سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم
رؤية عُمان 2040 OmanVision
نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence
الفيزياء
كتاب الطالب
٩
الفصل الدراسي الأول
الطبعة التجريبية ١٤٤٥هـ-٢٠٢٣م
CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

الطبعة التجريبية ١٤٤٥هـ-٢٠٢٣م

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 لـه
السلطان قابوس بن سعيد
–طيّب اللّه ثراه–

حضـرة صـاحـب الجـلالـة
السلطان هيثم بن طارق المعظم
– حفظه اللّه ورعاه –

سلطنـــــة عُمـــــان

(المحافظات والولايات)

النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يـا رَبَّنـا احْفَـظْ لنـا جَـلالَـةَ الـسُّـلْـطـان
وَالشَّـعْبَ فـي الأَوْطـان بِـالْـعِـزِّ والأَمـان
وَلْـيَـدُمْ مـؤَيَّـدًا عـاهِـلاً مُـمَـجَّـدًا
بِـالـنُّـفـوسِ يُـفْـتَـدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِـيـاءُ مِـنْ كِـرامِ الْعَرَبِ
فـارْتَقـي هـامَ السَّمـاء وَامْلَئي الْكَـوْنَ الـضِّيـاء
وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخـاء

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 الأولى: الطول والزمن

١-١ أهميّة القياس ١٥

١-٢ قياس الطول والحجم ١٦

١-٣ قياس الزمن ١٩

الوحدة الثانية: الحركة

٢-١ فهم السرعة ٢٥

٢-٢ التمثيل البياني (المسافة/الزمن) ٣٠

٢-٣ فهم التسارع ٣١

٢-٤ حساب السرعة والتسارع ٣٥

الوحدة الثالثة: الكتلة والوزن

٣-١ الكتلة والوزن والجاذبية ٤٢

الوحدة الرابعة: الكثافة

٤-١ الكثافة ٤٩

الوحدة الخامسة: نموذج الحركة الجزيئية البسيطة للمادة

٥-١ حالات المادة ٥٥

٥-٢ نموذج الحركة الجُزيئية البسيطة للمادة ٥٨

٥-٣ القوى والنظرية الحركية الجُزيئية البسيطة للمادة ٦٣

٥-٤ المواد الغازيّة ونموذج الحركة الجُزيئية البسيطة للمادة ٦٥

الوحدة السادسة: المادة والخصائص الحرارية

٦-١ التمدُّد الحراري ٧٠

الوحدة السابعة: قياس درجة الحرارة

٧-١ درجة الحرارة وموازين الحرارة ٧٧

٧-٢ تصميم ميزان حرارة ٨١

الوحدة الثامنة: الطاقة

٨-١ التغيّرات في الطاقة ٨٥

٨-٢ تطبيقات على تغيّرات الطاقة ٨٨

٨-٣ حفظ الطاقة ٩٠

٨-٤ حسابات الطاقة ٩٠

٨-٥ القدرة ٩٤

٨-٦ حساب القدرة ٩٥

الوحدة التاسعة: انتقال الطاقة: التوصيل والحمل الحراري والإشعاع

٩-١ التوصيل ٩٩

٩-٢ الحمل الحراري ١٠٢

٩-٣ الإشعاع ١٠٦

الوحدة العاشرة: التطبيقات والآثار المترتّبة على نقل الطاقة الحرارية

١٠-١ بعض التطبيقات والآثار المترتّبة على نقل الطاقة الحرارية ١١٢

مصطلحات علمية ١١٧

ملحق ١١٩

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 الأولى

الطول والزمن Length and Time

تُغطّي هذه الوحدة:

- كيفية قياس الطول والحجم والزمن.
- كيفية زيادة دِقَّة قياس الطول والزمن.

مصطلحات علمية

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

مصطلحات علمية

السرعة Speed: هي المسافة التي يقطعها جسم ما في وحدة الزمن.

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$$

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

تذكّر

أن الدقّة تعني مدى الاقتراب من القيمة الحقيقية لأي كمّية.

مثال

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

مثال ٢-١

أكمل راكب درّاجة مرحلة (1500 m) من السباق في (37.5 s). كم بلغت سرعته المتوسطة؟

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

المسافة: $d = 1500\ \text{m}$

الزمن: $t = 37.5\ \text{s}$

السرعة المتوسّطة: $v = ?$

الخطوة ٢: اكتب الآن المعادلة:

$$\text{السرعة المتوسّطة} = \frac{\text{المسافة الكلّية}}{\text{الزمن الكلّي}}$$

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

الخطوة ٣: عوّض قيم الكمّيات.

$$v = \frac{1500\ \text{m}}{37.5\ \text{s}}$$

الخطوة ٤: جِد الإجابة.

$$v = 40\ \text{m/s}$$

السرعة المتوسطة لراكب الدرّاجة 40 m/s.

نشاط

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

نشاط ٢-٢

قياس السرعة في المختبر

المهارات:

- يقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.
- يحدّد المتغيّرات، ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكّم في بعض المتغيّرات.
- يرسم الأشكال التخطيطيّة للجهاز ويُسمّي أجزاءه.
- يسجّل الملاحظات بطريقة منهجيّة باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقّة المناسبة.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانيّة والميل.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.

استخدم أدوات المختبر لقياس سرعة عربة مُتحرِّكة، أو سيّارة لَعِب.

تأكّد من إمكانية استخدامك بوّابة ضوئية واحدة أو بوّابتين ضوئيّتين لتحديد سرعة العربة. بعد ذلك جرّب الأمور الآتية:

١ ضع كتابًا تحت أحد طرفَي لوح طويل لتشكيل مُنحدَر طويل قليل الانحدار.

٢ ضع العربة عند الطرف العلوي للوح المُنحدِر، ثم دَعها تتحرّك إلى أسفل المُنحدَر. (تأكّد من أن شخصًا ما، يقف عند نهاية أسفل المُنحدَر لالتقاط العربة).

٣ قِس سرعة العربة قرب أسفل المُنحدَر.

٤ زِد من انحدار اللوح بإضافة مزيد من الكتب. كيف تعتمد سرعة العربة على ارتفاع الطرف العلوي من اللوح المُنحدِر؟ ضع قائمة بالمتغيِّرات التي تتحكَّم بها لجعل هذا اختبارًا عادلًا.

٥ اكتب بالتفصيل النشاط وقم بإضافة رسم تخطيطي من أجل توضيح كيفية إعداد الاختبار.

أسئلة

ترد في كل وحدة لتقييم معرفة الطلاب واستيعابهم للفيزياء.

أسئلة

١-٢ قطعة من الخشب مُتوازية المُستطيلات أبعادها (0.040 m) ، (20.5 cm) ، (240 mm). احسب حجمها بوحدة cm^3.

١-٣ رُصّت عشرة أسلاك مُتماثلة السمك معًا، فبلغ قياس سمكها الكلّي (14.2 mm). احسب:

أ. نصف قطر السلك الواحد.

ب. الحجم بوحدة mm^3 لسلك واحد إذا كان طوله (10.0 cm)، (حجم الأسطوانة $V = \pi r^2 h$، حيث r: نصف القطر و h: الارتفاع).

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

في أي عملية تغيُّر للطاقة يكون مجموع كمّية الطاقة قبل التغيُّر وبعده ثابتًا، شرط عدم وجود قوّة خارجية.

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

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- كيفية قياس الطول والحجم والزمن.
- كيفية قياس الكمّيات الصغيرة.

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

أسئلة نهاية الوحدة

١ وضّح المقصود بمُصطلح **السرعة**.

٢ **أ.** اكتب معادلة حساب السرعة المُتوسّطة.

ب. يقود بدر دراجته خلال (1.5 h). بلغت السرعة المتوسطة لبدر خلال تلك المدّة (16 km/h). لماذا **لا** يمكن أن تكون سرعة الدرّاجة (16 km/h) طوال الرحلة؟

٣ احسب سرعة كلّ من الآتي:

أ. يقطع مسعود مسافة (200 m) في (25 s). أعطِ إجابتك بوحدة (m/s).

ب. تتحرّك دودة مسافة (12 cm) في (6 s). أعطِ إجابتك بوحدة (cm/s).

ج. تُحلّق طائرة مسافة (1800 km) في (3 h). أعطِ إجابتك بوحدة (km/h).

٤ احسب المسافة التي قطعها كلّ مما يأتي:

أ. قطّة تمشي بسرعة متوسّطة (0.75 m/s) لمدة (20 s). أعطِ إجابتك بوحدة (m).

ب. شاحنة تتحرّك بسرعة متوسّطة (30 km/h) لمدة (1.2 h). أعطِ إجابتك بوحدة (km).

قائمة روابط المواد الإثرائية لمادّة الفيزياء			
النوع	الرابط	QR Code	رقم الترميز
المصطلحات العلمية	/http://ict.moe.gov.om/		55998844
أسئلة اختيار من متعدِّد	https://home.moe.gov.om/Students		55998862
الأنشطة الإثرائية	https://home.moe.gov.om/Parents		55998865

الوحدة الأولى

الطول والزمن Length and Time

تُغطّي هذه الوحدة:

- كيفية قياس الطول والحجم والزمن.
- كيفية زيادة دِقَّة قياس الطول والزمن.

١-١ أهمّية القياس

أُبرمت اتِّفاقيات دولية تتعلّق بوحدات القياس الأساسية؛ لأن من الضروري أن تكون مُعرَّفة وموحَّدة. يعني ذلك أن طول المتر في أي قياس للطول يجب أن يكون هو نفسه.

تستطيع بعض الساعات الذرّية الحديثة أن تقيس اختلافات الزمن التي تقلّ عن واحد من مليار من الثانية. قد تظنّ أنك لا تحتاج إلى كلّ هذه الدقّة، لكنّك في الواقع عندما تستخدم جهاز الملاحة المتّصل بالأقمار الاصطناعية Satellite Navigation لتحدِّد طريقك من مكان إلى آخر، فإنك تعتمد على قياسات زمنية دقيقة جدًّا. يستطيع جهاز الملاحة تحديد موقعك على الأرض بالطريقة الآتية:

يلتقط جهاز الملاحة لديك إشارات موجات الراديو من الأقمار الاصطناعية التي تدور حول الأرض على ارتفاع 24 000 km. يحسب جهاز الملاحة مقدار الزمن الذي استغرقه إرسال الإشارات ويقوم بتحديد موقعك بحسب تلك الأزمنة. ومن الجدير بالذكر أن موجات الراديو تنتقل بسرعة الضوء؛ أي إنها تقطع مترًا واحدًا خلال $\frac{1}{300\,000\,000}$ من الثانية. فإذا كنت مثلاً على بعد متر واحد من القمر الاصطناعي، فإن الإشارة ستصلك بعد مرور 0.000 000 0033 ثانية. لذلك فإنّ الدوائر الإلكترونية في جهاز الملاحة يُفترَض أن تعمل بدقّة متناهية وهي

تقيس الزمن الذي تصل فيه الإشارة. لأن أي خطأ مهما يكن متناهيًا في الصغَر سوف يؤدّي إلى تحديد خاطئ لموقعك. فإذا بلغ الخطأ على سبيل المثال 3 نانو ثانية سيكون الخطأ في موقعك 1 m.

تذكّر

أن الدقّة تعني مدى الاقتراب من القيمة الحقيقية لأي كمّية.

١-٢ قياس الطول والحجم

قياس الطول

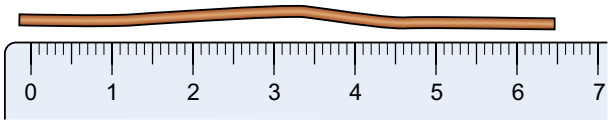
نُجري في الفيزياء قياسات لأطوال مختلفة بكثرة، كأن نقيس طول جزء من سلك، أو ارتفاع السائل في أنبوبة، أو المسافة التي يقطعها جسم.

يعدّ قياس الأطوال بالمسطرة أمرًا مألوفًا. ولكن قد تحتاج إلى التفكير في مدى دقّة قياساتك عند استخدامك للمسطرة. فإذا أردتَ قياس طول جزء من السلك (الشكل ١-١):

- يجب أن يكون السلك مستقيمًا ويحاذي تدريج المسطرة. (قد يكون هذا الأمر صعبًا باستخدام سلك منحنٍ).
- انظر إلى طرفَي السلك، هل هما مقطوعان بشكل منتظم أم غير منتظم؟ هل من الصعب تحديد نهايتَي السلك؟
- انظر إلى علامات التدريج بالمسطرة، قد تكون متباعدة بمعدّل 1 mm، ولكنها قد تكون عريضة. ضع أحد طرفَي السلك مُحاذيًا للصفر في تدريج المسطرة، قد يكون تحديد ذلك صعبًا، بسبب عرض علامات التدريج.
- انظر إلى الطرف الآخر للسلك، واقرأ تدريج المسطرة المُحاذي له، قد يكون التحديد هنا صعبًا أيضًا.

والآن، لديك قياس، وقد تستطيع أن تحدّد طول السلك مُقرّبًا إلى أقرب ملّيمتر (mm)، ولكنَّ هناك أمر آخر يجب أن تفكّر به، وهو المسطرة نفسها، فكيف يمكنك التأكد من أنّ تدريجها دقيق ومضبوط؟ وهل يفصل بين علامة التدريج الموجودة في بداية المسطرة المترية وعلامة التدريج الموجودة في نهايتها متر واحد بالضبط؟ ذلك أنّ أيّ خطأ خلال تسجيل القراءة مهما يكن صغيرًا، سوف يؤدّي إلى نتيجة غير دقيقة في القياس.

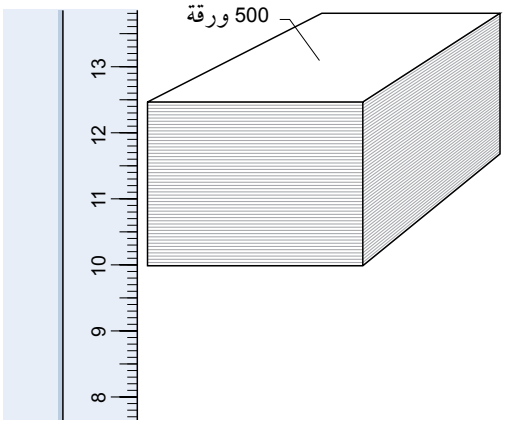
النقطة التي يجب أن تدركها هنا هي ضرورة التفكير الناقد في القياسات التي تُجريها مهما بدت بسيطة. وعليك، بالتالي، مراعاة الطريقة التي تستخدمها والأداة (الأداة في هذه الحالة هي المسطرة).



الشكل ١-١ القياسات البسيطة، كإيجاد طول سلك، لا تزال بحاجة إلى مزيد من الدقّة

المزيد من تقنيات القياس

إذا توجّب عليك قياس أطوال صغيرة مثل سمك سلك، يُفضّل أن تقيس سمك عدّة أسلاك مُتماثلة، ثم تقسم القياس الذي حصلت عليه، على عدد الأسلاك. تستطيع استخدام الطريقة نفسها عند قياس شيء رقيق جدًّا، كسمك ورقة. خُذ حُزمة من 500 ورقة وقِس سمكَها بالمسطرة (الشكل ١-٢). قسّم السمك الذي قسته على 500 لإيجاد سمك الورقة الواحدة.



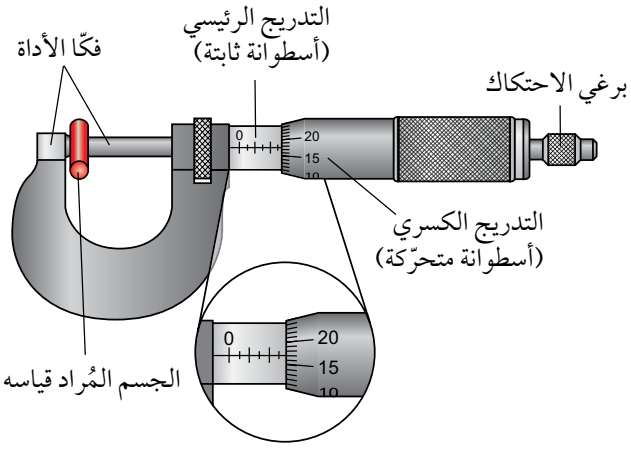
الشكل ١-٢ إجراء قياسات مُتعدّدة

ومن أجل قياس بعض الأطوال كالخطوط المنحنية، يمكنك أن تستعين بخيط تجعله يحاذي طول الخط المنحني، ثم تحدِّد علامة على أيّ من طرفَي الخيط، ثم تجعله بعد ذلك يحاذي طول المسطرة لإيجاد طوله. تُستخدم هذه الطريقة أيضًا لقياس مُحيط جسم أسطواني، مثل قضيب خشبي، أو مخبار مدرّج.

الميكرومتر

تُعدّ المسطرة أداة قياس بسيطة لها استخدامات مُتعدِّدة. ولكن هناك أدوات مُصمَّمة لإعطاء دقّة أكبر في القياس، ومنها الميكرومتر (الشكل ١-٣)، والذي يُستخدَم لقياس أبعاد صغيرة جدًّا، كسمك سلك.

للميكرومتر تدريجان: التدريج الرئيسي، وهو مُثبّت على محوره، والتدريج الكسري، وهو مثبّت على أسطوانة مُتحرّكة. يحتوي التدريج الكسري على 50 قسمًا، حيث تمثِّل الدورة الكاملة 0.50 mm.



الشكل ١-٣ تركيب الميكرومتر الذي يُستخدَم لقياس أبعاد صغيرة جدًّا

تكون طريقة القياس على النحو الآتي:

- تُدار الأسطوانة المُتحرّكة حتى ينطبق فكّا الأداة على الجسم المُراد قياس سمكه. ولضبط حصر الجسم بين الفكَّين يُستخدَم برغي الاحتكاك.
- اقرأ التدريج الرئيسي مقرّبًا إلى أقرب 0.5 mm.
- اقرأ الكسر الإضافي للملّيمتر من التدريج الكسري.
- اجمع قراءة التدريج الرئيسي والتدريج الكسري للحصول على سمك الجسم المُراد قياسه.

إذا أخذنا الشكل ١-٣ مثلاً، نجد أنّ:

سمك القضيب

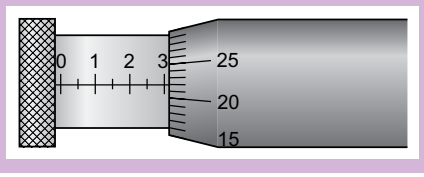
= قراءة التدريج الرئيسي + قراءة التدريج الكسري

= 0.17 mm + 2.5 mm

= 2.67 mm

سؤال

١-١ حدِّد القياس الموضّح في الرسم التخطيطي على الميكرومتر.



قياس الحجم

هناك طريقتان لقياس الحجوم، بحسب شكل الجسم: هل هو مُنتظِم أم غير مُنتظِم؟

فالجسم ذو الشكل المُنتظِم، مثل قطعة متوازية المستطيلات، تقاس أطوال جوانبها الثلاثة المختلفة، ويُضرَب بعضُها في بعض. أما الأجسام ذات الأشكال المُنتظِمة الأخرى، كالكُرات أو الأسطوانات، فقد يتطلب الأمر إجراء قياس أو قياسين لكل منها حسب شكله، ثم البحث عن الصيغة الرياضية الخاصة بحجم الجسم.

أمّا السوائل، فنقيس حجمها باستخدام المخبار المُدرَّج. فكّر جيدًا في اختيار المخبار المُدرَّج. فمن غير المناسب أن تستخدم مخبار حجمه 1 L لقياس كمّية صغيرة من سائل حجمها 5 mL مثلاً. إذ إنك سوف تحصل على إجابة أكثر دقّة عندما تستخدم مخبار حجمه 10 mL.

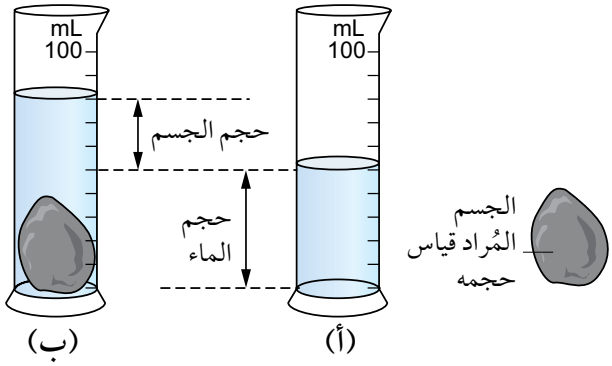
تذكّر

أن هذه المخابير مُصمَّمة لتنظر إلى التدريج عليها أفقيًّا، وليس بزاوية مائلة، وتقرأ التدريج عند مستوى الجزء السفلي من سطح السائل المُقعَّر.

قياس الحجم بطريقة الإزاحة

تفتقر معظم الأجسام إلى شكل منتظِم. لذلك لا نستطيع إيجاد حجومها ببساطة عن طريق قياس أطوال جوانبها. وفي ما يأتي شرح لكيفية إيجاد حجم جسم غير مُنتظِم. وهذه التقنية تُعرَف بقياس الحجم بطريقة الإزاحة:

- اختر مخبارًا مُدرّجًا أكبر من حجم الجسم المُراد قياس حجمه بثلاث أو أربع مرّات واملأه جُزئيًّا بالماء (الشكل ١-٤ (أ))، بحيث يكفي الماء لغمر الجسم. دوِّن حجم الماء.
- اغمِر الجسم في الماء. سوف يرتفع مستوى الماء في المخبار (الشكل ١-٤ (ب)). هذه الزيادة في حجم الماء هي حجم الجسم، ويمكنك حسابها بالعملية الآتية: (قراءة مستوى الماء بعد وضع الجسم فيه - قراءة مستوى الماء قبل وضع الجسم فيه).



الشكل ١-٤ قياس الحجم بطريقة الإزاحة

وحدات الطول والحجم

نستخدم في الفيزياء بشكل عام وحدات SI (وهو اختصار لـ International System of Units، أو نظام الوحدات الدولي). فوحدة الطول في النظام الدولي SI هي المتر (m).

يوضِّح الجدول ١-١ بعض وحدات الطول والحجم في نظام الوحدات SI. لتحديد حجوم السوائل، نستخدم في أكثر الأحيان وحدتَي اللتر (L) والمليلتر (mL). لاحظ أن وحدتَي اللتر والمليلتر للحجم ليستا من الوحدات المُعتمَدة في نظام SI. اللتر الواحد (1 L) يُعادل $1\ dm^3$، والمليلتر الواحد (1 mL) يُعادل $1\ cm^3$.

الكمية	الوحدة
الطول	متر (m)
	1 ديسيمتر (dm) = 0.1 m
	1 سنتيمتر (cm) = 0.01 m
	1 ملّيمتر (mm) = 0.001 m
	1 ميكرومتر (μm) = 0.000 001 m
	1 كيلومتر (km) = 1000 m
الحجم	متر مُكعَّب (m^3)
	1 سنتيمتر مُكعَّب (cm^3) = 0.000 001 m^3 = 1 mL
	1 ديسيمتر مُكعَّب (dm^3) = 0.001 m^3 = 1 L

الجدول ١-١ بعض وحدات الطول والحجم في نظام الوحدات SI

تذكّر

أن الوحدة لا تقلّ أهمّية عن القيمة العددية للكمّية، انتبه عند قراءة الوحدات وكتابتها. فإذا كتبت، مثلاً، mm بدل cm تكون إجابتك خطأ. وتكون الإجابة الصحيحة عشرة أمثال إجابتك.

نشاط ١-١

قياس الأطوال والأحجام

المهارات:

- يصف الخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يبرّر اختيار الأجهزة والموادّ والأدوات لاستخدامها في إجراء التجارب.
- يسجّل الملاحظات بطريقة منهجيّة باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقّة المناسبة.

- **يحدّد الأسباب المُحتمَلة لعدم دقّة البيانات أو الاستنتاجات، ويقترح التحسينات المناسبة للخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة.**

تدرّب على قياس الأطوال والأحجام. وفي أثناء ذلك، قيّم الطريقة التي تستخدمها.

١ قِس طول قطعة لَعِب (مكعّب).

٢ ضع عشرًا من قِطَع اللَّعِب المتماثلة جنبًا إلى جنب في صف واحد. قِس طول الصف واحسب متوسِّط طول القطعة الواحدة.

٣ اكتب تعليقًا على هاتين الطريقتَين في إيجاد طول القطعة. أي الطريقتين أفضل؟ لماذا؟

٤ كرّر الخطوتين ١ و ٢ لإيجاد متوسِّط قطر كُرات معدنية مُتدحرِجة (ball-bearing) أو متوسِّط سمك سلك.

٥ قيِّم الطرق التي استخدمتَها.

٦ قِس طول الأبعاد الثلاثة لقطعة مُتوازية المستطيلات، واحسب حجمها.

٧ قِس حجمها بطريقة الإزاحة. هل وجدتَ إحدى الطريقتين أفضل من الثانية؟ علِّل إجابتك.

٨ انظر إلى حجم حصاة، وقارنها بحجم القطعة المُتوازية المستطيلات. هل الحصاة أكبر حجمًا أم أصغر؟ قدّر حجمها.

٩ قِس حجم الحصاة بطريقة الإزاحة. اختر الحجم الأنسب للمخبار المدرَّج واشرح سبب اختيارك. هل كان تقديرك جيدًا؟

أسئلة

١-٢ قطعة من الخشب مُتوازية المُستطيلات أبعادها (0.040 m) ، (20.5 cm) ، (240 mm). احسب حجمها بوحدة cm^3.

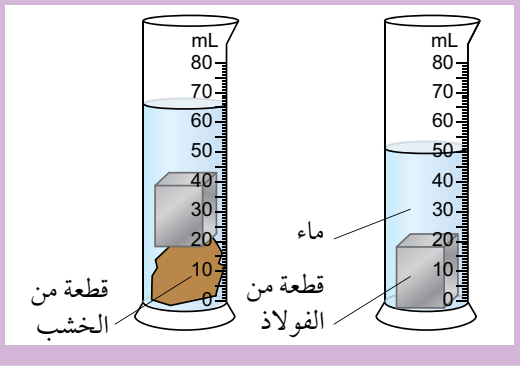
١-٣ رُصّت عشرة أسلاك مُتماثلة السمك معًا، فبلغ قياس سمكها الكلّي (14.2 mm). احسب:

أ. نصف قطر السلك الواحد.

ب. الحجم بوحدة mm^3 لسلك واحد إذا كان طوله (10.0 cm)، (حجم الأسطوانة $V = \pi r^2 h$، حيث r: نصف القطر و h: الارتفاع).

سؤال

١-٤ يمكن قياس حجم قطعة من الخشب (تطفو على سطح الماء) كما هو مبيّن أدناه. اكتب فقرة مُختصَرة تصف فيها الخطوات المُتّبعة في قياس حجمها. سجِّل حجم قطعة الخشب.



١-٣ قياس الزمن

يستخدم مُدرِّب ألعاب القوى في الصورة ١-١ ساعة إيقاف لرصد زمن العدّاء. فجزء من الثانية (ربما 0.01 s فقط) قد يكون الفرق بين فوزه بالمركز الأول أو الثاني أو الثالث. إلا أن الأمر يختلف في الماراثون، حيث يستغرق السباق أكثر من ساعتين، ويتمّ رصد زمن العدّائين مقرَّبًا إلى أقرب ثانية.

الصورة ١-١ يستخدم مُدرِّب ألعاب القوى ساعة إيقاف لرصد زمن العدّاء، ويظهر في الصورة العدّاء العُماني بركات الحارثي خلال مشاركته في سباق الـ 100 m خلال البطولة الآسيوية لألعاب القوى في الدوحة 2019 م

قد تحتاج إلى تسجيل درجة حرارة الماء في وعاء كل دقيقة، أو قياس الزمن الذي يستغرقه عدّاء لقطع مسافة ما. ولهذا النوع من القياسات يمكنك أن تستخدم أنواعًا مختلفة من ساعات الإيقاف. وقد تصادف نوعين منها:

- ساعة الإيقاف **التناظرية**: هي الساعة التي تُشبِه الساعة التقليدية، والتي تدور عقاربها وتجد الوقت عليها بالنظر إلى حيث تشير العقارب على تدريج الساعة (الصورة ١-٢).

الصورة ١-٢ يمكن لساعة الإيقاف التناظُرية هذه قياس الفترات الزمنية التي تتراوح بين 0.1 ثانية و 15 دقيقة

تحتوي ساعة الإيقاف التناظرية على مُؤشِّرَين (عقرَبَين). يتحرَّك المُؤشِّر الصغير في الدائرة الداخلية على تدريج مُعايَر بالدقائق من 0 إلى 15 دقيقة، وبتقسيمات زمنية كلّ منها 0.5 دقيقة. ويتحرَّك المُؤشِّر الأكبر في الدائرة الخارجية على تدريج مُعايَر بالثواني من 0 إلى 30 s وبتقسيمات زمنية كل منها 0.1 s. تُشير القراءة في ساعة الإيقاف التناظرية الموضَّحة في الصورة ١-٢ أن الزمن 0 دقيقة و 28.9 ثانية. ويكون لبعض الساعات التناظرية تدريج خارجي يمتدّ من 0 إلى 60 s وبتقسيمات زمنية كل منها 0.2 s.

- ساعة الإيقاف **الرقمية**: هي الساعة التي تُعطي قراءة مُباشرة للزمن بالأرقام (الصورة ١-٣).

الصورة ١-٣ يمكن لساعة الإيقاف الرقمية هذه قياس الفترات الزمنية التي تتراوح بين 0.01 ثانية و 10 ساعات

تحتوي ساعة الإيقاف الرقمية على شاشة تُبيّن ساعات ودقائق وثواني وأجزاء من مئة من الثانية. ويُبيّن الزمن المُوضَّح في صورة ساعة الإيقاف هذه 0 ساعة و 3 دقائق و 59 ثانية و 46 جزءًا من الثانية.

لا شكّ في أن ساعة الإيقاف الرقمية أكثر دقّة من ساعة الإيقاف التناظُرية بعشر مرّات. ذلك أن ساعة الإيقاف الرقمية دقيقة في قياسها إلى حدّ 0.01 s، في حين أن ساعة الإيقاف التناظُرية دقيقة في قياسها إلى حدّ 0.1 s، ولكن دقّة أي زمن مُقاس محدودة بزمن استجابة الإنسان، والذي يتراوح لمعظم الناس بين 0.2 و 0.3 s، وهذا يعني أنك عندما ترى شيئًا وتُريد رصد زمنه فسوف تستغرق بالفعل (0.2 – 0.3 s) قبل أن تتمكَّن من بدء تشغيل ساعة الإيقاف. ويحدث كذلك تأخير مُماثِل في زمن الاستجابة في نهاية فترة رصد الزمن أيضًا.

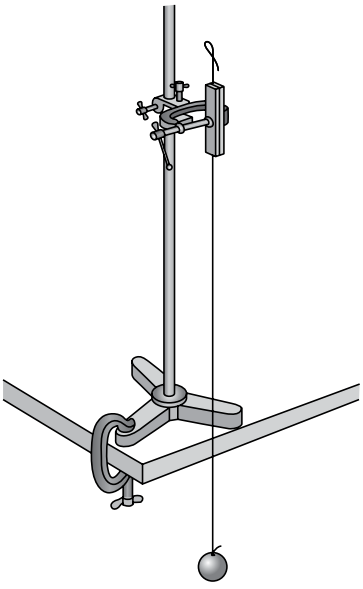
عند رصد زمن جسم مُتحرِّك بانتظام، مثل تأرجُح بندول، يُمكن إجراء عدّ تنازلي في كل مرّة يتأرجح فيها

البندول. ابدأ بالعد التنازلي من أبعد مكان يبدأ فيه البندول بالتأرجح (يمينًا أو يسارًا) «ثلاثة، اثنان، واحد، صفر» ثم ابدأ بتشغيل ساعة الإيقاف مع العدد صفر. من خلال توقّع زمن بدء التوقيت يمكن الحصول على نتيجة أكثر دقّة.

قد تحتاج عند دراسة الحركة إلى قياس الزمن الذي يستغرقه جسم يتحرَّك بسرعة بين نقطتين. في هذه الحالة تستخدم جهازًا، يُسمّى البوّابة الضوئية، مُتَّصلاً بمُؤقِّت إلكتروني. يعمل هذا المؤقِّت بالطريقة التي تُستخدَم لرصد زمن العدّائين في ألعاب القوى الكبرى الحديثة. يبدأ المُؤقِّت الإلكتروني بالرصد، عندما يُطلِق المُشرِف على اللعبة إشارة البدء، ويتوقَّف عندما يعبر العدّاء خط النهاية. تجد المزيد عن كيفية استخدام البوّابة الضوئية في الوحدة الثانية.

قياس الفترة الزمنية القصيرة

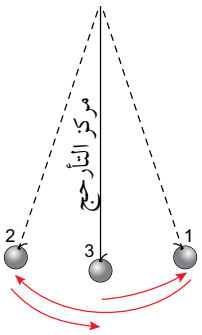
يوضِّح الشكل ١-٥ بندولًا بسيطًا. يُسمّى الجسم المُعلَّق بطرف الخيط كُرة البندول، ويكون طرف الخيط الآخر مُحكَم التثبيت في أعلى الحامل. فإذا سحبتَ كرة البندول برفق إلى أحد الجانبين ثم تركتها، فإن البندول سيتأرجح من جانب إلى آخر.



الشكل ١-٥ بندول بسيط

تذكّر

أن «التأرجح الواحد الكامل» لبندول هو حركة كرة البندول من جانب إلى آخر والعودة مرة أخرى إلى الجانب الأول. قد يكون من الأسهل عليك، عند استخدام ساعة إيقاف، أن تبدأ التوقيت عندما يصل البندول إلى مركز التأرجح، ثم يكمل تأرجحه إلى الموضع (1)، ثم إلى الموضع (2)، والعودة إلى مركز التأرجح (3).



يُسمّى زمن التأرجح الواحد الكامل لبندول **بالزمن الدوري Period**. وعادة يكون الزمن الدوري الواحد قصيرًا جدًّا ولا يمكن قياسه بدقّة. ولكن بما أن البندول يتأرجح بمعدَّل ثابت، يمكنك استخدام ساعة إيقاف كي تقيس الزمن لعدد كبير من التأرجحات (ربما 20 أو 50)، ثم تحسب الزمن المتوسِّط لكلّ تأرجح. عندما تقيس الزمن لعدد كبير من التأرجحات، تكون دقّة قياساتك أفضل ممّا لو كنتَ تقيس زمن تأرجح واحد فقط.

مصطلحات علمية

الزمن الدوري Period: زمن التأرجُح الواحد الكامل لبندول.

أسئلة

١-٥ تعرض أجهزة تلفاز 25 صورة كل ثانية، تسمّى «الإطارات». ما الفاصل الزمني بين كل إطار والإطار الذي يليه؟

١-٦ تم رصد زمن تأرجحات بندول، فكان: أولاً لـ 20 تأرجحًا ثم لـ 50 تأرجحًا:

زمن الـ 20 تأرجحًا = (17.4 s)

زمن الـ 50 تأرجحًا = (43.2 s)

احسب متوسّط الزمن لكل تأرجُح في كل حالة.

سوف تتباين قيمة الزمن الدوري للبندول في كل حالة. اقترح بعض الأسباب المخبرية المحتملة لهذا التباين.

