادلة:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

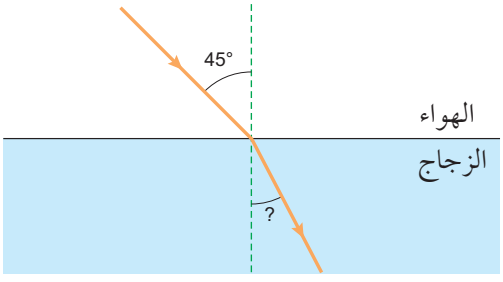
يوضّح المثال ١٣-١ كيفية استخدام هذه المعادلة لإيجاد الزاوية التي ينكسر الشعاع عندها. يمكن استخدام المعادلة أيضًا لإيجاد قيمة مُعامِل الانكسار للمادة: فما عليك إلّا أن تقيس قيمتَي (i) و (r) وتعوّضهما في المعادلة.

تذكّر

عند استخدام قانون سنِل، تأكَّد وأنت تستخدِم المعادَلة من حصولك على مُعامِل انكسار للوسط المادي أكبر من واحد.

مثال ١٣-١

يوضّح الشكل المبيَّن أدناه سقوط شعاع من الضوء على كتلة زجاجية بزاوية سقوط (45°). إذا علمت أن مُعامِل انكسار الزجاج (1.6)، فكم ستبلغ زاوية الانكسار؟



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

$i = 45°$

$n = 1.6$

$r = ?$

الخطوة ٢: اكتب معادلة قانون سنِل. وبما أننا نريد أن نعرف r، نعيد ترتيب المعادلة.

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$\sin r = \frac{\sin i}{n}$$

الخطوة ٣: عوّض القيَم واحسب $\sin r$.

$$\sin r = \frac{\sin 45°}{1.6} = 0.442$$

الخطوة ٤: استخدم $\sin^{-1}$ في الآلة الحاسبة لإيجاد r. (سوف تستنتج من ذلك الزاوية التي جيبها 0.442).

$$r = \sin^{-1} 0.442 = 26.2°$$

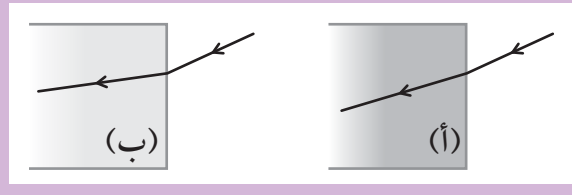
يمكنك أن ترى أن قانون سنِل يتنبّأ تنبّؤًا صحيحًا بأن الشعاع سينحرف نحو العمودي.

أسئلة

استخدم حقيقة أن سرعة الضوء في الفراغ تساوي $(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})$.

١٣-٧ انظر إلى الجدول ١٣-١. كم تبلغ قيمة مُعامِل انكسار الألماس؟

١٣-٨ يبيّن الشكل أدناه ما يحدث عندما يعبر شعاع من الضوء كتلتَين من مادّتَين مختلفتَين، (أ) و (ب).



أ. أيٌّ المادّتَين ينتقل فيها الضوء بسرعة أقلّ، (أ) أم (ب)؟ اشرح كيف تعرف ذلك من الرسم التخطيطي.

ب. أيٌّ المادّتَين (أ) أو (ب)، لها مُعامِل انكسار أكبر؟

١٣-٩ ينتقل الضوء عبر الماء بسرعة أكبر من انتقاله عبر الزجاج.

أ. أيّهما له مُعامِل انكسار أكبر: الماء أم الزجاج؟

ب. إذا عبر شعاع من الزجاج إلى الماء، ففي أي اتّجاه ينحرف: باتجاه العمودي أم بعيدًا عنه؟

١٣-١٠ تبلغ سرعة الضوء في الزجاج $(1.90 \times 10^8 \text{ m/s})$. احسب مُعامِل انكسار الزجاج.

١٣-١١ عندما يذوب السكّر في الماء، يكون مُعامِل انكسار المحلول 1.38. احسب سرعة الضوء في المحلول.

١٣-١٢ البرسبيكس هو شكل من البلاستيك الشفّاف. مُعامِل انكساره $n = 1.50$، سقط شعاع من الضوء على سطح مستوٍ من البرسبيكس بزاوية سقوط (40°). كم ستبلغ زاوية الانكسار؟

١٣-٢ الانعكاس الداخلي الكلّي

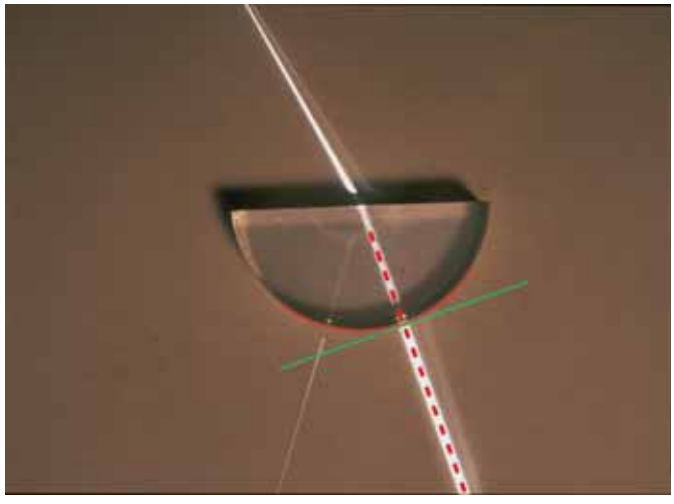
إذا نفذّت استقصاءً دقيقًا في الانكسار باستخدام صندوق أشعّة ضوئية وكتلة شفّافة، فقد تكون لاحظت شيئًا إضافيًّا يحدث عندما يسقط الشعاع على الكتلة. حيث يظهر شعاع منعكِس إضافة إلى الشعاع المنكسِر. يمكنك مشاهدة ذلك في الصورة ١٣-١، ولكن تمّ تجاهله في الشكل ١٣-١. فعندما يسقط الشعاع على الكتلة، يعبر بعض الضوء إلى داخلها وهو الذي ينكسر، وينعكس بعضه الآخر. وعند خروج الضوء من الكتلة فإن بعضه ينكسر وبعضه الآخر ينعكس أيضًا. تخضع الأشعّة المنعكِسة لقانون الانعكاس:

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

يمكن لهذه الأشعّة المنعكِسة أن تسبِّب عدم وضوح الرؤية. فإذا حاولت أن تنظر إلى أسفل بركة أو نهر لتعرف إن كان فيها أسماك، فقد يصبح الضوء أقلّ وضوحًا نتيجة انعكاسه عن سطح الماء. فأنت ترى صورة منعكسة للسماء، أو صورة لنفسك، بدلاً من أن ترى فقط ما في داخل الماء.

قد يسبِّب الضوء المنعكس عن النوافذ أو الماء في يوم من الأيام المشمسة تشتُّت انتباه السائقين ممّا يؤدّي إلى وقوع حوادث.

لتعرف كيف تستفيد من الأشعّة المنعكسة، يمكنك استخدام صندوق الأشعّة الضوئية الذي يُسقط شعاعًا من الضوء على كتلة زجاجية نصف دائرية، كما هو موضّح في الصورة ١٣-٢. يُوجّه الشعاع دائمًا إلى الحافة المنحنية للكتلة، وعلى طول العمودي، فهو بذلك لا ينكسر.



الصورة ١٣-٢ استخدام صندوق الأشعَّة الضوئية لاستقصاء الانعكاس عندما يسقط شعاع ضوئي الزجاج أو البرسبيكس. يمثِّل الخطّ الأخضر مماسًّا للسطح المنحني، ويمثِّل الخطّ المتقطِّع الأحمر العمودي على السطح المنحني عند النقطة التي يدخل فيها شعاع الضوء

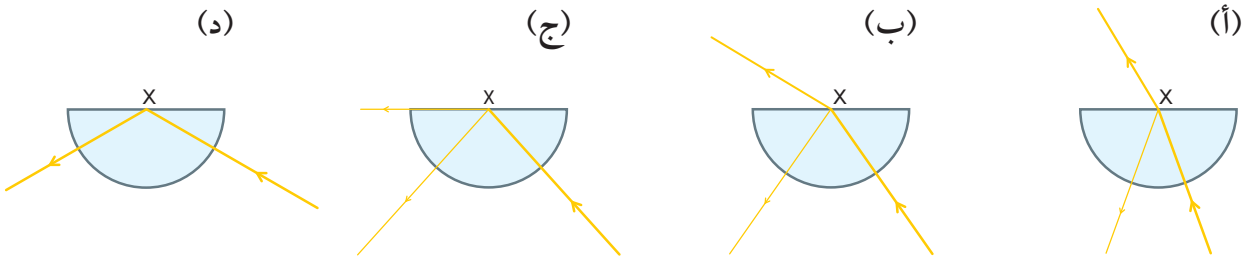
يسقط الشعاع داخل الكتلة الزجاجية على نقطة في منتصف الجانب المستوي، والتي سنسمّيها النقطة X. ويوضِّح الشكل ١٣-٣ الاحتمالات الممكنة لزاوية سقوط الشعاع عند تلك النقطة X:

أ. إذا كانت زاوية السقوط صغيرة، فإن معظم الضوء يخرج من الكتلة. وهناك شعاع منعكس خافت داخل الكتلة الزجاجية. وينحرف الشعاع المنكسِر بعيدًا عن العمودي.

ب. إذا ازدادت زاوية السقوط، يزداد الضوء المنعكِس داخل الكتلة. وينحرف الشعاع المنكسِر بعيدًا أكثر عن العمودي.

ج. عند زاوية معيّنة (الزاوية الحرجة)، يخرج الشعاع المنكسر على طول سطح الكتلة المستوي ويوازيها. وينعكس معظم الضوء داخل الكتلة.

د. عند زاوية سقوط أكبر، ينعكس كلّ الضوء داخل الكتلة. ولا يخرج شعاع منكسر من النقطة X.



الشكل ١٣-٣ يوضّح كيف يعتمد انعكاس شعاع الضوء أو انكساره داخل كتلة زجاجية على زاوية السقوط. (أ)، (ب) عندما تكون زاوية السقوط أصغر من الزاوية الحرجة، ينعكس بعض الضوء، وينكسر بعضه الآخر. (ج) عندما تكون زاوية السقوط تساوي الزاوية الحرجة ، يحدث انكسار بزاوية مقدارها 90°. (د) عندما تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، ينعكس الضوء انعكاسًا داخليًّا كلّيًّا، ولا يكون هناك شعاع منكسِر

كنا ننظر في كيفية انعكاس الضوء داخل كتلة من الزجاج، ورأينا أنه إذا كانت زاوية السقوط أكبر من قيمة معيَّنة، تُعرف **بالزاوية الحرجة Critical angle**، فإن الضوء عندئذ ينعكس كلّيًا داخل الزجاج. وهذه الظاهرة تُعرف **بالانعكاس الداخلي الكلّي (TIR)** Total internal reflection.

- **الانعكاس**، لأن الشعاع ينعكس كلّيًا.
- **الداخلي**، لأنه يحدث داخل الزجاج.
- **الكلّي**، لأن 100% من الضوء ينعكس.

مصطلحات علمية

الزاوية الحرجة Critical angle: هي زاوية السقوط التي ينكسر عندها الشعاع الساقط بزاوية مقدارها 90°.

لكي يحدث الانعكاس الداخلي الكلّي، يجب أن تكون زاوية سقوط الشعاع أكبر من الزاوية الحرجة. تعتمد الزاوية الحرجة على مادّة الوسط المُستخدَم. في الزجاج تبلغ الزاوية الحرجة حوالي 42° (بالرغم من أن هذا يعتمد على مكوّنات الزجاج). أمّا الماء، فإن الزاوية الحرجة فيه أكبر وتبلغ حوالي 49°. وفي الألماس، تكون الزاوية الحرجة صغيرة، وتبلغ حوالي 25°. وبالتالي، من المرجّح جدًّا أن تكون أشعّة الضوء التي تدخل الألماس تنعكس انعكاسًا داخليًا كلّيًا. لذا فهي ترتدّ إلى الداخل، وتظهر في النهاية من أحد وجوه قطعة الألماس. وهذا ما يفسِّر سبب كون الألماس جواهر برّاقة.

إذا كانت زاوية سقوط شعاع على سطح أكبر من الزاوية الحرجة، فإنه سينعكس انعكاسًا داخليًا كلّيًا.

نشاط ١٣-٢

الانعكاس الداخلي الكلّي

المهارات:

- **يصف الخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.**
- **يرسم الأشكال التخطيطية للجهاز ويُسمّي أجزاءه.**
- **يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.**

يستخدم صندوق الأشعَّة الضوئية وكتلة نصف دائرية لملاحظة الانعكاس الداخلي الكلّي.

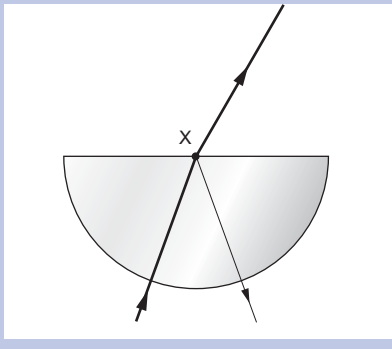
١ ضع كتلة نصف دائرية من الزجاج أو البلاستيك في منتصَف ورقة بيضاء. ارسم خطًّا حول الكتلة لتحديد موضعها على الورقة.

٢ وجّه شعاعًا من الضوء باستخدام صندوق الأشعَّة الضوئية على سطح الكتلة المنحني، بحيث يعبر باستقامة ويصل إلى منتصَف الجانب المستوي من الكتلة، كما هو موضّح في الرسم التخطيطي.

٣ لاحظ الشعاع المنكسر الذي يعبر الكتلة. ولاحظ الشعاع المنعكس أيضًا.

٤ ضع نقطتَين على الشعاع الساقط لتحديد موقعه. كرّر ذلك مع الشعاع المنعكس والشعاع المنكسر. أبعد صندوق الأشعَّة الضوئية والكتلة.

٥ باستخدام النقاط كدليل، ضع المسطرة على طول موقع الشعاع الساقط، وارسم خطًّا يمثّل هذا الشعاع. كرّر ذلك مع الشعاع المنعكِس والشعاع المنكسِر.



٦ ارسم العمودي على السطح المستوي للكتلة عند النقطة X. حدِّد زاوية السقوط (*i*) وزاوية الانكسار (*r*). قِس هاتين الزاويتَين وسجّل قيمتَيهما.

٧ استبدل بالورقة البيضاء ورقة جديدة، وضَع الكتلة وصندوق الأشعَّة الضوئية في مكانَيهما. حرّك الشعاع تدريجيًّا لزيادة زاوية السقوط، إلى أن يصبح الشعاع المنكسِر موازيًا لسطح الكتلة المستوي. (زاوية الانكسار الآن 90°).

٨ ضَع نقاطًا لتحديد موضع الأشعَّة وارسمها، عندما تكون زاوية السقوط تساوي الزاوية الحرجة.

٩ زِد زاوية السقوط أكثر فأكثر، ولاحظ الشعاع المنعكس. هل هناك شعاع منكسر؟

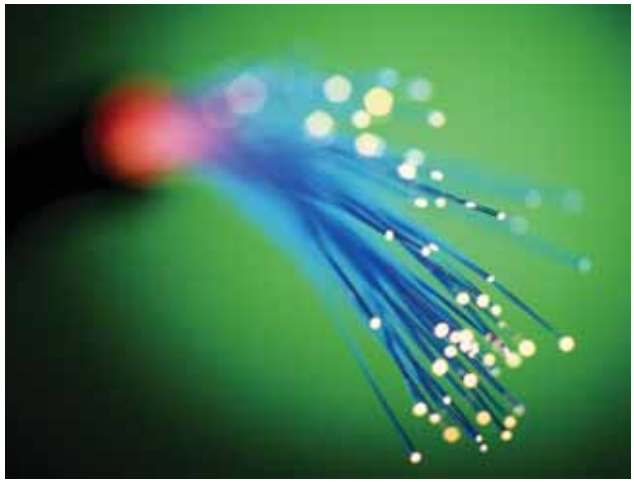
أسئلة

١٣-١٣ وضّح معنى كلمتَي **الداخلي والكلّي** في عبارة «الانعكاس الداخلي الكلّي».

١٤-١٣ تبلغ الزاوية الحرجة للماء 48.8°. إذا سقط شعاع ضوئي من داخل البركة على سطحها العُلوي بزاوية 45°، فهل سيكون هناك انعكاس داخلي كلّيّ؟ وضّح إجابتك.

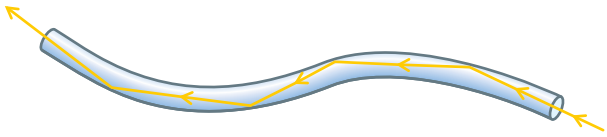
الألياف البصرية

حدثت ثورة في الاتّصالات حيث ازدادت قدرة استيعاب شبكات الاتّصالات وسرعتها في العالم ازديادًا كبيرًا بفضل استخدام الألياف البصرية. فرسائل الهاتف والإشارات الإلكترونية الأخرى، مثل رسائل الشبكة العالمية للاتصالات الدولية (الإنترنت)، أو إشارات بعض الهواتف الأرضية، تعبر على طول **الألياف البصرية Optical fibers** متّخذة شكل نبضات من ضوء الليزر، أي إشارات رقمية. توضّح الصورة ١٣-٣ الألياف البصرية، حيث أن كلًّا منها قادر على حمل آلاف المكالمات الهاتفية في وقت واحد.



الصورة ١٣-٣ كل من هذه الألياف الدقيقة من الزجاج عالي النقاء

ينتقل الضوء داخل الألياف بالانعكاس الداخلي الكلّي، لأنه في كلّ مرّة يسقط بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة، ويرتدّ داخل الألياف على طولها، وبالتالي لا يضيع جزء من الضوء كلّما انعكس (انظر الشكل ١٣-٤). يمكن أن تتبع الألياف البصرية مسارًا منحنيًا، ويبقى الضوء يرتدّ داخلها، متّبعًا مسارها المنحني. ولكي تنتقل الإشارات عبر مسافات طويلة، يجب أن يكون الزجاج المُستخدَم عالي النقاء، حتى لا يمتصّ جزءًا من الضوء.



الشكل ١٣-٤ ينتقل الضوء على طول ليف معيّن بالانعكاس الداخلي الكلّي. وبما أن الانعكاس كلّي والزجاج نقي جدًّا، يمكن للضوء أن ينتقل عدّة كيلومترات على طول ليف واحد

تُستخدَم الألياف البصرية أيضًا في الطبّ. فالمنظار الداخلي، جهاز يستخدمه الأطبّاء لرؤية ما في داخل جسم المريض، كمعدته مثلاً. هناك حزمتان من الألياف الضوئية. إحداهما تحمل الضوء إلى المنطقة المراد تصويرها، والأخرى تنقل الصورة إلى المُستخدِم. قد يكون المنظار مزوّدًا بمسبار صغير أو أداة قصّ مدمجة فيه أيضًا، تمكّن من إجراء عمليات جراحية صغيرة دون الحاجة إلى عمليات جراحية كبيرة.

أسئلة

١٥-١٣ ارسم مخطّطًا يوضّح كيف يمكن لشعاع من الضوء الانتقال على طول الألياف البصرية المنحنية. أشر إلى نقاط يحدث عندها انعكاس داخلي كلّي (TIR).

١٦-١٣ لماذا يجب استخدام زجاج عالي النقاء في الألياف البصرية المُستخدَمة في الاتّصالات؟

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- انكسار الضوء.
- تعريف مُعامِل الانكسار.
- كيف يرتبط مُعامِل الانكسار بزاوية السقوط وزاوية الانكسار.
- كيفية رسم مخطّطات الأشعّة للانكسار.
- الانعكاس الداخلي الكلّي والزاوية الحرجة.
- تطبيقات الانعكاس الداخلي الكلّي في الطبّ وتكنولوجيا الاتّصالات.

أسئلة نهاية الوحدة

١ ما المقصود **بمُعامِل الانكسار؟**

(أ) حاصل قسمة سرعة الضوء في الفراغ على سرعة الضوء في الوسط المادّي.

(ب) حاصل قسمة سرعة الضوء في الوسط المادّي على سرعة الضوء في الفراغ.

(ج) حاصل قسمة زاوية السقوط على زاوية الانكسار.

(د) حاصل قسمة زاوية الانكسار على زاوية السقوط.

٢ يعبر شعاع ضوئي من الهواء إلى كتلة زجاجية.

أكمل الجُمَل الآتية باختيار الكلمة الصحيحة من كل زوج كلمات.

أ. عندما يدخل الشعاع الضوئي الزجاج، نرسم خطًّا بزاوية (90°) على السطح، نسمّيه (**الوسط/العمودي**).

ب. زاوية السقوط هي الزاوية الواقعة بين هذا الخطّ وشعاع الضوء من (**جهة الهواء/جهة الزجاج**).

ج. زاوية الانكسار هي الزاوية الواقعة بين هذا الخطّ وشعاع الضوء من (**جهة الهواء/جهة الزجاج**).

د. تكون زاوية الانكسار (**أصغر/أكبر**) من زاوية السقوط.

٣ ارسم مخططًا دقيقًا لشعاع ضوئي يعبر من الهواء إلى الماء. مثِّل الحد الفاصل بين الهواء والماء بخطّ مستقيم. تبلغ زاوية السقوط (50°) وزاوية الانكسار (35°). ضع البيانات على الرسم بحيث يشمل ذلك تحديد زوايا الانكسار والسقوط.

٤ ارسم مخطّط أشعّة يبيّن كيف يعبر شعاع ضوئي كتلة زجاجية شكلها متوازي مستطيلات موضّحًا عليه تسميات الأشعّة والزوايا. **ليس** مطلوبًا قياس أي زوايا.

٥ سرعة الضوء في الفراغ (3.0×10^8 m/s). استخدم هذه المعلومة للإجابة عن السؤالَين الآتيَين:

أ. سرعة الضوء في الياقوت (1.7×10^8 m/s). احسب مُعامِل انكسار الياقوت.

ب. يبلغ مُعامِل انكسار الألماس (2.4). احسب سرعة الضوء في الألماس.

٦ **أ.** اكتب المعادلة التي تربط معامل الانكسار (n) بزاوية السقوط (i) وزاوية الانكسار (r).

ب. يعبر شعاع من الضوء الحدّ الفاصل بين الهواء والبرسبيكس. تبلغ زاوية السقوط (30.0°)، وزاوية الانكسار (19.5°). احسب مُعامِل انكسار البرسبيكس.

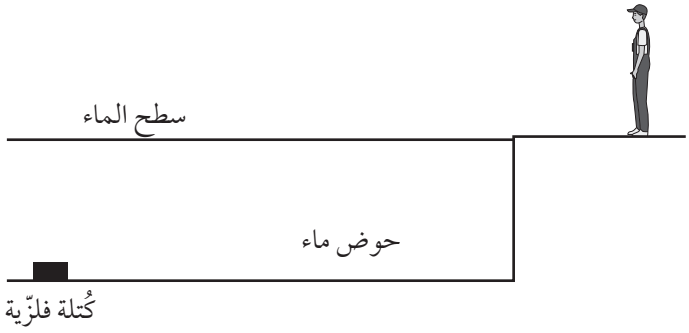
ج. يبلغ مُعامِل انكسار الماء (1.33). احسب زاوية الانكسار عندما يعبر شعاع ضوئي الحدّ الفاصل بين الهواء والماء بزاوية سقوط (22°).

٧ تبلغ الزاوية الحرجة للزجاج (42°).

أ. ما المقصود **بالزاوية الحرجة؟**

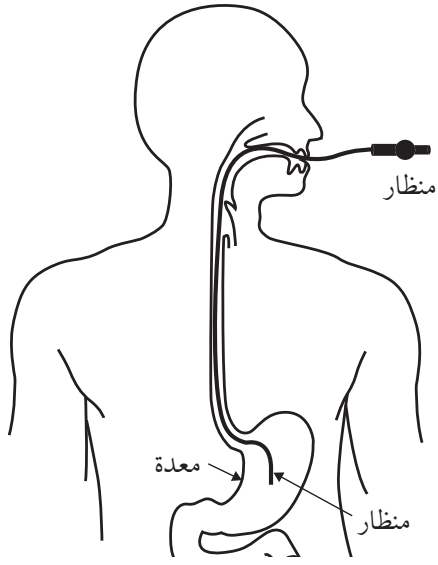
ب. اذكر ما يحدث عندما ينتقل الشعاع الضوئي من الزجاج إلى الهواء، ويصل الحدّ الفاصل بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة.

٨ حوض ماءٍ سطحه مستوٍ، وفي قاعه كتلة فلزّية.



يقف شخص بجانب الحوض وينظر إلى الماء، كما هو موضّح في الشكل أعلاه. لا يستطيع الشخص رؤية الكتلة الفلزّية رغم أن الماء صافٍ. ارسم مخطّط أشعّة لتوضّح كيف يمنع الانعكاس الداخلي الكلّي الشخص من رؤية الكتلة الفلزّية.

٩ يُعدّ المنظار الداخلي جزءًا من المعدّات الطبّية التي يمكن استخدامها للنظر داخل الجسم. يوضّح الرسم التخطيطي إدخال المنظار من الفم لتصوير الجزء الداخلي من المعدة.



يحتوي المنظار على حزمتَين من الألياف البصرية. حدّد كيف تعمل الألياف البصرية، وكيف تُستخدَم في المنظار.

الوحدة الرابعة عشرة

العدسات المحدّبة الرقيقة Thin Converging Lenses

تُغطّي هذه الوحدة:

- تأثير العدسة المحدَّبة الرقيقة على مسار أشعَّة الضوء.
- الفرق بين الصورة الحقيقية والصورة التقديرية.
- خصائص الصور باستخدام مصطلحات: معتدلة ومقلوبة ومكبَّرة ومصغَّرة وحقيقية وتقديرية.
- المقصود بالبؤرة والبُعد البؤري للعدسة.
- استخدام مخطّطات الأشعَّة لشرح الآليّة التي تكوّن فيها العدسة صورة حقيقية وصورة تقديرية.
- عمل العدسة المكبِّرة.

١٤-١ العدسات

توجد أشكال مختلفة من العدسات، في النظّارات مثلًا، وفي آلات التصوير (الكاميرات). وكان لتطوُّر العدسات ذات الجودة العالية تأثير كبير على العلم. ففي العام 1609 م، استخدم غاليليو Galileo في ذلك العصر، التلسكوب الذي اختُرع حديثًا واكتُشفت بواسطته بعض الأقمار التابعة لكوكب المشتري، الأمر الذي أحدث ثورة في علم الفلك. كان العلماء قديمًا يقومون بصقل قِطَع صغيرة من الزجاج لصنع العدسات الخاصّة بهم. وكانت مهارة غاليليو Galileo في هذا المجال عاملاً رئيسيًّا في اكتشافاته.

وفي وقت لاحق من القرن السابع عشر، تمكّن تاجر هولندي يُدعى أنطون فان ليفينهوك Anton Van Leeuwenhoek من صُنع مجهر مُكوَّن من عدسات، أعطى تكبيرًا مقداره 200 مرّة. واستخدمه ليرى العالم الطبيعي من حوله. وكان مندهشًا عندما رأى بواسطته أعدادًا هائلة من الكائنات الحيّة الدقيقة، بما في ذلك البكتيريا التي لا تُرى بالعين المجرَّدة. وقد وفّر هذا الاكتشاف دليلاً على كيفية الإصابة بالأمراض المُعدِية وانتشارها؛ إذ كان الناس في الماضي يعتقدون أن العدوى تنتقل من خلال ما تحمله الروائح

الكريهة أو الأبخرة المتصاعدة. وبهذا الاكتشاف بدأت الثورة في الطب.

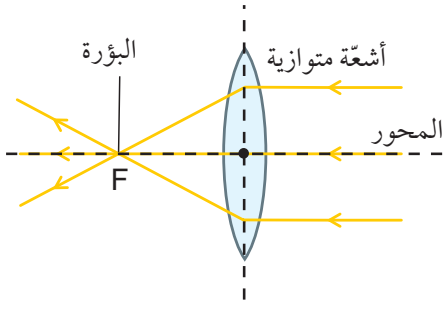
العدسات المحدَّبة

ربما استخدمتَ من قبل عدسة مكبِّرة للنظر إلى أجسام صغيرة، وهذه العدسة هي **العدسة المحدَّبة (المجمِّعة) Converging lens** (الصورة ١٤-١). يمكنك استخدام العدسة المكبِّرة لتركيز أشعَّة الشمس على قطعة من الورق لإشعال النار فيها. وقد كان الناس قديمًا يستخدمون العدسات لإشعال النار. وهذه الخاصّية في العدسة منحتها اسم العدسة «المحدَّبة أو المجمِّعة». وكان للعالِم العربي ابن الهيثم إسهامات في مجالات عديدة منها مجالات الرياضيات والفيزياء والبصريات وخاصّة العدسات، وله عدَّة مؤلَّفات ومكتشفات علمية التي أكَّدها العلم الحديث.

الصورة ١٤-١ عدسة محدَّبة، وهي سميكة في الوسط

يوضّح الشكل ١٤-١ رسمًا تخطيطيًّا لمقطع عرضي من العدسة المحدَّبة وكيف تُركِّز العدسة المحدَّبة أشعَّة الشمس المتوازية. فعلى أحد جانبَي العدسة، تكون الأشعَّة موازية **لمحورها Axis**. وبعد تخطّيها للعدسة، تتجمَّع الأشعَّة في نقطة واحدة تسمّى **البؤرة Focal point** ويُرمَز إليها بالرمز F. وتنتشر هذه الأشعَّة من جديد بعد أن تعبر تلك البؤرة.

وبناءً على ذلك سُمِّيَت العدسة المحدَّبة بالعدسة المجمِّعة، لأنها تجعل أشعّة الضوء المتوازية (الساقطة) تتجمّع. وتتمثّل البؤرة في النقطة التي تتركّز فيها الأشعّة، والتي يجب وضع قطعة الورق عليها، إذا أردنا إشعالها. ويُطلَق على المسافة الممتدَّة من مركز العدسة إلى البؤرة اسم البُعد البؤري (focal length) للعدسة ويُرمَز إليه بالرمز f. وكلّما كانت العدسة سميكة كانت البؤرة أقرب إلى العدسة، وكان بُعدها البؤري أقصر إذا ما قارنّاها بالعدسة الرقيقة.



الشكل ١٤-١ رسم تخطيطي لمقطع عرضي من العدسة المحدَّبة. تجعل العدسة المحدَّبة الأشعّة المتوازية والموازية للمحور تتقاطع في البؤرة بعد عبورها العدسة

مصطلحات علمية

المحور Axis: الخطّ الذي يمرّ عبر مركز العدسة عموديًّا على سطحها.

البؤرة Focal point: نقطة تجمُّع الأشعَّة المُوازية للمحور بعد مرورها عبر العدسة المُحدَّبة.

تذكّر

أنّ آليّة عمل العدسات تتمثّل في انكسار الضوء، حيث تنكسر أشعّة الضوء فقط عند النقاط التي تدخل منها إلى العدسة أو تخرج منها، ولا تنكسر داخل العدسة. ولكن لجعل الأمور أسهل عند رسم مخطّط الأشعّة، نبيّن انكسار الأشعّة مرّة واحدة فقط في وسط العدسة.

تكوين صورة حقيقية

عندما نُركِّز أشعَّة الشمس على قطعة من الورق بواسطة عدسة محدَّبة تتكوّن صورة صغيرة للشمس على الورقة. ويكون من الأسهل أن نرى كيف تُكوِّن العدسة المحدَّبة صورة من خلال تركيز أشعة المصباح الكهربائي؛ لتكوين صورة واضحة لفتيل المصباح على قطعة من الورق الأبيض. تعمل الورقة هنا بمثابة شاشة تلتقط الصورة. وتُظهر الصورة ١٤-٢ تجربة توضِّح كيف تكوَّنت صورة لفتيل المصباح الكهربائي بواسطة عدسة محدَّبة.

الصورة ١٤-٢ تكوين صورة حقيقية لفتيل مصباح كهربائي باستخدام العدسة المحدَّبة. تظهر الصورة مقلوبة على الشاشة

ويمكننا أن نوضّح كيف تتكوَّن هذه الصورة الحقيقية باستخدام **مخطَّط الأشعّة Ray diagram**. وقد تمّ في الشكل ١٤-٢ توضيح الخطوات اللازمة لرسم دقيق لمخطَّط الأشعَّة. (استخدام ورق المربّعات البيانية أو ورق الرسم البياني يساعد على الرسم).

الخطوة ١: ارسم العدسة (يكفي شكل تخطيطي بسيط) مع محور أفقي مارّ بمركزها.

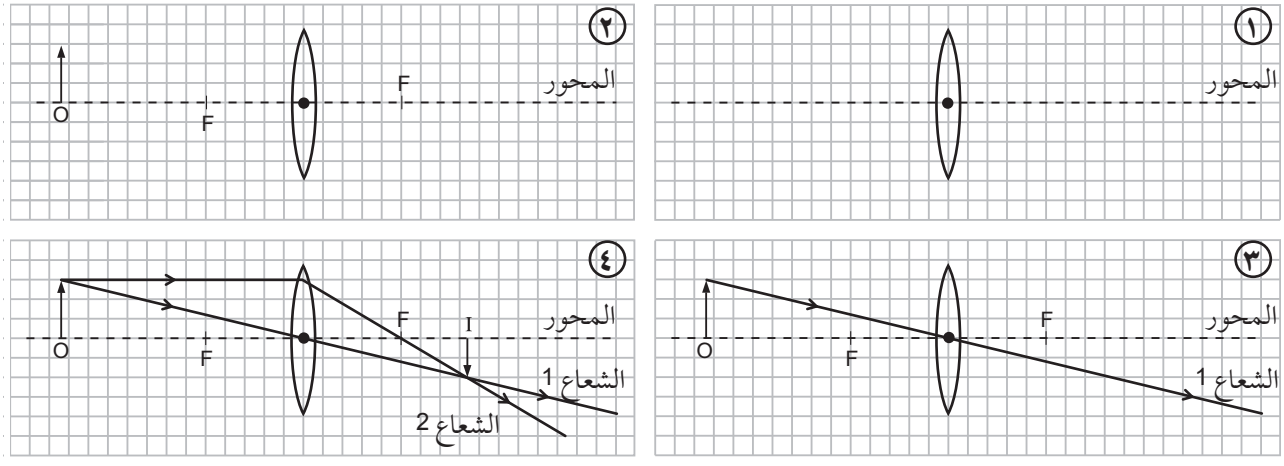
الخطوة ٢: حدِّد موقع البؤرة (F) على كل من جانبَي العدسة، وعلى مسافتَين متساويتَين من مركز العدسة. حدِّد موقع الجسم (O) بسهم عمودي على المحور.

الخطوة ٣: ارسم الشعاع 1، كخطّ مستقيم من رأس السهم، ويمرّ بمركز العدسة دون انحراف.

الخطوة ٤: ارسم الشعاع 2، من رأس السهم موازيًا للمحور. وعند عبوره العدسة ينحرف إلى الأسفل مارًّا بالبؤرة (F). ابحث عن النقطة التي يتقاطع فيها الشعاعان، وارسم سهمًا عموديًّا من المحور باتّجاه نقطة التقاطع التي تمثِّل موقع رأس الصورة (I).

ويوضِّح الشكل ١٤-٢ أن الصورة المتكوِّنة هي صورة مقلوبة ومصغَّرة وحقيقية.