نشاط ١-٢

الزمن الدوري لبندول

المهارات:

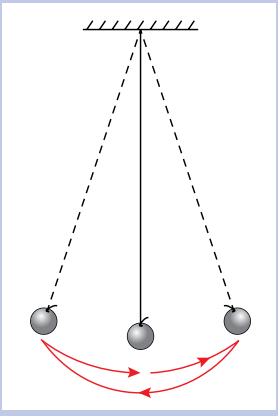
- يسجّل الملاحظات بطريقة منهجيّة باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقّة المناسبة.
- يصف الخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانيّة والميل.

سوف تقيس في هذه التجربة الزمن الذي يستغرقه تأرجح واحد كامل للبندول. تلزمك ساعة إيقاف لرصد زمن التأرجحات. قد يكون لديك ساعة أو هاتف محمول يعمل كساعة إيقاف رقمية. يُحسَب زمن تأرجُح واحد كامل لبندول من المركز إلى اليمين ثم إلى اليسار والعودة إلى المركز. ويسمّى ذلك الزمن بالزمن الدوري لبندول.

١ دع البندول يتأرجح. من الأسهل أن تشغّل الساعة وتوقفها عندما يمر البندول بمركز تأرجحه، أي عندما يكون خيط البندول رأسيًّا. قِس زمن تأرجح واحد كامل، وكرّر هذا القياس لعشر مرّات. والآن احسبِ المتوسِّط بعد أن تُدرك مقدار الاختلاف في القيَم.

٢ قِس الزمن لمجموعة متتالية من 20 تأرجحًا كاملًا، وجِد متوسّط الزمن لتأرجح واحد كامل. اشرح لماذا تُعدّ هذه الطريقة أفضل من قياس زمن تأرجح واحد كامل.

٣ كرّر الخطوة ٢. ما مدى دقّة نتائجك؟ تذكَّر أن الدقّة (precision) هي مدى الاقتراب من القيمة الحقيقية.



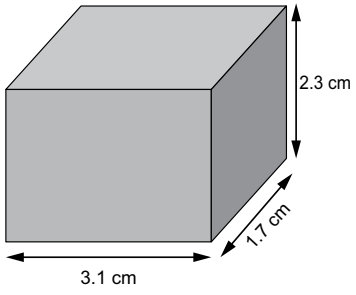
ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- كيفية قياس الطول والحجم والزمن.
- كيفية قياس الكمّيات الصغيرة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يُظهِر الرسم التخطيطي أدناه أبعاد قطعة من الخشب.

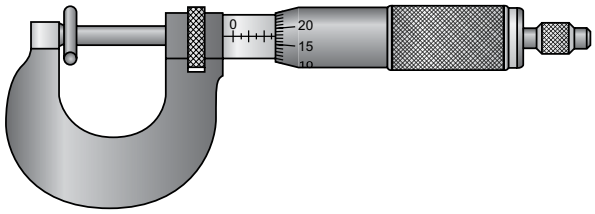


أ. سمِّ الأداة التي يمكن استخدامها لقياس أبعاد قطعة الخشب.

ب. احسب حجم قطعة الخشب مع ذِكر وحدة القياس.

٢ لدى مُهنّد مسطرة مُدرَّجة بالملّيمترات وكتاب من 263 صفحة. صف كيف يستطيع مُهنّد استخدام تلك المسطرة لإيجاد سمك صفحة **واحدة**.

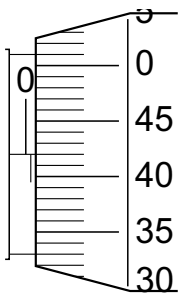
٣ يُبيّن الرسم الآتي أداة تُستخدَم لقياس الأبعاد الصغيرة.



أ. سمِّ هذه الأداة.

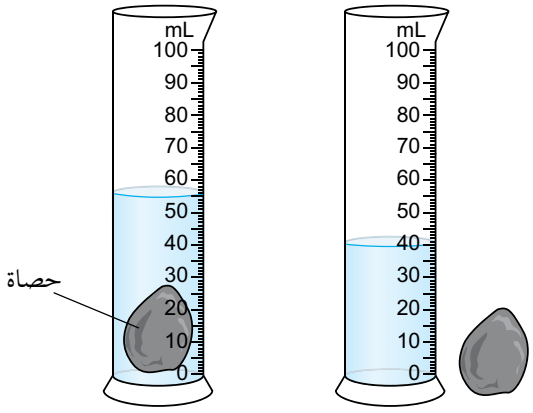
ب. يستخدم طارق هذه الأداة لقياس قُطر سلك.

يُوضّح الرسم التخطيطي أدناه قراءة قُطر السلك على تلك الأداة.



دوّن قُطر السلك مع ذِكر وحدة القياس.

٤ يستخدم وائل مِخبارًا مُدرّجًا وماء لإيجاد حجم حصاة صغيرة، يُبيّن الرسم التخطيطي أدناه طريقة القياس.



أ. استخدم بيانات الرسم التخطيطي أعلاه لتحدّد حجم الحصاة الصغيرة. بيّن كيف توصّلت إلى الإجابة، مع ذِكر وحدة القياس.

ب. لدى مُحمَّد قطعة بلاستيكية غير مُنتظمة الشكل، يمكن إدخالها في المخبار المدرّج نفسه كما يُبيّن الرسم التخطيطي أعلاه؛ لكنّ تلك القطعة البلاستيكية تطفو على سطح الماء. صف كيف يستطيع مُحمَّد استخدام المخبار المُدرّج والماء لإيجاد حجم القطعة البلاستيكية. يُمكنك اقتراح استخدام أدوات أُخرى.

٥ لدى مجموعة من الطلاب بندول، زمن تأرجُحه الواحد الكامل أقلّ من ثانية. بدأ الطلاب يتناقشون في أفضل طريقة لقياس زمن تأرجُح واحد كامل.

قال فهد: «أستخدم ساعة إيقاف لقياس زمن تأرجُح واحد كامل، وأكرّر ذلك ثلاث مرّات وأحسب متوسّط الأزمنة الثلاثة.

وقال عُمَر: «أستخدم ساعة إيقاف لقياس زمن عشرة تأرجُحات كاملة، وأقسم الزمن على 10 للحصول على زمن تأرجُح واحد كامل.

أيّ من الطريقتَين تعتقد أنها أدقّ في تسجيل الزمن الدوري للبندول؟ وضّح إجابتك.

الوحدة الثانية

الحركة Motion

تُغطّي هذه الوحدة:

- تفسير التمثيلَين البيانيَّين (المسافة/الزمن) و (السرعة/الزمن).
- حساب السرعة والمسافة.
- حساب التسارع.
- حساب تسارع السقوط الحرّ.
- الفرق بين السرعة والسرعة المتَّجهة.

٢-١ فهم السرعة

إذا كنت تقود على طريق سريع، أو في مدينة كبيرة، فقد تكون خاضعًا للمراقبة (انظر الصورة ٢-١). تعمل الكاميرات المُثبَّتة على جوانب المُنحدَرات وعلى الجسور على مراقبة حركة المركبات، وكشف السائقين الذين يخالفون قوانين السرعة أو إشارات المرور. وتعمل بعض الكاميرات على مراقبة انسيابية تدفُّق المركبات، كي تُمكّن مسؤولي إدارة المرور من اتِّخاذ إجراءات عند حدوث ازدحام مروري أو وقوع حوادث. وفي بعض الأماكن المُزدحِمة قد تقوم شرطة المرور بمراقبة الطرقات من الطائرات المروحية.

يجب أن ينتبه السائقون لسرعة مركباتهم، ذلك أن العدّادات التي في مركباتهم تخبرهم بسرعتهم في كل لحظة. وتستطيع شرطة المرور استخدام رادار السرعة الذي يُزوّدها بقراءة فورية لسرعة السيّارات. ويمكن قياس زمن مرور السيّارة بين نقطتين ثابتتَين على الطريق، وحساب سرعة السيّارة من خلال معرفة المسافة بين النقطتَين.

سوف نلقي في هذه الوحدة نظرة على مفاهيم الحركة والسرعة. وسنتناول في الصف العاشر كيفية توصُّل الفيزيائيين إلى فهم القوى المعنيَّة بالحركة، وكيفية ضبطها لجعل انتقالنا اليومي مُمكنًا.

الصورة ٢-١ كاميرات مراقبة حركة المرور في أحد شوارع مدينة مسقط. تُستخدَم الكاميرات من أجل ضمان السلامة وتنظيم حركة المرور

المسافة والزمن والسرعة

رأينا أنّ هناك أكثر من طريقة لتحديد **سرعة Speed** جسم مُتحرِّك، وهي مُعرّفة على النحو الآتي.

مصطلحات علمية

السرعة Speed: هي المسافة التي يقطعها جسم ما في وحدة الزمن.

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$$

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

يعتمد تحديد السرعة على قياس:

- **المسافة الكلّية** المقطوعة بين نقطتَين.
- **الزمن الكلّي** الذي يستغرقه الانتقال بين هاتَين النقطتَين.

عندما ينتقل جسم بسرعة ثابتة، يمكننا استخدام معادلة السرعة الواردة في التعريف السابق. فإذا كانت المسافة التي تقطعها مركبة، مثلاً، 10 m في 1 s، فإنها ستنتقل 20 m في 2 s، وتكون سرعتها عندئذ 10 m/s.

يمكننا كذلك إيجاد **السرعة المُتوسّطة Average speed** بين نقطتين:

$$\text{السرعة المُتوسّطة} = \frac{\text{المسافة الكلّية}}{\text{الزمن الكلّي}}$$

لاحظ أن المعادلة تعطينا السرعة المتوسّطة للمركبة، ولا يمكننا أن نعرف إن كانت المركبة تنتقل بسرعة ثابتة، أو مُتغيّرة. يمكنك مثلاً، استخدام ساعة إيقاف لقياس الزمن الذي يستغرقه المتسابقون في سباق الدرّاجات لقطع مسافة محدَّدة، ولتكن 1500 m (انظر الصورة ٢-٢). وإذا قسمتَ المسافة على الزمن تحصل على السرعة المُتوسّطة. لكنّك لا تعلم إن كان الرياضي يُسرع أو يُبطىء على طول الطريق التي سلكها.

الصورة ٢-٢ قياس زمن راكب درّاجة لمسافة مُحدَّدة خلال طواف عُمان 2019 لسباق الدرّاجات الهوائية – الجبل الأخضر

يبيّن الجدول ٢-١ الوحدات المختلفة التي يمكن استخدامها في حساب السرعة. وكما رأينا في الوحدة الأولى، فإن وحدات SI (نظام الوحدات الدولي) هي الوحدات «القياسية» المُستخدَمة في الفيزياء. لكن، على الصعيد العملي، يتمّ استخدام وحدات كثيرة أخرى. ففي برامج الفضاء الأمريكية، كثيرًا ما تُستخدم وحدة القدم لقياس الارتفاعات فوق سطح الأرض، بينما تُحسب سرعة المركبة الفضائية بوحدة العقدة (الميل البحري في الساعة).

تذكّر

أن الوحدة m/s (متر في الثانية) تعني أن تقسم المسافة (بالأمتار، m) على الزمن (بالثواني، s) لإيجاد السرعة.

الكمّية	وحدة SI	وحدات أخرى	
المسافة	متر (m)	كيلومتر (km)	ميل بحري (nmi)
الزمن	ثانية (s)	ساعة (h)	ساعة (h)
السرعة	متر في الثانية (m/s)	كيلومتر في الساعة (km/h)	ميل بحري في الساعة (عقدة)

الجدول ٢-١ الكمّيات ورموز الوحدات في قياس السرعة

مثال ٢-١

أكمل راكب درّاجة مرحلة (1500 m) من السباق في (37.5 s). كم بلغت سرعته المتوسطة؟

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

المسافة: $d = 1500\ m$

الزمن: $t = 37.5\ s$

السرعة المتوسّطة: $v = ?$

الخطوة ٢: اكتب الآن المعادلة:

$$\text{السرعة المتوسّطة} = \frac{\text{المسافة الكلّية}}{\text{الزمن الكلّي}}$$

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

الخطوة ٣: عوّض قيم الكمّيات.

$$v = \frac{1500\ m}{37.5\ s}$$

الخطوة ٤: جِد الإجابة.

$$v = 40\ m/s$$

السرعة المتوسطة لراكب الدرّاجة 40 m/s.

أسئلة

٢-١ إذا قِستَ المسافة التي قطعَتها حلزونة بالسنتيمتر والزمن الذي استغرقته بالدقائق، فأي وحدة ستستخدم لسرعتها؟

٢-٢ أي مما يأتي لا يمكن أن يكون وحدة سرعة؟

m•s ، m/s ، km•h ، s/m ، km/h

٢-٣ يبيّن الجدول أدناه معلومات عن ثلاث سيّارات تسير على طريق سريع.

المركبة	المسافة المقطوعة (km)	الزمن المُستغرق (min)
السيارة (أ)	80	50
السيارة (ب)	72	50
السيارة (ج)	85	50

أ. أي سيارة كانت الأسرع؟

ب. أي سيارة كانت الأبطأ؟

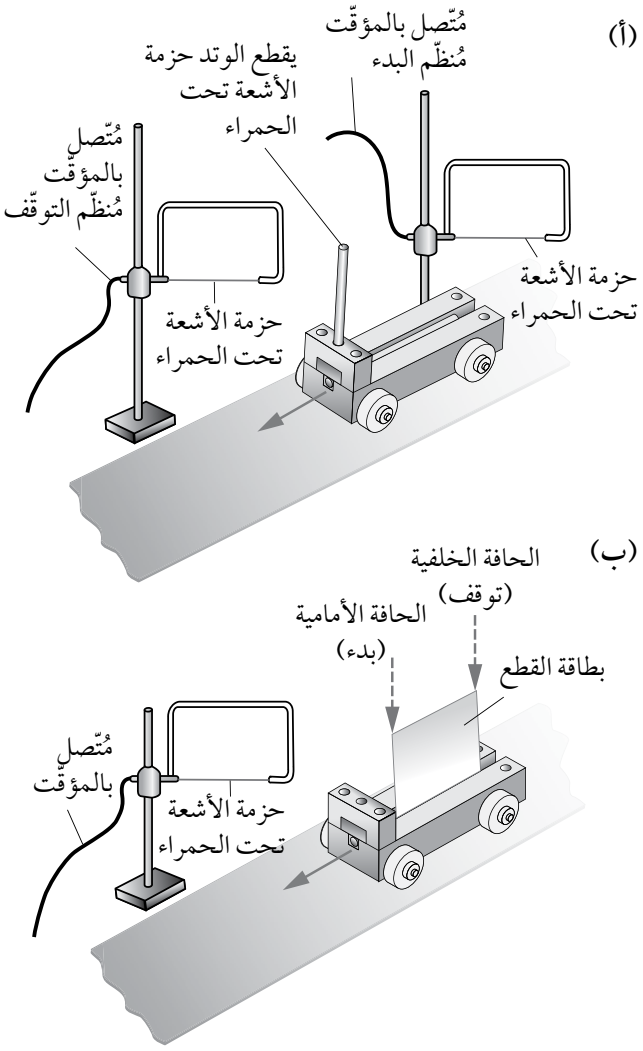
قياس السرعة في المُختبَر

تستطيع تنفيذ كثير من التجارب في المُختبَر، لتقيس سرعة عربة مُتحرِّكة أو سيّارة لَعِب. يوضح الشكل ٢-١ كيف يتمّ ذلك باستخدام **بوّابتَين ضوئيّتين Light gates** كما في الشكل ٢-١ (أ) مُتّصلتَين بمؤقّت إلكتروني أو (بجهاز حاسوب) أو باستخدام **بوّابة ضوئية** واحدة كما في الشكل ٢-١ (ب). وللبوابة الضوئية حزمة (غير مرئية) من الأشعّة تحت الحمراء.

يقطع الوتد المُتّصل بالعربة المبيّنة في الشكل ٢-١ (أ) حزمة البوابة الضوئية الأولى، فيعمل المُؤقّت. وعندما يقطع الوتد حزمة البوّابة الثانية، يتوقّف المُؤقّت عن العمل. وبذلك يبيّن المُؤقّت الزمن الذي استغرقته العربة لاجتياز المسافة بين البوّابتين الضوئيتين.

تُثبَّت بطاقة تُسمّى **بطاقة القطع Interrupt card** على العربة المُبيّنة في الشكل ٢-١ (ب). فعندما تمرّ العربة عبر البوّابة، تقطع الحافة الأمامية لبطاقة القطع حزمة

الأشعّة تحت الحمراء، فيعمل المُؤقّت. وعندما تجتاز الحافة الخلفية لبطاقة القطع البوابة، يتوقّف المؤقّت. وكلما كانت العربة تتحرّك أسرع، كان الزمن الذي تُقطع فيه الحزمة أقصر. وبمعرفة طول بطاقة القطع، يمكن حساب سرعة العربة.



الشكل ٢-١ استخدام البوّابات الضوئية لقياس سرعة عربة مُتحرّكة في المختبر

نشاط ٢-١

قياس السرعة

المهارات:

- **يقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.**
- **يصف الخطوات التجريبية والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.**
- **يسجّل الملاحظات بطريقة منهجيّة باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقّة المناسبة.**
- **يعالج البيانات ويعرضها ويقدّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانيّة والميل.**
- **يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.**
- **يحدّد الأسباب المحتملة لعدم دقّة البيانات أو الاستنتاجات، ويقترح التحسينات المناسبة للخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة.**

⚠ • **كن حذرًا عند الركض أو قيادة الدراجة. فالهدف هو الحركة بسرعة ثابتة، وليس الحركة بأسرع ما يُمكن. لا تقف قرب الأماكن التي يركض فيها الناس، أو يقودون درّاجاتهم. لا تُغادر ساحة المدرسة إلا إذا حصلتَ على إذن بذلك.**

يبدأ عادة رصد زمن العدّائين في مسابقة ألعاب القوى من لحظة بدء السباق، حتّى اجتياز خطّ النهاية. تقتصر مهمّتك الآن على قياس سرعة شخص يتحرَّك بسرعة في ملعب المدرسة. ربّما كان يركض أو يقود درّاجة. يجب أن تحاول تطوير طريقة تتّسم بالدقّة قدر الإمكان.

١ حدّد نقطتَين يجب الركض، أو قيادة الدرّاجة، بينهما.

٢ حدّد طريقة قياس المسافة بين هاتَين النقطتَين.

٣ حدّد الطريقة التي ستقيس بها الزمن الذي يستغرقه قطع تلك المسافة.

بعض النقاط التي يجب مراعاتها:

- هل يقطع العدّاء أو راكب الدرّاجة، مسافة قصيرة أم مسافة طويلة؟
- كيف يمكنك قياس المسافة التي يقطعها العدّاء أو راكب الدرّاجة بدقّة؟
- ما مدى دقّة قياس الزمن المُستغرَق؟

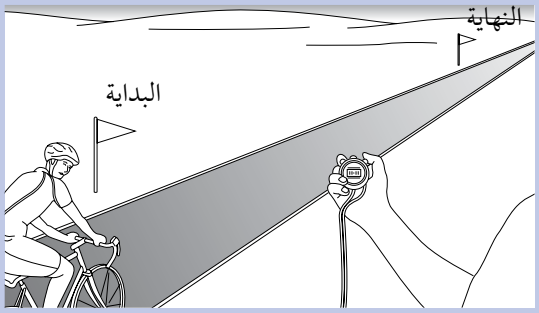
■ كيف ستُسجِّل قياساتك، وتحسُب نتائجك؟

٤ بعد الانتهاء من قياساتك، احسب السرعة المتوسّطة:

$$\text{السرعة المُتوسّطة} = \frac{\text{المسافة الكلّية}}{\text{الزمن الكلّي}}$$

٥ تبادل القياسات مع زميلك الذي أجرى القياسات نفسها. قارن نتائجك وحاول تفسير أي تباين بينكما. قد يساعدك ذلك على تحسين طريقتك في القياس.

٦ والآن قارن طريقتك بالطرق التي طوّرها زملاؤك في الصف. كيف تقرّر أي الطرق أفضل؟



نشاط ٢-٢

قياس السرعة في المختبر

المهارات:

- يقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.
- يحدّد المتغيّرات، ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكّم في بعض المتغيّرات.
- يرسم الأشكال التخطيطيّة للجهاز ويُسمّي أجزاءه.
- يسجّل الملاحظات بطريقة منهجيّة باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقّة المناسبة.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانيّة والميل.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.

استخدم أدوات المختبر لقياس سرعة عربة مُتحرِّكة، أو سيّارة لَعِب.

تأكّد من إمكانية استخدامك بوّابة ضوئية واحدة أو بوّابتين ضوئيّتين لتحديد سرعة العربة. بعد ذلك جرّب الأمور الآتية:

١ ضع كتابًا تحت أحد طرفَي لوح طويل لتشكيل مُنحدَر طويل قليل الانحدار.

٢ ضع العربة عند الطرف العلوي للوح المُنحدِر، ثم دَعها تتحرّك إلى أسفل المُنحدَر. (تأكّد من أن شخصًا ما، يقف عند نهاية أسفل المُنحدَر لالتقاط العربة).

٣ قِس سرعة العربة قرب أسفل المُنحدَر.

٤ زِد من انحدار اللوح بإضافة مزيد من الكتب. كيف تعتمد سرعة العربة على ارتفاع الطرف العلوي من اللوح المُنحدِر؟ ضع قائمة بالمتغيِّرات التي تتحكَّم بها لجعل هذا اختبارًا عادلًا.

٥ اكتب بالتفصيل النشاط وقم بإضافة رسم تخطيطي من أجل توضيح كيفية إعداد الاختبار.

إعادة ترتيب المعادلة

تسمح لنا معادلة

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$$

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

بحساب السرعة من قياس المسافة والزمن. ويمكننا بالمقابل إعادة ترتيب المعادلة ليُتاح لنا حساب المسافة أو الزمن.

فمسؤول إشارة سكّة الحديد، مثلاً، يكون على عِلم بسرعة القطار المتحرّك. وبذلك يستطيع أن يتنبّأ بالمكان الذي سيصل إليه القطار بعد فترة زمنية مُعيّنة من خلال المعادلة:

$$\text{المسافة} = \text{السرعة} \times \text{الزمن}$$

$$d = v \times t$$

وبالمثل، قد يرغب طاقم الطائرة في معرفة زمن رحلتهم بين نقطتَين باستخدام المعادلة:

$$\text{الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}}$$

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

تذكّر

يُفضّل تذكّر صيغة واحدة من المعادلة، وكيفية إعادة ترتيبها، بدلاً من محاولة تذكّر الصيغ الثلاث المختلفة.

مثال ٢-٢

تدور مركبة فضائية حول الأرض بسرعة ثابتة مقدارها (8.0 km/s) (انظر الرسم التخطيطي). أوجد الزمن الذي تستغرقه المركبة لإكمال دورة واحدة حول الأرض، أي قطع مسافة مقدارها (44 000 km).

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

السرعة = 8.0 km/s

المسافة = 44 000 km

الزمن = ؟

الخطوة ٢: اختر المعادلة المناسبة للكمّية غير المعروفة.

$$\text{الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}}$$

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

الخطوة ٣: عوّض القيم. قد يساعدك إدراج الوحدات في المعادلة.

$$t = \frac{44\,000\ \text{km}}{8.0\ \text{km/s}}$$

الخطوة ٤: أجرِ الحساب.

$$t = 5500\ \text{s}$$

يعادل ذلك حوالي 92 دقيقة. بالتالي يستغرق دوران المركبة الفضائية حول الأرض لدورة واحدة 92 دقيقة.

يوضّح المثال ٢-٢ أهمّية الانتباه للوحدات، ذلك أن السرعة تكون بوحدة km/s عندما تكون المسافة بالكيلومترات، ولا نحتاج للتحويل إلى الـ m/s و m، لأننا سنحصل على الإجابة نفسها إذا أجرينا التحويل:

$$t = \frac{44\,000\,000\ \text{m}}{8000\ \text{m/s}}$$

$$= 5500\ \text{s}$$

أسئلة

٤-٢ تقطع طائرة مسافة (1000 m) في (4.0 s). ما مقدار سرعتها؟

٥-٢ تتحرّك سيارة مسافة (150 km) في (2.0 h). ما مقدار سرعتها؟ (مع ذكر وحدة القياس)

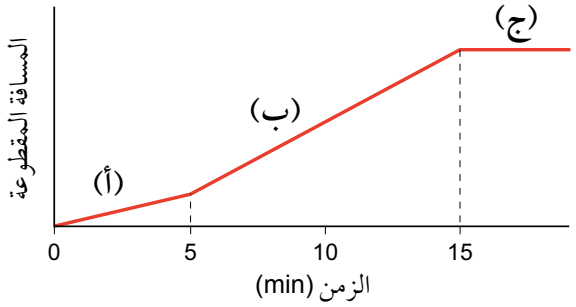
٦-٢ تتحرّك مركبة فضائية بين الكواكب بسرعة (20 000 m/s). ما المسافة التي تقطعها في يوم واحد؟ (أعط إجابتك بالـ km)

٧-٢ جِد الزمن اللازم لحافلة كي تقطع مسافة (300 km) بسرعة (90 km/h) على طول طريق سريع.

٢-٢ التمثيل البياني (المسافة/الزمن)

يمكنك أن تصف حركة جسم ما، كأن تقول: «انطلقت حافلة من محطة الحافلات، وتحرّكت بسرعة ثابتة على طول طريق رئيسي متّجهة إلى خارج المدينة. بعد خمس دقائق وصلت إلى الطريق السريع، حيث زادت من سرعتها. ثم اضطر السائق بعد عشر دقائق إلى التوقّف بسبب الازدحام».

يمكنك أن تُبيّن المعلومات نفسها على شكل مُنحنى تمثيل بياني (المسافة/الزمن)، كما هو موضّح في الشكل ٢-٢.



الشكل ٢-٢ التمثيل البياني لحركة الحافلة

ينقسم هذا المنحنى البياني إلى ثلاثة أجزاء، تتطابق مع أجزاء رحلة الحافلة الثلاثة:

(أ) يُظهِر مَيل المنحنى الموجب أن الحافلة تسير بسرعة ثابتة من 0 إلى 5 دقائق.

(ب) يزداد مَيل المنحنى الموجب ويدلّ ذلك على أن الحافلة تقطع مسافة أكبر كل دقيقة؛ أي إنها تسير بسرعة ثابتة أكبر.

(ج) يصبح مَيل المنحنى صفرًا عند الدقيقة 15؛ وبالتالي فإن تغيُّر المسافة مع الزمن هو صفر؛ أي إن الحافلة لا تتحرّك.

يُعبّر مَيل منحنى التمثيل البياني (المسافة/الزمن) عن السرعة التي كانت الحافلة تتحرّك بها. فكلما كان مَيل المنحنى البياني أكثر حدّة، تكون حركة الحافلة أسرع (أي إن سرعتها قد ازدادت). وعندما يصبح المنحنى البياني أفقيًّا، يكون مَيله صفرًا. يدلّ ذلك على أن سرعة الحافلة قد أصبحت صفرًا في الجزء (ج). أي إنها توقّفَت.

سؤال

٢-٨ ارسم التمثيل البياني (المسافة/الزمن) لما يأتي: «تسير سيارة على الطريق بسرعة ثابتة، ثم تتوقّف فجأة لبضع ثواني، ثم تواصِل حركتها بسرعة أبطأ من قبل».

نشاط ٢-٣

وصف التمثيلات البيانية

وضّح حركة جسم ما بالتمثيل البياني (المسافة/الزمن). ثم اطلب إلى زميلك أن يكتب وصفًا لها على ورقة منفصلة.

اختر أربعة تمثيلات بيانية مع أوصافها واعرض على زملائك التمثيلات والأوصاف عشوائيًا. ثمّ اطلب إليهم أن يحدِّدوا أي وصف يطابق كل تمثيل.

القطارات السريعة والحافلات البطيئة

يستطيع القطار السريع بلوغ سرعات كبيرة، قد تُجاوز 300 km/h. ومع ذلك، فإنه عندما ينطلق في رحلته قد يستغرق وصوله إلى هذه السرعة القصوى عدّة دقائق؛ ثم يستغرق تباطؤه وقتًا طويلاً عندما يقترب من وجهته.

تمرّ رحلة الحافلة الموضَّحة في الصورة ٢-٣ بكثير من التغيّرات في السرعة، حيث تزداد سرعتها عندما تنطلق بعيدًا عن محطّة البداية. ويحاول السائق أن تكون سرعة الحافلة ثابتة حتى الوصول إلى المحطّة التالية؛ لأن ذلك سيجعل الراكب قادرًا على الجلوس بارتياح على مقعده. بعد ذلك، تقلّ سرعة الحافلة إلى أن تتوقّف. ومع زيادة سرعة الحافلة ونقصانها المتكرّرَين، سوف يتأرجح الراكب. ولمّا كان التغيُّر البسيط لسرعة القطار السريع لا يؤثّر بالشراب في الكوب، فإن الزيادة والنقصان الشديدَين في السرعة يجعلان الشراب ينسكب من الكوب.

الصورة ٢-٣ قد يكون ركوب حافلة مكتظّة ليس آمنًا، وهي تُسرع وتُبطئ خلال رحلتها

٢-٣ فهم التسارُع

يتم الترويج لبعض السيّارات، وخاصة العالية الأداء، بحسب قدرتها على زيادة سرعتها. قد يزعم الإعلان أن السيارة تزداد سرعتها من 0 إلى 100 كيلومتر في الساعة (km/h) في 5 ثوانٍ. فإذا كانت الزيادة في سرعتها ثابتة مع مرور الزمن، فإن سرعتها سوف تصل إلى 20 km/h

بعد 1 s و 40 km/h بعد 2 s، وهكذا. بالتالي يمكن القول إن سرعتها تزداد بمقدار 20 km/h في الثانية. أي إن الجسم **يتسارع** بمقدار 20 km/h في الثانية. في هذه الحالة يُمكننا القول إن الجسم يتسارع لأن سرعته تزداد.

إذا استمرّ الجسم في نفس اتّجاه حركته مع نقصان السرعة، فإن الجسم تتباطأ حركته.

ويعبّر **التسارُع Acceleration** عن المُعدّل الذي تتغيّر فيه سرعة الجسم، أي عن تغيُّر السرعة خلال وحدة الزمن.

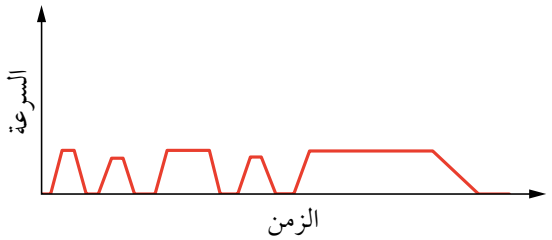
نورد مثالاً مُهمًّا على التسارُع هو سقوط جسم، وانجذابه إلى الأسفل إذا كان **سقوطه حُرًا**. نقول آنذاك إنه يسقط **بتسارع الجاذبية الأرضية**، الذي يُرمَز إليه بـ g. ولهذا التسارع قيمة ثابتة تقريبًا قرب سطح الأرض تبلغ $9.8\ m/s^2$. وعندما نجري العمليات الحسابية، نُقرِّب تلك القيمة إلى $10\ m/s^2$. وفي الحقيقة فإن صخرة كتلتها 1 kg تسقط بتسارع صخرة كتلتها 10 kg. وسنتحدّث عن مفهوم الوزن بمزيد من التوضيح في الوحدة الثالثة.

التمثيل البياني (السرعة/الزمن)

كما وضّحنا حركة الجسم بالتمثيل البياني (المسافة/الزمن)، يمكننا توضيح سرعته بمنحنى التمثيل البياني (السرعة/الزمن). (قد يلتبس عليك هذان النوعان من التمثيلات البيانية. تحقّق دائمًا من التمثيل البياني بالرجوع إلى عنوان محورَيه). يبيّن التمثيل البياني (السرعة/الزمن) مدى التغيّر في سرعة جسم أثناء تحرّكه.

يُظهر الشكل ٢-٣ التمثيل البياني (السرعة/الزمن) سرعة حافلة عندما تنتقل عبر مدينة مزدحمة. في كثير من الأحيان ينحدِر منحنى التمثيل البياني إلى الصفر، لأن الحافلة تبطئ تدريجيًّا لتتوقّف كي تسمح للناس بمغادرتها أو الصعود إليها. ثم يتّجه منحنى التمثيل البياني إلى أعلى كلما أسرعت الحافلة بعيدًا عن محطة التوقّف. تسير بعد ذلك بسرعة ثابتة نحو نهاية رحلتها، حيث يكون منحنى التمثيل البياني أفقيًّا؛ لأنها لا تكون مُلزمة بالتوقّف. ويتّجه منحنى التمثيل البياني إلى الصفر مرّة أخرى عندما تصل الحافلة إلى محطّة النهاية، وتتوقف. يُعبّر ميل منحنى التمثيل البياني (السرعة/الزمن) عن تسارُع الحافلة:

- كلما كان مَيل مُنحنى التمثيل أكثر حدّة يكون التسارع أكبر.
- القيمة السالبة للمَيل في هذا التمثيل البياني تعني التباطؤ (نقصان السرعة).
- المُنحنى البياني الأفقي (المَيل = 0) يعني أن السرعة ثابتة.



الشكل ٢-٣ تمثيل بياني (السرعة/ الزمن) لحافلة على طريق مزدحم. يتوجّب عليها في البداية أن تتوقّف بشكل متكرّر في محطات توقّف الحافلات، ثم تحافظ على سرعة ثابتة، باتجاه نهاية رحلتها

الأشكال المُختلفة للتمثيل البياني

يوضح لنا التمثيل البياني (السرعة/الزمن) الكثير عن حركة الأجسام بمختلف الحالات: جسم يتحرّك بسرعة ثابتة، جسم يتحرّك بسرعة متزايدة أو بسرعة متناقصة، جسم ساكن. يمثّل منحنى التمثيل البياني الموضّح في الشكل ٢-٤ رحلة قطار. إذا درسته سترى أنه مقسّم إلى أربعة أجزاء، يوضح كل جزء نقطة مختلفة.

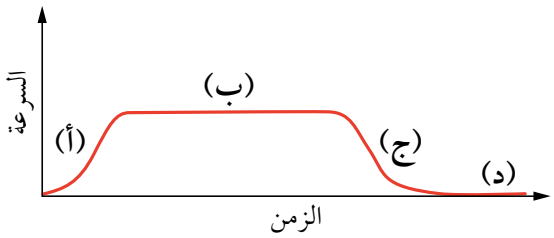
(أ) منحنى التمثيل البياني يميل إلى الأعلى: يعني زيادة في السرعة، أي إن القطار يتسارع.

(ب) منحنى التمثيل البياني أفقي: أي إن القطار يسير بسرعة ثابتة ولا يمتلك تسارُعًا.

(ج) مُنحنى التمثيل البياني يميل إلى الأسفل: يعني تناقصًا في السرعة، أي إن القطار يتباطأ.

(د) منحنى التمثيل البياني أفقي ومتطابق مع محور الزمن: يعني أن السرعة صفر، أي إن القطار متوقّف.

تدلّ منحنيات التمثيل البياني المقوّسة في الجزءين (أ) و (ج) على أن تسارع القطار كان يتغيّر. ولو أن مُعدّل تغيّر سرعته كان ثابتًا، لكانت تلك المُنحنيات مُستقيمة.