لاحظ أنّنا لم نهتمّ برسم الشعاع 2، وهو ينكسر مرّتَين عند كل من سطحَي العدسة. ذلك أن من الأسهل أن نبيّن الانكسار مرّة واحدة وسط العدسة، بالرغم من أن ذلك ليس هو التمثيل الصحيح لما يحدث فعلًا.



الشكل ١٤-٢ يمكن استخدام مخطَّط الأشعّة لتوضيح كيفية تكوُّن صورة لجسم ما بواسطة عدسة محدَّبة

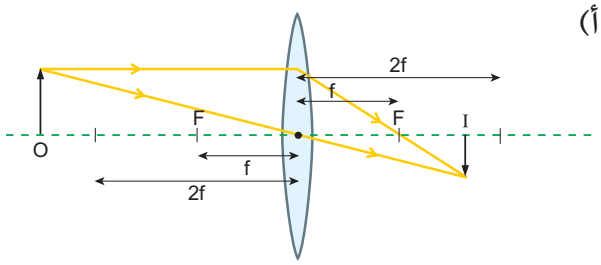
وبناءً على ذلك، إذا أردتَ رسم مخطّط أشعّة كالمخطّط الوارد في الشكل ١٤-٢، فعليك أن ترسم شعاعَين بدءًا من أعلى الجسم:

- الشعاع 1، يعبر مركز العدسة دون أن ينحرف.
- الشعاع 2، موازٍ للمحور ينحرف عند عبوره للعدسة مارًّا بالبؤرة.

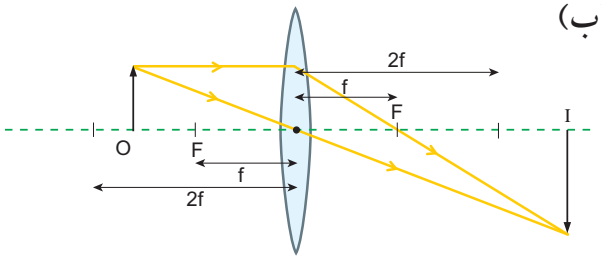
خصائص الصورة الحقيقية

عندما يكون موقع الجسم على مسافة من العدسة أكبر من ضعف البُعد البؤري (2f)، كما يظهر في الشكل ١٤-٣ (أ)، نجد أن الصورة تتكوَّن بين البُعد البؤري (f) وضعف البُعد البؤري (2f) من العدسة، وهي حقيقية ومقلوبة وأصغر من الجسم. لكن إذا كان موقع الجسم بين البُعد البؤري (f) وضعف البُعد البؤري (2f) كما يظهر في الشكل ١٤-٣ (ب)، نجد أن الصورة تتكوَّن على مسافة أكبر من ضعف البُعد البؤري من العدسة، وهي حقيقية ومقلوبة وأكبر من الجسم.

(أ)



(ب)



الشكل ١٤-٣ (أ) تكون الصورة أقرب إلى العدسة من الجسم. (ب) تكون الصورة أبعد كثيرًا عن العدسة من الجسم

مصطلحات علمية

الصورة الحقيقية Real image: صورة يمكن تكوينها على شاشة.

نشاط ١٤-١

استقصاء العدسات المحدَّبة

المهارات:

- يصف الخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.
- يرسم الأشكال التخطيطية للجهاز ويُسمّي أجزاءه.
- يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.

قياس البُعد البؤري لعدسة، ورسم مخطّط أشعّة دقيق.

١ قف في الغرفة، بحيث تكون في طرف مقابل لنافذة (أو مقابل لمصباح مضاء). أمسك بإحدى يدَيك عدسة محدَّبة وشاشة باليد الأخرى. حدِّد موضعَي العدسة والشاشة، بحيث تحصل على صورة واضحة (مركّزة) للنافذة على الشاشة.

٢ قِس المسافة بين العدسة والشاشة. تُمثّل هذه المسافة البُعد البؤري للعدسة.

٣ ضع المصباح على المنضدة البصرية (bench). حدّد موضع العدسة، بحيث تكون على مسافة بين بُعد بؤري (f) وضعف البُعد البؤري (2f) من المصباح (فإذا كان البُعد البؤري 15 cm مثلًا، ضَع العدسة على بُعد 20 cm من المصباح).

٤ ضَع الشاشة على الجانب الآخر للعدسة. حرّكها حتى تحصل على صورة واضحة (مركّزة) لفتيل المصباح على الشاشة.

٥ قِس المسافة بين العدسة والشاشة، وبين العدسة وفتيل المصباح.

٦ ارسم مخطَّطًا دقيقًا للأشعَّة، إما بقياس مماثل للواقع أو بمقياس للرسم، على النحو الآتي:

- ارسم العدسة وحدِّد بؤرتَيها بالرمز F على جانبَي العدسة.
- ارسم سهمًا لتمثيل الجسم (المصباح) على المسافة الصحيحة من العدسة.
- ارسم شعاعَين بدءًا من أعلى الجسم (رأس السهم): أحدهما موازٍ للمحور وينحرف بعد عبوره العدسة، ويمرّ عبر البؤرة F؛ والآخر خطّ مستقيم يمرّ بمركز العدسة.
- ارسم الصورة عند النقطة التي يتقاطع فيها الشعاعان.

٧ قِس المسافة بين مركز العدسة والصورة في مخطَّط الأشعّة الخاصّ بك. هل الإجابة التي وجدتها في التجربة هي نفسها؟

٨ قِس أبعاد فتيل المصباح وأبعاد صورته. هل الصورة مكبّرة أم مصغّرة؟ قارن ذلك مع مخطَّط الأشعّة الخاصّ بك.

٩ ضع العدسة بحيث تكون على مسافة من المصباح أكبر من ضعف البُعد البؤري (2f). فإذا كان البُعد البؤري 15 cm مثلًا، ضَع العدسة على بُعد 40 cm من المصباح (كرِّر الخطوات من ٤ إلى ٨).

أسئلة

١٤-١ ارسم مخطَّط أشعّة يُبيّن كيف تركّز العدسة المحدَّبة أشعّة الضوء المتوازية.

٢-١٤ ما المقصود بالبؤرة للعدسة المحدَّبة؟

العدسات المكبِّرة

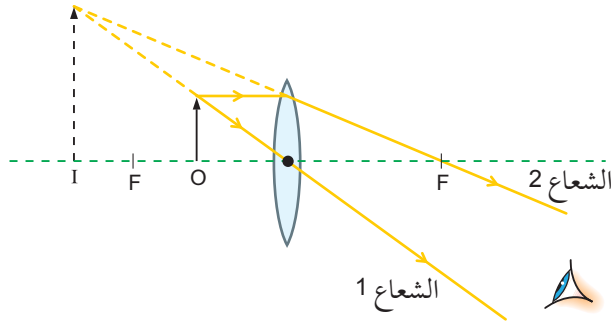
العدسة المكبِّرة (Magnifying glass) هي عدسة محدَّبة، إذا قرَّبتها من جسم صغير ونظرت من خلالها، ترى صورته مكبَّرة. تُبيِّن الصورة ١٤-٣ كيف تُسهِم العدسة المكبِّرة في تكبير الخطّ المطبوع لشخص يعاني من ضعف في البصر.

الصورة ١٤-٣ صُمِّمت هذه العدسة المحدَّبة الطويلة لمساعدة الناس على القراءة. فهي تنتج صورة مكبَّرة لخطّ الطباعة. وببساطة يستمرّ القارىء في سحبها نحو أسفل الصفحة

يكون الجسم الذي يُنظر إليه بواسطة العدسة المكبِّرة أقرب إلى العدسة من البؤرة. ويسمح لنا ذلك برسم مخطَّط أشعّة، كما هو موضّح في الشكل ١٤-٤. وبالطريقة نفسها المتَّبعة في الشكل ١٤-٢، نرسم شعاعَين 1 و 2 بدءًا من رأس السهم الذي يمثِّل الجسم (O):

- الشعاع 1، يعبر مركز العدسة دون أن ينحرف.
- الشعاع 2، موازٍ للمحور، وينحرف عند عبوره للعدسة مارًّا بالبؤرة.

لا يتقاطع الشعاعان 1 و 2، بل يتباعدان بعد عبورهما العدسة. وبذلك، نستطيع من خلال مدّ الشعاعَين إلى الخلف، كما تبيّنه الخطوط المتقطِّعة، أن ندرك أن كلا الشعاعَين يبدوان كأنّهما قادمان من نقطة خلف الجسم. وهذا هو موقع رأس الصورة (I).



الشكل ١٤-٤ يبيّن مخطَّط الأشعّة كيف تعمل العدسة على تكبير صور الأجسام. يوضع الجسم (O) بين العدسة والبؤرة (F). وتكون الصورة الناتجة صورة تقديرية. لإيجاد موقع الصورة، يجب مدّ الشعاعَين إلى الخلف (الخطَّين المتقطّعَين) إلى نقطة يتقاطعان فيها

خصائص الصورة التي تكوّنها العدسة المحدَّبة

هناك بعض الخصائص التي يجب التنويه بها حول الصورة التي تتكوَّن من خلال العدسة المحدَّبة. ففي التجربة التي توضّحها الصورة ١٤-٢، يكون الجسم أبعد كثيرًا عن العدسة من البؤرة، وتكون خصائص الصورة:

- **مقلوبة** (رأسًا على عقب).
- **مصغَّرة** (أصغر من الجسم).
- **أقرب** إلى العدسة من الجسم.
- **حقيقية**.

فنقول إن الصورة حقيقية، لأن الضوء يسقط حقيقة على الشاشة لتكوين الصورة. لكن إذا كان الضوء يبدو قادمًا من الصورة عبر العدسة، حينها نقول إن الصورة تقديرية. ويعتمد حجم الصورة على سماكة العدسة أو رقّتها.

غير أن الوضع يختلف عندما تُستخدَم العدسة المحدَّبة كعدسة مكبِّرة. فكما رأينا في الشكل ١٤-٤، يكون الجسم موضوعًا بين العدسة والبؤرة. ولإيجاد موضع الصورة، نرسم خطوطًا متقطِّعة. لكن، في الحقيقة، لا تنتقل أشعّة الضوء على طول تلك المسارات. نستنتج من ذلك أن الصورة قد تكوَّنت تقديريًّا؛ وأننا لا نستطيع التقاطها على شاشة، لعدم وجود ضوء مركّز يصل إلى الشاشة.

يمكننا أن نرى من مخطَّط الأشعّة (الشكل ١٤-٤) الخصائص الآتية للصورة التي تنتجها العدسة المحدَّبة المكبِّرة، حيث تكون الصورة:

- **معتدلة** (ليست مقلوبة).
- **مكبَّرة** (أكبر من الجسم).
- **أبعد** عن العدسة من الجسم.
- **تقديرية** (ليست حقيقية).

هذا يعني أنّك إذا قرأتَ صفحة من كتاب باستخدام عدسة مكبِّرة، تكون الصورة التي تنظر إليها خلف الصفحة التي تقرؤها.

تذكّر

عند رسم مخطَّط أشعّة، فإن الشعاع الذي يعبر من مركز العدسة لا ينكسر.

مصطلحات علمية

الصورة التقديرية Virtual image: صورة لا يمكن تكوينها على شاشة.

أسئلة

١٤-٣ ما الفرق بين الصورة **الحقيقية** والصورة **التقديرية**؟

١٤-٤ انظر إلى مخطَّط الأشعّة في الشكل ١٤-٤ الوارد سابقًا. كيف يبيّن المُخطّط أن الصورة التي تكوّنت بواسطة عدسة محدَّبة صورة معتدلة؟

١٤-٥ انظر إلى الشكل ١٤-٤. كيف يمكنك أن تستنتج من مخطَّط الأشعّة أن الصورة التي كوّنتها العدسة المكبِّرة صورة تقديرية؟

١٤-٦ البُعد البؤري لعدسة محدَّبة (5 cm). وضِع جسم على بُعد (3 cm) من مركز العدسة على المحور.

أ. ارسم مخطَّطًا دقيقًا للأشعَّة لتمثّل هذه الحالة.

ب. استخدم مخطَّط الأشعّة في (أ) لتحديد بُعد الصورة التقديرية التي شكّلَتها العدسة.

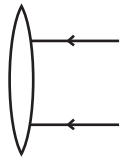
ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- المقصود بمصطلحَي البؤرة والبُعد البؤري.
- كيف ترسم مخطَّطات الأشعّة للعدسة المحدَّبة.
- كيف تكوِّن العدسة المحدَّبة المكبِّرة صورة.
- خصائص الصور الحقيقية والتقديرية التي تكوّنها العدسات المحدَّبة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يسقط شعاعان متوازيان من الضوء على عدسة محدَّبة رقيقة، كما هو مبيّن في الرسم التخطيطي.



ما تأثير العدسة على شعاعَي الضوء؟

(أ) تجعل شعاعَي الضوء ينكسران أحدهما باتّجاه الآخر.

(ب) تجعل شعاعَي الضوء ينكسران متباعدَين.

(ج) تُبقي أشعة الضوء متوازية.

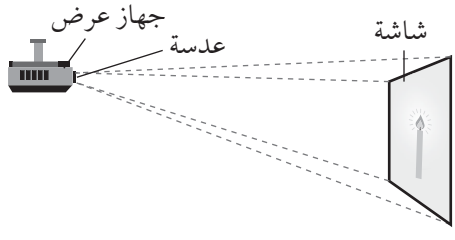
(د) تُحدث انعكاسًا كلّيًّا داخليًّا.

٢ للعدسة المحدَّبة الرقيقة بؤرة وبُعد بؤري. صفِ المقصود بـ:

أ. البؤرة.

ب. البُعد البؤري.

٣ يُبيّن الرسم التخطيطي أدناه استخدام جهاز عرض لإظهار صورة على الشاشة.

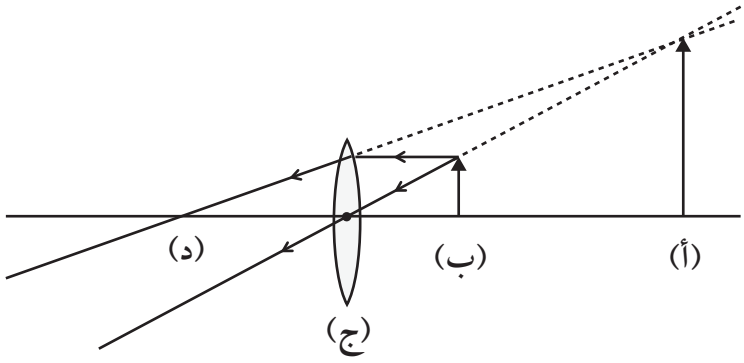


اختر الكلمة الصحيحة من الكلمات الاختيارية.

أ. الصورة، التي تكوّنها العدسة في جهاز العرض. (**حقيقية / تقديرية**)

ب. الصورة التي تكوّنت بواسطة جهاز العرض على الشاشة، مقارنة بحجم الجسم. (**مكبَّرة / مصغَّرة**)

٤ يُظهر مخطَّط الأشعّة أدناه عدسة محدَّبة رقيقة تُستخدَم لتكوين صورة.



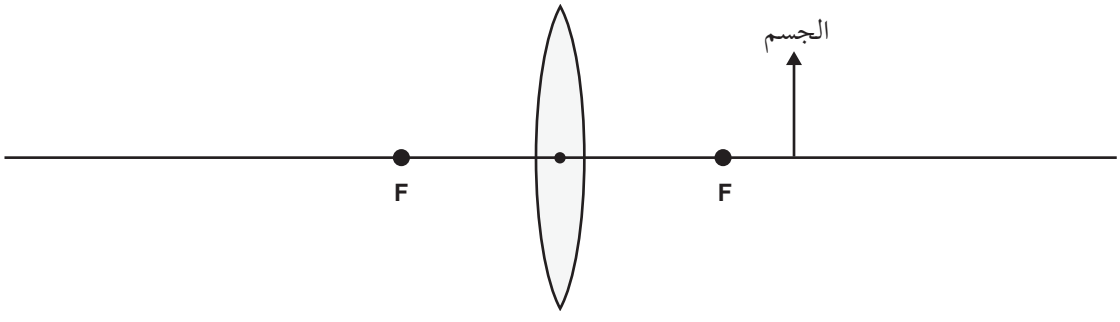
أ. اذكر ثلاث خصائص للصورة المبيّنة في مخطَّط الأشعّة.

ب. أيّ حرف من الحروف الآتية (أ، ب، ج، د) يُمثّل موقع البؤرة؟

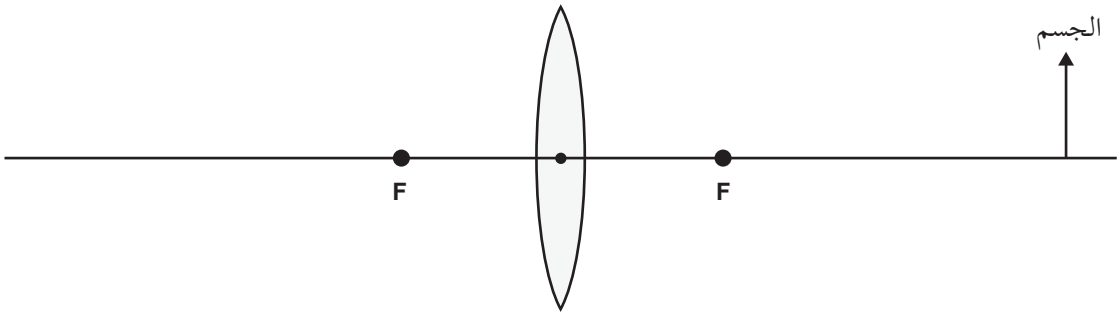
٥ أكمل كلًّا من مخطَّطَي الأشعَّة أدناه، وبيّن كيف تكوِّن العدسة صورة في كل حالة، وحدّد ما إذا كانت كل من الصورتَين:

- حقيقية أو تقديرية.
- معتدلة أو مقلوبة.
- مكبَّرة أو لها حجم الجسم نفسه، أو مصغَّرة.

أ.

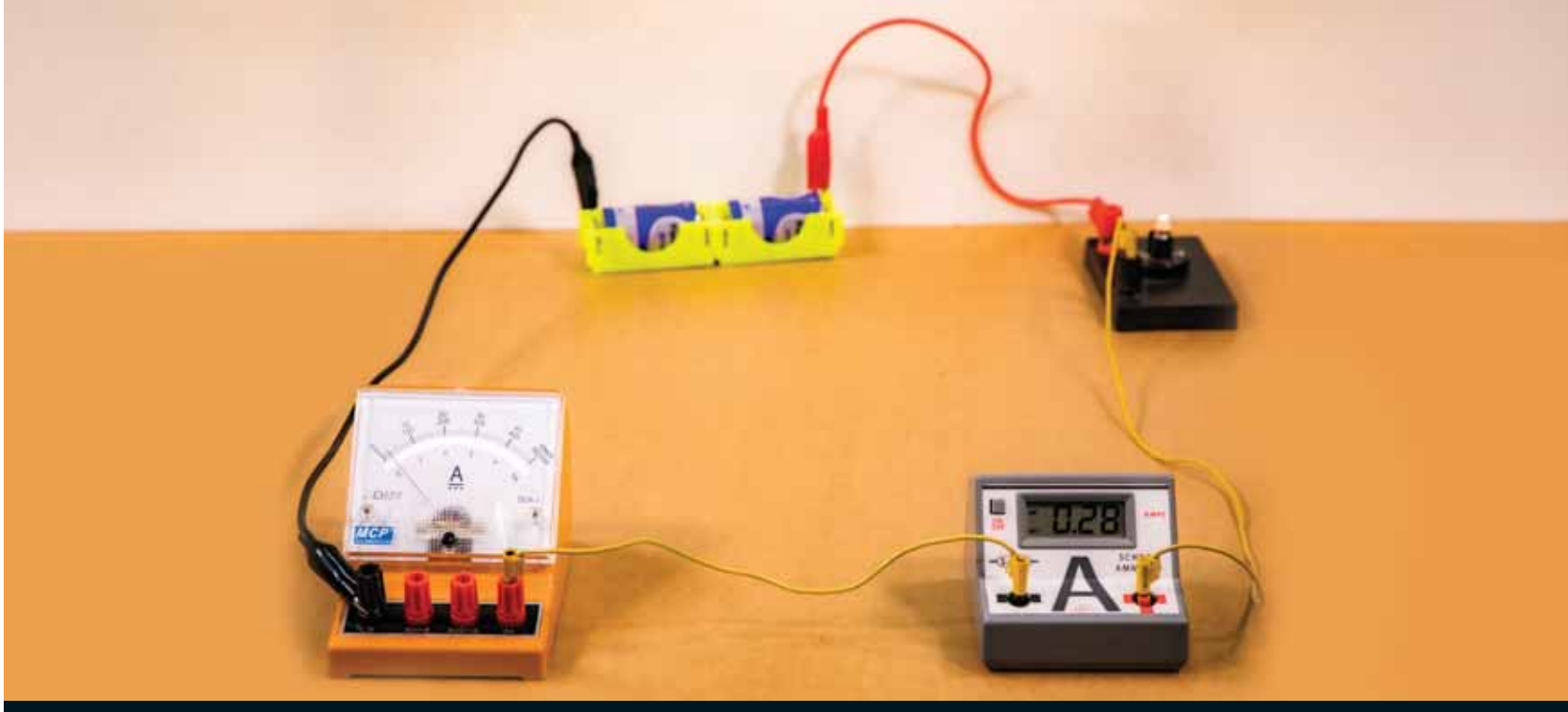


ب.



٦ ارسم مخطَّط أشعَّة يُبيّن كيف يمكن استخدام عدسة محدَّبة رقيقة كعدسة مكبِّرة. اذكر ما إذا كانت الصورة:

- حقيقية أو تقديرية.
- معتدلة أو مقلوبة.
- مكبَّرة أو لها حجم الجسم نفسه أو مصغَّرة.



الوحدة الخامسة عشرة

التيّار وفرق الجهد والقوّة الدافعة الكهربائيّة

Current, Potential Difference and Electromotive Force

تُغطّي هذه الوحدة:

- كيف تُقاس شدَّة التيّار الكهربائي وفرق الجُهد باستخدام أجهزة القياس التناظرية والرقمية.
- كيف ترتبط شدَّة التيّار الكهربائي في الفلزّات بتدفُّق الإلكترونات، ووحدة قياسها.
- كيف تُحسَب الشحنة الكهربائية وشدَّة التيّار والزمن في الدوائر الكهربائية.
- ما المقصود بالقوَّة الدافعة الكهربائية (e.m.f.)، ووحدة قياسها.
- ما المقصود بفرق الجُهد (p.d.)، ووحدة قياسه.
- كيف تُحسَب الطاقة والقدرة في الدوائر الكهربائية.

١-١٥ التيّار الكهربائي في الدوائر الكهربائية

ربّما قمتَ بتركيب دوائر كهربائية في المختبر، أو نظرت إلى بعض الدوائر الكهربائية في حياتك اليومية. فالدوائر الكهربائية التي جرَّبت تركيبها في المختبر ما هي إلا نماذج مبسَّطة للدوائر التي لها وظائف حقيقية في هذا العالم. ومن المنطقي أن تبدأ بدوائر بسيطة ليتكوّن لديك تصوُّر عن كيفية تدفُّق التيّار الكهربائي.

يمكن استخدام الدوائر الكهربائية لنقل الطاقة. فهي تحتوي على أجهزة لتغيير الطاقة. فالمصباح اليدوي، مثلًا، تنتقل فيه الطاقة الكهربائية من البطّارية إلى المصباح. وتتغيَّر فيه الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية وطاقة حرارية.

وسوف نتناول في هذه الوحدة، وفي الوحدة التي تليها، الدوائر الكهربائية بالتفصيل.

سوف ندرس المكوّنات المختلفة المُستخدَمة للتحكُّم بتدفُّق التيّار الكهربائي والطاقة التي تُنقَل من خلاله في الدوائر الكهربائية.

نستخدم الدائرة الكهربائية لنقل الطاقة من البطّارية أو مصدر جُهد كهربائي إلى مكوّنات الدائرة، التي تنقل الطاقة بدورها إلى المنطقة المحيطة بها. ولكي يتدفَّق **التيّار الكهربائي Current**، لا بدّ من توفير شيئَين: دائرة كهربائية كاملة (مغلقة) من أجل أن يتدفَّق التيّار فيها، وشيء يدفع التيّار في الدائرة.

يتمّ «دفع» التيّار في الدائرة الكهربائية بواسطة **خلية Cell** أو بطّارية، أو أي مصدر للجُهد الكهربائي. وتتكوَّن **البطّارية Battery** ببساطة من خليَّتَين أو عدّة خلايا تتَّصل أطرافها بعضها ببعض. توفّر الفلزّات، مثل النحاس والفولاذ، مسارًا لتدفُّق التيّار الكهربائي في معظم الدوائر المألوفة.

مصطلحات علمية

الخلية Cell: أداة توفّر جُهدًا كهربائيًا في دائرة كهربائية بواسطة تفاعُل كيميائي.

البطّارية Battery: خليَّتان كهربائيَّتان أو أكثر متّصلتان على التوالي، ويمكن استخدام هذا المصطلح أيضًا بمعنى خليّة واحدة.

ما التيّار الكهربائي؟

عندما تكتمل الدائرة الكهربائية، يتدفَّق التيّار الكهربائي فيها.

في الصفّ الثامن تعلَّمت أن التيّار الكهربائي شيء يتدفَّق حول الدائرة الكهربائية من القطب الموجب لمصدر الجُهد الكهربائي إلى قطبه السالب، وذلك هو **التيّار الاصطلاحي Conventional current**. وسوف تعرف المزيد عن التيّار الاصطلاحي في الصف العاشر.

فما الذي ينتقل فعلًا في الدائرة الكهربائية؟ الإجابة هي **الشحنة الكهربائية Electric charge**. فالتيّار الكهربائي هو تدفُّق للشحنات الكهربائية. توفِّر البطّارية، أو مصدر الجُهد الكهربائي في الدائرة الكهربائية، الدفع المطلوب لجعل التيّار يتدفَّق. هذا «الدفع» هو القوَّة نفسها التي تسبّب تجاذُب الشحنات الكهربائية، أو تنافرها.

هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: **شحنة موجبة Positive charge وشحنة سالبة Negative charge**. تتنافر الشحنتان المتشابهتان، وتتجاذب الشحنتان المختلفتان. وحدة قياس الشحنة الكهربائية هي **الكولوم Coulomb (C)**.

مصطلحات علمية

التيّار الكهربائي Current: تدفُّق شحنة كهربائية.

الكولوم Coulomb (C): وحدة قياس الشحنة الكهربائية في النظام الدولي للوحدات (SI).

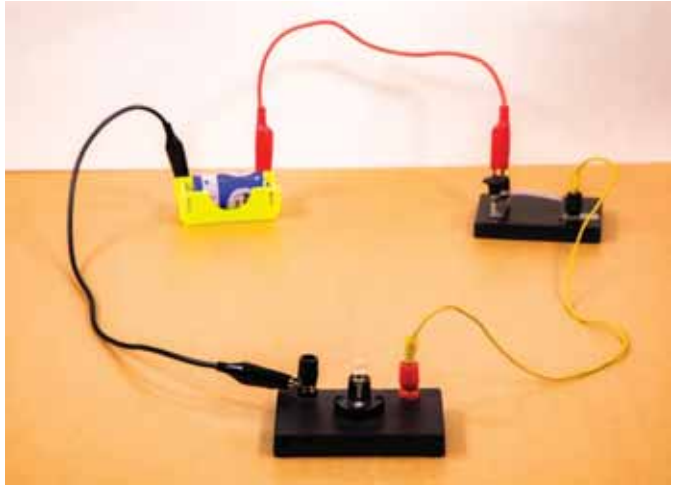
يُعبَّر عن التيّار الكهربائي المارّ عبر فلزّ ما بأنّه تدفُّق **إلكترونات Electrons** فيه، وهي جُسيمات ذات شحنة سالبة في ذرَّة ما.

تبيِّن الصورة ١٥-١ كيف يمكن تركيب دائرة كهربائية بسيطة في المختبر. فبمجرد إغلاق المفتاح، يتكوَّن مسار مستمرّ لتدفُّق التيّار الكهربائي في داخله. وتستمرّ الإلكترونات في التحرُّك بالاتّجاه نفسه، لأنها تكون متنافرة دائمًا مع القطب السالب لمصدر الجُهد الكهربائي ومنجذبة إلى قطبه الموجب. ويُطلَق على التيّار الذي يتدفَّق طوال الوقت بالاتِّجاه نفسه اسم **التيّار المستمر Direct current (d.c.)**.

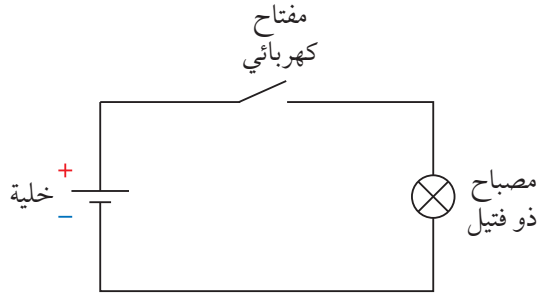
يبيّن الشكل ١٥-١ الدائرة الكهربائية نفسها التي في الصورة ١٥-١ ممثّلة بدائرة تخطيطية (circuit diagram)، ولكل مُكوِّن فيها رمز خاصّ به. تخيَّل أنك تستطيع الضغط على المفتاح لإغلاقه، وبالتالي إغلاق الدائرة. سوف يتَّضح من الرسم التخطيطي أن هناك مسارًا مستمرًا قد اكتمل لتدفُّق التيّار الكهربائي في الدائرة.

عندما تدفع قطعة فلزّ في المفتاح إلى الأسفل حتّى تلامس قطعة توصيل فلزّية أخرى (الصورة ١٥-١)، يتدفَّق التيّار الكهربائي خلال المفتاح؛ تعمل معظم المفاتيح بالوصل بين قطعتَين فلزَّيَّتَين رغم أنك لا ترى في معظم الأحيان كيف يحدث ذلك. لذا من الجيّد إلقاء نظرة على ما بداخل بعض المفاتيح لتعرف كيف تعمل. (بالطبع، يجب ألّا تكون الدائرة الكهربائية في حالة توصيل عند فحصها!).

ألقِ نظرة مماثلة على بعض المصابيح ذات الفتيل، كالمصباح الوارد في الصورة ١٥-١، تجد أن كلّ مصباح له طرفا توصيل فلزّيان من أجل تدفُّق التيّار الكهربائي دخولًا وخروجًا. يحدث الدخول بأن يحمل سلك رفيع التيّار إلى فتيل المصباح (والفتيل هو سلك من نوع آخر). ومن أجل الخروج، يحمل سلك آخر التيّار من الفتيل مرَّة أخرى. لاحظ أيضًا كيف يكون للمصباح والمكوِّنات الأخرى في دائرة ما طرفا توصيل للربط بينها (الصورة ١٥-١).



الصورة ١٥-١ دائرة كهربائية بسيطة



الشكل ١٥-١ رسم تخطيطي للدائرة الكهربائية البسيطة الموضَّحة في الصورة ١٥-١

تذكّر

في الدائرة الكهربائية، يمثِّل الخطّ الأطول في رمز الخلية القطب الموجب.

سؤال

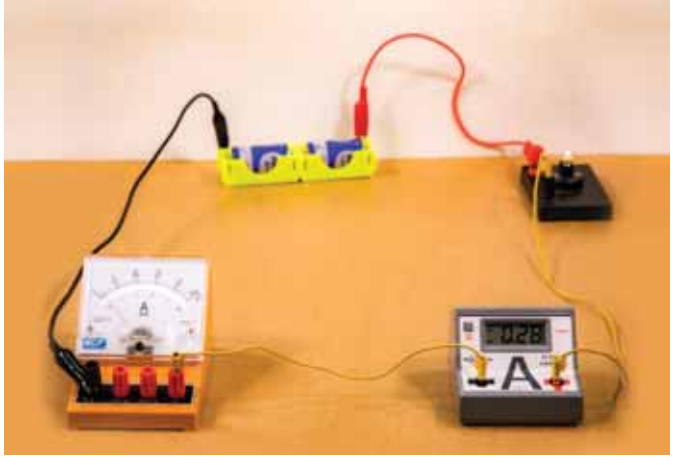
١٥-١ أ. ما نوع الشحنة التي يمتلكها الإلكترون: موجبة أم سالبة؟

ب. هل يتجاذب إلكترونان أم يتنافران؟

قياس شدَّة التيّار الكهربائي

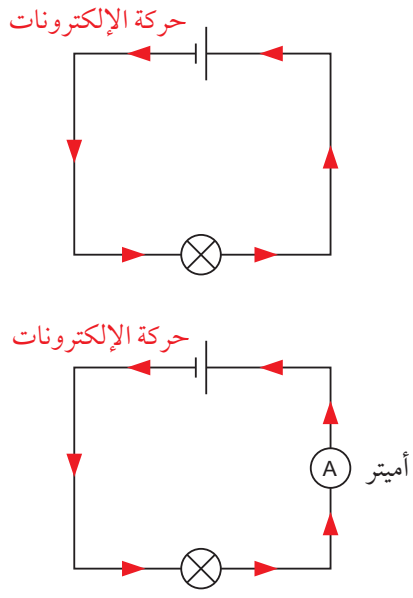
نستخدم **الأمّيتر Ammeter** لقياس شدَّة التيّار الكهربائي. وهناك نوعان من الأمّيترات، كما هو موضّح في الصورة ١٥-٢.

- الأمّيتر **التناظُري** الذي يحتوي على إبرة تتحرَّك على لوحة تدريج. وهنا ينبغي لك أن تُقدِّر موقع الإبرة على لوحة التدريج.
- الأمّيتر **الرقمي** الذي يُعطي قراءة مباشرة بالأرقام. ولن يكون هنا تقدير لأخذ القراءة.



الصورة ١٥-٢ يقيس الأمّيتر شدَّة التيّار الكهربائي، بوحدة الأمبير (A). وهناك نوعان من الأمّيترات: الأمّيتر التناظري (إلى اليسار) والأمّيتر الرقمي (إلى اليمين)

يُوصَّل الأمّيتر في دائرة كهربائية على التوالي، ما يعني أن الإلكترونات تتدفَّق من خلال طرف واحد (الأسود السالب) إلى الطرف الآخر (الأحمر الموجب). فإذا وُصِّل الأمّيتر بطريقة خاطئة (معكوسة)، فسوف يعطي قراءة سالبة (انظر الشكل ١٥-٢).



الشكل ١٥-٢ إضافة أمّيتر إلى دائرة كهربائية. يُوصَّل الأمّيتر على التوالي في الدائرة الكهربائية، حيث يمكن للتيّار الكهربائي أن يتدفّق من خلاله

لا يهمّ في دائرة كهربائية بسيطة موصَّلة على التوالي كتلك الدائرة المبيّنة في الشكل ١٥-٢، أين نضيف الأمّيتر إلى الدائرة. وسوف يُشرح سبب ذلك في الدوائر الكهربائية الموصَّلة على التوالي في الصف العاشر.

تكون القراءة على الأمّيتر بوحدة **الأمبير Ampere (A)**. وهي وحدة قياس شدَّة التيّار الكهربائي في النظام الدولي للوحدات (SI). وتُقاس شدّة التيّارات الكهربائية الأصغر بوحدة الملّي أمبير (mA)، أو الميكرو أمبير (μA):

$$1\ \text{mA} = 0.001\ \text{A} = 10^{-3}\ \text{A}$$

$$1\ \mu\text{A} = 0.000\ 001\ \text{A} = 10^{-6}\ \text{A}$$

مصطلحات علمية

الأمبير Ampere (A): وحدة قياس شدَّة التيّار الكهربائي في النظام الدولي للوحدات (SI).