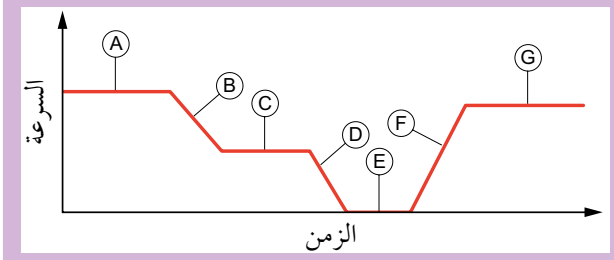


الشكل ٢-٤ مثال على التمثيل البياني (السرعة/ الزمن) لقطار أثناء جزء من رحلته

أسئلة

٢-٩ تسير سيّارة بسرعة ثابتة. عندما رأى سائقها إشارة المرور حمراء أمامه، أبطأ سرعته إلى أن توقّف. وضّح حركة السيّارة بمُنحنى التمثيل البياني (السرعة/الزمن).

٢-١٠ انظر إلى مُنحنى التمثيل البياني (السرعة/الزمن) أدناه.



اكتب رموز الأجزاء التي تمثّل ما يلي:

أ. سرعة ثابتة

ب. سرعة متزايدة (تسارع)

ج. توقّفًا

د. سرعة متناقصة (تباطؤ)

إيجاد المسافة المقطوعة من التمثيل البياني (السرعة/الزمن)

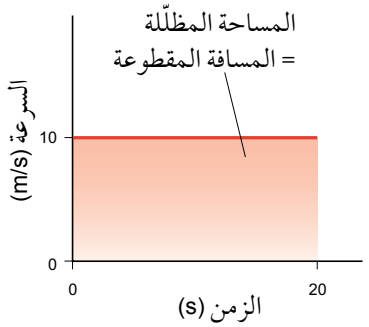
يمثّل مُنحنى التمثيل البياني (السرعة/الزمن) حركة جسم ما. وهو يوضح كيف تتغيّر سرعة الجسم، ونستنتج منه المسافة التي تحرّكها الجسم. ولنجري ذلك، نستخدم المعادلة الآتية:

المسافة = المساحة الواقعة تحت التمثيل البياني (السرعة/الزمن)

لفهم هذه المعادلة، انظر المثالين الآتيين ٢-٣ و ٢-٤:

مثال ٢-٣

إذا كنت تقود درّاجتك لمدّة (20 s) بسرعة ثابتة مقدارها (10 m/s) (انظر التمثيل البياني)، احسب المسافة (*d*) التي تقطعها.



حساب المسافة التي تقطعها على درّاجتك:

$d = 10\ \text{m/s} \times 20\ \text{s} = 200\ \text{m}$

وهي تساوي المساحة المُظلّلة نفسها الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني. وبما أن طول هذا المستطيل (20 s) وعرضه (10 m/s)، فإن مساحته: $10\ \text{m/s} \times 20\ \text{s} = 200\ \text{m}$

تذكّر

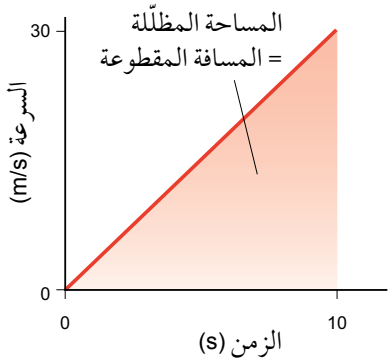
تستطيع تقسيم المساحة الواقعة تحت أي تمثيل بياني مُستقيم إلى مستطيلات ومثلّثات. لتتمكّن من حساب المساحة باستخدام:

مساحة المستطيل = الطول × العرض

مساحة المُثلّث = $\frac{1}{2}$ × القاعدة × الارتفاع

مثال ٢-٤

افترض أنّك انطلقت إلى أسفل مُنحدَر حادّ للتزلّج. وكانت سرعتك الابتدائية هي (0 m/s). وبعد (10 s) أصبحتَ تتزلّج بسرعة (30 m/s) (انظر التمثيل البياني). احسب المسافة (*d*) التي قطعتَها في هذا الزمن.



تمثّل مساحة المنطقة المظلّلة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني المسافة المقطوعة (*d*). ويكون الشكل في هذه الحالة مثلّثًا ارتفاعه (30 m/s)، وقاعدته (10 s). وبما أن مساحة المثلّث = $\frac{1}{2}$ × القاعدة × الارتفاع، فإنّ:

$$d = \frac{1}{2} \times 10\ \text{s} \times 30\ \text{m/s} = 150\ \text{m}$$

سؤال

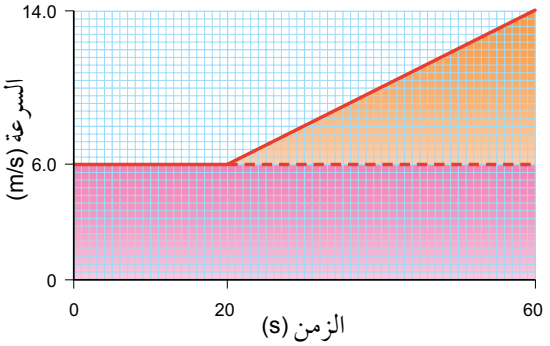
٢-١١ أ. وضّح بالتمثيل البياني (السرعة/الزمن) الحركات الآتية: سيارة تتسارع بانتظام من السكون لمدّة (5 s)، ثم تتحرّك بسرعة ثابتة (6 m/s) لمدّة (5 s).

ب. ظلّل المساحة الواقعة تحت مُنحنى التمثيل البياني الذي رسمته والتي تبيّن المسافة التي قطعَتها السيارة في (10 s).

ج. احسب المسافة المقطوعة خلال هذه الفترة.

مثال ٢-٥

احسب المسافة (*d*) التي يقطعها قطار في (60 s)، مُستعينًا بالتمثيل البياني.



ظُلِّل التمثيل البياني لإظهار المنطقة اللازمة لحساب المسافة التي تحرّكها القطار. تتكوّن هذه المنطقة من جزءين:

- مستطيل (لون وردي) عرضه (6.0 m/s) وطوله (60 s)

مساحة المستطيل =

$$6.0\ \text{m/s} \times 60\ \text{s} = 360\ \text{m}$$

(وهي تُمثّل المسافة التي يقطعها القطار، إذا كان مُحافظًا على سرعة ثابتة قدرها 6.0 m/s).

- مثلّث (لون برتقالي) قاعدته:

$$(60 - 20) = 40\ \text{s}$$

وارتفاعه:

$$(14.0\ \text{m/s} - 6.0\ \text{m/s}) = 8.0\ \text{m/s}$$

مساحة المثلّث = $\frac{1}{2}$ × القاعدة × الارتفاع

$$= \frac{1}{2} \times 8.0\ \text{m/s} \times 40\ \text{s}$$

$$= 160\ \text{m}$$

(وهي تُمثّل المسافة الإضافية التي قطعها القطار، عندما كان يتسارع).

يمكننا جمع هاتين المساحتين لإيجاد المسافة الكلّية المقطوعة:

$$d = 160\ \text{m} + 360\ \text{m}$$

$$= 520\ \text{m}$$

٢-٤ حساب السرعة والتسارُع

حساب السرعة

نستطيع حساب سرعة جسم مُتحرّك من التمثيل البياني (المسافة/الزمن). وفيما يلي مثال على ذلك.

يعرض الجدول ٢-٢ معلومات عن رحلة سيارة بين مدينتَين. وكانت السيارة تُبطئ في بعض الأحيان وتُسرع أحيانًا أخرى. ومن الأسهل علينا استنتاج ذلك، إذا قدّمنا المعلومات في تمثيل بياني (انظر الشكل ٢-٥).

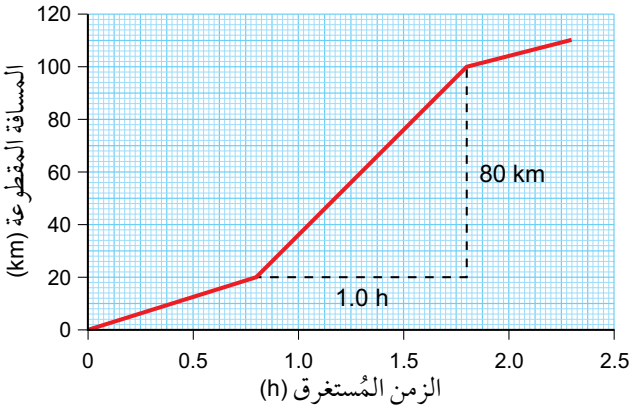
يُظهِر التمثيل البياني أن السيارة قد سارت ببطء في بداية الرحلة، وفي نهايتها، وعندما كانت تعبر المدينة. ولكن يكون مَيل منحنى التمثيل البياني أكثر حدّة في الجزء الأوسط، عندما كانت تتحرّك على طريق مفتوحة بين المدينتَين.

يوضّح التمثيل البياني في الشكل ٢-٥ كيفية حساب سرعة السيّارة. نحن هنا نبحث في الجزء المُستقيم من التمثيل البياني، حيث كانت سرعة السيارة ثابتة، ونحتاج إلى إيجاد قيمة مَيل المنحنى البياني، الذي يمثّل السرعة:

السرعة = مَيل منحنى التمثيل البياني (المسافة/الزمن)

المسافة المقطوعة (km)	الزمن المُستغرق (h)
0	0.0
10	0.4
20	0.8
100	1.8
110	2.3

الجدول ٢-٢ بيانات المسافة والزمن لرحلة السيّارة. مُثِّلت هذه البيانات بالتمثيل البياني الوارد في الشكل ٢-٥



الشكل ٢-٥ التمثيل البياني (المسافة/ الزمن) لرحلة سيارة والمطابق لبيانات الجدول ٢-٢

في ما يلي الخطوات التي يجب اتّخادها لإيجاد المَيل:

الخطوة ١: حدّد جزءًا مُستقيمًا من المُنحنى البياني.

الخطوة ٢: ارسم خطوطًا أفقية ورأسية لإكمال مُثلّث قائم الزاوية.

الخطوة ٣: احسب أطوال أضلاع المُثلّث.

الخطوة ٤: اقسم الارتفاع الرأسي على القاعدة الأفقية من المُثلّث (الارتفاع مقسومًا على القاعدة الأفقية).

وهذا حساب المُثلّث، كما هو موضّح في الشكل ٢-٥:

$$\text{الارتفاع الرأسي} = 80\ \text{km}$$

$$\text{القاعدة الأفقية} = 1.0\ \text{h}$$

$$\text{المَيل} = \frac{80\ \text{km}}{1.0\ \text{h}} = 80\ \text{km/h}$$

إذن، بلغت سرعة السيارة 80 km/h لهذا الجزء من رحلتها. يشكّل إدراج الوحدات في عملية الحساب عاملاً مُساعِدًا. سوف يكون للجواب تلقائيًّا وحداته الصحيحة؛ وهي في هذه الحالة km/h.

سؤال

٢-١٢ يبيّن الجدول الآتي معلومات عن رحلة حافلة.

المحطة	المسافة المقطوعة (km)	الزمن المُستغرق (min)
مسقط	0	0
السيب	52	62
الخابورة	177	134
صحار	240	195
شناص	302	230

استخدم بيانات الجدول لرسم مُنحنى تمثيل بياني (المسافة/الزمن) لرحلة الحافلة. أوجد السرعة المُتوسّطة لحركة الحافلة من السيب إلى صحار بوحدة km/h.

حساب التسارُع

تصوّر قطارًا سريعًا ينطلق من محطّة على مسار طويل مستقيم. قد يلزمه 300 s للوصول إلى سرعة 300 km/h على طول مساره. كانت سرعته تزيد بمقدار 1 km/h في كل ثانية؛ وبالتالي نقول إن تسارعه يبلغ 1 km/h في الثانية.

هذه الوحدات ليست مُلائمة، بالرغم من أنها توضّح ما يجري عندما نتحدّث عن التسارع. لحساب تسارع جسم نحتاج إلى معرفة أمرين هما:

- مقدار التغيُّر في سرعته.
- الزمن المُستغرَق (كم من الزمن يستغرق لتتغيَّر سرعته).

نستطيع بعد ذلك، حساب تسارع الجسم باستخدام المعادلة الآتية:

$$\text{التسارع} = \frac{\text{التغيّر في السرعة}}{\text{الزمن المُستغرَق}}$$

يُمكننا كتابة معادلة التسارع بالرموز، فنستخدم (a) للتسارع، و (t) للزمن المُستغرَق. وبما أن هناك سرعتين، فإننا نحتاج إلى رمزَين. لذلك نستخدم (u) للسرعة الابتدائية و (v) للسرعة النهائية. نستطيع الآن أن نكتب معادلة التسارُع كالآتي:

$$a = \frac{v - u}{t}$$

في مثال القطار السريع الوارد تحت عنوان «حساب التسارُع»، عندما يكون القطار في بداية رحلته تكون سرعته الابتدائية $u = 0$ km/h، ثم تبلغ سرعته النهائية $v = 300$ km/h، والزمن المُستغرَق $t = 300$ s.

لذلك يكون تسارُعه ($a = \frac{300 - 0}{300}$) ويساوي 1 km/h في الثانية.

مثال ٢-٦

تتسارع طائرة من (100 m/s) إلى (300 m/s) في (100 s). كم يبلغ تسارعها؟

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

السرعة الابتدائية: $u = 100$ m/s

السرعة النهائية: $v = 300$ m/s

الزمن: $t = 100$ s

التسارع: $a = ?$

الخطوة ٢: احسب الآن التغيّر في السرعة.

التغيّر في السرعة =

= 300 m/s – 100 m/s

= 200 m/s

الخطوة ٣: عوّض في المعادلة.

$$a = \frac{v - u}{t}$$

$$a = \frac{300 - 100}{100}$$

$$a = 2.0\ \text{m/s}^2$$

وحدات التسارُع

في المثال ٢-٦ تمّ استخدام وحدة m/s^2 (متر في مربّع الثانية) للتسارُع، وهي وحدة التسارُع القياسية. وتوضح الحسابات أن سرعة الطائرة قد ازدادت بمقدار 2 m/s في ثانية، أو بمقدار 2 متر في الثانية في ثانية. ولتبسيط الأمر تُكتب على الشكل التالي: $2\ m/s^2$. ولكن قد تفضّل التفكير في الأمر على أنه: 2 m/s في ثانية، لأن ذلك يؤكّد معنى التسارع.

كذلك تُستخدم وحدات أخرى للتسارُع. رأينا سابقًا أمثلة على التسارع باستخدام وحدتَي mph في الثانية و km/h في الثانية، لكن استخدامهما غير مألوف، ويفضّل عادة استخدام وحدة m/s^2.

أسئلة

٢-١٣ أي من الوحدات الآتية **لا** يمكن أن تكون وحدة تسارع؟

m/s^2، km/s، km/s^2

٢-١٤ تنطلق سيّارة من إشارة مرور، فتصل إلى سرعة (27 m/s) في (18 s). كم يبلغ تسارعها؟

٢-١٥ يتحرّك قطار بسرعة ابتدائية (12 m/s)، وتزداد سرعته حتى تصل إلى (36 m/s) في (120 s). كم يبلغ تسارعه؟

التسارُع في التمثيل البياني (السرعة/الزمن)

يُظهر مُنحنى التمثيل البياني (السرعة/الزمن) ذو الميل الحادّ أن معدّل التغيُّر في السرعة أكبر، أي إن التسارُع قيمته أكبر. يعني ذلك أننا نستطيع إيجاد تسارُع الجسم بحساب مَيل مُنحنى التمثيل البياني (السرعة/الزمن):

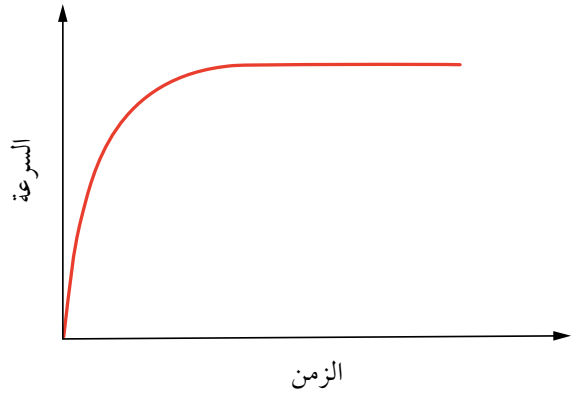
التسارع = مَيل مُنحنى التمثيل البياني (السرعة/الزمن)

يجب ملاحظة النقاط الآتية (بفرض أن الجسم يتحرَّك في اتّجاه واحد):

- إذا كان مُنحنى التمثيل البياني يتّجه إلى الأسفل (أي له مَيل سالب)، فإن ذلك يدلّ على أن السرعة تتناقص مع الزمن؛ أي إن الجسم يتباطأ.
- إذا كان مُنحنى التمثيل البياني يتّجه إلى الأعلى (أي له مَيل موجب) فإن ذلك يدل على أن السرعة تزداد مع الزمن؛ أي إن الجسم يتسارع.
- إذا كان أيٌّ من مُنحنيات التمثيلات البيانية خطًّا مستقيمًا، مائلًا إلى الأعلى أو إلى الأسفل، فإن ذلك يدلّ على أن السرعة تتغيّر بانتظام مع الزمن؛ فيكون عندها التسارُع ثابتًا.
- إذا كان أي من منحنيات التمثيلات البيانية مقوّسًا، فإن ذلك يدلّ على أن السرعة لا تتغيّر بشكل منتظم مع الزمن؛ عندها لا يكون التسارُع ثابتًا.

التسارُع غير الثابت

تمرُّ في حياتنا اليوميَّة مواقف كثيرة لا يكون التسارُع فيها ثابتًا. انظر إلى الشكل ٢-٦ الذي يتضمّن تمثيلاً بيانيًّا (السرعة/الزمن) لحركة صاروخ. ويكون منحنى التمثيل البياني في هذه الحالة مقوَّسًا، مُشيرًا إلى أنّ مَيل المنحنى يتغيَّر. وهذا يدلّ على أنّ التسارع ليس ثابتًا. يُظهِر الخطّ مَيلًا كبيرًا في بداية المنحنى، إذ يكون التسارع أكبر في المرحلة الأولى من إطلاق الصاروخ. بعد ذلك يقلّ المَيل ببُطء حتى يصل إلى الصفر. ممّا يعني أنّ التسارع ينخفض إلى الصفر. عندئذٍ تصبح السرعة ثابتة.



الشكل ٢-٦ تمثيل بياني (السرعة/ الزمن) لإطلاق صاروخ حيث لا يكون التسارع ثابتًا في بداية انطلاقه (أو في بداية حركته)

مثال ٢-٧

يسير القطار ببطء، وهو يصعد تلًا مرتفعًا. ثم تزداد سرعته عند نزوله إلى الجانب الآخر من التلّ. يبيّن الجدول أدناه كيف تتغيّر سرعته. وضّح تلك البيانات بالتمثيل البياني (السرعة/الزمن) واستخدمه لحساب تسارُع القطار خلال الجزء الثاني من رحلته.

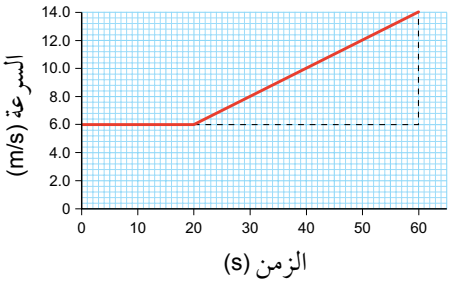
الزمن (s)	السرعة (m/s)
0	6.0
10	6.0
20	6.0
30	8.0
40	10.0
50	12.0
60	14.0

قبل البدء بالتمثيل البياني، ننظر إلى بيانات الجدول، حيث أُعطيَت قيَم السرعة على فترات زمنية متساوية (كل منها 10 s)، وكانت السرعة ثابتة في البداية (6.0 m/s)، ثم تزايدت بمقادير متساوية (8.0، 10.0، وهكذا). نرى في الواقع أن السرعة تتزايد بمقدار (2.0 m/s) كل (10 s). وهذا يكفي لنعرف أن تسارُع القطار يبلغ ($0.2\ m/s^2$). ومع ذلك، فإننا من خلال حساب مُفصّل، سوف نوضّح كيف نحسب التسارُع باستخدام التمثيل البياني:

الخطوة ١: يبيّن الرسم التوضيحي التالي التمثيل البياني (السرعة/الزمن) باستخدام بيانات الجدول.

يمكنك أن تلاحظ أن المنحنى يقع في جزءين:

- جزء أفقي يدل على أن سرعة القطار كانت ثابتة (التسارع = الصفر).
- جزء ذو مَيل يبيّن أن القطار كان يتسارع.



الخطوة ٢: يبيّن المثلث كيفية حساب الميل من التمثيل البياني، وهذا يعطينا مقدار التسارع.

التسارع: $a = \frac{14.0\ m/s - 6.0\ m/s}{60\ s - 20\ s}$

$= \frac{8.0\ m/s}{40\ s}$

$= 0.20\ m/s^2$

لذلك فإن تسارُع القطار عند نزوله إلى أسفل التلّ قد بلغ ($0.20\ m/s^2$).

سؤال

٢-١٦ تحرَّكت سيّارة لمدّة (10 s) بسرعة ثابتة (20 m/s) على طول طريق مستقيم. تغيّر أمامها ضوء إشارة المرور إلى اللون الأحمر، فتناقصت سرعتها بمعدَّل ثابت (تباطؤ)، حيث توقّفت بعد مرور (8 s).

أ. وضّح بتمثيل بياني (السرعة/الزمن) حركة السيّارة خلال (18 s)، كما وصفت.

ب. استخدم التمثيل البياني لاستنتاج مقدار تسارع السيّارة أثناء تناقص سرعتها.

ج. استخدم التمثيل البياني لاستنتاج المسافة التي قطعتها السيّارة خلال (18 s).

السرعة والسرعة المُتَّجهة

يختلف، في الفيزياء، مصطلحا **السرعة** و**السرعة المُتَّجهة** من حيث المعنى، بالرغم من ارتباط إحداهما بالأخرى ارتباطًا وثيقًا: **السرعة المُتَّجهة velocity** هي سرعة جسم ما باتجاه معيّن.

لذلك، يمكننا القول إن سرعة الطائرة تبلغ 200 m/s، ولكن سرعتها المتَّجهة هي 200 m/s نحو الشمال. يجب أن نعطي اتجاه السرعة، وإلا فلن تكون المعلومات مُكتمِلة.

يمكنك التفكير بالتسارع، في معظم الحالات، كتغيّر في السرعة. مع ذلك، فإن مصطلح التسارع يُعرَّف من خلال ربطه بمصطلح السرعة المتَّجهة، بدلًا من السرعة، كالآتي:

مصطلحات علمية

التسارع Acceleration: معدّل التغيّر في السرعة المتَّجهة لجسم ما.

$$\text{التسارع} = \frac{\text{التغيّر في السرعة المتّجهة}}{\text{الزمن المُستغرَق}}$$

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- كيفية تفسير التمثيلَين البيانيّين (المسافة/الزمن) و (السرعة/الزمن).
- حساب السرعة.
- مفهوم التسارع.
- حساب التسارع.
- تسارع الجاذبية الأرضية ثابت قرب سطح الأرض.
- الفرق بين السرعة والسرعة المتَّجهة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ وضّح المقصود بمُصطلح **السرعة**.

٢ **أ.** اكتب معادلة حساب السرعة المُتوسّطة.

ب. يقود بدر دراجته خلال (1.5 h). بلغت السرعة المتوسطة لبدر خلال تلك المدّة (16 km/h). لماذا **لا** يمكن أن تكون سرعة الدرّاجة (16 km/h) طوال الرحلة؟

٣ احسب سرعة كلّ من الآتي:

أ. يقطع مسعود مسافة (200 m) في (25 s). أعطِ إجابتك بوحدة (m/s).

ب. تتحرّك دودة مسافة (12 cm) في (6 s). أعطِ إجابتك بوحدة (cm/s).

ج. تُحلّق طائرة مسافة (1800 km) في (3 h). أعطِ إجابتك بوحدة (km/h).

٤ احسب المسافة التي قطعها كلّ مما يأتي:

أ. قطّة تمشي بسرعة متوسّطة (0.75 m/s) لمدّة (20 s). أعطِ إجابتك بوحدة (m).

ب. شاحنة تتحرّك بسرعة متوسّطة (30 km/h) لمدّة (1.2 h). أعطِ إجابتك بوحدة (km).

٥ احسب الزمن المُستغرَق لكلّ من الرحلات الآتية:

أ. يجري حصان بسرعة مُتوسّطة (12 m/s) فيقطع مسافة (180 m). أعطِ إجابتك بوحدة (s).

ب. تُبحِر سفينة بسرعة مُتوسّطة (22 km/h)، فتقطع مسافة (187 km). أعطِ إجابتك بوحدة (h).

٦ **أ.** اكتب المُعادلة المُستخدَمة لحساب التسارُع a من هذه الكمّيات:

- السرعة الابتدائية u
- السرعة النهائية v
- الزمن t

ب. بدأت سيّارة الحركة من السكون، ثم تسارعت إلى سرعة (50 m/s) في مدّة (5 s).

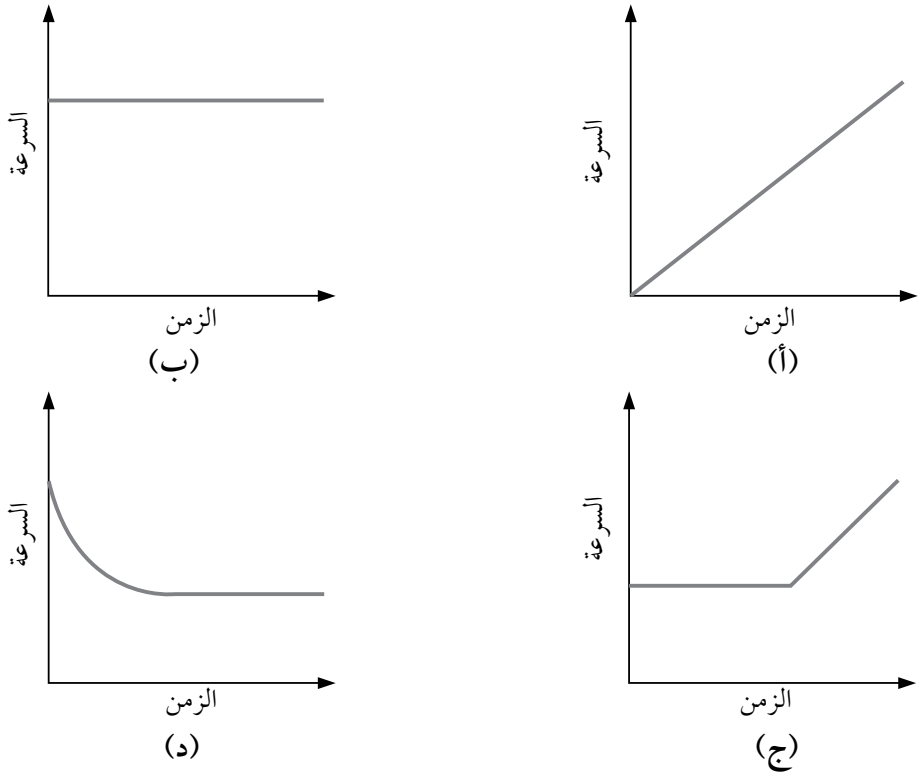
١. اذكُر المقصود بعبارة: «بدأت السيّارة الحركة من **السكون**» في سياق السؤال.

٢. احسب تسارُع السيّارة مع ذكر الوحدة.

٧ يسير قطار بسرعة ثابتة مقدارها (45 m/s)، ثم زاد القطار من سرعته خلال (30 s) فوصلت سرعته إلى (60 m/s). احسب تسارُع القطار.

٨ يبلغ تسارُع درّاجة نارية ($8\ m/s^2$). احسب الزمن الذي تستغرقه هذه الدرّاجة لتزيد سرعتها من (26 m/s) إلى (44 m/s).

٩ تُبيّن الرسوم أدناه أربعة تمثيلات بيانية (السرعة/الزمن).



أ. دوّن من رموز التمثيلات البيانية أعلاه ما يُمثّل كلّ حالة من الحالات الآتية:

١. جسم تسارُعه صفر.
٢. جسم يتباطأ ثم يتحرَّك بسرعة ثابتة.
٣. جسم له تسارُع ثابت.
٤. جسم يقطع المسافة نفسها في فترات زمنية مُتساوية.
٥. جسم يتحرّك بسرعة ثابتة، ثم يتسارع.

١٠ يُظهر التمثيل البياني (السرعة/الزمن) أدناه سرعة سيّارة أثناء حركتها.

أ. احسب تسارُع السيّارة بين النقطتين (أ) و (ب) على التمثيل البياني.

ب. استخدم التمثيل البياني لحساب المسافة التي تقطعها السيّارة بين:

١. النقطتين (أ) و (ب)

٢. النقطتين (ب) و (ج)

١١ عبّر عن رحلة قطار بالتمثيل البياني (السرعة/الزمن) حيث:

(A) بدأ القطار حركته من السكون بتسارع ثابت.

(B) ثم تحرّك بسرعة ثابتة.

(C) وبعد ذلك تباطأ حتى توقَّف.

سمّ تلك المراحل الثلاث على تمثيلك البياني.

١٢ يبيّن الجدول أدناه كيف تتغيّر المسافة التي يقطعها عبدالله مع الزمن.

الزمن (s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
المسافة (m)	0	2	4	6	6	6	9	12	15

أ. استخدم المعلومات الواردة في الجدول أعلاه لرسم مُنحنى التمثيل البياني (المسافة/الزمن) لعبدالله.

ب. استخدم مُنحنى التمثيل البياني (المسافة/الزمن) لتحديد سرعة عبدالله في الفترة الزمنية:

١. (0 - 15 s)

٢. (15 - 25 s)

٣. (25 - 40 s)

١٣ أجرت مجموعات من العُلماء تجارب لقياس تسارع الجاذبية الأرضية (g). كانت حقول تجاربهم في إفريقيا وآسيا وأوروبا وأمريكا، وقد أُجريَت جميع هذه التجارب عند مستوى سطح البحر.

أ. توقّع قيم (g) التي حصلَت عليها المجموعات الأربع، وقارن بينها.

ب. اشرح توقّعك.

الوحدة الثالثة

الكتلة والوزن Mass and Weight

تُغطّي هذه الوحدة:

- الفرق بين الكُتلة والوزن.
- تأثير مجال الجاذبية على الأجسام.
- كيفية حساب وزن جسم.
- كيفية مُقارنة الأوزان.

٣-١ الكتلة والوزن والجاذبية

إذا ألقيتَ جسمًا، فإنه يسقط على الأرض، ويكون صعبًا أن ترى كيف يتحرَّك عند سقوطه. لكنّ لقطات متتالية من الصور تُظهِر نمط حركته عندما يسقط.

تُبيّن الصورة ٣-١ سبع لقطات لسقوط كرة صغيرة، أُخذَت على فترات زمنية متساوية، حيث كانت تقطع في كلّ فترة زمنية مسافة أكبر من الفترة الزمنية السابقة. يدلّ ذلك على أن سرعة الكرة تتزايد خلال سقوطها، أي إنها تتسارع.

الصورة ٣-١ لقطات متتالية لكرة تسقط بسرعة متزايدة

إذا تسارع جسم ما، فإن هناك قوّة سبّبت هذا التسارع. في حالة سقوط الكرة، تكون **قوّة الجاذبية الأرضية Gravitational force** هي القوّة التي تجذب الكرة إلى الأسفل. وتُسمّى قوّة الجاذبية الأرضية التي تؤثّر على الجسم **بالوزن Weight**. وبما أن الوزن قوّة، فهو يُقاس بوحدة النيوتن (N).

مصطلحات علمية

الوزن Weight: قوة الجاذبية الأرضية المؤثّرة على جسم ما.

لكلّ جسم على سطح الأرض أو قُربه وزن ناتج عن قوّة الجاذبية الأرضية؛ هذا يعني أن للأرض **مجال جاذبية Gravitational field** يحيط بها؛ وأن أيّ جسم في مجال الجاذبية الأرضية يكون له وزن ناتج عن جذب الأرض له نحوها.

تجذب الأرض كل كيلوغرام من المادّة بقوّة 10 N (تقريبًا)؛ وبالتالي فإنّ أي جسم كتلته 1 kg سيكون وزنه 10 N:

وزن كتلة 1 kg = 10 N

بمعنى آخر، فإن قوة الجاذبية الأرضية المؤثّرة على كل كيلوغرام من كتلة جسم قريب من سطح الأرض تبلغ 10 N تقريبًا.

ويطلق على قوّة الجاذبية الأرضية المؤثّرة على وحدة الكتل بشدّة مجال الجاذبية الأرضية ويُرمز إليها بالرمز g. ويمكننا القول إن:

شدّة مجال الجاذبيّة الأرضية: g = 10 N/kg

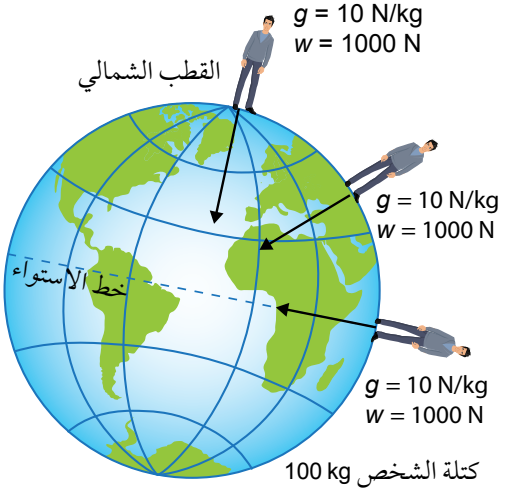
هذا يعني أن أي جسم يسقط قريبًا من سطح الأرض يتحرّك بتسارع يساوي تسارع الجاذبية الأرضية g. فإذا أُسقِطَت كُرة كُتلتها 5 kg، وكُرة كُتلتها 1 kg من الارتفاع نفسه وفي الوقت نفسه، فسوف تصلان إلى سطح الأرض في الوقت نفسه.

حساب الوزن

ذكرنا أن الجسم الذي تبلغ كتلته 1 kg، يكون وزنه 10 N؛ يعني ذلك أنّ جسمًا تبلغ كتلته 2 kg سوف يكون وزنه 20 N، وأن أي جسم تبلغ كتلته 100 kg يكون وزنه 1000 N. ولحساب وزن w جسم تبلغ كتلته m، نضرب كتلته في 10، والتي تمثّل شدّة مجال الجاذبية الأرضية g، ويُعدّ مقدارًا ثابتًا بالقرب من سطح الأرض كما في الشكل ٣-١. ويمكننا كتابة ذلك بمعادلتين، واحدة لفظية وواحدة بالرموز:

الوزن = الكتلة × شدّة مجال الجاذبيّة

$$w = m\,g$$

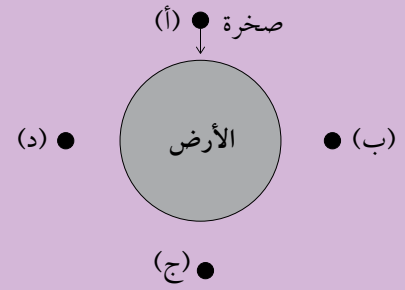


الشكل ٣-١ قوة جذب الأرض لشخص كتلته 100 kg في مواقع مختلفة من الكرة الأرضية

يمتدّ مجال الجاذبية الأرضية مسافة بعيدة في الفضاء. وهو الذي يُبقي القمر مستمرًّا في مداره حول الأرض. وكلّما ابتعدتَ عن الأرض تكون قيمة شدة مجال الجاذبية الأرضية g أقل من 10 N/kg. علمًا بأن قيمة شدَّة مجال الجاذبية g تختلف من كوكب لآخر.