نشاط ١٥-١

قياس شدَّة التيّار الكهربائي

المهارات:

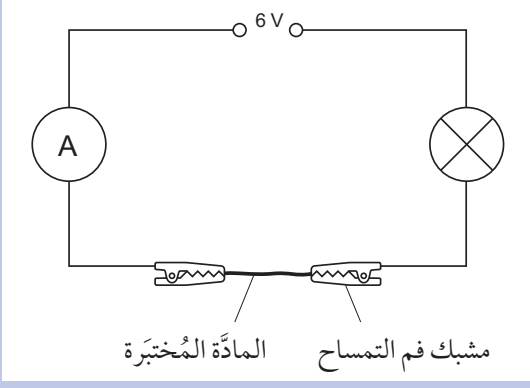
- **يبرّر اختيار الأجهزة والمواد والأدوات لاستخدامها في إجراء التجارب.**
- **يحدِّد المتغيرات ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكُّم ببعض المتغيّرات.**
- **يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.**

تسمح الموصِّلات الكهربائية بتدفُّق التيّار الكهربائي في الدائرة الكهربائية. ويمكنك استخدام أمّيتر لقياس شدَّة التيّار الكهربائي فيها.

١ اختر البطّارية 6 V، أو مصدر جُهد كهربائي متغيِّر. برّر اختيارك. فإذا كنت تستخدم مصدر جُهد كهربائي متغيّر، اضبط فرق جُهد المصدر الخارج على 6 V.

٢ صِل بطّارية أو مصدر جُهد كهربائي ومصباحًا كهربائيًّا وأمّيترًا على التوالي في دائرة كهربائية. قِس شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق في الدائرة.

٣ اقطع الدائرة في مكان ما، حيث يمكنك توصيل مشبك فم التمساح بكل من طرفَي القطع. اربط المشبك بكل طرف من طرفَي فلزّ كما في الشكل أدناه. يمكنك أن تعرف إن كانت الدائرة الكهربائية مكتملة (مغلقة) بطريقتَين: يُضيء المصباح، ويُظهر الأمّيتر تدفُّق تيّار.



٤ جرّب موادّ مختلفة بين مشبكَي فم التمساح. أيّ منها موصِّلات؟ وأيّها عوازل؟

٥ الفلزّات موصِّلات للكهرباء. يمكنك مقارنة عيّنات فلزّيَّة مختلفة بوضعها بالتناوب بين مشبكَي فم التمساح. كيف تجعل من ذلك اختبارًا عادلًا لمقارنة فلزّات مختلفة؟

أسئلة

٢-١٥ **أ.** ما الجهاز المُستخدَم لقياس شدَّة التيّار الكهربائي؟

ب. كيف يتمّ توصيل هذا الجهاز بالدائرة الكهربائية؟

ج. ارسم رمز هذا الجهاز في مخطَّط الدائرة الكهربائية.

٣-١٥ تمَّ تركيب دائرة كهربائية، تقوم الخلية فيها بإنتاج تيّار كهربائي يتدفَّق خلال المصباح. تشتمل الدائرة على أمّيترَين اثنَين، واحد لقياس شدَّة تدفُّق التيّار الداخل في المصباح، والآخر لقياس شدَّة تدفُّق التيّار الكهربائي الخارج من المصباح.

أ. مثِّل برسم تخطيطي هذه الدائرة الكهربائية.

ب. أضف سهمًا لإظهار اتّجاه تدفُّق الإلكترونات في الدائرة الكهربائية.

ج. اشرح احتياطات الأمن والسلامة في هذا الاستقصاء.

٤-١٥ **أ.** سمِّ **مادّتَين** موصِّلتَين للكهرباء.

ب. سمِّ **مادّتَين** عازلتَين للكهرباء.

التيّار الكهربائي والشحنة الكهربائية

يقيس الأمّيتر معدَّل تدفُّق الشحنات الكهربائية عبر نقطة في دائرة كهربائية ما. بعبارة أخرى، يقيس كمّية الشحنات الكهربائية التي تعبر نقطة ما في الدائرة الكهربائية كل ثانية. يمكننا كتابة هذه العلاقة بين شدَّة التيّار الكهربائي ومعدَّل تدفُّق الشحنة كمعادلة، باستخدام الكمّيات والرموز الواردة في الجدول ١٥-١، كما هو مبيّن أدناه.

الكمّية	رمز الكمّية	وحدة القياس	رمز وحدة القياس
شدَّة التيّار الكهربائي	I	أمبير	A
الشحنة	Q	كولوم	C
الزمن	t	ثانية	s

الجدول ١٥-١ رموز بعض الكمّيات الكهربائية ووحداتها

يمكن حساب شدَّة التيّار الكهربائي من خلال المعادلة الآتية:

$$\text{شدَّة التيّار الكهربائي} = \frac{\text{الشحنة الكهربائية}}{\text{الزمن}}$$

$$I = \frac{Q}{t}$$

يتَّضح من خلال العلاقة أن وحدة قياس شدَّة التيّار الكهربائي 1 A تعادل 1 C في الثانية 1 s.

بالتالي، فإن تيّارًا كهربائيًّا شدَّته 10 A يمرّ بنقطة ما في دائرة، يعني أن 10 C من الشحنة قد تدفَّقت عبر تلك النقطة في الثانية. قد تجد من الأسهل تذكُّر هذه العلاقة بالشكل الآتي:

$$\text{الشحنة الكهربائية} = \text{شدَّة التيّار الكهربائي} \times \text{الزمن}$$

$$Q = I\,t$$

إذا كان تيّار كهربائي شدَّته 10 A يتدفَّق في دائرة كهربائية ما لمدَّة 5 s، هذا يعني أن 50 C من الشحنة تتدفَّق في الدائرة خلال 5 s.

مصطلحات علمية

شدَّة التيّار الكهربائي (*I*) Current: هي المعدَّل الذي تعبر فيه الشحنات الكهربائية نقطة ما في دائرة كهربائية.

يبيّن المثال ١٥-١ كيفية حساب الشحنة الكهربائية التي تتدفَّق في دائرة كهربائية ما.

مثال ١٥-١

يتدفَّق تيّار كهربائي شدَّته (150 mA) في دائرة كهربائية لمدَّة دقيقة واحدة. ما مقدار الشحنة الكهربائية التي تتدفَّق في الدائرة خلال ذلك الزمن؟

الخطوة ١: اكتب ما تعرفه، وما تريد أن تعرفه. ضَع جميع الكمّيات بالوحدات المبيّنة في الجدول ١٥-١.

$$I = 150\ \text{mA} = 150 \times 10^{-3}\ \text{A} = 0.15\ \text{A}$$

$$t = 1\ \text{minute} = 60\ \text{s}$$

$$Q = ?$$

الخطوة ٢: اكتب المعادلة المتعلِّقة بكلّ من Q و I و t. عوّض القيَم، واحسب الإجابة.

$$Q = It$$

$$Q = 0.15\ \text{A} \times 60\ \text{s} = 9\ \text{C}$$

أي أن شحنة مقدارها 9 C تمرّ كلّ دقيقة، في الدائرة الكهربائية.

أسئلة

١٥-٥ **أ.** ما وحدة قياس شدَّة التيّار الكهربائي؟

ب. ما وحدة قياس الشحنة الكهربائية؟

١٥-٦ **أ.** كم ملّي أمبير في 1 أمبير؟

ب. كم ميكرو أمبير في 1 أمبير؟

١٥-٧ أيّ من المعادلتَين الآتيتَين تبيّن العلاقة الصحيحة بين الوحدات الكهربائية؟

$$1\ \text{A} = 1\ \text{C/s}$$

$$1\ \text{C} = 1\ \text{A/s}$$

١٥-٨ إذا تدفَّقت شحنة كهربائية مقدارها (20 C) عبر نقطة ما في دائرة كهربائية خلال (1.0 s)، فكم تبلغ شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق في الدائرة؟

١٥-٩ يتدفَّق تيّار كهربائي شدَّته (4.0 A) في دائرة كهربائية لمدّة (10 s). ما مقدار الشحنة الكهربائية التي تتدفَّق في الدائرة خلال ذلك الزمن؟

١٥-٢ فرق الجهد والقوّة الدافعة الكهربائية

توفِّر الخلية **الجُهد الكهربائي Voltage** اللازم لدفع التيّار خلال الدائرة الكهربائية. يبدو «الجهد» هنا مصطلحًا عامًّا إلى حدّ ما، ويجب أن نقول في الحقيقة إن هناك **فرق جُهد Potential difference (p.d.)** بين طرفَي مُقاوَمة. فرق الجُهد هو مصطلح آخر للجُهد، وهو يُقاس بوحدة **الفولت Volts (V)**، باستخدام **الفولتميتر Voltmeter** (الذي يشبه في شكله الأمّيتر، ويكون إمّا تناظريًّا وإمّا رقميًّا). ويُظهِر الفولتميتر وجود فرق جُهد كهربائي بين طرفَي المُقاوَمة.

ويشبه فرق الجُهد الكهربائي الذي يجعل الإلكترونات تتدفَّق إلى حدّ ما الفرق في طاقة وضع الجاذبية الذي يجعل الكُرة تتدحرج إلى أسفل تلّة.

هناك اسم خاصّ لفرق الجُهد (p.d.) بين قطبَي خلية، وهو **القوَّة الدافعة الكهربائية Electromotive force (e.m.f.)** للخلية، ويقاس بوحدة الفولت أيضًا. فالخلايا والبطّاريات ومصادر الجُهد الكهربائي، والمولّدات الكهربائية مكوِّنات في دائرة كهربائية ما تعمل على دفع التيار في الدائرة الكهربائية، ويقال إن لها قوة دافعة كهربائية (e.m.f.).

تكون القراءة على الفولتميتر بوحدة **الفولت Volts (V)**. ويقاس فرق الجُهد «الصغير» بالملّي فولت (mV) أو الميكرو فولت (μV).

مصطلحات علمية

فرق الجُهد Potential difference (p.d.): هو الطاقة اللازمة لتحريك شحنة مقدارها 1 C بين نقطتَين.

الفولت Volt (V): وحدة قياس الجُهد الكهربائي (p.d. أو e.m.f.) في النظام الدولي للوحدات (SI).

القوّة الدافعة الكهربائية Electromotive force (e.m.f.): فرق الجُهد الكهربائي (p.d.) بين قطبَي مصدر جُهد كهربائي (على سبيل المثال، خلية أو بطّارية).

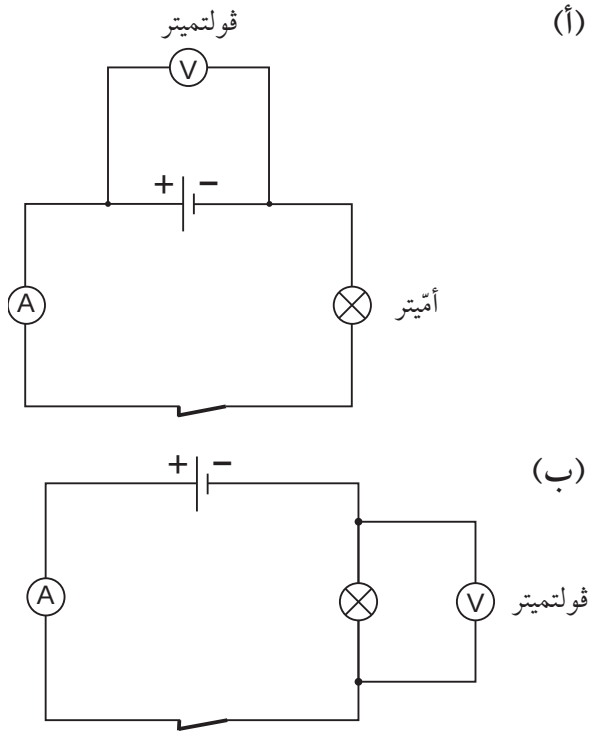
تذكّر

قد يشكِّل الاسم الخاصّ لفرق الجُهد بين قطبَي خلية، بالقوة الدافعة الكهربائية، أمرًا مضلِّلاً؛ لأن القوة الدافعة الكهربائية هي جُهد وليست قوّة.

يُوصَّل الفولتميتر دائمًا بين طرفَي المكوّن ذي العلاقة، لأنه يقيس فرق الجُهد بين طرفَي المكوّن.

- تُوصَّل الأمّيترات **على التوالي**، لتمكِّن التيّار الكهربائي من التدفُّق خلالها.
- تُوصَّل الفولتميترات **على التوازي** بين طرفَي مكوّن ما، لقياس فرق الجُهد بين طرفَيه.

يبيّن الشكل ١٥-٣ (أ) فولتميتر يقيس فرق الجُهد بين قطبَي خلية لإيجاد القوَّة الدافعة الكهربائية لها. ويبيّن الشكل ١٥-٣ (ب) فولتميتر يقيس فرق الجُهد بين طرفَي مصباح.



الشكل ١٥-٣ (أ) قياس القوَّة الدافعة الكهربائية لخلية. (ب) قياس فرق الجُهد الكهربائي بين طرفَي مصباح

أسئلة

١٥-١٠ أ. ما الذي يعنيه الاختصار p.d.؟

ب. ما الوحدة التي يقاس بها الـ p.d.؟

ج. ما الجهاز المُستخدَم لقياس الـ p.d.؟

د. ارسم رمز هذا الجهاز.

١٥-١١ أ. ما الاسم الخاصّ والاختصار الذي يُعطى لفرق الجُهد بين قطبَي خلية أو بطّارية؟

ب. ما الوحدة التي يُقاس بها؟

١٥-٣ الكهرباء والطاقة

تُستخدَم الكهرباء كوسيلة جيدة لنقل الطاقة من مكان إلى آخر. عندما تُشغّل السخّان الكهربائي، فأنت بذلك تستفيد من الطاقة التي تتحرَّر أثناء حرق الوقود في محطّة إنتاج الطاقة الكهربائية، التي قد تبعد أكثر من 100 km. ولكن ما مقدار الطاقة التي تنقلها الدائرة الكهربائية؟ وما سرعة الحصول عليها؟

عندما تقوم بتوصيل جهاز كهربائي ما بمصدر التيّار الكهربائي الرئيسي (main supply) في المنزل، تكون قد وصلته بجُهد عالٍ جدًّا، ربما بلغ 110 V أو 220 V، حسب نظام الكهرباء في المكان الذي تعيش فيه. يمثِّل هذا الجُهد المرتفع القوَّة الدافعة الكهربائية للمصدر.

ما هو الفولت؟

لماذا نستخدم الجُهد العالي في مصادر التيّار الكهربائي الرئيسية عندنا؟ السبب هو أن المصدر الكهربائي ذا القوّة الدافعة الكهربائية المرتفعة، يُعطي كثيرًا من الطاقة للشحنات التي تُدفع من خلال الدائرة الكهربائية. فيزوّد مصدر الجُهد الكهربائي الرئيسي 220 V، بما مقداره 220 J من الطاقة لكل كولوم من الشحنة التي تنتقل خلال الدائرة.

يُقدِّم إلينا ذلك فكرة عمّا نعنيه بالفولت. فمصدر الجُهد الكهربائي الذي تبلغ قوّته الدافعة الكهربائية 1 V، يُعطي 1 J من الطاقة لكل كولوم من الشحنة لدفعها خلال الدائرة الكهربائية. بعبارة أخرى نقول إن الفولت هو جول واحد لكل كولوم.

$$1\,V = \frac{1\,J}{1\,C}$$

تمنح البطّاريات ومصادر الجُهد الكهربائي الطاقة للشحنات في الدائرة الكهربائية. وبالمثل، يمكننا التفكير بالمكوّنات الأخرى في دائرة ما. فقد يكون فرق الجُهد بين طرفَي مصباح صغير 1.5 V. يعني ذلك أن كل كولوم من الشحنة يعبر المصباح سوف ينقل 1.5 J من الطاقة إلى المصباح.

تذكّر

احرص على عدم الخلط بين *V* (خط مائل)، المُستخدَم كرمز لجُهد كهربائي أو لفرق جُهد كهربائي، وبين V (خط مستقيم)، المُستخدَم كرمز لوحدة الفولت. في الكتب، تتمّ طباعة رمز الجُهد بخطّ مائل *V* (كما هي الحال هنا)، ولكن هذا التمييز لا يظهر لدى الكتابة على الورق يدويًّا.

القدرة الكهربائية

يثبَّت على معظم الأجهزة الكهربائية مُلصَق تعريفي يُظهِر قدرتها التشغيلية. يُبيّن المثال في الصورة ١٥-٣ القدرة التشغيلية لفرن مايكروويف، والتي يُشار إليها بوحدة الوات (W) أو الكيلووات (kW). تُبيّن القدرة التشغيلية لجهاز ما، المعدَّل الذي ينقل به الجهاز الطاقة أو يغيّرها، ويُشير هنا إلى الحدّ الأقصى **للقدرة Power (*P*)** التي يسحبها الجهاز من مصدر التيّار الكهربائي الرئيسي عندما يشتغل الجهاز بكامل قدرته.

الصورة ١٥-٣ نُبِّت هذا الملصق التعريفي على الجزء الخلفي من فرن مايكروويف

القدرة هي معدَّل نقل الطاقة من مكان إلى آخر أو تحويلها عند حدث ما:

$$\text{القدرة الكهربائية} = \frac{\text{الطاقة المتحوّلة}}{\text{الزمن المُستغرَق}}$$

$$P = \frac{E}{t}$$

يمثِّل الرمز E الطاقة المتحوّلة. يجب أن تتذكّر تعريف القدرة هذا من الوحدة الثامنة في الفصل الدراسي الأوَّل. فهو ينطبق على جميع أنواع الطاقة المتحوّلة، وليس فقط الكهرباء.