سؤال

١-٣ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه اتّجاه سقوط صخرة من الموقع (أ) قرب سطح الأرض.



أكمل الرسم التخطيطي لتبيّن اتّجاه سقوط الصخرة من كل موقع من المواقع (ب) و (ج) و (د).

التمييز بين الكُتلة والوزن

من المهم أن نفهم الفرق بين كمّيتَي الكُتلة والوزن.

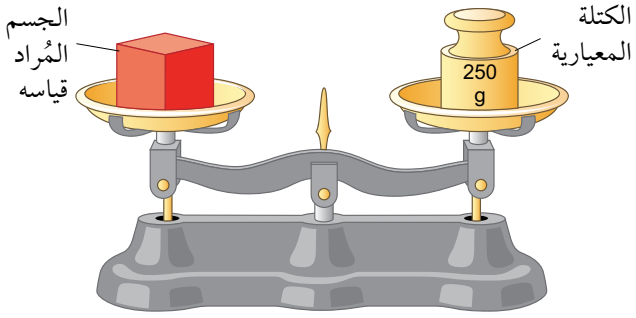
- **الكتلة Mass** هي كمّية المادّة التي يتكوَّن منها الجسم، وتُقاس بوحدة الكيلوغرام (kg).
- أما الوزن فهو قوّة الجاذبية الأرضية التي تؤثّر عليه، ويُقاس بوحدة النيوتن (N).

مصطلحات علمية

الكتلة Mass: كمية المادة في جسم ما.

يكون وزن جسم على سطح القمر، أقلّ ممّا هو عليه على سطح الأرض، لأن شدَّة مجال جاذبيّة القمر أقلّ من شدَّة مجال جاذبية الأرض. لكنّ كتلة الجسم لن تتغيّر، لأنها تمثّل كمّية المادة نفسها كما هي على سطح الأرض. وبما أن القمر يجذب كل كيلوغرام من المادة بقوة أقلّ مما تجذبه الأرض، فإن الجسم الذي تبلغ كتلته 1 kg يكون وزنه على سطح القمر أقلّ من وزنه على سطح الأرض.

عندما نزن جسمًا باستخدام الميزان ذي الكفّتَين، فإننا نقارن وزنه مع وزن كتلة معيارية في الكفّة الأخرى للميزان (الشكل ٣-٢). إذا كان الجسم والكتلة المعيارية لهما الوزن نفسه، فيجب أن تكون لهما الكتلة نفسها لأن قيمة شدَّة مجال الجاذبية الأرضية g هي ثابتة لكليهما. المكعّب الأحمر في (الشكل ٣-٢) له نفس وزن الكتلة المعيارية 250 g. لذا يجب أن تكون كتلة المكعّب الأحمر 250 g أيضًا.



الشكل ٣-٢ عندما يكون الميزان ذو الكفّتين متوازنًا، نستنتج أن وزنَي الجسمَين الموضوعَين على كفّتَيه مُتساويان؛ أي إن كُتلتَي الجسمَين متساويتان

تذكّر

أنّنا نتحدّث دائمًا عن وزن الجسم. ولكن، إذا كان الميزان الذي نستخدمه يُعطي قراءة بوحدة الكيلوغرام أو الغرام، فإننا نقيس كتلته، وليس وزنه.

نشاط ٣-١

مقارنة الكُتل

المهارات:

- **يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.**
- **يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.**

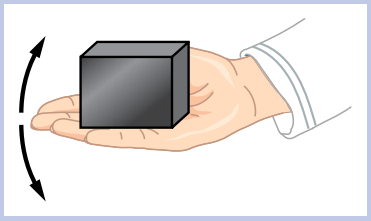
يمكنك مقارنة كُتلتَي جسمَين من خلال حمل كل منهما بيد. فما مدى صحّة حكمك على مقدار الكتلة؟

نستخدم، في العلوم، الأدوات المناسبة لإجراء القياسات. فالميزان مثلاً يقيس كتلة الجسم؛ لكن بعض الموازين تكون دقيقة أكثر من غيرها، إلى درجة أنها تُحدّد الفرق بين قياسَين مهما يكن صغيرًا. فإذا كنت تقيس كتلة جسمك، مثلاً، فقد يكون للميزان الذي تستخدمه تدريج يعطي كتلتك

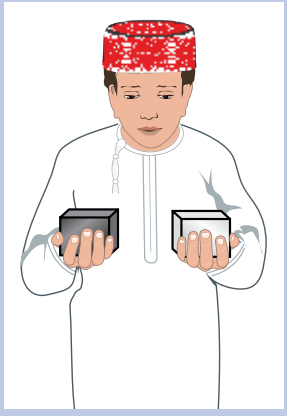
مُقرّبة إلى أقرب 100 g أو 10 g. وإذا استخدمنا الميزان الرقمي في المطبخ لقياس كتلة الطحين نجد أن قراءته مقرّبة إلى أقرب 1 g. أما ميزان المُختبَر فتكون قراءته مقرّبة إلى أقرب مليغرام (mg)، بل أدقّ من ذلك.

ستختبر في هذا النشاط قدرتك على الدقّة في التقدير في المقارنة بين كتلتَي جسمَين. أمامك طريقتان للمقارنة:

الطريقة (أ): ضع واحدًا من الجسمَين على راحة يدك. خُذ وقتك لتقدير كُتلته (حرّك راحة يدك إلى الأعلى وإلى الأسفل فقد يساعدك ذلك على التقدير)، ثم استخدم نفس الطريقة لتقدير كتلة الجسم الآخر. أي الجسمَين كتلته أكبر؟



الطريقة (ب): ضع كلًّا من الجسمَين على راحتَي يدَيك، قدّر كتلتيهما. أيّهما كتلته أكبر؟



١ جرّب الطريقتَين (أ) و (ب) الموضّحتَين في النشاط لمقارنة كتلة جسمَين متماثلَين، أي الطريقتَين أكثر دقّة؟

٢ استخدم الطريقة التي تُفضّلها، لتجيب عن السؤال الآتي: ما أصغر فرق بين كتلة جسمَين يمكنك اكتشافه؟ إذا قارنتَ مثلاً، جسمًا كتلته 100 g بجسم كتلته 120 g، فهل يمكنك أن تجد الفرق بينهما؟

أسئلة

٢-٣ تبلغ كتلة كتاب على الأرض (1 kg). لذلك سيكون وزنه على الأرض (10 N). صف كتلته ووزنه مقارنة بالأرض عندما يكون على سطح:

أ. القمر حيث شدّة مجال الجاذبية أقلّ مما هي على سطح الأرض؟

ب. كوكب المُشتري، حيث شدّة مجال الجاذبية أكبر مما هي على سطح الأرض؟

٣-٣ تبلغ كتلة المسبار مارس روفر بلاس Mars Rover Plus (533 kg).

أ. احسب وزنه على سطح الأرض.

ب. انطلق ذلك المسبار إلى المرّيخ، حيث تكون شدّة مجال الجاذبية أقلّ ممّا هي على الأرض. فإذا كانت شدّة مجال الجاذبية على سطح المرّيخ (g = 3.7 N/kg)، فكم يبلغ وزنه هناك؟

٤-٣ جهاز إرسال لاسلكي كتلته (20 kg). نُقل إلى سطح القمر تيتان التابع لكوكب زُحل، حيث بلَغ وزنه هناك (28 N). احسب قيمة g على سطح القمر تيتان مع ذكر الوحدة.

٥-٣ هبط مسبار فضائي ياباني عام 2005 على سطح كُوَيكب يسمّى إيتوكاوا، تبلغ قيمة g هناك (1.1×10^{-4} N/kg). احسب كتلة المسبار، إذا كان وزنه على سطح إيتوكاوا (5.2×10^{-5} N).

نشاط ٣-٢

إيجاد قيمة شدة مجال الجاذبية الأرضية g في موقعك

المهارات:

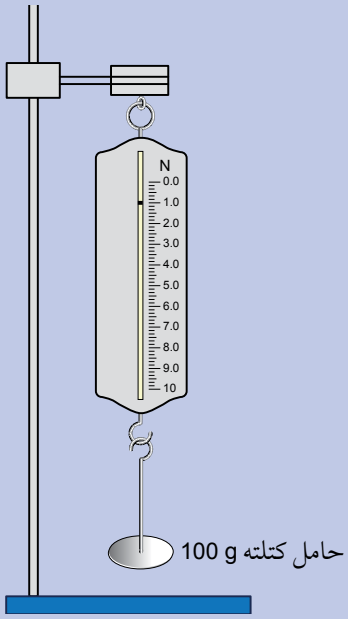
- يقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.
- يصف الخطوات التجريبية والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يكوّن التنبّؤات والفرضيات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة).
- يسجّل الملاحظات بطريقة منهجيّة باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقّة المناسبة.

- **يعالج البيانات ويعرضها ويقدّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانية والميل.**

يمكنك إيجاد قيمة شدّة مجال الجاذبية الأرضية لبعض الكتل من خلال تعليق كلّ منها بميزان نيوتن (ميزان زنبركي)، حيث تشد كل كتلة الميزان الزنبركي بقوّة تساوي وزنها. والوزن هو قوّة الجاذبية الأرضية المؤثّرة على تلك الكتلة، ويُعطى بالمعادلة $w = mg$.

١ استخدم حاملاً فلزّيًا مع مشبك لتعليق ميزان زنبركي. تأكّد من ثبات الحامل، ومن أنه لن يسقط لدى إضافة كُتل إلى الميزان الزنبركي.

تحقّق من أن مؤشّر الميزان الزنبركي يشير إلى الصفر بعد تعليقه بالحامل وعندما لا يتدلّى شيء منه. لماذا يُعدّ ذلك مهمًّا؟



٢ تنبّأ كيف تتغيّر القراءة على الميزان الزنبركي في كل مرّة تتمّ فيها إضافة كتلة أخرى.

٣ علقتَ كتلة 100 g بخطّاف الميزان الزنبركي، وقِست وزنها. أضف إليها كتلة أخرى 100 g، وقِس وزن الكتلة 200 g. كرّر هذه الخطوة، حتى تصل إلى كتلة مقدارها 1000 g.

٤ سجّل نتائجك في جدول، مُستخدِمًا وحدة kg للكتلة، ووحدة N للوزن. هل كان تنبّؤك صحيحًا؟

٥ بيّن بالتمثيل البياني الوزن بوحدة N على المحور الرأسي، والكتلة بوحدة kg على المحور الأفقي.

٦ أكمِل تمثيلك البياني برسم خطّ مستقيم يمرّ بالنقاط.

٧ اشرح ما يوضّحه منحنى التمثيل البياني عن العلاقة بين الوزن والكتلة.

٨ استخدم تمثيلك البياني لإيجاد القيمتَين الآتيتَين، مبيّنًا عليه كيف توصّلتَ إلى إجابتك:

أ. وزن جسم كتلته 0.85 kg.

ب. كتلة جسم وزنه 7.2 N.

٩ احسب مَيل منحنى تمثيلك البياني، متوخّيًا أكبر قدر ممكن من الدقّة، باستخدام أكبر تغيّر لقيم الوزن والكتلة. تذكّر أن المَيل يُعطي قيمة شدّة مجال الجاذبية الأرضية g.

١٠ تُحدّد وحدة مَيل منحنى التمثيل البياني بتقسيم وحدة المحور الرأسي على وحدة المحور الأفقي. استخدم هذه الطريقة لتحديد وحدة قياس شدّة مجال الجاذبية الأرضية g.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- أن الوزن هو قوّة الجاذبية الأرضية المؤثِّرة على جسم ما.
- تأثير مجال الجاذبية على الأجسام.
- حساب وزن كتلة جسم ما.
- مقارنة الأوزان.

أسئلة نهاية الوحدة

١ اذكر المقصود بكل ممّا يـأتي:

أ. الكتلة

ب. الوزن

٢ اكتب المُعادلة التي يمكن استخدامها لحساب الوزن w من الكتلة m وقوة الجاذبية الأرضية لكل وحدة كتلة g.

٣ أُخذ جهاز إرسال لاسلكي إلى القمر حيث تكون قيمة شدّة مجال الجاذبية g على القمر أصغر من قيمة شدّة مجال الجاذبية g على الأرض.

اشرح كيف تقارن كلاًّ مما يأتي:

أ. وزن جهاز الإرسال اللاسلكي على القمر مع وزنه على الأرض.

ب. كتلة جهاز الإرسال اللاسلكي على القمر مع كتلته على الأرض.

٤ أكمل العبارات باستخدام وحدة من الوحدات الآتية:

N	kg	N/kg

أ. تبلغ قيمة شدّة مجال الجاذبية الأرضية g على الأرض ..... 10.

ب. يبلغ وزن تفّاحة على الأرض حوالي ..... 1.

ج. تبلغ كتلة بُرتقالة على الأرض حوالي ..... 0.1.

٥ ماذا يُسمّى المجال الذي يحيط بالأرض ويجعل للأشياء وزنًا؟

٦ يعطي الجدول أدناه قيمة شدّة مجال الجاذبية g على كواكب مختلفة.

الكوكب	قيمة شدّة مجال الجاذبية g (N/kg)
عُطارد	3.7
الزُّهَرة	8.9
المِرّيخ	3.7
المُشتري	25

ستقوم مسابر فضائية كتلة كل منها (100 kg) بزيارة كل كوكب من الكواكب الواردة في الجدول.

أ. على أيِّ كوكب سيكون للمسبار الفضائي أكبر وزن؟

ب. على أيِّ كوكبين سيكون للمسبار الفضائي الوزن نفسه تقريبًا؟

ج. احسب وزن مسبار الفضاء على كوكب الزُّهَرة.

٧ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه جسمَين (أ) و (ب) على كفّتَي ميزان.

قوّة الجاذبية الأرضية المؤثّرة على وحدة الكتل (g = 10 N/kg).

ووزن الجسم (أ) هو (1.25 N).

دوّن أو احسب:

أ. وزن الجسم (ب).

ب. كتلة الجسم (أ).

ج. كتلة الجسم (ب).

الوحدة الرابعة

الكثافة Density

تُغطّي هذه الوحدة:

- كيفية تحديد كثافة المواد الصلبة والسائلة والغازيّة.

٤-١ الكثافة

قد يخدعنا نظرنا أحيانًا، فإذا نظرنا إلى جسم ما نستطيع أن نحكم على حجمه، أما كتلته فلا يمكن إلا أن نُخمّنها. وقد نخطئ في التخمين إذا أخطأنا في تقدير كثافة الجسم. قد تعرض على شخص ما أن تحمل حقيبته لتكتشف أنها تحتوي على كتب ثقيلة. وبالمقابل يمكن لعلبة كبيرة من الشوكولاتة أن تحتوي فقط على 200 g؛ فيخيب ظنّك!

الكتلة Mass هي كمّية المادة التي يتكوّن منها الجسم وتقاس الكتلة بالكيلوغرام (kg). أما **الكثافة Density** فهي خاصّية المادّة التي تُعبِّر عن تركيز الكُتلة بها.

نقول في العادة إن الرصاص **أثقل** من الخشب. نعني بذلك أننا عندما ننظر إلى قطعتَين من الرصاص والخشب متساويتين في الحجم، نقول إن قطعة الرصاص أثقل. أما علميًّا فيُقال إن كثافة الرصاص أكبر من كثافة الخشب. وبناء على ذلك فإن مفهوم الكثافة ومُعادَلة حسابها:

مصطلحات علمية

الكثافة Density: نسبة كتلة المادة إلى حجمها.

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

رمز الكثافة هو ρ وهو حرف يوناني يلفظ rho (رو)، ووحدة الكثافة في نظام SI هي kg/m^3 (كيلوغرام لكل متر مُكعّب). هناك أيضًا وحدات أخرى كما هو مبيّن أدناه في الجدول ٤-١. ومن القيَم المُفيدة التي يجب أن نتذكّرها كثافة الماء = $1000\ kg/m^3$ عند درجة حرارة (4 °C) (انظر الجدول ٤-٢).

وحدة الكتلة	وحدة الحجم	وحدة الكثافة	كثافة الماء
كيلوغرام (kg)	متر مكعّب (m^3)	كيلوغرام لكل متر مكعّب	$1000\ kg/m^3$
كيلوغرام (kg)	لتر (L)	كيلوغرام لكل لتر	1.0 kg/L
غرام (g)	ملّيلتر (mL)	غرام لكل ملّيلتر	1.0 g/mL

الجدول ٤-١ وحدات الكثافة

تذكّر

أن وحدة الكثافة في نظام SI هي kg/m^3، حيث إن الكثافة هي كتلة مقسومة على حجم.

قيَم الكثافة

يبيّن الجدول ٤-٢ قيَم الكثافة لبعض المواد. وفيما يأتي بعض الأمور التي يجب ملاحظتها:

- تكون كثافة المواد الغازيّة أقلّ بكثير من كثافة المواد الصلبة أو السائلة.
- الكثافة تسبّب الطفو، فالجليد أقلّ كثافة من الماء. وهذا ما يعلّل طفوَ الجبال الجليدية على سطح البحر، بدلاً من غوصها إلى القاع.
- بعض المواد مثل الخشب لها قيم مختلفة للكثافة. حيث إن بعض أنواع الخشب كثافته أقلّ من كثافة الماء وبالتالي تطفو على سطحه، بينما يكون لأنواع أخرى من الخشب (مثل خشب الماهوجني) كثافة أعلى من كثافة الماء، فيغوص في الماء؛ فالكثافة إذن تعتمد على نوع المادة.
- الذهب أعلى كثافة من الفضة. وبما أن الذهب النقي فلزّ ليّن قابل للتشكيل، يضيف صائغ المجوهرات الفضّة إليه ليصبح أكثر صلابة. يمكن عندئذٍ الحكم على كمّية الفضّة المُضافة بقياس كثافة الذهب.

	المادة	الكثافة (kg/m^3)
المواد الغازيّة	الهواء	1.29
	الهيدروجين	0.09
	الهيليوم	0.18
	ثاني أكسيد الكربون	1.98
المواد السائلة	الماء	1000
	الكحول (الإيثانول)	790
	الزئبق	13 600
المواد الصلبة	الثلج	920
	الخشب	400–1200
	البوليثين	910–970
	الزجاج	2500–4200
	الفولاذ	7500–8100
	الرصاص	11 340
	الفضة	10 500
	الذهب	19 300

الجدول ٤-٢ كثافة بعض المواد. قيسَت كثافة المواد الغازيّة عند درجة حرارة 0°C وضغط $1.0 \times 10^5\ Pa$

حساب الكثافة

إذا أردنا حساب كثافة مادة ما، نحتاج إلى معرفة كتلة عيّنة من هذه المادة وحجمها.

مثال ٤-١

يبلغ حجم عيّنة من الإيثانول (240 mL) وكتلتها (190.0 g). احسب كثافة الإيثانول.

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

الكتلة: $m = 190.0\ g$

الحجم: $V = 240\ mL$

الكثافة: $\rho = ?$

الخطوة ٢: اكتب معادلة الكثافة، وعوّض القيم فيها واحسب ρ:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$= \frac{190}{240}$$

$$= 0.79\ g/mL$$

أسئلة

٤-١ احسب كثافة عيّنة من الزئبق حجمها (500 mL) وكتلتها (6.80 kg) بوحدة (g/mL).

٤-٢ احسب كثافة قطعة مُكعّبة من الفولاذ كتلتها (40 g) وطول ضلعها (1.74 cm).

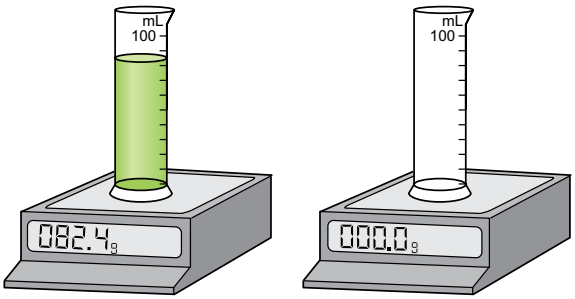
قياس الكثافة

إن أسهل طريقة لتحديد كثافة مادة ما هي إيجاد كتلة عيّنة من المادة وحجمها.

ونستطيع إيجاد حجم مادة صلبة ذات شكل منتظم بواسطة القياس (انظر الموضوع ١-١ من الوحدة الأولى). أما كتلتها فنقيسها باستخدام الميزان ثم نحسب الكثافة.

يوضّح الشكل ٤-١ إحدى الطُّرُق لإيجاد كثافة مادة سائلة.

- ضع المخبار المدرّج على الميزان ثم اضبط الميزان على الصفر.
- اسكب المادة السائلة في المخبار المدرّج، واقرأ حجمها من تدريج المخبار. وتُبيّن قراءة الميزان كتلة المادة السائلة.



الشكل ٤-١ قياس كثافة مادة سائلة

نشاط ٤-١

قياس الكثافة

المهارات:

- **يبرّر اختيار الأجهزة والموادّ والأدوات لاستخدامها في إجراء التجارب.**
- **يصف الخطوات التجريبية والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.**
- **يعالج البيانات ويعرضها ويقدّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانيّة والميل.**
- **يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.**

ستُجري في هذه التجربة قياسات لتحديد كثافة بعض المواد المختلفة. استخدم قِطَعًا لها أشكال منتظمة.

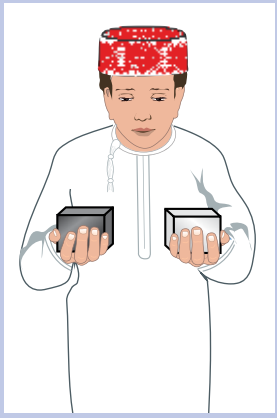
١ ابدأ بمُقارنة قطعتَين من مادتَين مختلفتَين مُستخدمًا راحة يديك، كما هو مبيّن في الشكل. هل يمكنك معرفة المادة الأكثر كثافة؟ هل بمقدورك ترتيب القِطَع من الأقلّ كثافة إلى الأكثر كثافة؟ (سيكون سهلاً نسبيًا إذا كانت كل القِطَع لها الحجم نفسه، لكنه ليس كذلك مع القطع المختلفة الحجم).

٢ استخدم الميزان لإيجاد كتلة كل قطعة. إذا كان لديك إمكانية التعامُل مع موازين مختلفة، اختر أحدها مبرِّرًا اختيارك.

٣ استخدم الطريقة المناسبة لقياس أبعاد كل قطعة. (فإذا كانت القطع مُكعّبة الشكل يجب عليك التحقّق من أن أضلاعها متساوية تمامًا).

٤ احسب حجم كل قطعة وكثافتها. يُفضّل كتابة نتائجك وحساباتك في جدول كالجدول التالي. ويمكنك بدلًا من ذلك، استخدام جهاز حاسوب فيه برنامج لجداول البيانات. استخدِم جدولاً يُجري العمليات الحسابية.

٥ قارن نتائج قياساتك مع توقّعاتك السابقة، هل كان ترتيبك للموادّ صحيحًا؟



المادة	الكتلة (g)	الطول (cm)	العرض (cm)	الارتفاع (cm)	الحجم (cm^3)	الكثافة (g/cm^3)
الجبنة	20.7	2.4	2.5	3.0	18.0	1.15

٤ أمِل المخبار المدرّج جانبيًا، أسقِط بحذر الجسم الذي اخترته داخل المخبار. وبذلك تتجنّب انسكاب الماء من المخبار، وما يصحبه من تغيّر في حجم الماء؛ وتمنع الجسم من صدم المخبار بقوّة قد ينكسر بسببها.

٥ قِس الحجم الجديد بدقّة. هذا هو الحجم الكلّي للماء وللجسم معًا. سجّل الحجم الجديد.

٦ أوجِد حجم الجسم بطرح القراءة الأولى من القراءة الثانية.

٧ استخدم هذه القيمة والكتلة التي قستها لحساب كثافة الجسم مع ذكر الوحدة.

تنبيه: استخدم الكتلة بوحدة (g) والحجم بوحدة (mL).

٨ كرّر تلك الخطوات مع جسم آخر غير مُنتظِم الشكل وقابل للغوص في الماء.

٩ ابتكر طريقة لإيجاد كثافة جسم غير مُنتظِم الشكل يطفو على سطح الماء.

نشاط ٤-٢

تحديد كثافة مادة صلبة غير مُنتظِمة الشكل بطريقة الإزاحة

المهارات:

- يبرّر اختيار الأجهزة والموادّ والأدوات لاستخدامها في إجراء التجارب.
- يصف الخطوات التجريبية والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانيّة والميل.

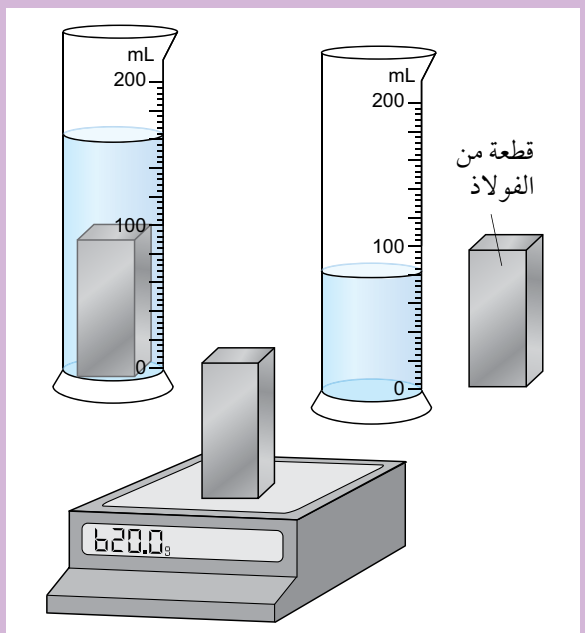
١ اختر جسمًا غير مُنتظم الشكل قابلاً للغوص في الماء، ويتناسب حجمه مع حجم المخبار المُدرّج. كأن تختار مثلاً حصاة صغيرة أو حجرًا صغيرًا. برِّر اختيارك لحجم المخبار المدرَّج، وتذكّر أن أكبر مخبار مدرَّج قد لا يكون الأفضل.

٢ قِس كتلة الجسم باستخدام الميزان، ثم سجّلها.

٣ املأ المخبار المدرّج إلى ثلاثة أرباعه بالماء. سجّل حجم الماء بدقّة. ينبغي أن تقرأ التدريج أفقيًّا على مستوى نظرك ومن أسفل السطح المُقعّر للماء.

سؤال

٣-٤ تقيس مُنى كثافة قطعة فولاذ، فتستخدم طريقة الإزاحة لإيجاد حجمها. تظهر القياسات التي توصّلت إليها مُنى على الرسم التخطيطي أدناه. احسب حجم قطعة الفولاذ وكثافتها.



كثافة المواد الغازيّة

غالبًا ما ينسى الناس أن للمواد الغازيّة كالهواء المحيط بهم كتلة. فهذه الموادّ الغازيّة مثلها مثل المواد الصلبة والسائلة تتكوّن من جُسيمات صغيرة لكل منها كتلة.

تُحسب كثافة المادة الغازيّة بالطريقة نفسها التي تُحسب بها كثافة مادة صلبة أو سائلة: بقسمة كتلة الغاز على حجمه.

تبلغ كثافة الهواء عند درجة حرارة الغرفة وعند مستوى سطح البحر حوالي $1.2\ kg/m^3$، يعني ذلك أن كتلة $1\ m^3$ من الهواء تبلغ $1.2\ kg$.

أسئلة

٤-٤ المنطاد بالون كبير يمكن استخدامه لرفع الأشياء أو عرض الإعلانات.

يبلغ الحجم الداخلي للمنطاد الواحد ($10\ m^3$) ويحتوي على ($1.8\ kg$) من غاز الهيليوم.

احسب كثافة غاز الهيليوم داخل هذا المنطاد بوحدة (kg/m^3).

٤-٥ تحتوي أسطوانة على غاز ميثان حجمه ($250\ cm^3$)، وتبلغ كثافته ($5.5 \times 10^{-4}\ g/cm^3$).

احسب كتلة غاز الميثان داخل الأسطوانة.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- أن الكثافة هي نسبة كتلة المادة إلى حجمها.
- قياس الكثافة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ **أ.** عرّف الكثافة.

ب. اكتب المُعادلة الرياضية لحساب الكثافة (ρ) بالاعتماد على الكتلة (m) والحجم (V).

٢ أيٌّ من الآتي ليس وحدة كثافة؟

أ. kg/m^3 **ب.** mg/cm^3

ج. g/mL **د.** m/kg^3

٣ يمتلك حمد الأدوات الآتية:

- مخبارًا مدرّجًا
- مسطرة
- ميزانًا إلكترونيًّا
- ساعة إيقاف

صف كيف يستطيع حمد استخدام تلك الأدوات لإيجاد كثافة زيت الزيتون. (لست مضطرًا إلى استخدام كل الأدوات).

٤ يبيّن الجدول كثافة بعض الفلزّات.

الفلزّ	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.7
حديد	7.9
رصاص	11
ذهب	19

لدى بلال مكعّب فلزّي طول ضلعه (2.0 cm)، وكتلته (63 g). يتكوّن المكعّب من فلزّ واحد، ولا تتخلّله فراغات هواء.

استخدم تلك المعلومات لتحديد نوع الفلزّ المصنوع منه المكعّب.

٥ لدى سارة حصاة غير منتظمة الشكل، وأطول أبعادها هو (2.6 cm).

أ. صف طريقة لإيجاد حجم تلك الحصاة.

ب. وجدت سارة أن حجم الحصاة يبلغ ($6.1\ cm^3$)، وحدّدت نوعها، واستخدمت مصدرًا ثانويًّا لتعرف كثافتها، فوجدتها تساوي ($2.4\ g/cm^3$). احسب كتلة تلك الحصاة.

الوحدة الخامسة

نموذج الحركة الجُزيئية البسيطة للمادة

Simple Kinetic Molecular Model of Matter

تُغطّي هذه الوحدة:

- وصف المادّة في حالاتها الثلاث (الصلبة والسائلة والغازية).
- حركة الجُسيمات في المواد الصلبة والسائلة والغازية.
- وصف تغيُّرات حالة المادّة.
- الحركة البراونية.
- استخدام نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادة لشرح التغيُّرات في الحالة، ولشرح تأثير بعض العوامل على ضغط المادة الغازيّة.
- استخدام نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادة لتفسير التبريد كنتيجة للتبخُّر.
- انتقال الطاقة الذي يحدث في أثناء تغيُّرات حالة المادّة.
- شرح نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادة باستخدام القوى بين الجُسيمات.

١-٥ حالات المادة

يستمتع الشباب عادة بالثلج. وحتى في سلطنة عُمان ذات المناخ الحار، يستطيع الناس تجربة الاستمتاع بالثلج الاصطناعي (الصورة ٥-١).

يعدّ الثلج من الأشياء الرائعة، لكنه في الحقيقة ليس إلّا مياهًا متجمّدة. إنّ سكان الإسكيمو مثلاً الذين يعيشون دائمًا في مناطق الثلوج يطلقون على الثلج أسماء مختلفة بحسب حالة الثلج وتراصّه وتماسكه. تُعدّ المعلومات الخاصة بكيفية تراصّ الثلج مهمّة جدًّا للرياضيين الذين يمارسون الرياضات الشتوية لأنها تُحدّد مدى خطورة حدوث الانهيار الجليدي.

الصورة ٥-١ يتكوّن الثلج الاصطناعي عن طريق رش قطرات صغيرة جدًّا من الماء في هواء، تكون درجة حرارته أدنى من درجة التجمُّد، فتتجمّد قطرات الماء أثناء سقوطها على الأرض

نحن نعلم بالتغيُّرات التي تحدث عندما ينصهر الثلج، إذ تتحوّل هذه المادة البيضاء أو الزجاجية الصلبة إلى مادة سائلة لا لون لها ثم تختفي في الهواء عند استمرار تسخينها. وهذا من مظاهر قدرة الله تعالى التي تستحق التدبُّر والإمعان فيه. وقد ميَّز الله تعالى الأرض عن جميع كواكب النظام الشمسي في أنها الكوكب الوحيد الذي يحتوي على الماء طبيعيًّا في حالاته الثلاث.

وسوف نتناول في هذه الوحدة ما يحدث عندما تتحوّل المادة من صلبة إلى سائلة إلى غازية والعودة مرّة أُخرى إلى مادّة سائلة ثم صلبة. ويمكننا من خلال التفكير بجُسيمات المادة، أي الذرّات والجُزيئات التي تتكوّن منها المواد، بناء صورة أو نموذَج كي نتمكّن من وصف تغيُّرات حالة المادة، واستيضاح بعض الأشياء التي نلاحظها عندما تتحوّل المادة من حالة إلى حالة.

حالات المادّة الثلاث

لنفكّر في المادة وهي في حالاتها الثلاث: الصلبة والسائلة والغازية. فما هي الخواص المميّزة لكل حالة؟ للإجابة نحن بحاجة إلى التفكير في الشكل والحجم لحالات المادة الثلاث. يبيّن الجدول ٥-١ كيف تساعدنا تلك الخواص على التمييز بين المواد الصلبة والسائلة والغازية. وقد يساعدك التفكير في الجليد والماء والبخار كأمثلة على حالات المادة الثلاث.

الحالة	الحجم	الشكل
صُلبة	لها حجم ثابت	لها شكل ثابت
سائلة	تشغل حجمًا ثابتًا	تتّخذ شكل وعائها
غازية	تتمدّد لتملأ وعاءها	تتّخذ شكل وعائها

الجدول ٥-١ الخواص المميّزة لحالات المادة الثلاث

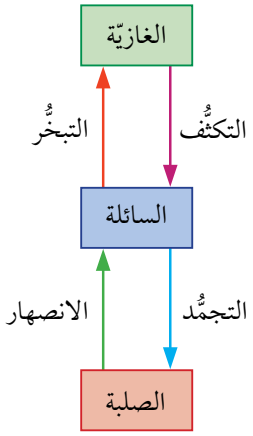
قُم بهذه المحاولة مع أخيك الصغير. اسكُب عصيرًا في كأس زجاجية قصيرة وعريضة، ثم اسكب كمّية العصير نفسها في كأس أخرى طويلة وضيّقة. سلِ أخاك عن كأس العصير التي يفضّلها. كثير من الأولاد الصغار سيفضّلون عصير الكأس الزجاجية الطويلة؛ لأنه يبدو لهم أكثر. وأنت بالطبع ستُدرك أن العصير قد تغيّر شكله فقط، عندما قمت بصبِّه من وعاء إلى آخر في حين بقي حجمه ثابتًا.

تغيُّرات حالة المادة

تنصهر المادة الصلبة لتصبح سائلًا عند تسخينها، وتصبح المادة السائلة بعد تسخينها وغليانها مادة غازيّة. وعند تبريد المادة الغازيّة تتحوّل في البداية إلى مادة سائلة ثم مادة صلبة. وهذا ما يُعرف بتغيُّرات حالة المادة. وتتَّضح أسماء هذه التغيُّرات في الشكل ٥-١:

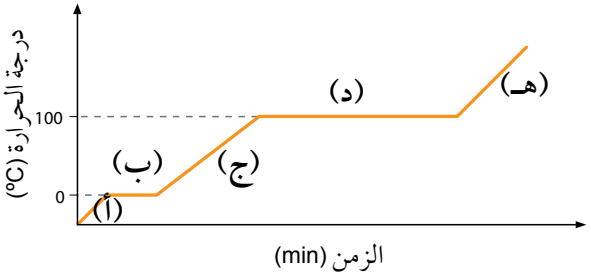
- **الانصهار:** هو تغيُّر حالة المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة.
- **التبخُّر:** هو تغيُّر حالة المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازيّة.
- **التكثُّف:** هو تغيُّر حالة المادة من الحالة الغازيّة إلى الحالة السائلة.
- **التجمُّد:** هو تغيُّر حالة المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة.