تُذكِّرنا هذه المعادلة أيضًا بتعريف وحدة قياس القدرة الوات (W):

الوات الواحد هو جول واحد في الثانية

$$1\ \text{W} = 1\ \text{J/s}$$

مصطلحات علمية

القدرة Power (*P*): مُعدَّل نقل الطاقة من مكان إلى آخر أو تحويلها عند حدث ما أو استهلاكها.

الوات Watt (W): وحدة قياس القدرة في النظام الدولي للوحدات (SI).

يعتمد المعدَّل الذي تنقل به الخلية أو مصدر جُهد كهربائي آخر الطاقة إلى دائرة ما على القوَّة الدافعة الكهربائية (الجُهد الكهربائي) للمصدر، والتيّار الذي يُدفع من خلال الدائرة الكهربائية. تبيّن المعادلات الآتية كيف تُحسَب القدرة الكهربائية:

القدرة = شدّة التيار الكهربائي × فرق الجُهد

$$P = IV$$

قد تُفضّل تذكُّر هذه المعادلة كوحدات مرتبطة بمعادلة:

الوات = أمبير × فولت

$$1\ \text{W} = 1\ \text{A} \times 1\ \text{V}$$

تذكّر

من الأسهل لك أن تتذكّر المعادلة باستخدام الوحدات أكثر من استخدام الكمّيات.

حساب الطاقة

بما أن الطاقة المتحوّلة = القدرة × الزمن،

يمكننا التعويض عن القدرة بالمعادلة $P = IV$ لإعطاء معادلة الطاقة المتحوّلة E:

الطاقة المتحوّلة = شدّة التيّار الكهربائي × فرق الجُهد × الزمن

$$E = IVt$$

مثال ١٥-٢

تشتغل مروحة كهربائية باستخدام قوَّة دافعة كهربائية مقدارها (220 V). ويتدفَّق تيّار كهربائي من خلالها شدَّته (0.40 A). ما معدَّل نقل الطاقة الكهربائية بواسطة المروحة؟ كم يبلغ مقدار الطاقة المتحوّلة في دقيقة واحدة؟

الخطوة ١: يجب أن نحسب معدَّل نقل الطاقة الكهربائية، وهي القدرة P. اكتب ما تعرفه وما تريد أن تعرفه.

$$V = 220\ \text{V}$$
$$I = 0.40\ \text{A}$$
$$P = ?$$
$$E = ?$$

الخطوة ٢: اكتب معادلة القدرة، التي تشتمل على V و I، وعوّض بالقيَم فيها، وحلّها.

$$P = IV$$

$$P = 0.40\ \text{A} \times 220\ \text{V} = 88\ \text{W}$$

الخطوة ٣: لحساب الطاقة المتحوّلة في دقيقة واحدة، استخدم $E = Pt$ (أو $E = IVt$). تذكّر أن الزمن يجب أن يكون بالثواني.

$$E = 88\ \text{W} \times 60\ \text{s} = 5280\ \text{J}$$

لذلك فإن المروحة تعمل بقدرة 88 W وتنقل 5280 J من الطاقة كل دقيقة.

نشاط ١٥-٢ (إثرائي)

استخدام القدرة الكهربائية

حدِّد قدرة بعض الأجهزة الكهربائية.

أسئلة

١٥-١٢ اكتب معادلة تربط بين الوات والڤولت والأمبير.

١٥-١٣ مصدر جُهد كهربائي (10 V) يدفع تيّارًا كهربائيًّا شدَّته (5.0 A) خلال مُقاومة. ما معدَّل انتقال الطاقة إلى المُقاومة؟

١٥-١٤ حوض أسماك مزوَّد بسخّان كهربائي ذي قدرة تشغيلية مقدارها (30 W). ويتَّصل السخّان بمصدر جُهد كهربائي (12 V). ما شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق خلال السخّان عند تشغيله؟

١٥-١٥ ما مقدار الطاقة المتحوّلة بواسطة مصباح كهربائي في زمن مقداره (100 s)، إذا تدفَّق تيّار كهربائي شدَّته (0.22 A) خلال المصباح، عند توصيله بمصدر فرق جُهد رئيسي (220 V)؟

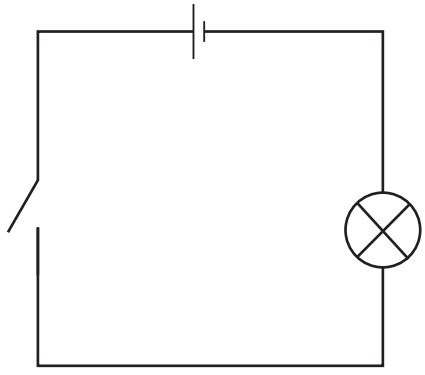
ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- أن الشحنة الكهربائية تقاس بوحدة الكولوم.
- أن شدَّة التيّار الكهربائي هي معدَّل تدفُّق الشحنة الكهربائية.
- كيف تقيس شدَّة التيّار الكهربائي وفرق الجُهد.
- العلاقة بين الشحنة الكهربائية وشدَّة التيّار الكهربائي والزمن.
- أن فرق الجُهد بين طرفَي مكوِّن في دائرة كهربائية يقاس بالڤولت، وأن شدَّة التيّار الكهربائي المارّ خلال المكوّن تقاس بالأمبير.
- القوَّة الدافعة الكهربائية.
- كيف تُحسَب القدرة (بالوات) بدلالة شدَّة التيّار الكهربائي (بالأمبير) وفرق الجُهد (بالڤولت).
- كيف تُحسَب الطاقة (بالجول) بدلالة شدَّة التيّار الكهربائي، وفرق الجُهد والزمن.

أسئلة نهاية الوحدة

١ عندما يُغلَق المفتاح في الدائرة الكهربائية المبيَّنة فى الشكل، يتدفَّق تيّار كهربائي.



أ. سمِّ الجُسيمات التي تتحرَّك خلال الدائرة الكهربائية عند إغلاق المفتاح.

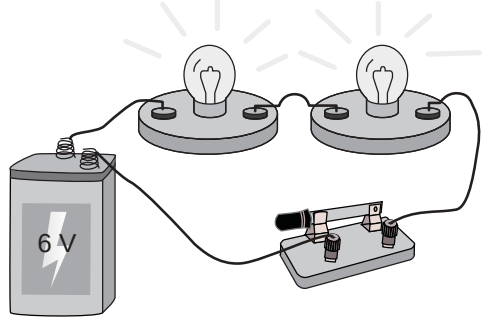
ب. ١. اذكر الخاصّية الكهربائية التي تمتلكها تلك الجُسيمات.

٢. سمِّ وحدة قياس هذه الخاصّية.

ج. ارسم مخطَّط الدائرة الكهربائية والمفتاح مُغلَق. أضِف سهمًا لإظهار اتِّجاه حركة تلك الجُسيمات عندما يتدفَّق التيّار الكهربائي.

د. اذكر ما يحدث لتدفُّق تلك الجُسيمات عند إضافة خليّة أخرى إلى الدائرة على التوالي مع الخلية الأولى.

٢ قام أحمد بتركيب دائرة كهربائية، كما هو مبيَّن في الرسم التخطيطي.



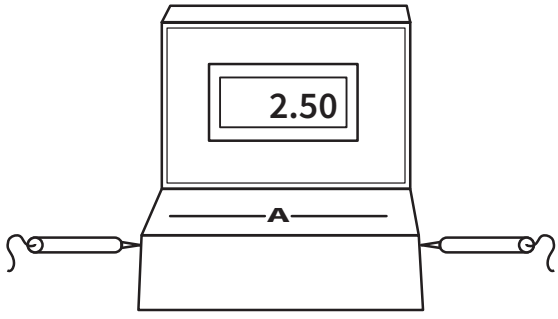
أ. أضاء أحمد المصباحَين لمدّة (40 s). تدفَّقت خلال ذلك الزمن شحنة مقدارها (2 C) عبر المصباحَين. احسب شدَّة التيّار الكهربائي في الدائرة بوحدة mA.

ب. ١. سمِّ الجهاز الذي يُستخدَم لقياس شدَّة التيّار الكهربائي في دائرة ما.

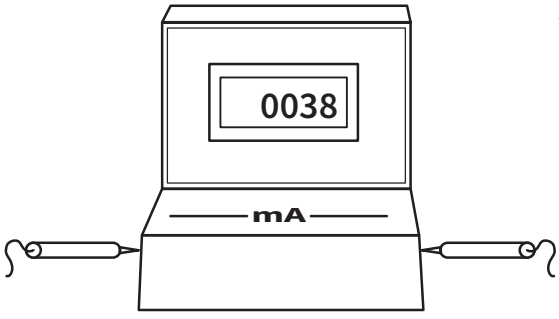
٢. مثِّل هذه الدائرة برسم تخطيطي يحتوي الجهاز المُستخدَم لقياس شدَّة التيّار الكهربائي.

٣ اكتب قيمة شدَّة التيّار الكهربائي المبيَّن على كل أمّيتر بوحدة الأمبير.

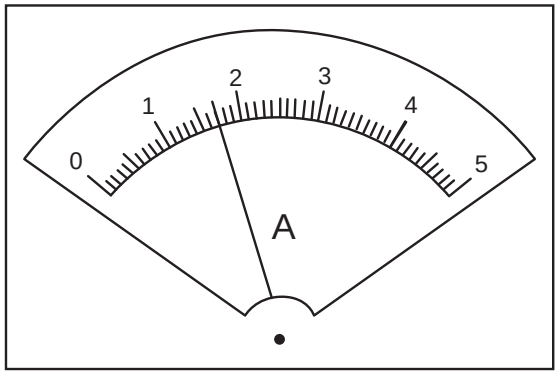
أ.



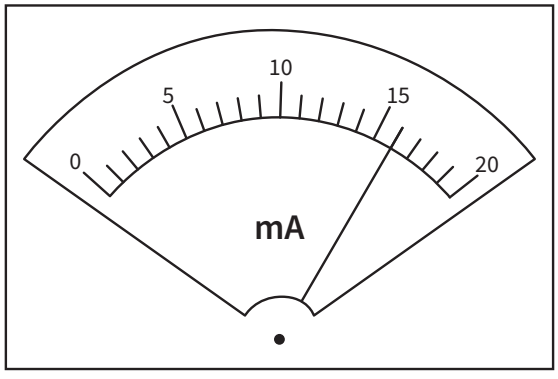
ب.



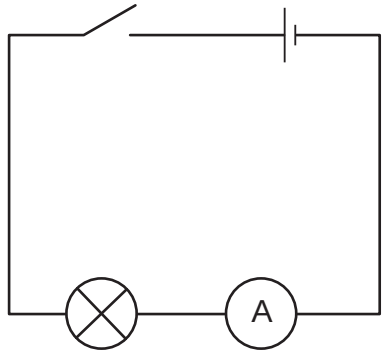
ج.



د.



٤ قام يوسف بتركيب الدائرة الكهربائية المبيّنة في الرسم التخطيطي أدناه.



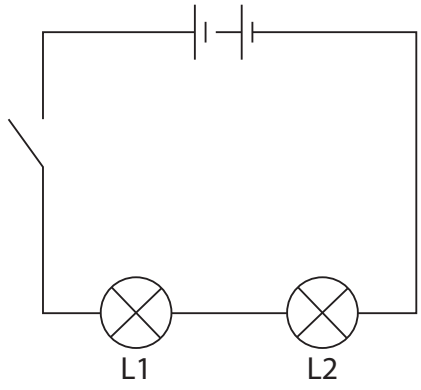
أ. سمِّ في هذه الدائرة المكوِّن الذي يوفِّر القوَّة الدافعة الكهربائية (e.m.f.).

ب. ما المقصود **بالقوة الدافعة الكهربائية؟**

ج. اذكر وحدة قياس القوَّة الدافعة الكهربائية.

د. أضف إلى الرسم التخطيطي جهازًا لقياس القوَّة الدافعة الكهربائية.

٥ رُبط مصباحان، L1 و L2، على التوالي مع بطارية، كما هو مبيّن في الرسم التخطيطي للدائرة الكهربائية.



فرق الجُهد بين طرفَي L2 هو (1.5 V).

أ. اكتب وحدة فرق الجهد.

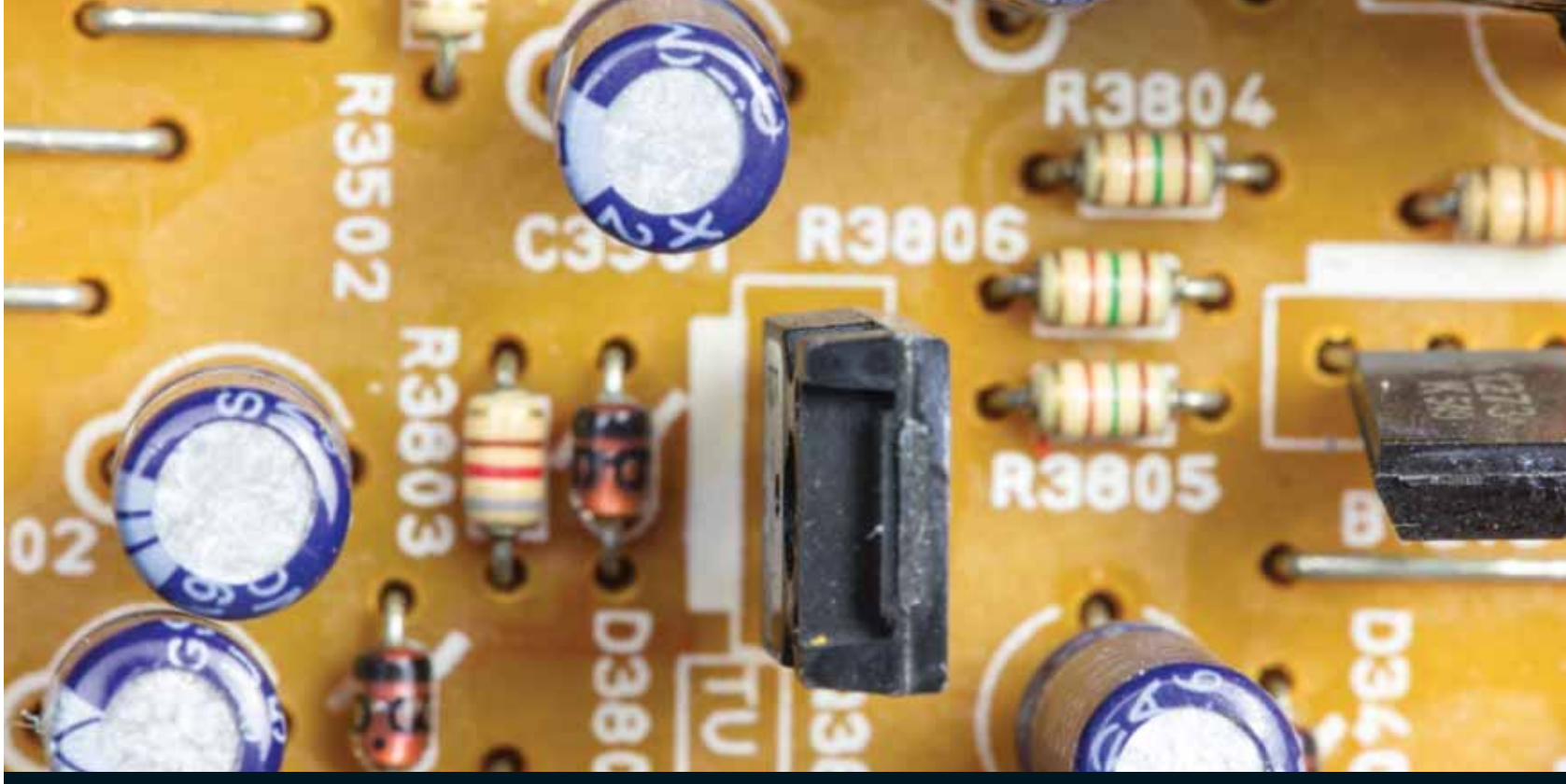
ب. سمِّ الجهاز الذي يمكن استخدامه في الدائرة الكهربائية لقياس فرق الجُهد.

ج. صف كيف سيوصل هذا الجهاز لقياس فرق الجُهد بين طرفَي المصباح L2.

٦ يستخدم طالب وحدة تحكُّم بالألعاب. تعمل وحدة التحكُّم هذه باستخدام جُهد كهربائي مقداره (220 V) وتتطلَّب تيّارًا كهربائيًّا شدَّته (1.5 A).

أ. احسب قدرة وحدة التحكُّم بالألعاب.

ب. احسب الطاقة التي تحتاج إليها وحدة التحكُّم بالألعاب عند استخدامها لمدَّة ساعة واحدة.



الوحدة السادسة عشرة

المُقاوَمة Resistance

تُغطّي هذه الوحدة:

- المقصود بالمُقاوَمة الكهربائية، ووحدة قياسها.
- كيف تُقاس المُقاوَمة الكهربائية وتُحسَب.
- التناسُب الطردي بين المُقاوَمة الكهربائية للسلك وطوله.
- التناسُب العكسي بين المُقاوَمة الكهربائية للسلك ومساحة مقطعه العرضي.
- التمثيل البياني لخاصّية (التيار – الجُهد).