يحدث التبخّر في أثناء الغليان أيضًا. وسنرى الفرق بين التبخّر والغليان لاحقًا في سياق الموضوع.



الشكل ٥-١ تغيُّرات حالات المادة

يبيّن الشكل ٥-٢ ما يحدث إذا أخذتَ بعض الثلج عند درجة حرارة أقلّ من درجة التجمّد (0 °C) ثم سخّنته بمعدّل ثابت. يمكنك أن ترى من التمثيل البياني أن الثلج يسخن إلى درجة 0 °C، ثم تَثبت درجة حرارته عند 0 °C حتى ينصهر، وتطفو قِطَع من الثلج على سطح الماء؛ ويكون لكل من الماء وقِطَع الثلج درجة الحرارة ذاتها أي 0 °C. وعندما ينصهر الثلج بأكمله تبدأ درجة حرارة الماء بالارتفاع مرّة ثانية حتى تصِل إلى درجة الغليان 100 °C، ثم تثبت درجة الحرارة حتى يغلي الماء بأكمله مُكوِّنًا بخارًا. سنرى لاحقًا كيف يمكن اكتساب الطاقة الحرارية من دون أن يطرأ أي تغيّر على درجة الحرارة.



الشكل ٥-٢ تمثيل بياني (درجة الحرارة/ الزمن)، يبيّن التغيُّرات التي تحدث عند تسخين الثلج حتى يصبح بخارًا

يستغرق الغليان وقتًا أطول من الانصهار. ويعني ذلك أن الماء يحتاج إلى طاقة حرارية ليغلي أكثر من الطاقة الحرارية التي يحتاج إليها الثلج لينصهر. وفي النهاية يتحوّل الماء بأكمله إلى بخار. وإذا تابعنا تسخين البخار فسوف ترتفع درجة حرارته من جديد.

لاحظ أن من الضروري توفير الطاقة الحرارية للمادة الصلبة بهدف تغيير حالتها إلى مادّة سائلة. وفي الوقت نفسه تبقى درجة حرارتها ثابتة أثناء عملية الانصهار. وبالمثل عندما تتحوّل المادة السائلة إلى مادّة غازية فإن درجة حرارتها تبقى ثابتة أثناء غليانها رغم استمرار تزويدها بالطاقة الحرارية.

وتبدأ المادة الغازيّة بالتكثّف إذا فقدت الطاقة الحرارية لتكوّن مادة سائلة وتبقى درجة حرارتها ثابتة أثناء تكثّفها. وبالمثل تتجمَّد المادة السائلة إذا فقدت طاقة حرارية وتبقى درجة حرارتها ثابتة أثناء تجمُّدها.

تذكّر

أن درجة حرارة الثلج ليست دائمًا 0 °C، فقد يكون أكثر برودة من ذلك. فإذا أخرجت ثلجًا من الثلاجة، قد تجدُه باردًا عند درجة حرارة 20 °C-، أي 20 °C تحت الصفر.

تتحوّل المادة النقية من مادة صلبة إلى مادة سائلة عند درجة حرارة معيّنة، تُسمى **درجة الانصهار Melting point**. وبالمثل تتحوّل المادة السائلة إلى مادة غازيّة عند درجة حرارة ثابتة تُسمى **درجة الغليان Boiling point**.

مصطلحات علمية

درجة الانصهار Meltling point: درجة الحرارة التي تتحوَّل عندها المادَّة الصّلبة إلى مادّة سائلة.

درجة الغليان Boiling point: درجة الحرارة التي تتحوَّل عندها المادَّة السائلة إلى مادّة غازية (عند ضغط ثابت).

يبيّن الجدول ٥-٢ درجتَي الانصهار والغليان لبعض المواد النقية.

العنصر	درجة الانصهار (°C)	درجة الغليان (°C)
هيليوم	-272	-269
أكسجين	-218	-183
نيتروجين	-191	-177
زئبق	-39	257
ماء	0	100
حديد	2080	3570
ماس (كربون)	4100	5400
تنغستن	3920	6500

الجدول ٥-٢ يبيّن درجتَي الانصهار والغليان لبعض المواد النقية. فالزئبق مثير للاهتمام، لأنه الوحيد بين الفلزّات لا يكون مادة صلبة عند درجة حرارة الغرفة. ومع أن التنغستن فلزّ فإن له أعلى درجة غليان من أي فلزّ آخر. ويملك غاز الهيليوم أدنى درجتَي انصهار وغليان من أي عنصر آخر. في الحقيقة، يتحوّل الهيليوم إلى مادة صلبة فقط عندما يتم ضغطه وتبريده في الوقت نفسه

لاحظ أن علينا الانتباه لدى حديثنا عن المواد النقية. ذلك أن درجة الحرارة التي تنصهر عندها مادة نقية أو تغلي تختلف عند إذابة مادة أخرى فيها. فعلى سبيل المثال يغلي الماء المالح عند درجة حرارة أعلى من درجة غليان الماء النقي (100 °C). كذلك يتجمَّد الماء المالح عند درجة حرارة أدنى من درجة تجمُّد الماء النقي (0 °C).

يمكن للمواد أن تسلك طُرقًا أخرى عند تسخينها: فبعضها يحترق، وبعضها الآخر يتحلّل (يتجزّأ) إلى مواد أبسط قبل أن يكون لديه فرصة بأن تتحوّل حالته.

أسئلة

١-٥ إذا أردتَ قياس حجم مادة سائلة اسكبها في مخبار مدرّج. وللمخابير المدرّجة أشكال وأحجام مختلفة، فمنها القصير والطويل والواسع والضيق. اشرح لماذا لا يؤثّر شكل المخبار المدرّج على قياس الحجم.

٢-٥ ما الاسم الذي يُطلَق على درجة الحرارة التي تتكثّف عندها المادة الغازيّة لتتحوَّل إلى مادة سائلة؟

أسئلة

٣-٥ يمكن لمادة سائلة أن تتحوَّل إلى مادة صلبة عند التبريد.

أ. ما الاسم الذي يُطلق على العملية التي تتحوّل فيها المادة السائلة إلى مادة صلبة؟

ب. ما الاسم الذي يُطلق على درجة الحرارة عندما تحدث عملية التحوُّل تلك؟

٤-٥ انظر إلى الشكل ٥-٢ في الصفحة السابقة.

أ. ماذا حدث في الجزء (ج): هل تحوّلت المادة من حالة إلى أخرى أم ارتفعت درجة حرارتها؟

ب. سمِّ المادة أو المواد التي يدل عليها الجزء (د).

٥-٥ يبيّن الجدول ٥-٢ درجة الانصهار والغليان للنيتروجين والأكسجين، اللذين هما من المكوّنات الرئيسية للهواء. لماذا لا نستطيع التحدُّث عن درجة انصهار الهواء ودرجة غليانه؟

٥-٢ نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادة

تظهر عدّة أسئلة خلال مناقشتنا لتغيُّرات الحالة. وسوف نُلقي في هذا الموضوع نظرة على **نموذج Model** للمادة يبيّن طريقة واحدة يمكننا من خلالها الإجابة عن الأسئلة الآتية:

- لماذا يستغرق صهر مادة صُلبة وقتًا؟ ولماذا لا تتحوّل المادة الصلبة إلى سائلة فورًا؟
- لماذا يستغرق غليان مادة سائلة وقتًا أطول من صهر مادة صلبة؟
- لماذا تتباين درجات انصهار المواد؟
- لماذا تتباين درجات غليان المواد؟

يُسمى النموذج الذي سنعالجه **نموذج الحركة الجُزيئية البسيطة للمادة Kinetic molecular model of matter**. وسوف نرى في الوحدة الثامنة، أن كلمة «الحركة» «مرتبطة بالحركي ». فالأشياء التي تتحرّك في هذا النموذج هي الجُسيمات التي تتكوّن منها المادة. وهكذا يصبح لهذا

النموذج اسم بديل هو: **النموذج الجُسيمي للمادة** particle model of matter.

مصطلحات علمية

نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادَّة
Kinetic molecular model of matter: نموذج يقول بأن كل مادّة مكوَّنة من عدد كبير من جُسيمات صغيرة (ذرّات أو جُزيئات) جميعها في حركة عشوائية.

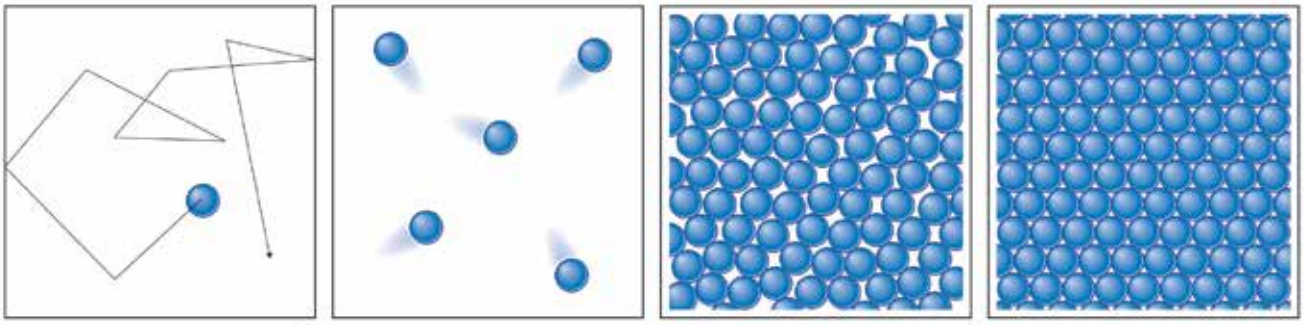
تكون الجُسيمات التي تتكوّن منها المادة صغيرة جدًّا. وهي إما ذرّات أو جُزيئات أو أيونات. لكننا هُنا سنبسّط الأمور بالتغاضي عن تلك الاختلافات بينها والإشارة لها فقط بالجُسيمات. وسوف نصوّر المادة على أنها تتكوّن من أعداد كبيرة من الجُسيمات المُتماثلة. وبهذا يكون حديثنا عن مادة نقية بدلاً من مزيج يحتوي على نوعين أو أكثر من الجُسيمات. وسوف نصوّر الجُسيمات أيضًا على شكل كُرات بسيطة، رغم أنها في الواقع تتّخذ الكثير من الأشكال المُعقّدة. قد يكون لجُسيمات البوليمر، مثلاً، شكل يشبه خيوط المعكرونة الطويلة الرقيقة بدل من أن يكون شكلها كالبازلاء الصغيرة المستديرة.

جاءت فكرة أن المادة تتكوّن من جُسيمات كروية للتبسيط، ويمكننا استخدام هذه الفكرة لإيجاد إجابات عن الأسئلة المذكورة آنفًا. وسنفكّر لاحقًا إن كان استخدام هذا النموذج المبسّط مُبرّرًا.

تذكّر
ربّما اطّلعت أيضًا على بعض تلك الأفكار في مادة الكيمياء.

ترتيب الجُسيمات

يُبيّن الشكل ٥-٣ كيف نتصوّر الجُسيمات في المواد الصلبة والسائلة والغازية. سنفكّر في كل صورة بشيئَين (انظر الجدول ٥-٣): كيف تترتّب الجُسيمات، وكيف تتحرّك. (بما أن رسوم الشكل ٥-٣ مطبوعة على ورق، فإن من الصعب أن تمثّل حركة الجُسيمات عليها. يمكنك الاستعانة ببرنامج أو فيديو ليبيّن لك حركتها بوضوح أكبر).



(أ) (ب) (ج) (د)

الشكل ٥-٣ تمثيل لجُسيمات المواد الصلبة (أ) و السائلة (ب) والغازيّة (ج). كلّما سُخّنت المادة الصلبة يتغيَّر ترتيب جُسيماتها وحركتها فتتحوّل إلى مادّة سائلة، ثم إلى مادّة غازية. (د) يوضح الحركة العشوائية المحتملة لجُسيم واحد في سائل أو غاز. تحدث التغيُّرات في اتّجاه حركة الجُسيمات بسبب الاصطدام بجُسيمات أخرى أو بجُدران الحاوية

حالة المادة	ترتيب الجُسيمات	حركة الجُسيمات
صلبة	تكون الجُسيمات متراصّة بإحكام ومتقاربة. مع ملاحظة أن كل جُسيم يكون على تماسّ مع جميع الجُسيمات المجاورة له.	بما أن الجُسيمات متراصّة بإحكام شديد، فلا يمكنها الحركة، ومع ذلك باستطاعتها الاهتزاز في مواقع ثابتة. وكلما ارتفعت درجة حرارة المادة الصلبة، ازدادت اهتزازات جُسيماتها.
سائلة	تكون الجُسيمات في المادة السائلة أقلّ تراصًّا مما هي عليه في المادة الصلبة. ويبقى كل جُسيم على تماسّ مع معظم الجُسيمات المجاورة له، ولكن بصورة أقلّ مما هو عليه في المادة الصلبة. ويشير الترتيب العام للجُسيمات إلى أنها أقلّ انتظامًا بقليل.	بما أن الجُسيمات في المادة السائلة أقلّ تراصًّا مما هي عليه في المادة الصلبة، فهي قادرة على الحركة داخل وعائها، وبالتالي فإن الجُسيمات تهتز وتتحرّك من مكان إلى آخر.
غازية	تكون الجُسيمات متباعدة على نطاق واسع ولا يوجد تماسّ ما لم تتصادم. يبلغ متوسّط المسافة بين الجُسيمات المتباعدة في الهواء حوالي عشرة أمثال قُطرها.	تتحرّك الجُسيمات في المواد الغازية بحرّية، ويصطدم بعضها ببعض وبجدران وعائها أيضًا. وتبلغ السرعة المتوسّطة لجُسيمات الهواء عند درجة حرارة الغرفة حوالي 500 m/s.

الجدول ٥-٣ ترتيب الجُسيمات وحركتها في الحالات الثلاث المختلفة للمادة. اربط عبارات الجدول مع تمثيل الجُسيمات المُبيّن في الشكل ٥-٣

تفسيرات باستخدام النموذج الحركي

يمكن تفسير الكثير من الملاحظات باستخدام النموذج الحركي. ومن هذه الملاحظات:

- تحتفظ المواد الصلبة بشكلها، لأن الجُسيمات تكون متراصّة بإحكام ومتقاربة جدًّا.
- تتّخذ المادة السائلة شكل وعائها، لأن جُسيماتها حرّة الحركة نسبيًّا.
- تملأ المادة الغازية وعاءها، لأن جُسيماتها تتحرّك فيه بحرِّية مُطلقة.
- تنتشر المواد الغازية من مكان إلى آخر، الأمر الذي يمكّننا على سبيل المثال من شم العطر في جميع أنحاء الغرفة التي انتشرت فيها جُسيمات العطر، لأنها تتحرّك بحرّية مُطلقة.
- وعلى نحو مماثل تنتشر المواد الذائبة في المادة السائلة. كأن تذوب بلورات السكّر في الشراب وتنتشر جُسيماتها في جميع أنحاء المادة السائلة، حيث تحملها جُسيمات المادة السائلة المتحرّكة. وتكون حركة جُسيمات السكّر أسرع في الشراب الأكثر سخونة، لذا ينتشر السكّر فيه بسرعة أكبر.
- تتمدّد معظم المواد الصلبة عندما تنصهر، إذ تتباعد الجُسيمات في الحالة السائلة أكثر مما هي في الحالة الصلبة.
- تتمدّد المواد السائلة كثيرًا عندما تغلي، وتتباعد جُسيمات المادة الغازية أكثر بكثير مما كانت عليه في الحالة السائلة، ويمكننا التفكير في هذا الموضوع بصورة معاكسة، فجُسيمات المادة الغازية تتقارب كثيرًا عندما تتكثّف، فإذا ما تم، بما يكفي، تبريد كامل هواء الغرفة التي أنت فيها، فسوف يتكثّف لتشكيل طبقة رقيقة سائلة على الأرضية.

التبخّر

علمتَ أن درجة غليان الماء تبلغ 100 °C، ولكن يمكن أن يتحوّل الماء إلى حالته الغازية من دون تسخينه إلى 100 °C. ألا تلاحظ أن الماء في البِرَك التي شكّلتها الأمطار الغزيرة، يجفّ في النهاية، رغم أن درجة حرارة

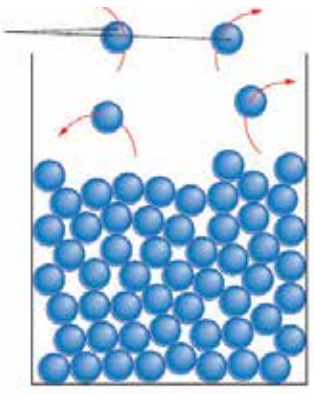
الجو أدنى بكثير من 100 °C؟ ونقول عندها إن الماء قد تحوّل إلى «بخار ماء» في الهواء. تلك هي عملية **التبخّر Evaporation**. بالتالي فإن البخار هو مادة غازية تنتج عند درجة حرارة أدنى من درجة الغليان.

مصطلحات علمية

التبخُّر Evaporation: تحوُّل المادَّة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية عند درجة حرارة أقلّ من درجة غليانها.

تتبخّر المادة السائلة بسرعة أكبر عندما تقترب درجة حرارتها من درجة غليانها. فدرجة الحرارة المرتفعة في المناطق الاستوائية تجعل بِرك المياه تجفّ سريعًا بعد كل عاصفة مطرية، حيث تصل درجة الحرارة إلى 30 °C، لكن البِرَك في المناطق الباردة قد تستمرّ لعدة أيام، حيث تكون درجة حرارة الجوّ قريبة من 0 °C.

كيف نستخدم النموذج الحركي للمادة في شرح التبخّر؟ تخيّل كوب ماء يتبخّر منه الماء تدريجيًّا. يُبيّن الشكل ٥-٤ كيف تتحرّك الجُسيمات التي تشكّل الماء داخل المادة السائلة، ويتحرّك بعضها أسرع من بعضها الآخر، حتى أن بعضها قد يتحرّك بسرعة كافية لمغادرة سطح الماء، وتصبح هذه الجُسيمات المُغادرة بخارًا في الهواء. علمًا أن جميع جُسيمات الماء في النهاية قد تغادر بهذه الطريقة من الكوب، ويكون الماء قد تبخّر بشكل كُلّي.



الشكل ٥-٤ تغادر جُسيمات سريعة الحركة سطح المادة السائلة، مما يدل على تبخّره

التبخّر والتبريد

إذا كنت مبلّلًا بالماء، بسبب وقوفك تحت المطر، أو أنك كنت تسبح. سوف تلاحظ أن جسمك يبرد بسرعة، لأن الماء الذي يبلّله يتبخّر؛ الأمر الذي يجعلك تشعر بالبرودة. فكيف يعمل التبخّر على جعل الأشياء أبرد؟

انظر مرّة أخرى إلى الشكل ٥-٤، فالجُسيمات التي تغادر سطح المادة السائلة تكون أسرع من سواها وأكبر طاقة أيضًا. وعندما تغادر هذه الجُسيمات ينخفض متوسّط طاقة الجُسيمات المتبقية في المادة السائلة؛ فيؤدي ذلك إلى انخفاض درجة حرارة المادة السائلة؛ ويسبّب البرودة.

وبما أن التبخّر في الحقيقة يُسبّب تبريد المادة السائلة، فإن التعرُّق يسبّب تبريد الجلد أيضًا. فإذا استطاعت جُسيمات العرق أن تغادر أثناء التبخّر، تنخفض درجة حرارة العرق المتبقّي، مما يخفض درجة حرارة الجلد أيضًا.

عندما يكون الجو مُشبعًا ببخار الماء (ذا رطوبة مرتفعة) فلا يمكن أن يتبخّر العرق بسرعة، ويمكن أن يشكّل ذلك خطرًا على صحّة الناس، لاحتمال أن ترتفع درجة حرارة أجسامهم في هذه الظروف.

أسئلة

٥-٦ لماذا يُسمّى النموذج الحركي للمادة بالحركي؟

٥-٧ **أ.** في أي حالة تكون المادة عندما تمتلك جُسيماتها أكثر تراصًّا وتقاربًا؟

ب. في أي حالة تكون المادة عندما تكون جُسيماتها أكبر طاقة حركة؟

ج. في أي حالة تكون المادة عندما تكون جُسيماتها متباعدة على نطاق واسع؟

٥-٨ استخدم النموذج الحركي للمادة كي تفسّر لماذا نستطيع أن نتحرّك في الهواء حين نمشي وأن نغوص في مياه البحر حين نسبح ولا نستطيع أن نخترق جدارًا صلبًا حين نودّ الانتقال من غرفة إلى أخرى.

أدلّة على نموذج الحركة للمادة

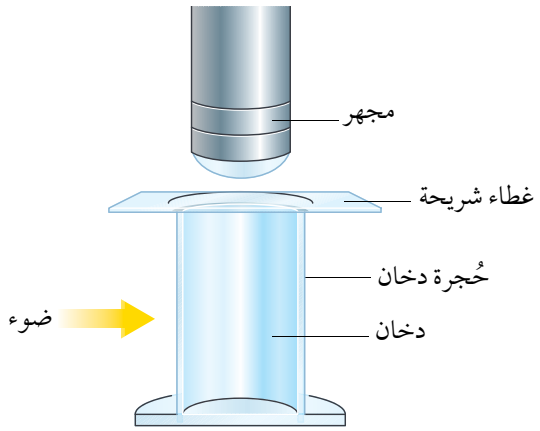
لا يمكننا بواسطة المجهر أن نرى الجُسيمات التي تشكّل المادة. وبالتأكيد لا يمكننا أن نأمل برؤية جُسيمات المادة

الغازيّة أثناء اندفاعها حولنا. ومع ذلك فإن عالمًا يُدعى روبرت براون Robert Brown تحقّق عام 1820 من حركة جُسيمات مادة غازيّة مُستخدِمًا مجهرًا لدراسة حُبيبات اللقاح. عندها لاحظ وجود جُسيمات صغيرة تهتز؛ فاعتقد في البداية أنها قد تكون كائنات حية. ولكن عندما كرّر تجربته بحُبيبات صغيرة من الغبار مُعلّقة في الماء، رآها تتحرّك أيضًا. وأصبحت هذه الحركة تُعرف الآن باسم **الحركة البراونية Brownian motion**. وهي تحدُث لأن تلك الجُسيمات المُتحرّكة تصطدم باستمرار بجُسيمات الماء السريعة الحركة.

مصطلحات علمية

الحركة البراونية Brownian motion: حركة الحُبَيبات الصغيرة المعلّقة في مادّة سائلة أو غازيّة، بسبب التصادم الجُسيمي.

نستطيع في الوقت الحاضر إجراء تجربة مماثلة باستخدام حُبيبات الدخان. ولما كانت جُسيمات الأكسجين والنيتروجين التي تشكّل الهواء أصغر بكثير ممّا يمكن رؤيته، فإن علينا أن ننظر إلى شيء أكبر ونبحث في تأثير جُسيمات الهواء عليه. نستخدم حجرة دخان (الشكل ٥-٥) تحتوي على هواء مع كمّية صغيرة من الدخان، حيث تُضاء الحجرة من جانبها ويُستخدَم مجهر لمُشاهدة حُبيبات الدخان.



الشكل ٥-٥ تجربة لملاحظة الحركة البراونية، حيث تكون حُبيبات الدخان كبيرة بما يكفي لنراها عبر المجهر، ولكن جُسيمات الهواء التي تصطدم بها صغيرة جدًّا لا يمكن رؤيتها

تظهر حُبيبات الدخان كبقع من الضوء صغيرة جدًّا إلى درجة تستحيل معها رؤية أي تفاصيل عن شكلها. كل ما نلاحظه هو الطريقة التي تتحرّك بها. إذا استطعت التركيز على حبّة واحدة سترى أنها تسلك إلى حدّ ما مسارًا متذبذبًا وعشوائيًّا، نتيجة اصطداماتها المتكرّرة بجُسيمات الهواء.

غير أن ملاحظة الحركة البراونية للدخان أو حُبيبات اللقاح لا تعني أننا أثبتنا أن الهواء والماء يتكوّنان من جُسيمات متحرّكة. ذلك أننا لم نرَ لا جُسيمات الهواء ولا جُسيمات الماء. فمراقبة الحركة البراونية تشبه مشاهدتنا لمباراة كرة قدم من طائرة تتحرّك عاليًا فوق الملعب، فقد نرى اللاعبين يهرعون ويتحرّكون في الملعب، لكننا لا نستطيع رؤية الكرة. والملاحظة الدقيقة على مدى فترة من الزمن قد تقودنا إلى التخمين بأن هناك كرة تتحرّك بين اللاعبين. وقد تستطيع تخمين قواعد اللعبة.

وهكذا فإن النموذج الحركي للمادة يقدّم توضيحًا للحركة البراونية. كما أن كثيرًا مما اكتشفه العلماء بعد أن قام براون بتجاربه الأولى يؤكّد صحّة طرح براون بأنه اكتشف تأثيرًا ناتجًا عن حركة جُسيمات المادة.

تذكّر

عندما نلاحظ الحركة البراونية، لا نرى جُسيمات الهواء أو الماء، بل نرى تأثيرها في جُسيمات أكبر ومرئية في الوقت نفسه، حيث تكون حُبيبات الدخان أكبر بكثير من جُسيمات الهواء، لكن جُسيمات الهواء تتحرّك بسرعة كبيرة عندما تصطدم بحُبيبات الدخان.

نشاط ٥-١

ملاحظة الحركة البراونية

استخدم الأدوات المبيّنة في الشكل ٥-٥، كي تشاهد حُبيبات الدخان المضيئة بشدّة تتحرّك في الهواء.

يمكنك أن تستخدم طريقة بديلة، وهي وضع كُرات بلاستيكية (بولستيرين) صغيرة تطفو على سطح ماء بدلاً من حُبيبات الدخان في الهواء.

قد تكون قادرًا على مشاهدة مقطع فيديو عن الحركة البراونية أيضًا.

سؤال

٥-٩ شاهد أحمد في تجربة لملاحظة الحركة البراونية حُبيبة غبار مضيئة بشدة تتحرّك في جميع الاتّجاهات في الماء وتتّبع مسارًا عشوائيًا.

أ. اشرح لماذا لم يستطع أحمد رؤية جُسيمات الماء تتحرّك في جميع الاتّجاهات.

ب. اشرح لماذا تحرّكت حُبيبة الغبار في جميع الاتّجاهات في الماء.

٥-٣ القوى والنظرية الحركية الجُزيئية البسيطة للمادة

رأينا حتى الآن كيف نجحت النظرية الحركية الجُزيئية البسيطة للمادة في شرح بعض الملاحظات التي تتباين فيها المواد الصلبة والسائلة والغازية. ويمكننا أن نشرح بعض الملاحظات الأُخرى إذا أضفنا فكرة علمية أُخرى وهي القُوى بين الجُسيمات التي تُشكّل المادة.

لمَ تتقارب الجُسيمات التي تشكّل المادة الصلبة أو السائلة؟ لا بدّ من أن يكون بينها قوى تجاذب. فمن دون هذه القوى التي تربط بين الجُسيمات التي تشكّل المادة كنا سنعيش في عالم خالٍ من المواد الصلبة أو السائلة. ولن يكون فيه سوى المواد الغازية، وبغضّ النظر عن مدى قدرتنا على تبريدها فسوف تبقى مواد غازيّة.

هناك طريقة أخرى للإشارة إلى هذه القوى بالقول إن هناك روابط بين الجُسيمات. فكل جُسيم في المادة الصلبة مرتبط ارتباطًا شديدًا بالجُسيمات المجاورة له. ويعود ذلك إلى أن القوى بين الجُسيمات تكون أقوى عندما تكون هذه الجُسيمات متراصّة ومتقاربة. وبما أن الجُسيمات في المادة السائلة تكون متباعدة قليلاً فإن القوى بينها تكون أضعف قليلًا. وبالمقابل تكون الجُسيمات في المادة الغازية متباعدة، فتتحرَّك بحرّية.

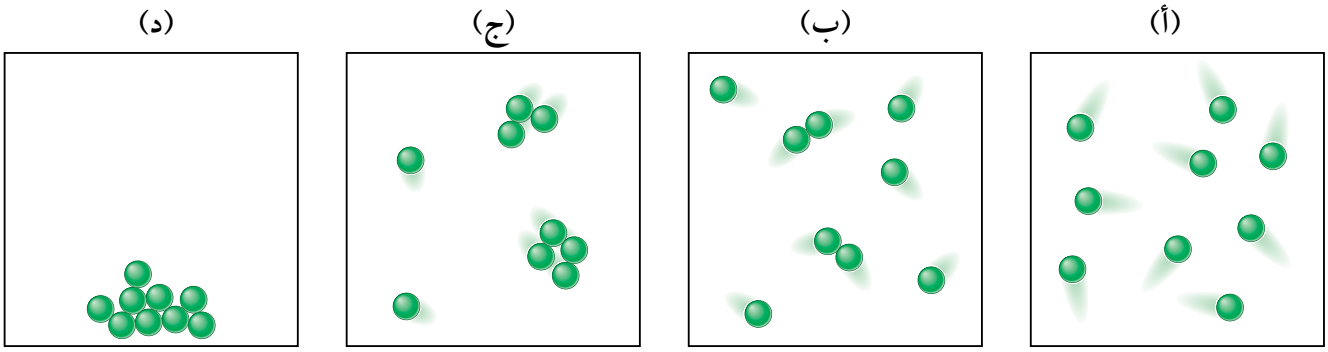
النظرية الحركية وتغيّرات المادة

رأينا أن المادة أثناء عملية انصهارها أو غليانها لا يطرأ تغيّر على درجة حرارتها (الشكل ٥-٢). فعندما تُسخّن مادة صلبة تنتقل الطاقة الحرارية إلى جُسيماتها، التي تبدأ بالاهتزاز بقوّة أكبر. وفي النهاية تهتزّ الجُسيمات بقوّة تكفي لتفكيك بعض الروابط. وعند درجة الانصهار هذه لا تُسبِّب الطاقة الحرارية المنتقلة بواسطة التسخين بأي تغيير في درجة الحرارة، لأن كل الطاقة الحرارية تُستهلَك لتحريك الجُسيمات وإبعاد بعضها عن بعض مسافة قليلة، حتى تصبح حُرّة لتتحرّك وبهذا تتشكّل المادة السائلة. غير أن تسخين المادة أكثر فأكثر يؤدي في النهاية إلى أن تكتسب الجُسيمات طاقة كافية للتغلّب على جميع قوى التجاذب بين الجُسيمات. وعند درجة الغليان تُستخدَم كل الطاقة الحرارية المنتقلة بواسطة التسخين للتغلّب كليًّا على القوى بين الجُسيمات. عندها تتمكّن بعض الجُسيمات من مغادرة المادة السائلة لتصبح غازيّة؛ ولكن درجة حرارة السائل لا تتغيّر.

لا تتلاصق الجُسيمات في الحالة الغازية، لأنها تكون متباعدة جدًا. فإذا برَّدتَ مادة غازيّة (الشكل ٥-٦) تبطأ حركة جُسيماتها. وبما أنها تتصادم سوف يُتاح لها فرصة أكبر لكي تتلاصق. ومع الاستمرار في تبريد المادة الغازية، فإن جميع الجُسيمات في نهاية المطاف تتلاصق لتشكّل مادة سائلة.

تذكّر

أن الجُسيمات في المادة الغازيّة تشغل حجمًا صغيرًا فقط؛ والباقي فراغ.



الشكل ٥-٦ (أ) تبدأ المادة الغازيّة عند تبريدها بالتكثّف. (ب) تتحرّك الجُسيمات ببطء أكبر وتبدأ بالتلاصق بسبب تزايد قوى التجاذب بينها. (ج) مع استمرار انخفاض طاقتها تتجمّع في مجموعات أكبر وأكبر. (د) وأخيرًا تشكّل مادة سائلة

التبخّر والغليان

تتغيّر المواد من الحالة السائلة إلى الحالة الغازيّة عندما تنفصل جُسيماتها على نطاق واسع بعضها عن بعض. وسبق لنا أن رأينا أن بإمكان الماء عند درجة حرارة أقلّ من 100 °C، أن يتحوّل إلى الحالة الغازيّة. فالتبخّر يحدث عندما تتغلّب الجُسيمات المزوّدة بطاقة كافية على قوى التجاذب بين جُسيمات الماء وتُغادر لتكوّن مادة غازيّة في الهواء تعلو سطح الماء. ولكن عند درجة حرارة منخفضة فإن نسبة صغيرة فقط من جُسيمات الماء تكون لديها طاقة كافية للتغلّب على قوى التجاذب والمغادرة؛ لذلك يحدث التبخّر ببطء. يمكن أن يحدث التبخُّر عند أي درجة حرارة، ولكن معدَّل التبخُّر سيزداد مع درجة الحرارة حتى يتمّ الوصول إلى درجة الغليان.

عندما تسخن مادة سائلة تكتسب جُسيماتها طاقة. وعند درجة الغليان تكتسب بعض جُسيماتها طاقة كافية لتصبح مادّة غازيّة. وهذا هو السبب في أنك ترى فُقّاعات تتشكّل في الماء أثناء الغليان، حيث تتحوّل بعض الجُسيمات الموجودة في الماء إلى مادة غازيّة (بخار ماء) هي التي تشكّل الفُقّاعات. أما في حالة التبخُّر، فيُمكن للجُسيمات الموجودة فقط على سطح السائل أن تتحوَّل إلى غاز. بالتالي، يحدث الغليان في جميع أنحاء السائل بينما يحدث التبخُّر فقط على السطح.

المزيد عن التبخّر

يمكننا استخدام نموذج الحركة الجُزيئيّة لتفسير المزيد من الملاحظات المتعلّقة بالتبخّر (انظر الجدول ٥-٤).

الملاحظة	التفسير
تتبخّر المادة السائلة بسرعة أكبر عندما تكون درجة حرارتها أعلى.	يتزايد عدد جُسيمات المادة السائلة التي تتحرّك بسرعة أكبر عند درجات الحرارة المرتفعة بما يكفي لمغادرتها السطح.
تتبخّر المادة السائلة بسرعة أكبر عندما تصبح مساحة سطحها أكبر.	عندما تكون مساحة السطح أكبر، تكون الكثير من الجُسيمات قريبة من السطح، فيمكنها المغادرة بسهولة أكبر.
تتبخّر المادة السائلة بسرعة أكبر عندما يهبّ تيار هواء فوق سطحها.	بما أن تيار الهواء هو هواء متحرّك، فإن الجُسيمات عندما تغادر سطح المادة السائلة يسحبها الهواء المُتحرّك بعيدًا، وتتعذّر عودتها مرّة ثانية إليه.

الجدول ٥-٤ ملاحظات حول التبخُّر وتفسيرها

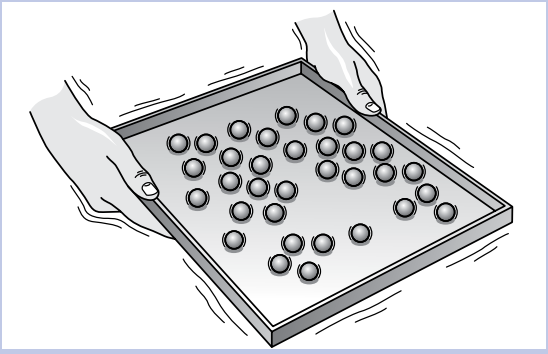
نشاط ٥-٢

استخدام نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادّة

المهارات:

- يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.