١٦-١ المُقاوَمة الكهربائية

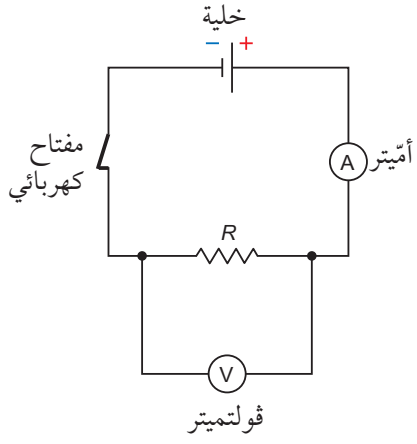
إذا استخدمتَ سلكًا قصيرًا لتصل به الطرف الموجب والطرف السالب لخلية (بطّارية) معًا؛ تكون قد تسبَّبتَ بضرر كبير، لأنّ كُلًّا من السلك والخلية قد يسخن بسبب التيّار الكبير الذي تدفَّق عبرهما، وذلك لأنَّ **المُقاوَمة الكهربائية Electrical resistance** صغيرة جدًّا في السلك، وبالتالي شدَّة التيّار الكهربائي تكون كبيرة. لذلك فإنّ مصادر الجُهد الكهربائي غالبًا ما تكون محميَّة بقواطع كهربائية كما في الصورة ١٦–١ تقطع التيّار إذا كانت شدَّة تدفُّقه كبيرة جدًّا.

الصورة ١٦-١ تحمي القواطع الأجهزة الكهربائية من التلف عند ازدياد شدَّة التيّار الكهربائي المارّ فيها

مصطلحات علمية

المُقاوَمة Resistance: مدى ممانعة تدفُّق تيّار كهربائي في جهاز، أو في مكوِّن في دائرة كهربائية.

يمكن التحكُّم بشدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق في دائرة ما بإضافة مكوِّنات لها مُقاوَمة كهربائية. وكلّما ازدادت المُقاوَمة كان تدفُّق التيّار أقلّ. يوضّح الشكل ١٦-١ دائرة كهربائية تدفع فيها خلية تيّارًا كهربائيًّا خلال مُقاوَمة (R).



الشكل ١٦-١ توفِّر الخلية فرق الجُهد اللازم لدفع التيّار في الدائرة الكهربائية. تعتمد شدَّة التيّار على فرق الجُهد والمُقاوَمة. يقيس الأمّيتر شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق عبر المُقاوَمة. أما الفولتميتر فيقيس فرق الجُهد بين طرفَيها، وبالتالي يمكن استخدام هذه الدائرة لإيجاد قيمة المُقاوَمة

حساب المُقاوَمة

ما شدَّة التيّار الكهربائي الذي يمكن للخلية دفعه عبر مكوِّن كهربائي؟ يعتمد ذلك على مُقاوَمة ذلك المكوِّن الكهربائي. فكلّما كانت أكبر، كانت شدَّة التيّار الكهربائي الذي سيتدفَّق من خلاله أصغر. تُقاس مُقاوَمة مكوِّن كهربائي ما **بالأوم Ohms (Ω)** وتُحسَب من المعادلة الآتية:

$$\text{المُقاوَمة} = \frac{\text{فرق الجُهد}}{\text{شدّة التيّار الكهربائي}}$$

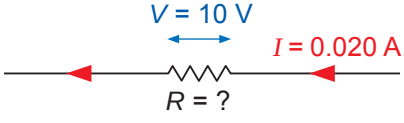
$$R = \frac{V}{I}$$

مصطلحات علمية

الأوم Ohm (Ω): وحدة قياس المُقاوَمة الكهربائية في النظام الدولي للوحدات (SI).

تُظهِر الدائرة الكهربائية في الشكل ١٦-١ توضيحًا لكيفية قياس المُقاوَمة أو مُقاوَمة مكوِّن كهربائي كالمصباح. فنحن بحاجة إلى معرفة شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق في المكوِّن الكهربائي، وهي تُقاس بواسطة الأمّيتر. ونحن بحاجة أيضًا إلى معرفة فرق الجُهد بين طرفَي المكوِّن الكهربائي، وهو يُقاس بواسطة فولتميتر يوصَّل **على التوازي** بين طرفَي المكوِّن.

يبيّن المثال ١٦-١ والشكل ١٦-٢ كيفية حساب المُقاوَمة من خلال قياس شدَّة التيّار الكهربائي وفرق الجُهد. لاحظ أنّنا نستطيع إظهار التيّار كسهم يدخل في المُقاوَمة (أو يخرج منها). ويوضَّح فرق الجُهد بسهم ثنائي الرأس للإشارة إلى أنه يُقاس بين طرفَي المُقاوَمة. تظهر قيمة المُقاوَمة ببساطة على شكل تسمية على المُقاوَمة أو بجانبها.



الشكل ١٦-٢ الكمّيات المعنيّة بالمثال ١٦-١

مثال ١٦-١

تسمح المُقاوَمة بتدفُّق تيار كهربائي شدَّته (0.02 A) عندما يكون هناك فرق جُهد بين طرفَيها مقداره (10.0 V). احسب قيمة المُقاوَمة.

الخطوة ١: اكتب ما تعرفه وما تريد أن تعرفه. (قد تفضِّل كتابة هذه الكمّيات على شكل مخطَّط – انظر الشكل ١٦-٢ لهذا المثال).

شدّة التيّار الكهربائي: $I = 0.020\ \text{A}$

فرق الجُهد: $V = 10.0\ \text{V}$

المُقاوَمة: $R = ?$

الخطوة ٢: اكتب معادَلة R. عوّض بالقيَم.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10.0\ \text{V}}{0.02\ \text{A}} = 500\ \Omega$$

لذلك؛ فإن المُقاوَمة تساوي 500 Ω.

ما هو الأوم؟

دعونا نفكّر في المعادلة التي تُعرِّف ما نعنيه بالمُقاوَمة:

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

يمكننا أن نلاحظ أن فرق جُهد مقداره 10 V يجعل تيّار كهربائي شدَّته 1 A يتدفَّق خلال مُقاوَمة مقدارها 10 Ω. وفرق جُهد 20 V يجعل تيّارًا كهربائيًا شدَّته 1 A يتدفَّق خلال مُقاوَمة مقدارها 20 Ω، وهكذا. وبالتالي فالمُقاوَمة بوحدة (Ω) تخبرنا بمقدار فرق الجُهد اللازم لتدفُّق تيّار شدَّته 1 A خلال هذه المُقاوَمة. وبعبارة أخرى:

إذا كانت المُقاوَمة 1 Ω وفرق الجُهد 1 V فإنّ تيّارًا كهربائيًا شدَّته 1 A يتدفَّق في السلك.

$$1\ \Omega = \frac{1\ V}{1\ A}$$

وفي حالة المثال ١٦-١، تأخذ المُقاوَمة فرق جُهد مقداره 500 V لجعل تيار شدَّته 1 A يتدفَّق عبر مُقاوَمة مقدارها 500 Ω.

تذكّر

فرق جُهد 10 V يجعل تيّارًا كهربائيًا شدَّته 1 A يتدفَّق من خلال مكوِّن كهربائي مُقاوَمته 10 Ω.

تغيير شدَّة التيّار الكهربائي

يمكنك التفكير في الدائرة الكهربائية على أنها مضمار سباق حواجز. فالإلكترونات تخرج من القطب السالب للخلية وتنتقل عبر الدائرة إلى الطرف الموجب للخلية. ويجب أن تمرّ عبر المكوِّنات المختلفة في الدائرة. وكلّما ازدادت مُقاوَمة تلك المكوِّنات ستجد الشحنات الكهربائية صعوبة في التدفُّق خلالها، وبالتالي ستكون شدَّة التيّار الكهربائي أقلّ.

أي كلّما ازدادت المُقاوَمة في الدائرة الكهربائية، كانت شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق فيها أصغر. عند الجري في سباق حواجز، فأنت تتحرَّك بشكل أبطأ كلّما ازداد عدد الحواجز، لذا فإن الحواجز تشبه المُقاوَمة وسرعتك تشبه التيّار الكهربائي.

ومع ذلك، يمكننا أن نجعل شدَّة تدفُّق التيّار الكهربائي أكبر بزيادة فرق الجُهد الذي يدفع التيّار عند ثبات المُقاوَمة.

فكلّما ازداد فرق الجُهد في دائرة كهربائية ما (أو عبر مكوِّن)، ازدادت شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق خلالها عند ثبات المُقاوَمة.

تُستخدَم المعادلة:

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

لحساب مُقاوَمة مكوِّن ما في دائرة كهربائية.

لكي نتمكَّن من حساب شدَّة التيّار الكهربائي أو فرق الجُهد يمكننا إعادة ترتيب المعادلة بطريقتَين:

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

$$V = I\,R$$

لذلك نحسب مثلًا شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق من خلال مُقاوَمة مقدارها 20 Ω عندما يكون فرق الجُهد بين طرفَيها 6.0 V وعليه تكون شدَّة التيّار الكهربائي:

$$I = \frac{6.0\ V}{20\ \Omega} = 0.30\ A$$

أسئلة

١٦-١ **أ.** كم تبلغ مُقاوَمة مصباح إذا كانت شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق خلاله (2.0 A) عندما يكون متّصلًا بمصدر جُهد كهربائي (12 V)؟

ب. إذا ازداد فرق الجهد بين طرفَي المصباح، هل ستزداد شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق خلاله أم تقلّ؟

٢-١٦ ما مقدار فرق الجُهد اللازم لجعل تيّار كهربائي شدَّته (1.0 A) يتدفَّق خلال مُقاوَمة مقدارها (20 Ω)؟

٣-١٦ **أ.** كم تبلغ قيمة مُقاوَمة إذا كان مقدار فرق الجُهد بين طرفَيها (20 V) وهو يسبّب تدفُّق تيّار كهربائي شدَّته (2.0 A)؟

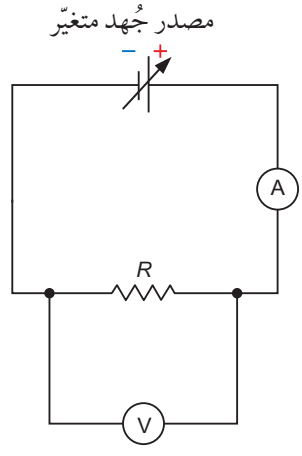
ب. ما مقدار فرق الجُهد الذي يسبِّب تدفُّق تيّار كهربائي شدَّته (3.0 A) خلال المُقاوَمة التي حسبت في (أ)؟

سؤال

١٦-٤ ما شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق خلال مُقاوَمة مقدارها (1000 Ω) عندما يكون مقدار فرق الجُهد بين طرفَيها (14.5 V)؟

قياس المُقاوَمة الكهربائية

يمكن استخدام الدائرة الكهربائية الموضّحة في الشكل ١٦-١ لإيجاد مُقاوَمة ما (R). وذلك من خلال إيجاد قيمة واحدة لكلّ من فرق الجُهد (V) وشدَّة التيّار الكهربائي (I). وللحصول على قيمة أدقّ للمُقاوَمة تُستبدَل الخلية بمصدر جُهد كهربائي متغيّر كما في الشكل ١٦-٣، حيث يمكن الحصول على قيَم مختلفة من فرق الجُهد وقياس قيمة شدَّة التيّار الكهربائي لكلّ قيمة منها.



الشكل ١٦-٣ دائرة لاستقصاء كيف تتغيّر شدَّة التيّار الكهربائي خلال مُقاوَمة، عندما يتغيَّر فرق الجُهد بين طرفَيها

وسوف تكون النتائج كتلك المبيَّنة في الجدول ١٦-١. يعرض العمود الأخير من الجدول قيَم المُقاوَمة R المحسوبة باستخدام المعادلة:

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

وتُعرَف هذه المعادلة بقانون أوم Ohm's law. يمكن إيجاد متوسِّط قيَم R في الجدول لحساب قيمة المُقاوَمة R.

فرق الجُهد (V)	شدَّة التيّار الكهربائي (A)	المُقاوَمة (Ω)
2.0	0.08	25.0
4.0	0.17	23.5
6.0	0.24	25.0
8.0	0.31	25.8
10.0	0.40	25.0
12.0	0.49	24.5

الجدول ١٦-١ نتائج نموذجية لتجربة قياس مقدار المُقاوَمة

نشاط ١٦-١

قياس المُقاوَمة الكهربائية

المهارات:

- يحدِّد المتغيرات ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكُّم ببعض المتغيّرات.
- يسجِّل الملاحظات بطريقة منهجية باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقة المناسبة.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدِّمها بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانية والميل.
- يحدِّد الأسباب المحتملة لعدم دقة البيانات أو الاستنتاجات ويقترح التحسينات المناسبة للخطوات التجريبية والتقانة المستخدمة.

تنفيذ بعض التجارب لقياس مُقاوَمة بعض المكوّنات الكهربائية المختلفة.

١ قم بتركيب الدائرة المبيّنة في الشكل ١٦-٣ والتي تحتوي على مُقاوَمة كهربائية لقياس مقدارها.

٢ اضبط فرق الجُهد الخارج من مصدر الجُهد على 2 V.

٣ قِس وسجِّل فرق الجهد عبر المُقاوَمة، وقِس شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق خلالها أيضًا.

٤ احسب قيمة المُقاوَمة. (قد يساعدك تسجيل نتائجك في جدول مشابه للجدول ١٦-١).

٥ كرّر الخطوات (١-٤) لمُقاوِمات أخرى.

٦ ضع المصباح بدلًا من المُقاوَمة. عدّل مصدر الجُهد الكهربائي بحيث يكون فرق الجُهد عبر المصباح 2.0 V. قِس شدَّة التيّار الكهربائي واحسب مُقاوَمة المصباح.

٧ كرّر لعدد من فروق الجُهد المختلفة، (تأكَّد من أنك لا تتجاوز الحدّ الأقصى لجُهد تشغيل المصباح). كيف تتغيّر مُقاوَمة المصباح كلّما أصبح أكثر إضاءة؟

٨ سجِّل كلّ نتائجك عن فرق الجُهد وشدَّة التيّار الكهربائي في الجدول. تأكّد من أن جميع قراءاتك قد نقلتها بدقّة مناسبة.

٩ حدّد أي مصادر للخطأ في هذا الاستقصاء، واقترح أي تحسينات لتقليلها.

٢-١٦ المزيد عن المُقاوَمة الكهربائية

تُساعدنا فكرة عبور أنابيب مختلفة القياسات على التفكير في مُقاوَمة الأسلاك ذات الأبعاد المختلفة. فالسلك الطويل الرفيع يتَّصف بمُقاوَمة أكبر من السلك القصير السميك. تخيّل عبورك لتلك الأنابيب، فمن السهل عبور أنبوبة قصيرة ذات قطر كبير، ويكون الأمر أكثر صعوبة عندما تكون الأنبوبة طويلة وضيقة.

لذلك كلّما زاد طول السلك وقلّ سمكه (مساحة مقطعه العرضي)، ازدادت مُقاوَمته.

يتَّضح ممّا سبق أن مُقاوَمة السلك:

- تتناسب طرديًّا مع طوله.
- تتناسب عكسيًّا مع مساحة مقطعه العرضي.

لنفترض أن لدينا سلكًا فلزّيًّا طوله 4.0 m ومُقاوَمته هي 100 Ω، فكم ستبلغ مُقاوَمة سلك من نفس نوع الفلزّ طوله 2.0 m وله ضعف مساحة المقطع العرضي؟ (لاحظ أن جعل السلك أقصر سيقلِّل من مُقاوَمته، وأنّ زيادة مساحة مقطعه العرضي ستقلِّل من مُقاوَمته أيضًا).

فنصف الطول يعطي نصف المُقاوَمة أي 50 Ω.

مساحة المقطع العرضي تعطي نصف المُقاوَمة مرَّة أخرى، أي 25 Ω.

أسئلة

١٦-٥ قطع مازن من بكرة أسلاك، سلكًا طويلًا وآخر قصيرًا.

أ. أيّ السلكَين ستكون له أكبر مُقاوَمة؟

ب. ارسم مخطّطًا لدائرة كهربائية يوضّح كيف ستتحقَّق من إجابتك بواسطة قياس مُقاوَمة كلّ من السلكَين.

١٦-٦ وُجد أن مُقاوَمة سلك طوله (1.0 m) تساوي (40 Ω).

أ. كم ستبلغ مُقاوَمة قطعة من السلك نفسه طولها (2.0 m)؟

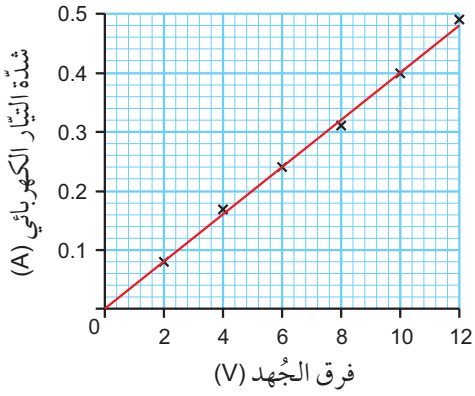
ب. كم ستبلغ مُقاوَمة سلك طوله (2.0 m) وله نصف مساحة المقطع العرضي، مصنوع من المادة نفسها؟

خصائص (التيّار - الجُهد)

يمكننا استخدام البيانات الواردة في الجدول ١٦-١ لرسم تمثيل بياني لشدَّة التيّار الكهربائي بدلالة فرق الجُهد بين طرفَي المُقاوِم. هذا التمثيل البياني يظهر في الشكل ١٦-٤ ويُعرَف **بخاصّية (التيّار - الجُهد)** **Current–voltage characteristic**.

- يكون فرق الجُهد V على المحور السيني (x)، لأن هذه هي الكمّية التي يمكننا التحكُّم بتغييرها.
- وتكون شدَّة التيّار الكهربائي I على المحور الصادي (y)، لأن هذه الكمّية تتغيَّر مع تغيُّر فرق الجُهد V.

في هذه الحالة، يكون منحنى التمثيل البياني خطًّا مستقيمًا يمرّ بنقطة الأصل. هذا ما نتوقَّعه لأن المعادلة $I = \frac{V}{R}$ تُظهر أن شدّة التيّار الكهربائي I يتناسب طرديًّا مع فرق الجُهد V.



الشكل ١٦-٤ خاصّية (التيار- الجُهد) لمُقاوِم أومي، رُسم باستخدام البيانات الواردة في الجدول ١٦-١. تتناسب شدَّة التيّار الكهربائي طرديًّا مع جُهد هذا المُقاوِم

مصطلحات علمية

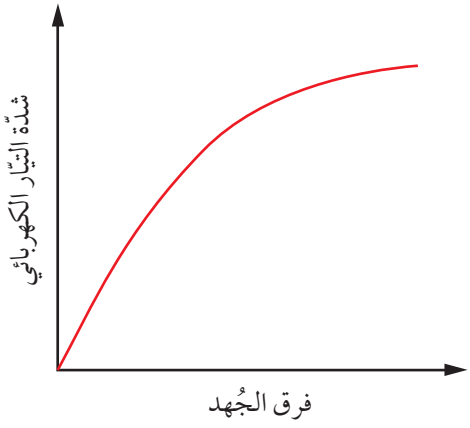
خاصّية (التيّار- الجُهد) Current–voltage characteristic:
تمثيل بياني يوضّح كيف تعتمد شدّة التيّار الكهربائي في المكوِّن على فرق الجُهد بين طرفَيه.

فالمُقاوِم الذي تكون خاصّية (التيّار – الجُهد) له مثل الوصف السابق يسمّى **مُقاوِمًا أوميًّا Ohmic resistor**. ومن السهل التنبّؤ بشدَّة التيّار الكهربائي الذي سيتدفَّق عبر المُقاوِم الأومي لأنها تتناسب طرديًّا مع فرق الجُهد بين طرفَي المُقاوِم. فإذا تضاعف فرق الجُهد فإنه يعطي ضعف شدَّة التيّار الكهربائي، وهكذا.

يبيّن الشكل ١٦-٥ ما سوف يحدث إذا استخدمنا مصباحًا ذا فتيل بدلاً من المُقاوِم الأومي. يمكنك أن ترى أن خاصّية (التيّار – الجُهد) للمصباح ذي الفتيل هي خطّ مقوَّس. (قد لا يُدهشك هذا إذا نفَّذت الخطوة ٦ من النشاط ١٦-١).

- في البداية، سيكون منحنى التمثيل البياني لفرق الجُهد الكهربائي المنخفِض مستقيمًا، وسوف يُظهر أن شدَّة التيّار الكهربائي تزداد بمعدَّل ثابت مع ازدياد فرق الجُهد الكهربائي.
- عند فرق الجُهد الكهربائي العالي، يبدأ التمثيل البياني بالتقوُّس. حيث تزداد شدَّة التيّار الكهربائي ببطء أكثر فأكثر مع ارتفاع فرق الجُهد. وعندها لا تتناسب شدَّة التيّار الكهربائي طرديًّا مع فرق الجُهد الكهربائي.

يبيّن التمثيل البياني أن المصباح ليس مُقاوِمًا أوميًّا. فما سبب ذلك؟ في البداية، عندما يكون الجُهد الكهربائي وشدَّة التيّار الكهربائي منخفضَين، يتصرَّف المصباح مثل المُقاوِم الأومي. وعندما يزداد الجُهد الكهربائي، بعد ذلك، يتسبَّب التيّار الكهربائي بتسخين الفتيل، فيُضيء بشكل ساطع. يصبح للفتيل عند درجات الحرارة المرتفعة مُقاوَمة أعلى، وبالتالي فإن شدَّة التيّار الكهربائي سوف تكون أقلّ من شدَّته عندما كان الفتيل باردًا.



الشكل ١٦-٥ خاصّية (التيّار- الجُهد) لمصباح ذي فتيل. فمنحنى التمثيل البياني يصبح مقوَّسًا مع زيادة فرق الجُهد، ممّا يدلّ على أن المصباح ليس مُقاوِمًا أوميًّا

مصطلحات علمية

المُقاوِم الأومي Ohmic resistor: أي موصّل تكون شدَّة التيّار الكهربائي فيه متناسبة طرديًّا مع فرق الجُهد بين طرفَيه.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- المُقاوَمة في الدوائر الكهربائية.
- أن المُقاوَمة تُقاس بوحدة الأوم.
- كيف تُحسَب مُقاوَمة مكوِّن من المعادلة:

$$\text{المُقاوَمة} = \frac{\text{فرق الجُهد}}{\text{شدّة التيّار الكهربائي}}$$

- كيف تؤثّر تغيُّرات فرق الجُهد أو المُقاوَمة على شدَّة التيّار الكهربائي.
- كيف تعتمد مُقاوَمة السلك على طوله ومساحة مقطعه العرضي.
- خصائص (التيّار – الجُهد).
- كيف يوضِّح تأثير تغيّرات فرق الجُهد في شدَّة التيّار الكهربائي المارّ بفتيل مصباح.

أسئلة نهاية الوحدة

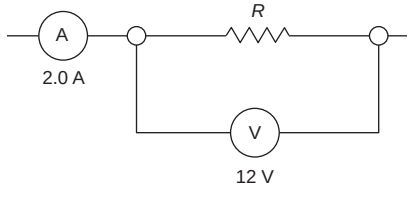
١ **أ.** اكتب اسم وحدة قياس المُقاوَمة الكهربائية.

ب. اكتب رمز هذه الوحدة.

٢ **أ.** ما المقصود **بالمُقاوَمة؟**

ب. اكتب المعادلة التي تربط المُقاوَمة R بفرق الجُهد V وشدَّة التيّار I.

٣ يُظهر الرسم التخطيطي جزءًا من دائرة كهربائية.



أ. احسب قيمة المُقاوَمة مع كتابة رمز وحدة القياس.

ب. اذكر ما يحدث لقراءة:

١. الأمّيتر عند استبدال المُقاوَمة بمُقاوَمة أخرى أكبر.

٢. الفولتميتر عند استبدال المُقاوَمة بمُقاوَمة أخرى أقلّ.

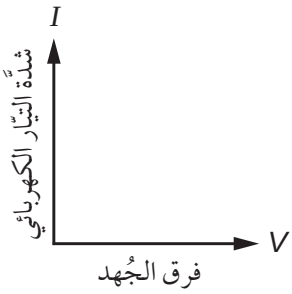
٣. الأمّيتر عندما تزداد قراءة الفولتميتر.

٤ **أ.** تيّار كهربائي شدَّته (0.25 A) يتدفَّق عبر مُقاوَمة مقدارها (100 Ω). احسب فرق الجُهد بين طرفَي هذه المُقاوَمة.

ب. مُقاوَمة مقدارها (600 Ω) وفرق الجُهد بين طرفَيها (12 V). احسب شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق عبر هذه المُقاوَمة.

٥ يغيِّر طالب فرق الجُهد V عبر مُقاوِم أومي، ويسجِّل كيف تتغيَّر شدَّة التيّار الكهربائي I.

أ. ١. مثِّل بيانيًّا النتائج المتوقّعة على المحورَين أدناه.



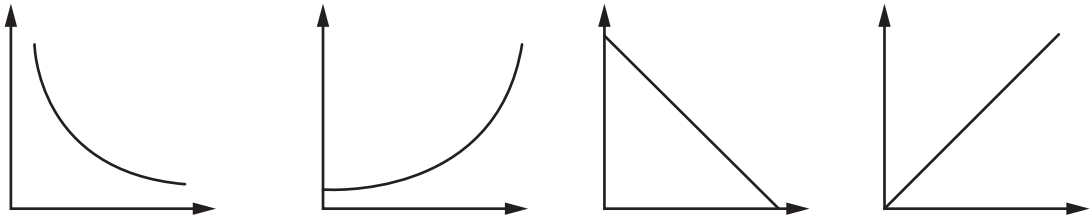
٢. صِف العلاقة بين I و V في مُقاوِم أومي.

ب. وضع الطالب مصباحًا ذا فتيل بدل المُقاوِم، وكرّر الاستقصاء.

١. ارسم تمثيلًا بيانيًّا آخر على مجموعة جديدة من المحاور، لتبيّن النتائج المتوقّعة باستخدام مصباح ذي فتيل.

٢. قارن بين التمثيل البياني في ب (١) والتمثيل البياني للمُقاوِم الأومي في أ (١) واشرح الفرق بينهما.

٦ يوضِّح الشكل أدناه أربعة تمثيلات بيانية (أ، ب، ج، د).



أكمل الجُمل الآتية باستخدام: **تتناسب طرديًّا** – **تتناسب عكسيًّا**، وتمثيل بياني واحد من التمثيلات البيانية أعلاه (أ)، (ب)، (ج)، (د).

أ. مُقاوَمة سلك ..... مع طوله.

تظهر العلاقة بين طول السلك ومُقاوَمته من التمثيل البياني ..... .

ب. مُقاوَمة سلك ..... مع مساحة مقطعه العرضي.

تظهر العلاقة بين مساحة المقطع العرضي للسلك ومُقاوَمته من التمثيل البياني ..... .

مصطلحات علمية

الأمبير (A) Ampere: وحدة قياس شدَّة التيّار الكهربائي في النظام الدولي للوحدات (SI). (ص ٦١)

الاندماج النووي Nuclear fusion: عملية تُطلق طاقة من خلال دمج نواتَين خفيفتَين صغيرتَين معًا لتشكيل نواة جديدة ثقيلة. (ص ٢٣)

الانشطار النووي Nuclear fission: عملية تُطلق طاقة من خلال انشطار نواة ثقيلة كبيرة إلى نواتَين (أو أكثر) أقلّ كتلة. (ص ١٩)

الانعكاس Reflection: التغيُّر في اتّجاه الشعاع الضوئي عندما يرتدّ عن سطح عاكس دون المرور عبره. (ص ٣٠)

الانكسار Refraction: هو انحراف شعاع من الضوء عند مروره خلال وسطَين مادّيَّين شفّافَين مختلفَين. (ص ٣٧)

الأوم (Ω) Ohm: وحدة قياس المُقاوَمة الكهربائية في النظام الدولي للوحدات (SI). (ص ٧١)

البطّارية Battery: خليَّتان كهربائيّتان أو أكثر متّصلتان على التوالي، ويمكن استخدام هذا المصطلح أيضًا بمعنى خليّة واحدة. (ص ٥٩)

البؤرة Focal point: نقطة تجمُّع الأشعَّة المُوازية للمحور بعد مرورها عبر العدسة المحدَّبة. (ص ٥٠)

التيّار الكهربائي Current: تدفُّق شحنة كهربائية. (ص ٥٩)

خاصّية (التيّار–الجُهد) Current–voltage characteristic: تمثيل بياني يوضّح كيف تعتمد شدَّة التيّار الكهربائي في المكوِّن على فرق الجُهد بين طرفَيه. (ص ٧٥)

الخلية Cell: أداة توفّر جُهدًا كهربائيًّا في دائرة كهربائية بواسطة تفاعُل كيميائي. (ص ٥٩)

الخلية الشمسية Solar cell: جهاز يحوِّل الطاقة الضوئية للشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية، عن طريق جُهد كهربائي ينتج من سقوط الضوء على الخلية. (ص ١٧)

الزاوية الحرجة Critical angle: هي زاوية السقوط التي ينكسر عندها الشعاع الساقط بزاوية مقدارها 90°. (ص ٤٤)

سرعة الضوء Speed of light: هي السرعة التي ينتقل بها الضوء (وتكون عادة في الفراغ: 3×10^8 m/s). (ص ٤١)

شدَّة التيّار الكهربائي (*I*) Current: هي المعدَّل الذي تعبر فيه الشحنات الكهربائية نقطة ما في دائرة كهربائية. (ص ٦٢)

الصورة التقديرية Virtual image: صورة لا يمكن تكوينها على شاشة. (ص ٥٤)

الصورة الحقيقية Real image: صورة يمكن تكوينها على شاشة. (ص ٥٢)

الطاقة الحرارية الجوفية Geothermal energy: الطاقة المُخزّنة في الصخور الساخنة في باطن الأرض. (ص ٢١)

الطاقة الكهرومائية Hydroelectric energy: طاقة وضع الجاذبية المُخزَّنة في مياه الأمطار والمحجوزة خلف سدّ لإنتاج الكهرباء باستخدام توربينات. (ص ٢٠)

طاقة المدّ والجزر Tidal energy: طاقة وضع الجاذبية المُخزّنة في مياه البحار أو المحيطات المحجوزة في المدّ العالي، لإنتاج الكهرباء باستخدام توربينات. (ص ٢١)

فرق الجُهد (p.d.) Potential difference: هو الطاقة اللازمة لتحريك شحنة مقدارها 1 C بين نقطتَين. (ص ٦٣)

الڤولت (V) Volt: وحدة قياس الجُهد الكهربائي (p.d. أو e.m.f.) في النظام الدولي للوحدات (SI). (ص ٦٣)

القدرة (*P*) Power: مُعدَّل نقل الطاقة من مكان إلى آخر أو تحويلها عند حدث ما أو استهلاكها. (ص ٦٥)

القوّة الدافعة الكهربائية Electromotive force (e.m.f.): فرق الجُهد الكهربائي (p.d.) بين قطبَي مصدر جُهد كهربائي (على سبيل المثال، خلية أو بطارية). (ص ٦٣)

الكولوم Coulomb (C): وحدة قياس الشحنة الكهربائية في النظام الدولي للوحدات (SI). (ص ٥٩)

المحور Axis: الخطّ الذي يمرّ عبر مركز العدسة عموديًّا على سطحها. (ص ٥٠)

مخطّط الأشعّة Ray diagram: مخطَّط يوضِّح مسارات الأشعَّة الضوئية النموذجية. (ص ٣٤)

مصادر الطاقة غير المتجدّدة Non-renewable sources: مصادر الطاقة التي تنفد باستمرارية استخدامها ثمّ تزول نهائيًّا. (ص ٢٢)

مصادر الطاقة المتجدّدة Renewable sources: مصادر الطاقة التي تتجدَّد باستمرار. (ص ٢٢)

مُعامل الانكسار Refractive index: خاصّية وسط مادّي تُحدِّد مدى الانكسار في أشعَّة الضوء. (ص ٤١)

المُقاوِم الأومي Ohmic resistor: أي موصّل تكون شدَّة التيّار الكهربائي فيه متناسبة طرديًّا مع فرق الجُهد بين طرفَيه. (ص ٧٥)

المُقاوَمة Resistance: مدى ممانعة تدفُّق تيّار كهربائي في جهاز، أو في مكوِّن في دائرة كهربائية. (ص ٧١)

الوات Watt (W): وحدة قياس القدرة في النظام الدولي للوحدات (SI). (ص ٦٥)

الوسط المادّي Medium: مادّة تمرّ عبرها موجة يمكن أن تكون صلبة أو سائلة أو غازيَّة. (ص ٣٧)

الوقود الأحفوري Fossil fuel: مادّة متكوّنة من كائنات ميتة منذ القِدم، تُستخدم كوقود، ويمكن استخدامها لإنتاج الكهرباء. (ص ١٩)

وقود الكتلة الحيوية Biomass fuel: موادّ مكوَّنة من نباتات وحيوانات كانت حيّة منذ وقت قريب، تُستخدم كوقود، ويمكن استخدامها لإنتاج الكهرباء. (ص ١٨)

مُلحق

بادئات النظام الدولي للوحدات SI

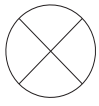
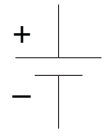
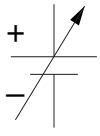
الجدول ١: النظام العشري في الأجزاء

الأجزاء	التسمية	الكسر الاعتيادي	الكسر العشري	التعبير الأسّي
العشر	ديسي (deci)	$\frac{1}{10}$	0.1	10^{-1}
جزء من المئة	سنتي (centi)	$\frac{1}{100}$	0.01	10^{-2}
جزء من الألف	ملّي (milli)	$\frac{1}{1000}$	0.001	10^{-3}
جزء من المليون	ميكرو (micro)	$\frac{1}{1000\ 000}$	0.000 001	10^{-6}
جزء من المليار	نانو (nano)	$\frac{1}{1000\ 000\ 000}$	0.000 000 001	10^{-9}

الجدول ٢: بعض المضاعفات وتسمياتها

المضاعفات	التسمية	الرقم العشري	التعبير الأسّي
العشرة	ديكا (deca)	10	10^{1}
المئة	هكتو (hecto)	100	10^{2}
الألف	كيلو (kilo)	1000	10^{3}
المليون	ميجا (mega)	1000 000	10^{6}
المليار	جيجا (gega)	1000 000 000	10^{9}

قائمة رموز مكوِّنات الدوائر الكهربائية الواردة في هذا الكتاب

الرموز الكهربائية			
			
ڤولتميتر	أمّيتر	مصباح	تقاطع موصّلات
			
خلية، بطّارية أو مصدر جُهد كهربائي	مصدر جُهد كهربائي متغيِّر	مقاوَمة	مفتاح كهربائي

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.

Ministry of Education; R. Hackenberg/GI; BorisRabtsevich/GI; Oman Ministry of Education; Steve Allen/GI; ©Mint Images-Frans Lanting/Mint Images/GI; Oman Ministry of Education; ©ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SPL; ©ROYAL GREENWICH OBSERVATORY/SPL; ©ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SPL; Jessica R. Bunger/GI; Oman Ministry of Education; ©ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SPL (x4); ©TEK IMAGE/SPL; Nafis Safiai/EyeEm/GI; Feng Yu/Shutterstock; ©ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SPL; Oman Ministry of Education (x4); mikroman6/GI; BuildPix/Construction Photography/Avalon/GI.

Key: SPL = Science Oman Photo Library, GI = Getty Images

تم بحمد الله

الفيزياء

كتاب الطالب ٩

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 موضّحة في الوحدات، فضلاً عن قاموس للمصطلحات يرد في آخر الكتاب.
- أسئلة في نهاية كل وحدة من شأنها تأهيل الطلاب لخوض الاختبارات.

إجابات الأسئلة مُتضمّنة في دليل المعلّم.

يشمل منهج الفيزياء للصف التاسع من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب النشاط
- دليل المُعلّم

www.moe.gov.om