ناقش كيف يمكن لنموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادة أن يفسّر بعض الملاحظات التي يمكن إجراؤها في ما يخص المواد الصلبة والسائلة والغازية وتغيُّرات الحالة.



١ خذ صينية قليلة العمق وضَع فيها عددًا من كُرات صغيرة متماثلة، حتى تغطّي الكرات حوالي ربع مساحة الصينية.

٢ أمِل الصينية قليلاً حتى تتدحرج جميع الكُرات إلى طرفها الأسفل. يشبه نمط الكرات هذا ترتيب الجُسيمات في المادة الصلبة.

٣ حافظ على الصينية مائلة قليلاً، ثم هزّها برفق حتى تتمكّن الكُرات من التحرّك ببطء في جميع الاتجاهات. يمثّل هذا حركة الجُسيمات في المادة السائلة.

٤ أعد ببطء الوضعية الأفقية للصينية، مع الاستمرار في هزِّها. سنلاحظ أن الكُرات تتحرّك في جميع الاتجاهات بحُرِّية ويصطدم بعضها ببعض وبجدران الصينية. يُمثّل هذا حركة الجُسيمات في المادة الغازيّة.

تُعدّ هذه الطريقة طريقة جيدة لتمثيل نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادة، حيث استُخدمت الكرات لتمثيل الجُسيمات التي تتكوّن منها المادة. لكن الفرق يكمن في أن جُسيمات المادة يجذب كل منها الآخر، في حين أن الكُرات لا تتجاذب. وبدلاً من ذلك عمدتَ إلى إمالة الصينية لتستخدم الجاذبية الأرضية وتجعل الكُرات تتحرّك معًا كما لو كانت تتجاذب.

ومهمّتك الآن الإجابة عن الأسئلة التالية. اختر سؤالاً مع زميلك وناقش كيف ستجيب عنه، يجب عليك استخدام نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادّة في إجابتك. قد ترغب في تقديم أفكارك إلى زملائك باستخدام الصينية والكُرات.

أسئلة للمناقشة والشرح

١ لماذا توجد ثلاث حالات للمادة؟

٢ لماذا تبرد المواد السائلة عندما تتبخّر؟

٣ لماذا يستغرق انصهار مادة صلبة بعض الوقت؟ ولماذا لا تتحوّل إلى مادّة سائلة فورًا؟

٤ لماذا يستغرق غليان كمّية من المادة السائلة وقتًا أطول من انصهارها كمادة صلبة؟

٥ لماذا تتباين درجات انصهار المواد؟

٦ لماذا تتباين درجات غليان المواد؟

أسئلة

٥-١٠ ينصهر التنغستن عند درجة حرارة أعلى من درجة انصهار الحديد بكثير. ماذا تقول عن القوى بين ذرّات التنغستن، مقارنة بالقوى بين ذرّات الحديد؟

٥-١١ تم تسخين مادة صلبة ولم ترتفع درجة حرارتها.

أ. ما الذي حدث للمادة الصلبة؟

ب. أين ذهبت الطاقة الحرارية التي زوِّدت بها هذه المادة؟

٥-٤ المواد الغازيّة ونموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادة

إذا نفخت بالونًا فإنك تدفع الهواء من رئتَيك إلى داخله. وإذا ربطتَ البالون تَحصُر الهواء داخله. يدفع الهواء داخل البالون المطّاط الذي يتكوّن منه البالون إلى الخارج، ممّا يبقيه منتفخًا. وكلّما زاد نفخ الهواء في البالون زادَت القوة التي تدفع جميع أجزاء البالون إلى الخارج. نقول في الفيزياء إن **ضغطًا Pressure** ينتج عن تأثير القوة على منطقة ما.

يمكننا أن نفهم المزيد عن المواد الغازيّة إذا فكّرنا في الجُسيمات التي تتكوّن منها. ويمكننا النظر في الأسئلة الآتية على سبيل المثال:

- لمَ تؤثّر المادة الغازيّة على شكل ضغط؟
- ماذا يحدث للمادة الغازيّة عندما تُسخّن؟
- ماذا يحدث عندما تُضغَط المادة الغازيّة؟

الاصطدامات بسرعات عالية

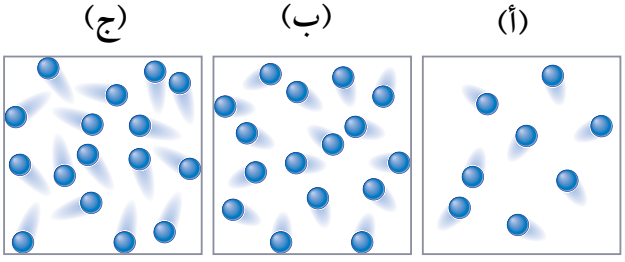
تتيح لنا ملاحظة الحركة البراونية لحُبيبات الدخان في الهواء أن نستنتج أمرًا مهمًّا عن حركة جُسيمات الهواء. بما أن جُسيمات الهواء أصغر بكثير من حُبيبات الدخان، أي إنها خفيفة جدًّا مقارنة بها، وبما أنها قادرة على تحريك حُبيبات الدخان في جميع الاتجاهات، نستنتج أن جُسيمات الهواء تتحرّك هي أيضًا في جميع الاتّجاهات وبسرعة كبيرة. وواقع الحال أن جُسيمات الهواء تتحرّك من حولنا بسرعة تصل إلى 500 m/s وهذا أسرع من سرعة الصوت في الهواء.

تخيّل الآن أن جُسيمات الهواء هذه السريعة جدًّا تتدافع في جميع الاتجاهات داخل غرفة وتصطدم بالجدران والسقف والأرضية والأثاث وكل شيء، وترتد عن كل سطح فتتغيّر اتّجاهاتها. وبما أن كل جُسيم يصطدم بالسطح يؤثر فيه بقوّة صغيرة وبما أن هناك الكثير من جُسيمات الهواء سريعة الحركة وأنها تصطدم كثيرًا بجميع أسطح الغرفة، فهي تؤثّر بقوة كبيرة على تلك الأسطح. وهذا ما يفسّر أن المادة الغازيّة، مثل الهواء تؤثّر بشكل ضغط.

يُبيّن الشكل ٥-٧ (أ) جُسيمات مادة غازيّة محصورة في صندوق مكعّب الشكل. يعني ذلك أن حجم المكعّب هو نفسه حجم المادة الغازيّة. وللمادة الغازيّة كتلة أيضًا لأن كلًّا من جُسيماتها له كتلة. فإذا قمنا بوزن جميع الجُسيمات بشكل فردي وجمعنا كتلها، نحصل على كتلة كمّية المادة الغازيّة.

يبيّن الشكل ٥-٧ (ب) الصندوق نفسه مع عدد مضاعف من جُسيمات المادة الغازيّة، مما يضاعف كتلتها وكذلك كثافتها. تضغط المادة الغازيّة على جدران وعائها لأن جُسيماتها تصطدم باستمرار بجدران الوعاء، مؤثّرة بقوّة عليها. وإذا قارنّا الشكلين ٥-٧ (أ) و ٥-٧ (ب)، نجد أنه مع تضاعف عدد الجُسيمات في (ب)، يتضاعف عدد الاصطدامات، مما يؤدي إلى تضاعف الضغط في (ب) مقارنة بالضغط في (أ).

يبيّن الشكل ٥-٧ (ج) المادة الغازيّة نفسها عند درجة حرارة أعلى، حيث تتحرّك الجُسيمات فيها أسرع. نتيجة لذلك سيكون لها مزيد من الطاقة الحركية. وبالتالي، كلما ارتفعت درجة حرارة المادة الغازيّة، تتحرّك جُسيماتها بشكل أسرع وبالتالي يزداد عدد التصادمات ويزداد الضغط. ويمكنك نتيجة لذلك أن تلاحظ أن التغيّرات التي طرأت على المادة الغازيّة والمبيّنة في الشكل ٥-٧، تتم عند حجم ثابت.

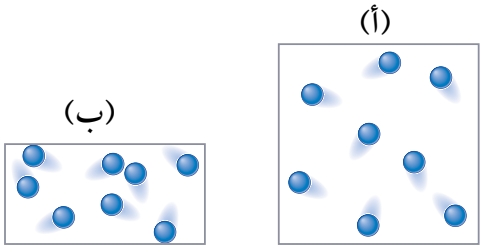


الشكل ٥-٧ (أ) تتحرّك جُسيمات المادة الغازيّة في جميع الاتّجاهات داخل الوعاء، وتصطدم بجدرانه. (ب) لدى مضاعفة عدد الجُسيمات تتضاعف الكتلة، وتتضاعف الكثافة وكذلك الضغط. (ج) تتحرّك الجُسيمات أسرع عند درجات الحرارة العالية، ويكون لها مزيد من الطاقة الحركية. وهذا هو ما يسجّله ميزان الحرارة (الثرمومتر) كارتفاع في درجة الحرارة

انضغاط المادة الغازيّة

يبيّن الشكل ٥-٨ كمّية من المادة الغازيّة محصورة في صندوق. إذا صُغِّر حجم الصندوق، ينخفض حجم المادة الغازيّة ويزداد ضغطها في الوقت نفسه. يمكّننا الرسم التخطيطي أن نرى لماذا يحدث ذلك. عندما تُضغَط

جُسيمات المادة الغازيّة في حجم أصغر سوف تصطدم بجدران الصندوق على نحو أكثر تكرارًا، وينتج عن ذلك زيادة في الضغط. ونصل إلى الاستنتاج الآتي: إذا ضُغِطت المادة الغازيّة إلى نصف حجمها الأصلي سوف يتضاعف ضغطها على جدران الصندوق. لاحظ أن التغيّرات التي طرأت على المادة الغازيّة المُبيّنة في الشكل ٥-٨ تتم تحت درجة حرارة ثابتة.



الشكل ٥-٨ عدد الجُسيمات في الصندوق (أ) هو نفسه في الصندوق (ب) الذي يبلغ نصف حجم الصندوق (أ). يعني ذلك أن الصندوق (ب) يبلغ فيه عدد الاصطدامات بجدرانه في الثانية الواحدة ضعف عدد الاصطدامات في الصندوق (أ). أي إن النتيجة هي أن الضغط في الصندوق (ب) ضعف ما هو عليه في الصندوق (أ)

أسئلة

٥-١٢ إذا سُخِّنت مادة غازية، تتحرّك جُسيماتها بشكل أسرع. استخدم نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادّة لتتوقّع ما سيحدث للضغط الذي تؤثّر به المادة الغازيّة على جدران وعائها عندما تُسخّن.

٥-١٣ انظر إلى الشكل ٥-٧ (أ). يوجد به نصف عدد جُسيمات المادة الغازيّة الموجودة في الوعاء (ب) (ولم يتغيّر شيء آخر)، فكيف تتغيّر:

أ. الكثافة؟

ب. الضغط؟

ج. درجة الحرارة؟

٥-١٤ مثِّل بالرسم التخطيطي جُسيمات المادة الغازيّة كي تعلّل الأمر الآتي: إذا تضاعف حجم المادة الغازيّة مع بقاء عدد جُسيماتها ثابتًا ينخفض ضغطها إلى النصف.

٥-١٥ انظر إلى الشكل ٥-٨، حيث ضغط المادة الغازيّة في (ب) يُعادل ضعف ضغطها في (أ). كيف تُغيّر درجة حرارة المادة الغازيّة في (ب) ليصبح ضغطها مُساويًا لضغط المادة الغازيّة في (أ)؟ اشرح إجابتك.

ملخص

ما يجب أن تعرفه:

- نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادة.
- ما الذي يسبّب ضغط المادة الغازيّة.
- العوامل التي تؤثّر في ضغط المادة الغازيّة.
- كيفية تأثير درجة الحرارة في الطاقة الحركية للجُسيمات.
- التبخّر.
- الحركة البراونية.
- شرح التغيّرات في حالة المادة في ضوء انتقال الطاقة.
- وجود قوى تجاذب بين الجُسيمات.
- العوامل التي تؤثّر في التبخّر.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أجب عن هذه الأسئلة باستخدام واحدة من حالات المادة الثلاث.

أ. في أيِّ حالة تملأ المادة وعاءها مهما يكن شكله وحجمه؟

ب. في أيِّ حالة يكون للمادة حجم ثابت وشكل ثابت؟

ج. في أيِّ حالة يكون للمادة حجم ثابت وشكل متغيّر؟

٢ ارسم ثلاثة صناديق، وبيّن كيف رتّبتَ الجُسيمات داخل الصندوق في كل حالة من حالات المادة الآتية.

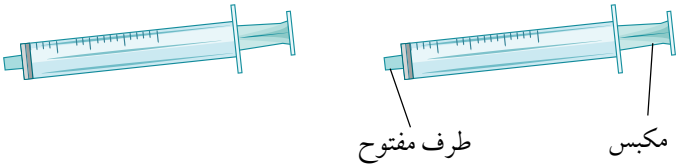
استخدم الدوائر لتمثيل الجُسيمات، وارسم ما لا يقلّ عن 6 جُسيمات في كل صندوق.

أ. صلبة

ب. سائلة

ج. غازية

٣ لدى مازن محقنان طبّيان متماثلان.



يضع مازن هواء في محقن وحجمًا مماثلاً من الماء في المحقن الآخر.

ثم يغلق مازن الطرف المفتوح لكلا المحقنَين.

يؤثِّر مازن بالقوة نفسها لدفع المكبس على كلا المحقنيَن.

أ. تنبّأ كيف يتصرّف المكبس في كل محقن لدى دفعه.

ب. اشرح تنبّؤك باستخدام الجُسيمات.

٤ يبيّن الرسم بخّاخًا.

يحتوي البخّاخ على مادة غازيّة عند ضغط مرتفع.

أ. اشرح كيف تؤثّر المادة الغازيّة داخل البخّاخ بالضغط على جوانبه.

ب. فسّر لماذا تُكتب في تعليمات العبوة التحذير الآتي:

«تحذير: لا تُعرّض هذه العبوة لدرجات حرارة تزيد على (50 °C)».

٥ لدى هشام صندوق زُجاجي يحتوي على حُبيبات دخان. ولدى ملاحظته لهذه الحُبيبات تحت المجهر رآها تهتز بشكل عشوائي.

أ. سمِّ نوع الحركة التي تُظهِرها حُبيبات الدخان.

ب. اشرح أسباب تلك الحركة.

٦ **أ.** اذكر تشابهًا واحدًا بين التبخُّر والغليان.

ب. اذكر اختلافَين بين التبخُّر والغليان.

ج. عندما يتبخّر العَرَق عن الجلد فإن الجلد يبرد. اشرح كيف يحدث ذلك.

٧ لدى خالد كأس فيها (100 mL) من الماء عند درجة حرارة الغرفة حيث يتبخّر الماء ببطء شديد.

ولدى خالد أيضًا:

- صينية بلاستيكية كبيرة
- مروحة
- سخّان

صف كيف يستطيع خالد استخدام تلك الأشياء لجعل الماء يتبخّر في أسرع وقت ممكن.

٨ قطعة من الجليد تبلغ درجة حرارتها الأولية (−20 °C).

زُوِّدَت قطعة الجليد بالطاقة الحرارية حتى انصهرت كلّها.

استمرّ تزويد الماء الناتج بالطاقة الحرارية حتى تبخّر.

واستمرّ تزويد بخار الماء الناتج بالطاقة الحرارية.

وضِّح بالتمثيل البياني كيف تباينت درجات حرارة الجليد والماء وبخار الماء مع استمرار تزويدها بالطاقة الحرارية.

ضَع درجة الحرارة على المحور الرأسي.

ضَع لتمثيلك البياني عنوان الانصهار والتبخّر.

٩ **أ.** اكتب ما يأتي:

١. درجة انصهار الماء.

٢. درجة غليان الماء.

ب. عندما تنخفض درجة حرارة بخار الماء فإنه يتكثّف. صِف كيف يحدث التكثّف.

الوحدة السادسة

المادة والخصائص الحرارية

Matter and Thermal Properties

تُغطّي هذه الوحدة:

- التمدُّد الحراري للمواد الصلبة والسائلة والغازيّة.
- حركة الجُسيمات وترتيبها خلال التمدُّد الحراري.
- بعض التطبيقات والآثار المُترتّبة على التمدُّد الحراري.

٦-١ التمدّد الحراري

تتمدّد معظم المواد الصلبة أو السائلة أو الغازيّة بتسخينها، وهذا ما يُسمّى **التمدُّد الحراري Thermal expansion**. وتُظهر الصورة أعلاه بالونًا يتمّ تسخين الهواء في داخله ليتمدّد. وكلما تمدّد الهواء تصبح كثافته أقلّ. وسنرى في الوحدة التاسعة أن الاختلاف في الكثافة هو الذي يُسبّب ارتفاع البالون.

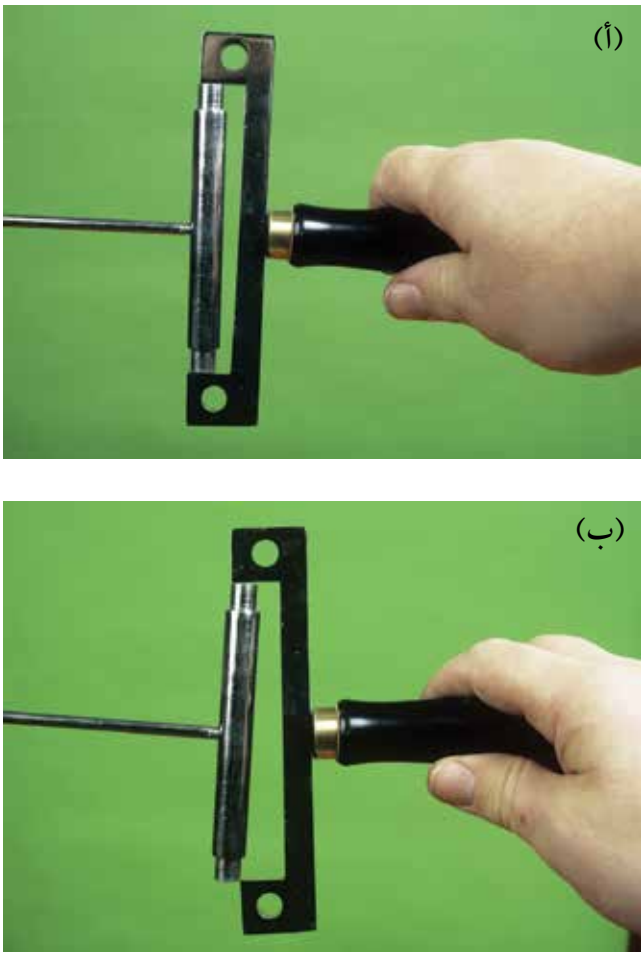
مصطلحات علمية

التمدُّد الحراري Thermal expansion: زيادة حجم المادة عندما ترتفع درجة حرارتها.

تُظهر الصورة ٦-١ تجربة تبيّن أن القضيب الفلزّي (المعدني) يتمدّد عند تسخينه.

- عندما يكون القضيب الفلزّي باردًا فإنه يدخل في فجوة أداة القياس كما في الصورة ٦-١ (أ).
- عندما يُسخَّن القضيب (وليس أداة القياس) وترتفع درجة حرارته كثيرًا، يصبح أطول ولا يدخل في الفجوة لأنه يكون قد تمدّد كما في الصورة ٦-١ (ب).

عندما يُبرّد ذلك القضيب ينكمش ويعود إلى طوله الأصلي.



الصورة ٦-١ (أ) دخل القضيب الفلزّي في فجوة أداة القياس. (ب) تمدّد القضيب الفلزّي بعد أن سُخّن ولم يعد قادرًا على دخول الفجوة

استخدامات التمدُّد

تُستخدَم المسامير الفلزّية لربط الصفائح الفلزّية في عملية بناء السفن وفي الصناعات الأخرى، حيث يُمرّر المسمار الأحمر الساخن من خلال ثقب في صفيحتَين فلزّيّتَين ثم تُطرَق نهايته حتى يصبح مدوّرًا كالقرص (الشكل ٦-١). وعندما يبرد المسمار ينكمش ويشدّ الصفيحتَين إحداهما إلى الأخرى بإحكام.

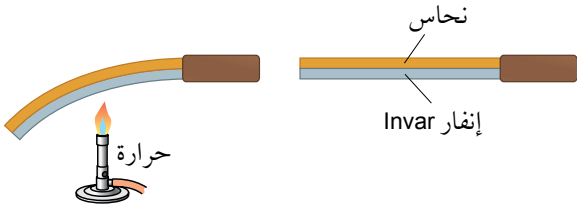
الشكل ٦-١ ربط صفيحتَين فلزّيّتَين باستخدام مسمار فلزّي

ويحدث أحيانًا أن يلتصق غطاء فلزّي على وعاء زجاجي ولا يعود فكّه سهلاً. ولكي تستطيع فكّه عليك بتسخينه (بواسطة سكب ماء ساخن فوقه مثلاً). عندئذ يتمدّد (يكون تمدُّد الزجاج أقلّ بكثير من تمدُّد الغطاء) فيسهل فكّه عن الوعاء.

وبالآلية نفسها عندما يتم تركيب «إطار» فولاذي لعجلة قاطرة سكّة حديد؛ يكون الإطار ساخنًا جدًّا ثم يُبرّد فينكمش ويصبح مشدودًا بإحكام في العجلة.

ستتعلّم في الوحدة السابعة أن مبدأ عمل بعض أنواع موازين الحرارة يقوم على استخدام التمدُّد الحراري للمادّة السائلة في أنبوبة الميزان.

صُمِّم الشريط الثنائيّ الفلزّ (الشكل ٦-٢)، بحيث يتقوّس عندما ترتفع درجة حرارته. فهو يتكوّن من فلزّين متلاصقَين تمامًا. ويتمدّد أحدهما بسرعة أكبر من الآخر أثناء ارتفاع درجة حرارة الشريط، فيتقوّس (يوضع الفلزّ الذي يتمدّد أكثر في الجهة الخارجية من الشريط كي يصبح أطول من الفلزّ الداخلي ويُسهِم في التقوُّس). تُستخدَم هذه الشرائط الثنائية الفلزّ في أجهزة الإنذار من الحريق وفي مُنظّم درجة الحرارة (الثرموستور) الذي يتحكّم بدرجة حرارة الفرن والمكواة وسخّان المياه والثلّاجة وغيرها.



الشكل ٦-٢ يتكوّن الشريط الثنائيّ الفلزّ من الإنفار والنحاس. والإنفار سبيكة فلزّية من الحديد والنيكل

النتائج المُترتِّبة على التمدُّد

يُسبِّب تمدُّد المواد بعض المشكلات. فقد يؤدّي تمدُّد الجسور الفلزّية وخطوط السكك الحديدية في الأيام الحارّة إلى خطر التقوُّس. ولتجنُّب هذا التقوُّس يُبنى الجسر من عدّة أجزاء تتخلّلها فواصل تمدُّد (الصورة ٦-٢). ففي يوم

حارّ مثلاً، يتمدّد الجسر وتضيق الفجوات بين أجزائه. ولذلك تُصنع خطوط السكك الحديدية في هذه الأيام من سبيكة فلزّية تتمدّد قليلاً. وقد تُلاحِظ أيضًا أن سطح الطريق الخرسانية مقسّم إلى أجزاء قصيرة، حيث تُملأ الفجوات بين تلك الأجزاء بمادة ليّنة تنضغط مُستجيبة لتمدُّد الطريق.

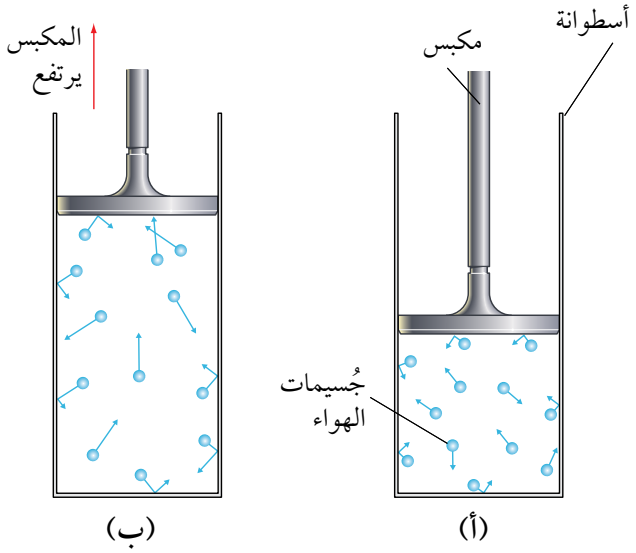
الصورة ٦-٢ فاصل تمدُّد في جسر

ومن المُلاحظ أن هناك عبوات زجاجية تتهشّم عند سكب سائل ساخن فيها. وسبب ذلك أن حرارة السائل تجعل السطح الداخلي للزجاج يتمدّد سريعًا قبل أن تصل إلى سطحه الخارجي. فيؤدّي التمدُّد إلى تهشّم الزجاج. وللتغلُّب على هذه الحالة تمّ تطوير زجاج البيركس الذي يتمدّد قليلاً أثناء التسخين. ويُستخدم كبديل له أحيانًا الزجاج المُقسّى الذي يُعالَج بمواد كيميائية تقلّل من احتمال تهشّمه أثناء التسخين.

تمدُّد المواد الغازيّة

تتمدّد المواد الغازيّة عند تسخينها، تمامًا كالمواد الصلبة والسائلة. ويمكننا أن نفهم ذلك باستخدام نموذج الحركة الجُزيئية البسيطة للمادة (انظر الوحدة الخامسة). يُبيّن الشكل ٦-٣ كمّية من الهواء في أسطوانة مُزوّدة بمَكبس. وعندما يكون الهواء باردًا في البداية، تضغط جُسيماته على المكبس بقوّة ضعيفة كما في الشكل ٦-٣ (أ). ولكن عندما يُسخَّن الهواء داخل الأسطوانة تتحرّك جُسيماته بسرعة أكبر فيتمدَّد الهواء ويدفع المكبس بقوّة أكبر إلى الأعلى كما في الشكل ٦-٣ (ب).

وعندما تتوازن قوّة دفع جُسيمات الهواء إلى الأعلى مع وزن المكبس إلى الأسفل، فإن ضغط الهواء في هذه الحالة يبقى ثابتًا أثناء تمدُّده. لكن إذا لم يتحرّك المكبس فإن **حجم** الهواء يبقى ثابتًا عندما يُسخّن فيزداد **ضغطه**.



الشكل ٦-٣ يتمدّد الهواء لدى تسخينه عند ضغط ثابت

نشاط ٦-١

ملاحظة التمدّد

المهارة:

- يكوّن التنبّؤات والفرضيّات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة).
- يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.

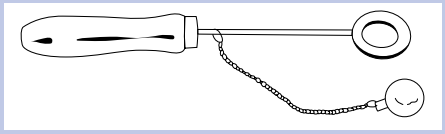
⚠ • **لا تلمس الكرة الفولاذية عندما تسخّن لتتجنّب خطر حرق إصبعك.**

• **احترس عند استخدام الماء الساخن.**

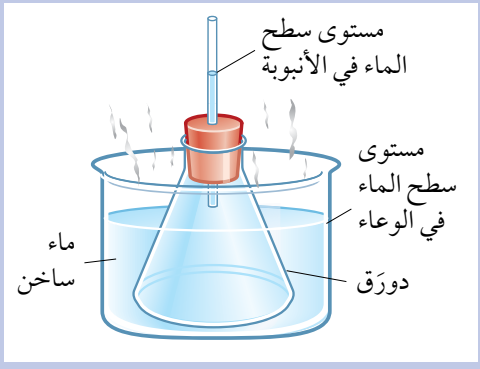
نفّذ بعض التجارب لملاحظة تمدُّد المواد الصلبة والسائلة والغازيّة. في كل حالة، تنبّأ بما تعتقد أنه سيحدث. استخدم

فكرة التمدُّد في شرح ما تلاحظه. وهذه بعض التجارب الممكنة:

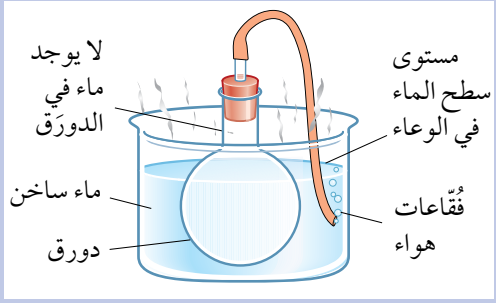
١ الحلَقة والكُرة: تستطيع الكُرة الفولاذية المرور بسهولة عبر الحلقة الفولاذية عندما تكون باردة، ولكنها لن تتمكّن من ذلك عندما تكون ساخنة.



٢ الماء في الدورَق: يُملأ الدورَق بالماء ثم يُغلق بسدادة تنفذ منها أنبوبة رفيعة. وعندما يُوضع الدورَق في وعاء به ماء ساخن يرتفع الماء داخل الأنبوبة.



٣ الهواء في الدورَق: عندما يُوضع دَورَق فارغ مُغلق بسدادة تنفَذ منها أنبوبة مطّاطية في وعاء به ماء ساخن، نلاحظ خروج فقّاعات من نهاية الأنبوبة.



تمدُّد المواد الصلبة والسائلة والغازية

أي المواد تتمدّد أكثر عند رفع درجة حرارتها بالمقدار نفسه: الصلبة أم السائلة أم الغازية؟

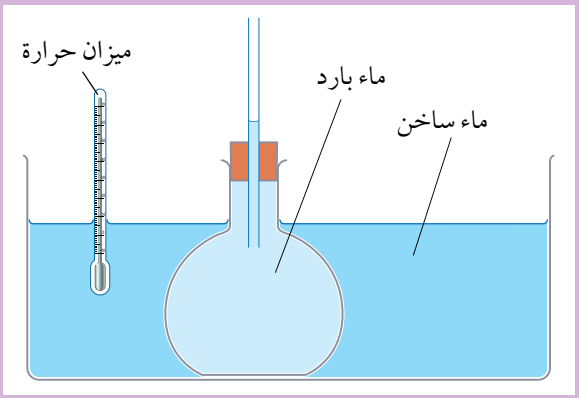
- سوف يكون تمدُّد المواد الصلبة هو الأقلّ عند تسخينها. وقد صُمّمَت بعض المواد الصلبة كزجاج البيركس وسبيكة الإنفار لكي تتمدّد بأقلّ قدر ممكن.
- يكون تمدُّد المواد السائلة عمومًا أكثر بقليل من تمدُّد المواد الصلبة.
- أما المواد الغازية فتتمدَّد أكثر من المواد السائلة.

لكن هناك استثناءات لما ذُكِر. فسائل البارافين مثلاً يتمدّد بسرعة كبيرة عند تسخينه وكذلك البنزين (وقود السيّارات). فإذا ملأ سائق في يوم حار خزان سيّارته بالبنزين من خزّانات محطّة الوقود الباردة الموجودة تحت الأرض، فإن البنزين قد يتمدّد ويتدفّق خارج خزّان السيارة عندما يسخن.

إذا تمدّدَت مادة ما لا تُصبح جُسيماتها (ذرّات أو جُزيئات) أضخم بل إنها تكتسب طاقة أكبر، فتتمكّن من التحرُّك بشكل أسرع وتشغل حيّزًا من الفراغ أكبر من قبل. ولمّا كان صعبًا أن تدفع جُسيمات المادة الصلبة الجُسيمات المجاورة لها جانبًا، فإن المواد الصلبة لا تتمدّد كثيرًا. لكن عند تسخين المادة الغازيّة تتحرّك جُسيماتها بسرعة أكبر فيسهل عليها دفع جُدران وعائها؛ لذلك تأخذ المادة الغازيّة حيّزًا أكبر لدى تسخينها.

أسئلة

٦-١ يمثّل الرسم أدناه تجربة لعرض التمدُّد الحراري للماء.



أ. صف واشرح ما سيحدث عندما يُوضع دَورَق الماء البارد في حوض الماء الساخن.

ب. صف كيف يمكن تعديل هذه التجربة كي تصلح للمقارنة بين مقدار تمدّد الماء وتمدّد سائل البارافين عند رفع درجة حرارة كلّ منهما بالمقدار نفسه. اذكر المُتغيِّرات التي يجب التحكُّم بها لجعل هذه المقارنة عادلة.

٦-٢ يوضح الجدول أدناه النسب المئوية لتمدُّد أحجام بعض المواد بارتفاع درجة حرارتها (1 °C) فقط، بدءًا من درجة الحرارة (20 °C).

المادة	نسبة التغيّر في الحجم (%)
زجاج	0.00026
فولاذ	0.0033
ماء	0.0069
بنزين	0.095
هواء جاف	0.34

أ. ما نسبة تمدُّد الماء إلى تمدُّد الفولاذ؟

ب. ما نسبة تمدُّد الهواء الجافّ إلى تمدُّد الزجاج؟

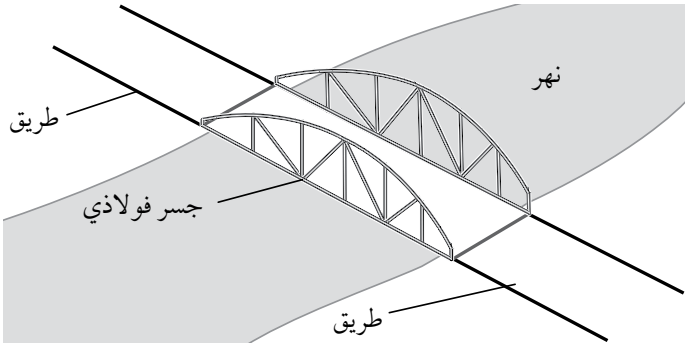
ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- التمدُّد الحراري واستخداماته.
- أن المواد الغازيّة تتمدّد أكثر من المواد السائلة التي تتمدّد بدورها أكثر من المواد الصلبة.
- كيفية اتّخاذ الاحتياطات اللازمة لتجنُّب الضرر الناتج عن التمدُّد الحراري.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يصل جسر فولاذي بين طرفَي طريق بهدف الانتقال من ضفّة النهر إلى الضفّة الثانية.



عندما يكون الطقس باردًا تكون هناك فجوة بين طرفَي الجسر الفولاذي وطرفَي الطريق. وتضيق تلك الفجوة في الطقس الحارّ.

أيٌّ من هذه العبارات الآتية تفسّر لماذا تضيق الفجوة؟

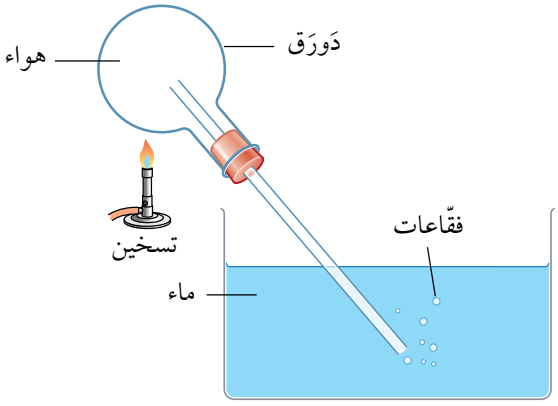
أ. ينكمش الهواء في الفجوة مع ارتفاع درجة الحرارة.

ب. يتمدّد الفولاذ في الجسر مع ارتفاع درجة الحرارة.

ج. ينكمش كل من طرفَي الطريق مع ارتفاع درجة الحرارة.

د. يتمدّد الماء أسفل الجسر مع ارتفاع درجة الحرارة.

٢ يبيّن الشكل أدناه تجربة للاستقصاء عن الخصائص الحرارية للمادة.



أ. اشرح سبب تشكُّل الفُقّاعات.

ب. بعد تسخين الهواء في الدورَق أُخضِع للتبريد ولم يخضع الجهاز لأي تغييرات أخرى. صف ما يمكن أن تشاهده عندما يبرد الهواء في الدورَق.

٣ يبيّن الجدول أدناه النسبة المئوية للزيادة في حجم ثلاث مواد (أ)، (ب)، (ج) عند تسخينها. فإذا كان الارتفاع في درجة حرارة المواد الثلاث (الصلبة، السائلة، الغازية) هو نفسه:

المادة	نسبة التغيّر في الحجم (%)
(أ)	7.0
(ب)	0.001
(ج)	0.01

أ. استخدم المعلومات الواردة في الجدول لتُحدِّد أي مادة هي:

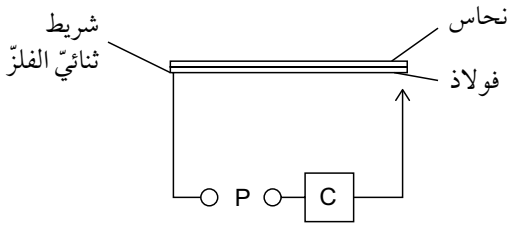
٠١ صلبة

٠٢ سائلة

٠٣ غازيّة

ب. فسّر اختيارك للمادّة التي حدّدت أنها غازيّة.

٤ يُبيّن الشكل أدناه مخطَّطًا لدائرة كهربائية تُستخدم للتحكّم في وحدة تكييف الهواء (C)، والتي تبعث هواء باردًا في غرفة ما. تحتوي الدائرة على شريط ثنائيّ الفلزّ مصنوع من شريطين فلزّيَّين مختلفَين يلتصق أحدهما بالآخر. علمًا أن الفلزّين هما النحاس والفولاذ وأن الدائرة الكهربائية تعمل باستخدام مصدر للطاقة (P). عندما يسخن الفلزّان بارتفاع درجة الحرارة نفسها يتمدّد النحاس أكثر من الفولاذ.



اشرح كيف يعمل الشريط الثنائيّ الفلزّ على التحكّم في وحدة تكييف الهواء تلك.

الوحدة السابعة

قياس درجة الحرارة
Measurement of Temperature

تُغطّي هذه الوحدة:

- قياس درجة الحرارة.
- عمل موازين الحرارة باستخدام مادة تتغيّر بعض خصائصها الفيزيائية بتغيُّر درجة الحرارة.
- مفاهيم الحساسية والمدى والخطّية عند تطبيقها على موازين الحرارة.

٧-١ درجة الحرارة وموازين الحرارة

نستخدم في العلوم موازين الحرارة لقياس درجة الحرارة. فنقيس مثلاً درجة حرارة جسم الإنسان باستخدام ميزان الحرارة الزجاجي المُعبّأ بمادة سائلة. يحتوي الميزان على عمود رفيع من الزئبق أو الكحول، يتمدّد داخل أنبوبة زجاجية مُفرَغة من الهواء كلّما سخن. ويمكننا بدلاً من ذلك استخدام ميزان حرارة يحتوي على سائل بلّوري (الصورة ٧-١). وهذا النوع أكثر أمانًا وخاصّة عند استخدامه مع الأطفال الذين قد يعضّون موازين الحرارة الزجاجية ويكسرونها.

الصورة ٧-١ ميزان حرارة مصنوع من البلاستيك والفلزّ مع شاشة من السائل البلّوري

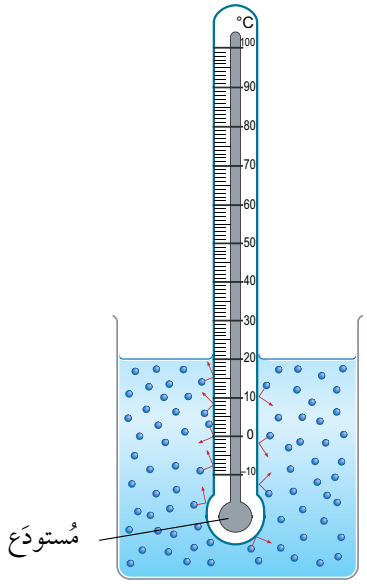
وعلينا في كلا النوعين أن ننتظر دقيقة أو دقيقتَين كي نقرأ درجة الحرارة بشكل صحيح، لاحتمال أن يكون ميزان الحرارة قد خُزِّن في مكان بارد نسبيًّا. فإذا كان في دُرج درجة حرارته 20 °C ودرجة حرارة المريض حوالي 38 °C فسوف يستغرق بعض الوقت لكي تَثبت قراءته على درجة حرارة المريض.

يُعطينا ذلك فكرة عمّا نعنيه **بدرجة الحرارة Temperature**. فميزان الحرارة يُوضَع مُلامِسًا لجسم المريض. ويجب أن يسخن حتى يصل إلى درجة حرارة المريض نفسه. وبذلك يتشارك المريض وميزان الحرارة الطاقة حتى تكون لهما درجة الحرارة نفسها. عندئذ نحصل على القراءة الصحيحة لدرجة حرارة المريض. (إذن ميزان الحرارة لا يخبرك عن درجة حرارة المريض بل عن درجة حرارته هو! ولكنّنا نعلم أن درجة حرارة المريض هي نفسها درجة حرارة الميزان المُلامِس لجسم المريض) .

مصطلحات علمية

درجة الحرارة Temperature: قياس لمدى سخونة جسم ما أو برودته.

يُبيّن الشكل ٧-١ ميزان حرارة يُستخدم لقياس درجة حرارة ماء ساخن، حيث تتحرّك جُسيمات الماء بسرعة كبيرة في جميع الاتجاهات لأن الماء ساخن؛ وتصطدم الجُسيمات بميزان الحرارة وتشاركه في طاقتها ويصبح مستودع ميزان الحرارة أكثر سخونة، لتماثل درجة حرارته درجة حرارة الماء.



الشكل ٧-١ تصطدم جُسيمات الماء الساخن بميزان الحرارة فتصل درجة حرارته في النهاية إلى درجة حرارة الماء نفسها، ويعطي عندها درجة حرارة الماء الصحيحة

نستنتج من ذلك أهمّية الاختيار الدقيق لميزان الحرارة. فإذا كان عليك قياس درجة حرارة وعاء صغير يحتوي على ماء ساخن، فأي ميزان تختار؟ إذا اخترتَ ميزان حرارة كبيرًا وباردًا ووضعته في الماء قد يمتصّ الكثير من طاقة الماء. وبالتالي يجعل الماء أكثر برودة وستحصل على قراءة خاطئة لدرجة حرارته. لذا قد يكون الحل الأفضل هو استخدام ميزان حرارة إلكتروني له مِجسّ صغير مما يجعله يمتصّ طاقة قليلة من الماء.

الطاقة ودرجة الحرارة

يُخبرنا ميزان الحرارة عن متوسّط طاقة الجُسيمات في الجسم الذي نريد قياس درجة حرارته. فإذا كانت الجُسيمات تتحرّك بسرعة يشير ميزان الحرارة إلى درجة حرارة أعلى. ويكون وضع ميزان الحرارة في جسم لقياس درجة حرارته أشبه بوضع إصبعك في الماء لاكتشاف درجة حرارته. بالرغم من أن إصبعك لا تحتوي على تدريج من 0 إلى 100 ولكنك تستطيع أن تشعر إن كان الماء باردًا أو ساخنًا أو مُعتدل الحرارة.

وتُمثّل درجة حرارة الجسم قياسًا **لمُتوسّط طاقة الحركة** لجُسيماته. ويعني ذلك أنها لا تعتمد على حجمه (أيّ على العدد الكلّي للجُسيمات).

ويمكننا مُقارنة درجة حرارة الماء في أوعية مختلفة الحجم مع الطاقة الحرارية الإجمالية لجُسيمات الماء. فحوض من الماء عند درجة حرارة 50 °C له طاقة حرارية إجمالية أكبر ممّا هي لكوب من الماء عند درجة الحرارة نفسها، لأن حوض الماء يحتوي على جُسيمات ماء أكثر مما يحتوي الكوب. ومع ذلك، فإن متوسّط طاقة الحركة لكلّ جُسيم في الحوض هو نفسه لكلّ جُسيم في الكوب.

الخصائص التي تتغيّر بتغيُّر درجة الحرارة

تتغيّر بعض خصائص المواد بتغيُّر درجة الحرارة، وميزان الحرارة جهاز يستخدم ذلك لقياس درجة الحرارة. وقد رأينا أن ميزان الحرارة في الشكل ٧-١ يعتمد على التمدُّد والانكماش للمادة السائلة داخل أنبوبة زجاجية مُفرَغة

من الهواء. وهناك تصميمات لموازين حرارة أخرى تعتمد على تغيُّر خاصّية فيزيائية أخرى للمواد مع اختلاف درجة الحرارة.

ومن الخصائص الفيزيائية التي تتغيّر بتغيُّر درجة الحرارة والتي يمكن استخدامها لصنع موازين حرارة:

- حجم المادة السائلة
- طول المادة الصلبة
- المُقاوَمة الكهربائية لسلك
- الجهد الكهربائي بين نقطتَي اتّصال فلزّين مختلفَين (هناك مزيد من التفاصيل أدناه).

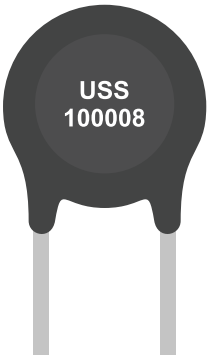
مميّزات ميزان الحرارة

الحساسية Sensitivity في ميزان الحرارة هي قدرته على قياس التغيُّرات الصغيرة في درجة الحرارة بدقّة، وهي تعتمد على مقدار التغيُّر في إحدى الخصائص الفيزيائية عند حدوث تغيُّر طفيف في درجة الحرارة. وكلما كانت علامات التدريج مُتباعِدة، تكبر إمكانية اكتشاف التغيُّرات الصغيرة في درجة الحرارة. ويكون ميزان حرارة بعلامات تدريج مُتباعِدة 1 cm للدرجة السيليزية الواحدة أكثر حساسية من ميزان بعلامات تدريج متباعدة 1 mm للدرجة السيليزية الواحدة. ويُعدّ أكثر موازين الحرارة حساسية في العالم هو الميزان الذي يَستخدم نوعًا من البلّورات تتغيّر فيها سرعة الضوء مع درجة الحرارة. وهذا النوع حسّاس لتغيُّر مقداره 0.000 000 003 من الدرجة.

المدى Range في ميزان الحرارة هو الفرق بين درجة الحرارة الدنيا والقصوى التي يمكن أن يقيسها الميزان. ويعتمد المدى على الخصائص الفيزيائية للمواد المُستخدَمة فيه. فميزان الحرارة الزجاجي المُعبّأ بالكحول مثلاً له حدّ أقصى لقياس درجة الحرارة وهو 78 °C لأن درجة غليان الكحول تبلغ 78 °C. وبالمقابل توجد أنواع من موازين الحرارة مثل المُزدوِجات الحرارية تقيس درجات حرارة من –200 °C إلى أكثر من 1200 °C أي بمدى يصل إلى 1400 °C.

الخطّية Linearity في ميزان الحرارة تعني أن التغيُّر في الخاصّية الفيزيائية يكون طرديًا بتغيُّر درجة الحرارة. ويُعدّ ميزان الحرارة الزئبقي المبيَّن في أعلى الصفحة ٦٣ ميزانًا خطّيًا؛ لأن المسافة بين علامات تدريجه متساوية؛ أي إن العلاقة بين درجة الحرارة وارتفاع عمود السائل خطّية طردية. لنفترض أن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار 10 °C يسبِّب ارتفاع عمود السائل بمقدار 1 cm. عندها ستسبّب الزيادة بمقدار 20 °C ارتفاع عمود السائل بمقدار 2 cm.

والمُقاوَمة الحرارية (الثرمستور) أداة كهربائية تتغيّر مقاومتها الكهربائية بشكل كبير مع التغيُّرات الطفيفة في درجة الحرارة. تُصنع المُقاوِمات الحرارية من مواد تنخفض مُقاوَمتها الكهربائية مع ارتفاع درجة الحرارة. ومن إيجابيات المُقاوِمات الحرارية قابلية استخدامها في صنع بعض المعدّات الإلكترونية، ومتانتها وصعوبة تلفها. ولكن من سلبياتها أن التغيُّر في مُقاوَمتها الكهربائية مع درجة الحرارة ليس خطّيًا. وتبيّن الصورة ٧–٢ أحد أنواع المُقاوِمات الحرارية.

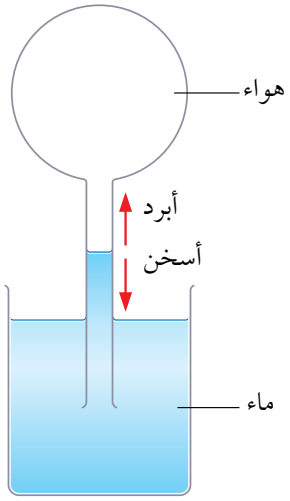


الصورة ٧–٢ المُقاوِم الحراري (الثرمستور)

التدريج السيليزيّ

يعود الفضل في صنع أول ميزان حرارة عام 1593 إلى العالِم غاليليو Galileo (الشكل ٧–٢). وفي ذلك الميزان يتمدّد الهواء داخل الدورَق أو ينكمش مع ارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها. وهذا يجعل مستوى سطح الماء في الأنبوبة يتغيّر مُشيرًا إلى التغيُّرات في درجة الحرارة ولكن على مدى ضيّق فقط. فقد ثبت أن ميزان الحرارة

هذا ليس دقيقًا بسبب فقدان جزء من ماء الخزّان نتيجة تبخُّره، وذوبان جزء من الهواء في الماء. واليوم تُستخدَم في موازين الحرارة الزجاجية الحديثة مادة سائلة كالزئبق أو الكحول بدلاً من الهواء. وهاتان المادّتان تتمدّدان لدى تسخينهما أيضًا.



الشكل ٧-٢ ميزان الحرارة الذي ابتكره غاليليو Galileo

وصمّم أندرس سلسيوس Anders Celsius، الذي كان يعمل في السويد، ميزان حرارة أكثر نجاحًا من ميزان الحرارة الذي صمّمه غاليليو. إذ احتوى على كمّية من الزئبق معبّأة في أنبوبة مُغلقة ومفرّغة من الهواء ولا يكون هناك مجال لفقدان المادة السائلة بواسطة التبخّر. وهو يشبه كثيرًا ميزان الحرارة السيليزي الأكثر حداثة كما في الصورة ٧-٣ والذي ابتكره سلسيوس أيضًا، وعُرف باسم التدريج السيليزي، وله **نقطتان ثابتتان** هما:

- 0 °C وهي درجة تجمُّد الماء النقي عند الضغط الجوي القياسي.
- 100 °C وهي درجة غليان الماء النقي عند الضغط الجوي القياسي.

الصورة ٧-٣ ميزان حرارة زجاجي يحتوي على كمّية ثابتة من الزئبق محصورة في أنبوبة زجاجية

وفي كل مرّة كان سلسيوس يصنع ميزانًا حراريًّا جديدًا، كان يدرّج مقياسه ببساطة، إذ يضعه أوّلاً في جليد ينصهر ثم في ماء يغلي، ويضع علامة على الميزان في كل مرّة. ويقوم بعد ذلك بتقسيم المسافة بينهما إلى 100 قسم متساوي البُعد. وهذه العملية تُعرف **بمُعايَرة** ميزان الحرارة.

نشاط ٧-١

مُعايَرة ميزان حرارة

المهارات:

- **يسجّل الملاحظات بطريقة منهجيّة باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقّة المناسبة.**
- **يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.**
- **يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.**

يجب مُعايَرة كل ميزان حرارة (إعطاؤه تدريجًا) قبل استخدامه. فكلما كانت دقّة مُعايَرته أكبر ازدادت دقّة القراءات المأخوذة منه عند استخدامه. وأنت في هذا النشاط سوف تضع تدريجًا على ميزان حرارة غير مُدرّج وتستخدمه لقياس بعض درجات الحرارة.

١ جهِّز التجربة كما في الشكل أدناه. وعندما تستقر القراءة ضَع علامة على الميزان باستخدام شريط لاصق للإشارة إلى موقع درجة الحرارة 0 °C.

٢ ضع ميزان الحرارة في كوب يحتوي على ماء يغلي. وعندما تستقر القراءة ضَع علامة على المقياس باستخدام شريط لاصق للإشارة إلى موقع درجة الحرارة 100 °C.

٣ جفّف ميزان الحرارة وقِس المسافة بين علامة درجة الحرارة 0 °C وعلامة درجة الحرارة 100 °C على طول ميزان الحرارة. قُصّ شريطًا ورقيًا بهذا الطول وجزّئه إلى 10 أقسام متساوية وعلّمه، ثم ضع الأرقام ابتداءً من 0، 10، 20، ... حتى 100. ضع علامة للأقسام الفرعية بهدف الإشارة إلى الدرجات 1 °C أو 2 °C.

٤ ألصق الشريط الورقي على ميزان الحرارة واقرأ درجة حرارة الغرفة بواسطة ميزان الحرارة الذي قمت بمُعايَرته.

٥ ضع ميزان الحرارة في وعاء يحتوي على ماء دافئ. واقرأ درجة حرارة الماء.

أسئلة

١ ما هو أصغر تغيُّر في درجة الحرارة يمكن الكشف عنه بواسطة ميزان الحرارة؟

٢ ما هي قياساتك مُقارنة بقياسات زملائك في الصفّ؟

٣ استخدم ميزانَي حرارة جاهزين (تمَّت مُعايَرتهما) وكلاهما يقيس درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة الماء الدافئ. هل يُعطيان القراءة نفسها؟ لماذا قد يختلف أحدهما عن الآخر؟ لماذا قد يختلفان عن قياساتك؟

٢-٧ تصميم ميزان حرارة

تُستخدَم موازين الحرارة الزجاجية المعبّأة بالزئبق أو الكحول في العديد من التطبيقات المختلفة، فهي تتميَّز بالآتي:

- يتمدّد الزئبق بمعدّل ثابت أثناء تسخينه. وهذا يعني أن العلامات على التدريج مُتساوية التباعُد. وعندئذ نقول إن المقياس **خطّي**.
- يمكن جعل ميزان الحرارة **حسّاسًا** جدًّا بجعل الأنبوبة التي يتمدّد فيها الزئبق ضيّقَة جدًّا حيث يؤدّي أيّ تغيُّر طفيف في درجة الحرارة إلى دَفع الزئبق إلى أعلى على طول الأنبوبة. فإذا ارتفع الزئبق عدّة ملّيمترات لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره 1 °C، يعني ذلك أن ميزان الحرارة يقيس التغيّرات الصغيرة في درجة الحرارة.
- يمتلك ميزان الحرارة الزئبقي **مدًى واسعًا** لأن الزئبق يبقى في حالته السائلة بين 39 °C– و 350 °C+، مما يسمح لنا باستخدامه بين درجتَي الحرارة هاتَين. وهناك على سبيل المثال أفران منزلية تحتوي على ميزان حرارة زئبقي يقرأ حتى 250 °C.

ومعلوم أن موازين الحرارة الزجاجية المُختلفة المُعبّأة بالمادة السائلة لها مدى مختلف أو لها حساسيات مختلفة. فميزان الحرارة المُستخدَم لقياس درجة حرارة الجسم يحتوي عادة على الكحول بدلاً من الزئبق. وهو أكثر حساسية من ميزان الحرارة الزئبقي لأن الكحول يتمدّد خمسة أضعاف تمدُّد الزئبق مقابل الارتفاع نفسه في درجة الحرارة. أضف إلى ذلك أن درجة تجمّد الكحول هي 114 °C– لذلك يمكن استخدامه لقياس درجات حرارة منخفضة جدًّا، حيث أن الزئبق يتجمّد عند 39 °C–.

أسئلة

٧-١ تحتوي دَلوان على ماء درجة حرارته (30 °C). تحتوي إحداهما على (1 kg) من الماء في حين تحتوي الدلو الثانية على (2 kg) من الماء. اذكر واشرح إن كانت الكمّيتان التاليتان متشابهتين أو مختلفتين في ماء الدلوَين:

أ. متوسّط طاقة حركة جُسيمات الماء

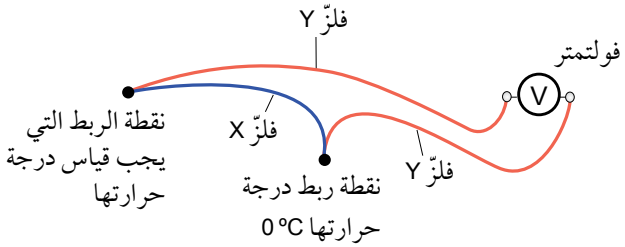
ب. الطاقة الحرارية الإجمالية للماء

٧-٢ ما هما **النقطتان** الثابتتان على ميزان الحرارة السيليزيّ؟

٧-٣ اكتب خطوة بخطوة تعليمات مُعايَرة ميزان حرارة باستخدام المقياس السيليزيّ.

٧-٤ اشرح كيف استفاد غاليليو من التمدُّد الحراري في تصميم ميزان الحرارة (انظر الشكل ٧-٢).

وهناك نوع آخر من موازين الحرارة هو **المُزدوِج الحراري Thermocouple** وهو أداة تُعطي جُهدًا كهربائيًّا كناتج عند تغيُّر درجة الحرارة. يتكوّن المُزدوِج الحراري من أسلاك مصنوعة من فلزّين مختلفَين، حيث يربط سلك من الفلزّ X عند كل من طرفَيه مع سلك من الفلزّ Y لتشكيل نقطتَي ربط. ومن أجل استخدام المُزدوِج الحراري يُوصّل طرفا السلكَين Y بفولتمتر حسّاس (انظر الشكل ٧-٣).

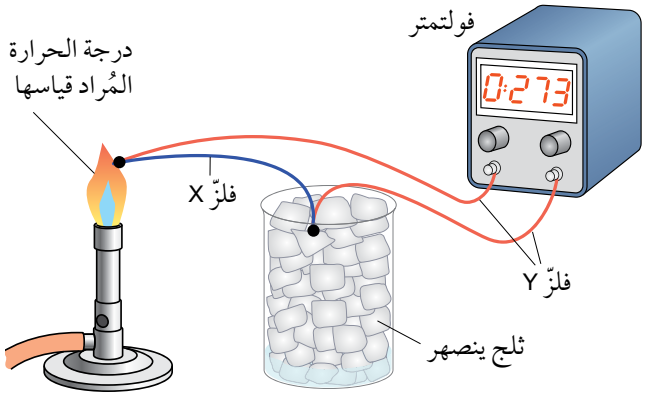


الشكل ٧-٣ المُزدوِج الحراري نوع من موازين الحرارة يستخدم التغيُّر في الجُهد الذي يعتمد على الفرق في درجتَي الحرارة

مصطلحات علمية

المُزدوِج الحراري Thermocouple: أداة كهربائية مصنوعة من فلزّين مختلفَين تُستخدَم لقياس درجة الحرارة.

ثم توضع إحدى نقطتَي الربط في ثلج ينصهر عند درجة حرارة 0 °C، ويوضع الطرف الآخر في الجسم المُراد قياس درجة حرارته (الشكل ٧-٤). يُظهِر الفولتمتر قراءة جُهد كهربائي. وكلّما ازداد الفرق في درجات الحرارة بين نقطتَي الربط ازداد الجهد الكهربائي الناتج. يجب أن يكون المُزدوِج الحراري مُعايَرًا لكي نتمكّن من استخلاص درجة الحرارة من قراءة الجُهد الكهربائي.



الشكل ٧-٤ استخدام مُزدوِج حراري لقياس درجة الحرارة

تُستخدَم المُزدوِجات الحرارية في موازين الحرارة الإلكترونية (الصورة ٧-٤). يجب الحرص على حماية المُزدوِج من أي تصدُّع نظرًا لصغر حجمه. تكون نقطتا الربط في المُزدوِج الحراري صغيرتَين جدًّا. لذا فإن المُزدوِج لا يمتصّ كثيرًا من طاقة المادة المُراد قياس درجة حرارتها. وتتميّز بعض تركيبات الفلزّات في المُزدوِجات الحرارية بأنها تُعطي جهدًا أكبر من غيرها، لذلك يكون مهمًّا اختيار تلك الفلزّات بعناية.

تذكّر

أن الفلزّات المُستخدَمة في المُزدوِجات الحرارية تشمل الحديد والنحاس والألومنيوم والنيكل والبلاتين.

وتُستخدم المُزدوِجات الحرارية أيضًا لقياس درجات الحرارة المرتفعة (والتي تكون أدنى من درجة انصهار كل من الفلزَّين المُستخدمَين في صناعة المُزدوِج الحراريّ). وبما أن المُزدوِج الحراريّ صغير أي إنه يسخن ويبرد بسرعة، فهو مفيد لقياس درجات الحرارة التي تتفاوت بسرعة.

الصورة ٧-٤ يُستخدَم المُزدوِج الحراري كمُستشعر لميزان الحرارة الإلكتروني. ترى بصعوبة بالغة الأسلاك الرفيعة التي يتكوّن منها المُزدوِج (في «عين» الجهاز). وهذا الجهاز متَّصل بدائرة كهربائية تُحوِّل الجهد الناتج إلى قراءة رقمية لدرجة الحرارة

وتُستخدَم المُزدوِجات الحرارية في العديد من أفران الغاز وسخّانات الغاز (الصورتان ٧-٥ و ٧-٦) التي لها شعلة أساسية تشتعل باستمرار.

> **تذكّر**
> كلما استخدمت جهازًا كميزان الحرارة، فكّر كيف صُمِّم لتكون له حساسية ومدى للاستخدام المُستهدَف.

الصورة ٧-٥ فرن غاز

الصورة ٧-٦ سخّان يعمل على الغاز

أسئلة

٧-٥ تُبيّن الصورة ٧-٤ المُزدوِج الحراري وهو ميزان حرارة غير خطّي. اشرح المقصود بغير خطّي في هذه الحالة.

٧-٦ لماذا يُعدّ المُزدوِج الحراري أفضل من ميزان الحرارة المُعبّأ بالزئبق عند قياس درجات الحرارة السريعة التغيُّر؟

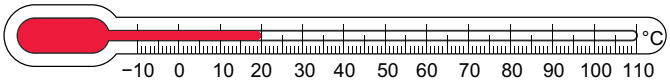
ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- موازين الحرارة.
- الحاجة إلى نقطتَين ثابتتَين على تداريج درجات الحرارة.
- تصميم موازين الحرارة بالاستفادة من الخصائص التي تتغيّر مع درجة الحرارة.
- مفاهيم الحساسية والمدى والخطّية لميزان الحرارة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يُبيّن الرسم أدناه ميزان حرارة زجاجيًّا مُعبّأ بالكحول حيث يحتوي الكحول على صبغة حمراء.



أ. أيٌّ من الخصائص الآتية يستخدمها ميزان الحرارة لكي يعمل؟

- التمدُّد الحراري للأنبوبة الزجاجية
- التمدُّد الحراري للمادة الغازيّة
- التمدُّد الحراري للكحول
- التمدُّد الحراري للمادة التي تُقاس درجة حرارتها

ب. اشرح الغرض من الصبغة الحمراء.

٢ وجد راشد ميزانًا حراريًّا زئبقيًّا قديمًا يحتوي على مادة سائلة هي الزئبق داخل أنبوبة زجاجية. ووجد التدريج على الميزان باهتًا ولم يَعُد بالإمكان رؤيته بوضوح.

يعرف راشد أن ميزان الحرارة هذا يمكن استخدامه لقياس درجات الحرارة بين (−10 °C) و (120 °C).

أ. دوّن المُصطلح المُستخدَم للفرق بين درجتَي الحرارة القصوى والدنيا التي يمكن لميزان الحرارة قياسها.

ب. يتوفّر لراشد ماء وجليد وكوب ومصدر حرارة ومسطرة وقلم ذو رأس رفيع لا تزول كتابته.

صف كيف يمكن لراشد استخدام تلك الأدوات لوضع علامات دقيقة على ميزان الحرارة لتدريج سيليزي.

٣ لدى مُحمّد ميزانا حرارة رقميان (أ) و (ب).

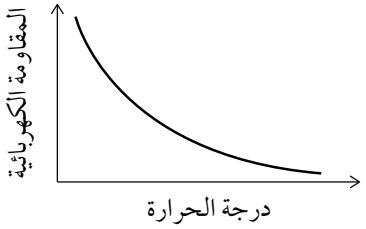
يقيس ميزان الحرارة (أ) درجات الحرارة بين (−100 °C) و (300 °C) بتداريج (1 °C).

ويقيس ميزان الحرارة (ب) درجات الحرارة بين (10 °C) و (50 °C) بتداريج (0.01 °C).

اشرح أيٌّ من ميزانَي الحرارة له حساسية أكبر.

٤ يُستخدَم تغيّر المُقاوَمة الكهربائية مع درجة الحرارة في نوع معيّن من موازين الحرارة لكي يعمل.

يُظهِر التمثيل البياني أدناه كيف تتغيّر المُقاوَمة الكهربائية لأحد موازين الحرارة تلك بتغيُّر درجة الحرارة.



اشرح إن كان ميزان الحرارة هذا يُظهِر خطّية في عمله.

٥ ارسم رسمًا تخطيطيًّا وأضف ملاحظاتك لتوضّح كيف يعمل المُزدوِج الحراري.

الوحدة الثامنة

الطاقة Energy

تُغطّي هذه الوحدة:

- الطاقة الناتجة عن حركة الأجسام أو موضعها.
- الطاقة المُخزّنة أو المُنتقلة.
- كيفية تحديد التغيُّرات في الطاقة ووصفها.
- حساب طاقة الوضع وطاقة الحركة.
- مبدأ حفظ الطاقة.
- القدرة وكيفية حسابها.

٨-١ التغيّرات في الطاقة

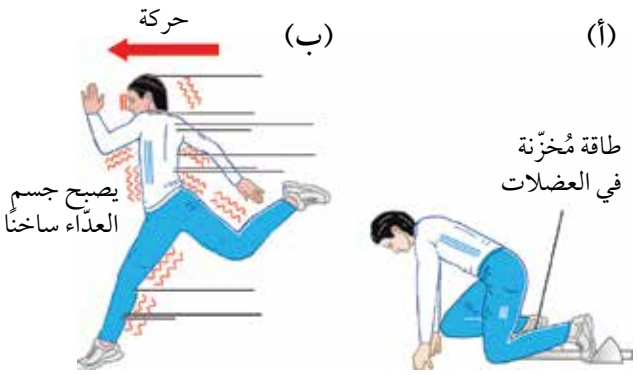
تدخل الطاقة وتغيُّراتها جميع أنواع الأنشطة في حياتنا اليومية كالأنشطة الرياضية، والطبخ وغيرهما. وسننظر هنا في مثالين ونعمد إلى وصفهما من خلال **الطاقة Energy**. وما علينا إلا أن نعرف كيف تتغيّر الطاقة في حالات مختلفة.

مصطلحات علمية

الطاقة Energy: هي المقدرة على بذل شغل.

- الجَري

في بداية أي سباق، تكون ساكنًا ومُتأهِّبًا لسماع صوت إشارة الانطلاق. وتكون الطاقة المُخزّنة في عضلاتك متأهّبة للجري وجاهزة للتحرُّر. وعندما تنطلق فإن الطاقة المُخزّنة في عضلاتك تجعلك تتحرّك. وإذا كنت تجري في ماراثون فإن ذلك يستغرق زمنًا طويلاً مما يجعلك تستهلك كمّية أكبر من الطاقة المخزّنة في أنسجة جسمك الدهنية. ويُبيّن الشكل ٨-١ تغيُّرات الطاقة في الجري.



الشكل ٨-١ (أ) تحتوي عضلات العدّاء في بداية السباق على مخزون طاقة من الطعام. (ب) عندما يبدأ العدّاء بالتحرُّك يتناقص مخزون الطاقة في العضلات ويكتسبه العدّاء على شكل طاقة حركة وحرارة

- إضاءة مصباح كهربائي

في المساء وبعد تلاشي ضوء النهار تستخدم الإنارة ويبدأ عدّاد الكهرباء في منزلك بالدوران أسرع من قبل بقليل. وهذا يعني في الحقيقة أنك تستمدّ مزيدًا من الطاقة الكهربائية من محطّة الطاقة الكهربائية البعيدة. ويُبيّن الشكل ٨-٢ التغيُّرات في الطاقة عند إضاءة المصباح الكهربائي.

الشكل ٨-٢ تُستخدَم الطاقة الكهربائية في المصباح لإنتاج الضوء، كذلك يسخن المصباح الكهربائي

أمثلة على تغيُّرات الطاقة

سوف نعرض أمثلة لأنواع مختلفة من الطاقة وتغيُّراتها.

فالجسم المُتحرّك له **طاقة حركة Kinetic energy (K.E.)**. وكلما أسرع ازدادت طاقة حركته. ونحن ندرك ذلك لأننا إذا أردنا تحريك جسم معيّن علينا نقل طاقة إليه من أجل تحريكه؛ وإذا أردنا جعل الجسم يتحرّك أسرع فما علينا إلا نقل المزيد من الطاقة إليه. وإذا كنت تقف في مسار جسم متحرّك واصطدم بك فسوف تبطأ حركته، لأنه نقل بعضًا من طاقته إليك.

إذا رفعت جسمًا إلى أعلى فأنت تُزوّده **بطاقة وضع الجاذبية Gravitational potential energy (G.P.E.)**. تعتمد طاقة وضع الجاذبية على ارتفاع الجسم عن سطح الأرض. وسنرى قريبًا أن هناك أنواعًا أخرى من طاقة الوضع، وأنها تعتمد أيضًا على موضع الجسم أو الجُسيمات بالنسبة إلى شيء آخر.

وكلّما كان الجسم مُرتفعًا عن الأرض كانت له طاقة وضع جاذبية أكبر. وإذا تركتَ الجسم يسقط فإن هذه الطاقة تتحوّل إلى نوع آخر. ويمكن الاستفادة من ذلك في كثير من الحالات. فالمياه المُخزّنة خلف سدّ كهرومائي لها طاقة وضع الجاذبية، وسقوط الماء يمكن أن يُستخدَم في تحريك توربينات المحطّة بهدف توليد الكهرباء.

مصطلحات علمية

طاقة الحركة Kinetic energy (K.E.): الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة حركته.

طاقة وضع الجاذبية Gravitational potential energy (G.P.E.): طاقة جسم يكتسبها عندما يُرفع باتّجاه معاكس لقوّة الجاذبية.

يخزِّن الوقود، كالفحم الحجري والبترول (البنزين)، **طاقة وضع كيميائية Chemical potential energy**. وهي تُخزَّن في الروابط الموجودة بين الذرّات. لذلك تعتمد هذه الطاقة على مواقع الذرّات بعضها من بعض. ونحن نعرف أن الوقود مخزَن للطاقة، لأنه عندما يحترق تتحرّر الطاقة المخزّنة فيه عادة على شكل حرارة وضوء. وهناك العديد من مخازن طاقة الوضع الكيميائية (انظر الصورة ٨-١).

وكما رأينا فإن الطاقة تُخزَّن في أجسامنا بواسطة المواد الكيميائية. وتُعدّ البطّاريات أيضًا مخازن طاقة وضع كيميائية.

الصورة ٨-١ بعض مخازن طاقة الوضع الكيميائية: البترول (البنزين) والبطّاريات والخبز. وتُعدّ أجسامنا مخازن طويلة الأمد للطاقة على شكل أنسجة دهنية

يُعدّ التيار الكهربائي طريقة جيدة لانتقال الطاقة من مكان إلى آخر. فهو يحمل **الطاقة الكهربائية Electrical energy**. وعندما يتدفّق التيار في جهاز كهربائي كالمدفأة الكهربائية، فإنه يزوّدها ببعض من طاقته.

تُعدّ جميع المواد المُشعّة مخازن **للطاقة النووية Nuclear energy**. فهذه المواد تخزّن الطاقة في نوى ذرّاتها، والنواة جزء صغير موجب الشحنة يشغل قلب الذرّة. فاليورانيوم مثال على الوقود النووي وهو مخزَن للطاقة النووية. وقد صُمّمت محطّات الطاقة النووية لتحرير الطاقة النووية المُخزّنة في اليورانيوم.

إذا شدَدتَ رباطًا مطّاطيًّا يصبح مخزنًا لنوع من الطاقة يسمّى **طاقة الوضع المرونية Elastic potential energy**، حيث يستطيع الرباط المطّاطي أن يُعطي طاقته المخزّنة لورقة ملفوفة ويجعلها تطير في أرجاء الغرفة! وتُعرّف طاقة الوضع المرونية بأنها الطاقة المخزّنة بواسطة جسم مَرِن مشدود أو مضغوط (حيث يعود الجسم إلى شكله الأصلي عند زوال قوّة الشدّ أو الضغط). تعتمد هذه الطاقة على موضع الجسم المشدود أو المضغوط أو المُلتوي. وتعمل الزُّنبركات الفلزّية في السيّارة على تخزين طاقة الوضع المرونية وتحريرها باستمرار ما دامت السيارة تتحرّك على طريق بها مطبّات خفيفة، والهدف من ذلك أن يشعر ركّاب السيّارة براحة وهُم بداخلها. كما تخزّن ساعة التنبيه (المنبّه) طاقة في زُنبركها الذي يشكّل مصدر الطاقة اللازمة للإبقاء على آليّة تشغيلها.

إذا سخّنت جسمًا فأنت تُعطي طاقة لذرّاته أو جُزيئاته؛ حيث تتحرّك بسرعة أكبر في اتّجاهات عشوائية، مما يزيد من طاقة حركتها. وكلما كان الجسم أكثر سخونة تزداد الطاقة المخزّنة بواسطة جُسيماته المتحرِّكة. وتُسمّى الطاقة المخزّنة في الجسم الساخن **بالطاقة الحرارية Thermal energy**.

هناك أجسام تبثّ ضوءًا، أي إنها تُعطي **طاقة ضوئية Light energy** في جميع الاتّجاهات.

وهناك طريقة أخرى يمكن من خلالها نقل الطاقة إلى الأجسام المُحيطة هي **الطاقة الصوتية Sound energy**. يوفّر التيّار الكهربائي الطاقة الكهربائية لمُكبّر الصوت فيُنتج طاقة صوتية وبعض الطاقة الحرارية.

مصطلحات علمية

طاقة الوضع الكيميائية Chemical potential energy: هي الطاقة المخزّنة في الموادّ الكيميائية والتي يمكن إطلاقها في تفاعُل كيميائي.

الطاقة الكهربائية Electrical energy: هي الطاقة المُنتقلة بواسطة تيّار كهربائي.

الطاقة النووية Nuclear energy: هي الطاقة المُخزّنة في نواة ذرّة والتي يمكن إطلاقها عندما تنشطر النواة.

طاقة الوضع المرونية Elastic potential energy: هي الطاقة المخزّنة في الجسم بسبب استطالته أو انضغاطه.

الطاقة الحرارية Thermal energy: هي الطاقة المُخزّنة بواسطة جُسيمات الجسم المُتحرّكة وهي الطاقة المُنتقلة من مكان ساخن إلى مكان بارد بسبب الفرق في درجة الحرارة بينهما.

الطاقة الضوئية Light energy: هي الطاقة المُنبعثة على شكل إشعاع مرئي.

الطاقة الصوتية Sound energy: هي الطاقة المُنتقلة على شكل موجات يمكن استشعارها بواسطة الأذن البشرية.

تخزين الطاقة ونقلها

يمكن تخزين الطاقة في جسم مُعيَّن أو نقلها من جسم إلى آخر أو من مكان إلى آخر. وفيما يأتي أربع عمليات مختلفة يمكن نقل الطاقة من خلالها:

- **نقل الطاقة بواسطة القوّة:** إذا رفعت جسمًا ما فإنك تكسبه طاقة وضع الجاذبية، وتكون أنت الذي وفّرت القوّة لرفعه. ومثال آخر على ذلك توفير القوّة اللازمة لبدء حركة جسم ما؛ فتكون قد أكسبتَه طاقة حركة. فعندما تنتقل الطاقة من جسم إلى آخر بواسطة القوّة نقول إن القوّة **أنجَزَت شُغلاً Doing work** (يتم تناول ذلك في الصف العاشر).
- **نقل الطاقة بواسطة التسخين:** رأينا من قبل كيف تنتشر الطاقة الحرارية من الأجسام الساخنة. ومهما يكن العزل جيدًا، فإن الطاقة تنتقل من الجسم الساخن إلى مُحيطه الأقلّ سخونة. سوف تتمّ مناقشة ذلك بالتفصيل في الوحدة التاسعة.
- **نقل الطاقة بواسطة الموجات:** تنتقل الطاقة من الشمس إلى الأرض بواسطة موجات تُصدرها الشمس. وينتقل بعض من هذه الطاقة على شكل أشعّة تحت حمراء وأشعّة فوق بنفسجية. وهذه كلّها أشكال من **الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic waves**. كما أن الجسم المهتزّ ينقل طاقة حركة اهتزازاته إلى الجُسيمات المحيطة به؛ فتهتزّ بدورها لتشكيل موجات تنقل الطاقة الصوتية.
- **نقل الطاقة بواسطة الكهرباء:** يُعدّ التيّار الكهربائي طريقة مناسبة لانتقال الطاقة من مكان إلى آخر. ذلك أن الكهرباء قد يتمّ توليدها في محطة توليد طاقة كهربائية تبعد عدّة كيلومترات عن مكان طلبها. وهناك أيضًا بطّارية المصباح اليدوي التي توفّر الطاقة اللازمة لإضاءة مصباح، حيث تنقل الكهرباء الطاقة من البطّارية إلى المصباح.

أسئلة

٨-١ ما الاسم الذي يُطلَق على طاقة الجسم المُتحرِّك؟

٨-٢ اذكر عملية نقل الطاقة التي تحدث بين الشمس والأرض.

٨-٣ سمِّ الطاقة المخزّنة بواسطة زُنبرك مشدود.

٨-٤ ماذا يعني هذا الاختصار (G.P.E.)؟ كيف يمكن أن يُعطى جسم (G.P.E.)؟

٨-٥ سمِّ جهازًا يحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية (قد يُنتج طاقة حرارية أيضًا).

٨-٦ اذكر تغيُّرات الطاقة التي تحدث في جهاز التلفاز.

٨-٢ تطبيقات على تغيّرات الطاقة

تعرّفنا إلى العمليات التي تُستخدَم لنقل الطاقة من مكان إلى آخر. فعندما تنتقل الطاقة من مخزن إلى مخزن آخر، فإن كمّيتها في كل من المخزنَين سوف تتغيّر. ويعني ذلك أن هناك نقصانًا أو ازديادًا يشمل كمّية الطاقة في كل من المخزنَين اللذَين تنتقل بينهما الطاقة.

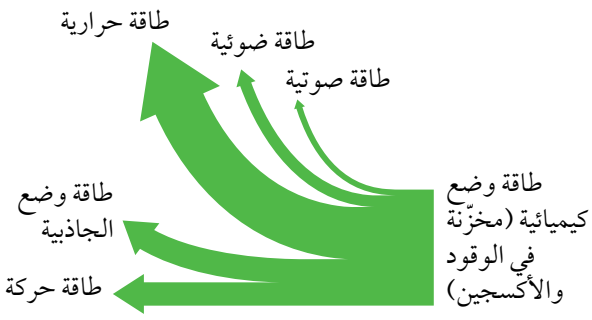
ينطلق الصاروخ في الصورة ٨-٢ من الأرض حاملاً مركبة فضائية إلى الفضاء. وهو يستمدّ طاقته من مخزن الوقود (الهيدروجين السائل) والأكسجين. ذلك أنه يحمل خزّانات من الهيدروجين السائل. ويشكّل مخزن الوقود والأكسجين مخزن طاقة وضع كيميائية للصاروخ. فعند احتراق الوقود تتحرّر الطاقة المخزّنة فيه.

يتسارع الصاروخ أثناء صعوده، لذا يمكننا القول إن طاقة حركته تتزايد. وكلما ارتفع ازدادت طاقة وضع الجاذبية له. يمكنك أن ترى في الصورة ٨-٢ الضوء الصادر عن الوقود المُحترِق، كذلك تنتج عن هذا الاحتراق كمّيات كبيرة من الطاقة الحرارية والطاقة الصوتية.

الصورة ٨-٢ يستخدم هذا الصاروخ العملاق مُحرّكات صاروخية لرفعه إلى الفضاء، حيث يحرق كل مُحرّك طنًّا واحدًا تقريبًا من الوقود والأكسجين في كل دقيقة بهدف توفير الطاقة اللازمة لتحريك الصاروخ إلى الأعلى

يُبيّن الشكل ٨-٣ تغيُّرات الطاقة في الصاروخ، ويمكننا تمثيل التغيُّر بالمعادلة اللفظية الآتية:

طاقة الوضع الكيميائية ← طاقة حركة + طاقة وضع الجاذبية + طاقة حرارية + طاقة ضوئية + طاقة صوتية



الشكل ٨-٣ تغيُّرات الطاقة التي تحدث في الصاروخ كما في الصورة ٨-٢

نشاط ٨-١

تغيُّرات الطاقة

المهارة:

- يسجّل الملاحظات بطريقة منهجيّة باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقّة المناسبة.

عاين بعض الأجهزة والأدوات التي تتحرّك أو تُنتج ضوءًا أو صوتًا أو التي تُستخدم في التبريد أو تلك التي تَستخدم البطّاريات أو بطّاريات الشحن. وفيما يلي بعض منها:

١ عاين الأجهزة المتوفّرة لديك، وصِف التغيُّرات التي تحدث للطاقة فيه.

٢ قارن إجاباتك بإجابات زملائك في الصف.

أسئلة

٧-٨ صِف تغيُّرات الطاقة التي تحدث في كل حالة من الحالتَين الآتيتَين:

أ. تمّ حرق فحم لتدفئة غرفة وتوفير ماء ساخن.

ب. يعمل مجفّف الشعر باستخدام الكهرباء المنزلية.

٨-٨ تستخدم طالبة مصباحًا كهربائيًّا لتنفيذ واجبها المنزلي.

أ. اذكر كيف تنتقل الطاقة إلى المصباح.

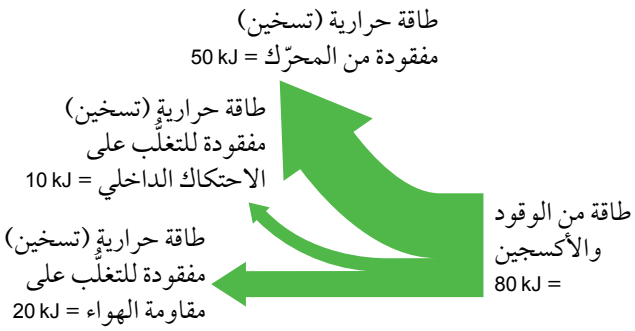
ب. صف تغيُّرات الطاقة التي تحدث في المصباح.

٨-٣ حفظ الطاقة

عندما تتغيّر الطاقة يصاحب ذلك تغيُّرات غير مرغوبة في الغالب. فإذا عُدنا إلى تغيُّرات الطاقة في المصباح الكهربائي في الشكل ٨-٢، نجد أن المصباح الكهربائي ينتج طاقة ضوئية نريدها؛ ولكنه يُنتج في الوقت نفسه طاقة حرارية لا نريدها. ونجد أيضًا أن محرّك الصاروخ (انظر الصورة ٨-٢ والشكل ٨-٣) يُغيّر طاقة الوضع الكيميائية إلى طاقة حركة وطاقة وضع الجاذبية وهما طاقتان مطلوبتان، وطاقة حرارية وطاقة ضوئية وطاقة صوتية غير مرغوبة.

يُبيّن الشكل ٨-٤ رسمًا تخطيطيًا لطاقة سيّارة تسير على طول طريق مستوٍ بسرعة ثابتة. فالسيّارة لا تتسارع، لذلك لا تتزايد طاقةً حركتها. لكن ماذا يحدث للطاقة المنتقلة من الوقود الذي تحرقه؟ تُبيّن الأرقام أن الوقود يزوّد السيارة بـ 80 kJ في كل ثانية. وتتسرّب بعض الطاقة الحرارية من المُحرّك الساخن مع غازات العادم، وأيضًا يُفقد بعضها بواسطة التسخين بسبب الاحتكاك الداخلي بين الأجزاء المشغّلة للسيّارة. وتُستخدَم بقية الطاقة في التغلُّب على مقاومة الهواء وهي شكل آخر من الاحتكاك، حيث يصبح الهواء أسخن بعد مرور السيّارة عبره.

ومن المعروف أن كل الطاقة التي يوفّرها وقود السيّارة ينتهي بها الأمر إلى طاقة حرارية. فإذا جمَعتَ كمّيات الطاقة الحرارية المختلفة في الشكل ٨-٤، سترى أن



الشكل ٨-٤ رسم تخطيطي لتغيُّرات طاقة السيّارة كل ثانية

> **تذكّر**
> أن وحدة الطاقة في نظام الوحدات SI هي الجول (J)، لذلك كل 1 kJ = 1000 J وتُقرأ kJ كيلوجول.

مجموعها يصل إلى 80 kJ. وهذا مثال على **مبدأ حفظ الطاقة Principle of conservation of energy**:

> في أي عملية تغيُّر للطاقة يكون مجموع كمّية الطاقة قبل التغيُّر وبعده ثابتًا، شرط عدم وجود قوّة خارجية.

وهذا يخبرنا بشيء مُهمّ للغاية عن الطاقة وهو أن الطاقة لا تفنى ولا تُستحدث، وأن مجموع الطاقة ثابت. فإذا حسبنا كمّية الطاقة قبل التغيُّر وبعده مرّة أخرى سنحصل على النتيجة نفسها دائمًا. وإذا وجدنا أي اختلاف فيجب أن نبحث عن الأماكن التي دخلتها الطاقة أو تسرَّبت منها من دون أن تُلاحظ.

سؤال

٨-٩ يزوَّد مصباح كهربائي بطاقة (100 J) في كل ثانية.

أ. ما مقدار الطاقة (بالجول) التي تخرج من المصباح في كل ثانية على شكل طاقة حرارية وضوئية؟

ب. إذا فَقَد المصباح (10 J) من الطاقة في كل ثانية على شكل ضوء، فما مقدار الطاقة التي يفقدها في كل ثانية على شكل طاقة حرارية؟

٨-٤ حسابات الطاقة

طاقة وضع الجاذبية (G.P.E.)

لا شكّ في أنّ تسلُّق جبل على سطح القمر أسهل من تسلُّق جبل على سطح الأرض، لأن جاذبية القمر سدس الجاذبية على الأرض. وهذا يعني أن وزن رائد فضاء على القمر يبلغ سدس الوزن فقط على الأرض. من الناحية النظرية، يمكنك القفز على سطح القمر لارتفاع أعلى بستّة أمثال من ارتفاع قفزتك على سطح الأرض. ولكن نظرًا لضرورة أن

تحمل إمدادات الأكسجين وترتدي بدلة ضخمة، يُعدّ ذلك غير ممكن عمليًّا (الصورة ٨–٣).

الصورة ٨–٣ رائد فضاء على سطح القمر. تُعادل جاذبية القمر سُدس جاذبية الأرض

رأينا من قبل أن طاقة وضع الجاذبية لجسم ما تعتمد على ارتفاعه عن سطح الأرض. وكلما كان الارتفاع أكثر كانت طاقة وضع الجاذبية أكبر. وعندما ترفع جسمًا فإنك توفّر له القوة اللازمة لزيادة طاقة وضع الجاذبية له. وكلما كان الجسم أثقل زادت القوة اللازمة لرفعه؛ وبالتالي زادت طاقة وضع الجاذبية له.

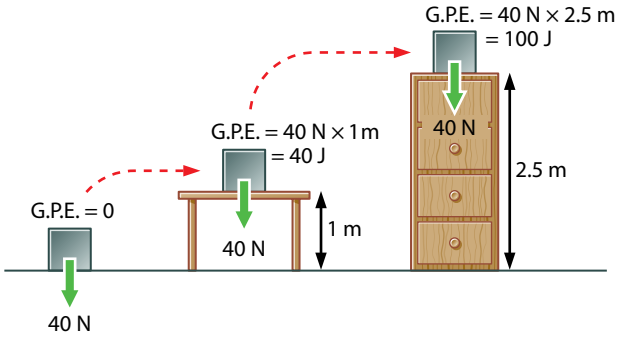
يشير هذا إلى أن طاقة وضع الجاذبية لجسم ما تعتمد على عاملين هما:

- وزن الجسم *mg*. فكلما زاد وزنه زادت طاقة وضع الجاذبية له.
- ارتفاع الجسم *h* عن مستوى سطح الأرض. فكلما زاد ارتفاعه ازدادت طاقة وضع الجاذبية له.

وهذا موضّح في الشكل ٨–٥. فمن الأرقام الواردة في الرسم التخطيطي يمكنك أن ترى أن طاقة وضع الجاذبية لجسم معيَّن تُحسب ببساطة من خلال ضرب الوزن في الارتفاع (ونفترض هنا أن طاقة وضع الجاذبية للجسم صفر عندما يكون عند مستوى سطح الأرض). ويمكننا كتابة هذا كمُعادلة لطاقة وضع الجاذبية:

طاقة وضع الجاذبية = الوزن × الارتفاع

$$G.P.E. = mg \times h$$

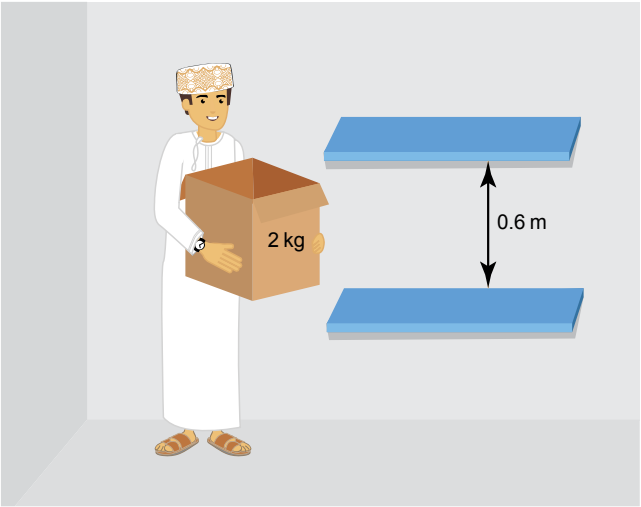


الشكل ٨–٥ تزداد طاقة وضع الجاذبية لجسم كلمّا ازداد ارتفاعه

يجب أن نكون حذرين عند قياس ارتفاع الجسم أو حساب التغيُّر في ارتفاعه.

إذ علينا أن نأخذ في الحسبان الارتفاع الرأسي الذي بلغه الجسم. فقد يتحرّك قطار مسافة 1 km فوق مُنحدَر طويل وخفيف ولكن ارتفاعه الرأسي قد لا يزيد إلا بمقدار 10 m فقط. وقد يدور القمر الاصطناعي حول الأرض في مدار دائري، ولكنه يبقى على بُعد ثابت من مركز الأرض، وبهذا لا يتغيّر ارتفاعه فتبقى طاقة وضع الجاذبية (G.P.E.) له ثابتة.

يكون أحيانًا التغيُّر في الارتفاع هو ما نحتاج إليه. فكّر في رفع صندوق من رفّ إلى رفّ أعلى منه؛ فالتغيُّر في طاقة وضع الجاذبية للصندوق في الشكل ٨–٦ يعتمد على التغيُّر في الارتفاع، ولا يعتمد على الارتفاع الكلّي للرفّ الأعلى عن سطح الأرض. ونحن نستخدم الحرف اليوناني Δ (delta) في المُعادلات ليعني «التغيُّر في». انظر إلى الرسم.



الشكل ٨–٦ تغيُّر طاقة وضع الجاذبية للصندوق بتغيُّر ارتفاعه

في الشكل ٨–٦ يتمّ رفع صندوق كتلته 2 kg بتغيُّر ارتفاعه 0.6 m. يمكننا استخدام معادلة:

التغيُّر في طاقة وضع الجاذبية = الوزن × التغيُّر في الارتفاع

$$\Delta G.P.E. = mg \times \Delta h$$

وفي هذه الحالة: $\Delta h = 0.6\ m$

لذا فإن $\Delta G.P.E. = 2\ kg \times 10\ N/kg \times 0.6\ m$

$$= 12\ J$$

مثال ٨-١

رياضيّ كتلته (50 kg) يصعد من أسفل التلّ إلى قمَّته، يرتفع أسفل التلّ (400 m) عن مستوى سطح البحر، في حين ترتفع قمة التلّ (1200 m) عن مستوى سطح البحر. كم تبلغ الزيادة في مقدار طاقة وضع الجاذبية للرياضي؟ (شدّة مجال الجاذبية: $g = 10\ N/kg$).

الخطوة ١: افترض أن طاقة وضع الجاذبية (G.P.E.) تساوي صفرًا عند أسفل التلّ. احسب ارتفاع التلّ.

$$\Delta h = 1200\ m - 400\ m = 800\ m$$

الخطوة ٢: اكتب معادلة طاقة وضع الجاذبيّة (G.P.E.) وعوّض فيها القيَم وحلّها.

$$\Delta G.P.E. = mg \times \Delta h$$

$$= 50\ kg \times 10\ N/kg \times 800\ m$$

$$= 400\,000\ J$$

$$= 400\ kJ$$

لذا تزداد طاقة وضع الجاذبيّة للرياضيّ بمقدار (400 kJ).

طاقة الحركة (K.E.)

تتطلّب الأشياء طاقة لجعلها تتحرّك. فأنت تنقل طاقة إلى الكرة عندما تركلها أو تقذفها. وكذلك تستخدم السيّارة الطاقة المخزّنة في وقودها لتتحرّك. وأنت تحتاج إلى طاقة مرونية مخزّنة في رباط من المطّاط لإطلاق مقذوف من مِقلاع. لذلك يشكّل الجسم المتحرِّك مخزَنًا للطاقة، وتُعرف هذه الطاقة بطاقة الحركة (K.E.).

يمكننا الاستفادة من طاقة الحركة لجسم ما عن طريق إبطاء الجسم، وبالتالي تقليل طاقة حركته. فعلى سبيل المثال يتمّ تحويل جُزء من طاقة الهواء المتحرّك لإدارة توربينات الرياح لتوليد طاقة كهربائية.

يُشير ما سبق إلى أن طاقة الحركة لجسم ما تعتمد على عاملَين هما:

- كتلة الجسم m. فكلّما زادت كتلة الجسم المُتحرِّك ازدادت طاقة حركته (K.E.).
- سرعة الجسم v. فكلّما زادت سرعة الجسم ازدادت طاقة حركته (K.E.).

وبدمج هذَين العاملَين نحصل على معادلة طاقة الحركة:

طاقة الحركة (K.E.) = $\frac{1}{2}$ الكتلة × مربّع السرعة

$$K.E. = \frac{1}{2} mv^2$$

يُبيّن المثال ٨–٢ كيفية استخدام المعادلة لحساب طاقة الحركة (K.E.) لجسم مُتحرِّك.

مثال ٨-٢

شاحنة كتلتها (2000 kg) تتحرّك بسرعة (10 m/s). احسب طاقة حركتها. إذا زادت سرعتها إلى (20 m/s)، فكم تزداد طاقة حركتها؟

الخطوة ١: احسب طاقة الحركة (K.E.) للشاحنة عند سرعة (10 m/s).

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2} \times 2000\ \text{kg} \times (10\ \text{m/s})^2$$

$$= 100\,000\ \text{J}$$

$$= 100\ \text{kJ}$$

الخطوة ٢: احسب طاقة الحركة (K.E.) للشاحنة عند سرعة (20 m/s).

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2} \times 2000\ \text{kg} \times (20\ \text{m/s})^2$$

$$= 400\,000\ \text{J}$$

$$= 400\ \text{kJ}$$

الخطوة ٣: احسب التغيُّر في طاقة الحركة (K.E.) للشاحنة.

$$\Delta\text{K.E.} = 400\ \text{kJ} - 100\ \text{kJ}$$

$$= 300\ \text{kJ}$$

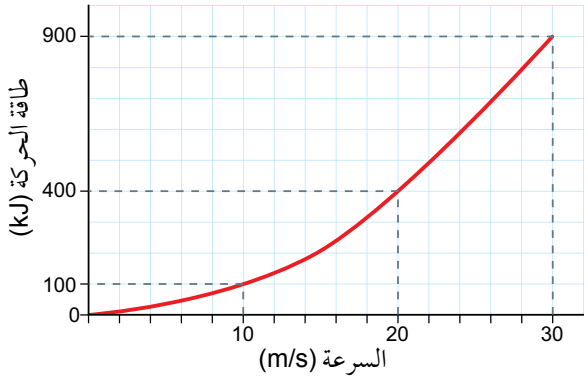
لذا فإن طاقة حركة الشاحنة تزداد بمقدار (300 kJ) عندما تزداد سرعتها من (10 m/s) إلى (20 m/s).

تذكّر

عند حساب طاقة الحركة (K.E.) باستخدام المعادلة $\frac{1}{2}mv^2$، يجب أن تنتبه إلى أن السرعة مربّعة فقط!

يجدر بنا النظر بالتفصيل وبعناية إلى المثال ٨-٢، الذي يُبيّن لنا عدّة نقاط مُهمّة.

عندما تضاعفت سرعة الشاحنة من 10 m/s إلى 20 m/s، ازدادت طاقة حركتها من 100 kJ إلى 400 kJ. ويُمكننا القول: عندما ازدادت سرعة الشاحنة بمقدار الضعف ازدادت طاقة الحركة (K.E.) بمقدار 4 أضعاف. وهذا يرجع إلى أن (K.E.) تعتمد على مُربّع السرعة. فإذا تضاعفت السرعة ثلاث مرّات فإن (K.E.) ستزداد 9 مرّات (انظر الشكل ٨-٧).



الشكل ٨-٧ كلّما كانت الشاحنة أسرع ازدادت طاقة حركتها، انظر المثال ٨-٢. فمضاعفة السرعة تعني أربعة أمثال طاقة الحركة؛ لأن طاقة الحركة تعتمد على مربَّع السرعة

يعني ذلك أنها تحتاج إلى الكثير من الطاقة لزيادة سرعتها. وهذا هو السبب في زيادة استهلاك الوقود في السيّارة عندما يحاول السائق التسارُع على طريق.

نشاط ٨-٢

الحركة إلى أسفل مُنحدَر

المهارات:

- يبرّر اختيار الأجهزة والمواد والأدوات لاستخدامها في إجراء التجارب.
- يصف الخطوات التجريبية والتقانة المُستخدمة ويشرحها.
- يكوّن التنبّؤات والفرضيّات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة).
- يحدّد المتغيّرات، ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكُّم في بعض المُتغيِّرات.
- يسجّل الملاحظات بطريقة منهجيّة باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقّة المناسبة.

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

عندما تتحرّك سيارة لَعِب على مُنحدَر تحدث تغيُّرات من طاقة وضع الجاذبية (G.P.E.) إلى طاقة حركة (K.E.). ويمكنك التحقّق من هذا التغيُّر في الطاقة.

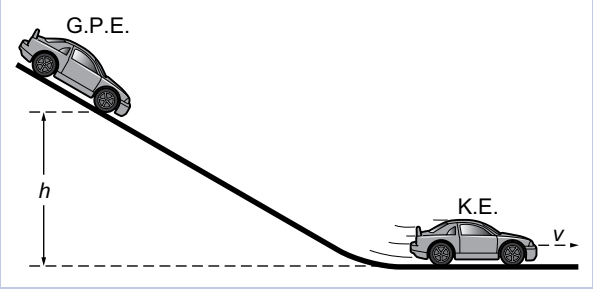
ففي أعلى المنحدَر تمتلك السيارة طاقة وضع الجاذبية (G.P.E.). وفي أثناء تحرُّكها إلى أسفل المنحدَر تتغيّر طاقة وضع الجاذبية (G.P.E.) لها إلى طاقة حركة (K.E.).

فإذا قِست ارتفاع السيّارة h عند أعلى المنحدَر يمكنك حساب (G.P.E.) لها:

$$\text{G.P.E.} = mgh$$

وإذا قِست سرعة السيارة v عند أسفل المنحدَر يمكنك حساب (K.E.) لها:

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2}mv^2$$



ومُهمَّتك هي اختبار الفكرة الآتية:

عندما تكون السيّارة أسفل المنحدَر، فإن طاقة وضع الجاذبية للسيّارة تتحوّل كلّيًا إلى طاقة حركة.

١ ابدأ بمناقشة احتمال أن تكون هذه الفكرة صحيحة.

٢ ناقش كيف تختبر الفكرة وما الذي يجب عليك قياسه. ضع قائمة بأي مُتغيِّرات ستقوم بتغييرها، وأي مُتغيِّرات ستقوم بقياسها، وأي مُتغيِّرات ستثبّتها. اشرح كيف يجعل هذا استقصاءك اختبارًا عادلًا. قُم بوصف الأدوات التي ستستخدمها، وبرّر قرارك بشأن ما سوف تستخدمه.

٣ استخدم هذه الأفكار لكي تتنبّأ بالنمط الذي ستراه في نتائجك.

٤ أجرِ قياساتك واستخلص النتيجة.

أسئلة

٨-١٠ هل تزداد طاقة الوضع لجسم أم تتناقص أم تبقى ثابتة في الأمثلة الآتية؟

أ. سقوط تفاحة من شجرة.

ب. تحليق طائرة أفقيًّا على ارتفاع (9000 m).

ج. إطلاق صاروخ نحو الفضاء.

٨-١١ فتاة وزنها (500 N) تتسلّق جدارًا ارتفاعه (2.0 m)، ما مقدار الزيادة في طاقة وضعها؟

٨-١٢ حجر وزنه (1.0 N) يسقط فتنقص طاقة وضعه بمقدار (100 J). ما الارتفاع الذي سقط الحجر منه؟

٨-١٣ ماذا يمثّل الحرف v في المعادلة $\text{K.E.} = \frac{1}{2}mv^2$؟

٨-١٤ ما مقدار طاقة الحركة التي تخزنها كُرة كتلتها (1.0 kg) وتتحرّك بسرعة (1.0 m/s)؟

٨-١٥ عدّاءة كتلتها (80 kg) تجري بسرعة (8.0 m/s). احسب طاقة حركتها.

٨-١٦ أيّ مما يأتي له طاقة حركة أكبر: دبّور كتلته (2.0 g) يطير بسرعة (1.0 m/s) أم نحلة كتلتها (1.0 g) وتطير بسرعة (2.0 m/s)؟

٨-٥ القدرة

يحتاج التمرين في صالة الألعاب الرياضية (الصورة ٨-٤) إلى طاقة كبيرة من عضلاتك. قد يطلب مُدرّبك منك إيجاد عدد المرّات التي يمكنك فيها رفع مجموعة من الأوزان في دقيقة واحدة، وهذه التمارين تُمارس لاختبار مدى قدرتك. كما أن سرعة المشي على جهاز المشي تعني أن على عضلاتك تحويل الطاقة المخزّنة من الطعام إلى طاقة حركة بسرعة أكبر أي خلال زمن أقصر.

الصورة ٨-٤ في صالة الألعاب الرياضية، يسهل رفع الأثقال الصغيرة ويسهل أيضًا رفعها ببطء. وكلّما زاد الثقل الذي ترفعه وزادت سرعة رفعه ازدادت القُدرة المطلوبة

تُستخدم كلمة **قُدرة Power** في الفيزياء بمعنى خاصّ. وهي تعني مدى سرعة نقل الطاقة. وكلما كان الزمن الذي يستغرقه جسمك لنقل كمّية معيّنة من الطاقة أقصر كانت قدرتك أكبر. فالقدرة هي مُعدَّل نقل الطاقة.

مصطلحات علمية

القدرة Power: هي مُعدَّل نقل الطاقة.

$$\text{القدرة} = \frac{\text{الطاقة المُنتقلة}}{\text{الزمن المُستغرَق}}$$

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

تُخبرك القدرة عن المعدّل الذي تنقل به قوة ما الطاقة. فعندما ترفع جسمًا تعطيه طاقة (أي تزداد طاقة وضع الجاذبية له). وفيما يلي طريقتان يمكن بهما أن تزيد من قدرتك هما:

- رفع جسم أثقل في الزمن نفسه.
- رفع الجسم بسرعة أكبر (زمن أقلّ).

يمكن الحديث عن قدرة الآلة بالطريقة نفسها.

- فالرافعة تنقل الطاقة عندما ترفع حملًا. وكلما كان الحمل أكبر ورفعه أسرع كانت قدرة الرافعة أكبر.
- والقاطرة التي تسحب قطارًا من الحافلات أو العربات تنقل الطاقة. وكلما ازدادت القوة التي تسحب القاطرة بها وازدادت سُرعة القاطرة تزداد قُدرتها.

سؤال

٨-١٧ يرفع جارك قِطَع الطوب ويضعها ببطء فوق حائط واحدة تلو الأخرى. اذكر **طريقتَين** يمكنه من خلالهما زيادة قدرته (أي المعدّل الذي ينقل الطاقة به إلى الطوب).

٨-٦ حساب القدرة

العلاقة الرياضية للقدرة $p = \frac{\Delta E}{t}$.

وحدات القدرة

تُقاس القدرة بوحدة **الوات watt (W)**. والوات الواحد هو مقدار القدرة الناتجة عن انتقال طاقة مقدارها جول واحد في ثانية واحدة، وهذا يعني أن الوات الواحد يساوي جولاً واحدًا في الثانية.

$$1\ W = 1\ J/s$$

$$1\ kW = 1000\ W \quad \text{(كيلووات)}$$

$$1\ MW = 1000\ 000\ W \quad \text{(ميغاوات)}$$

مصطلحات علمية

الوات watt (W): وحدة القدرة في نظام SI؛ ويُعادل القدرة عندما يتم نقل طاقة 1 J في 1 s.

$$1\ W = 1\ J/s$$

يمكننا تطبيق فكرة القدرة على أي وسيلة نقل للطاقة. فعلى سبيل المثال تنقل المصابيح الكهربائية الطاقة التي تزوّدها بها الكهرباء، فتُنتِج الطاقة الضوئية والحرارية. وقد كُتِب على معظم المصابيح الكهربائية قدرتها مثل 40 W، 60 W، 100 W. والهدف من كتابتها إخبار المُستخدِم عن معدّل نقل المصباح الكهربائي للطاقة.

مثال ٨-٣

سيّارة كتلتها (800 kg) تتسارع من السكون إلى سرعة (25 m/s) في (10 s). كم تبلغ قدرتها؟

الخطوة ١: احسب الزيادة في طاقة الحركة للسيارة.

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2} mv^2$$

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2} \times 800\ \text{kg} \times (25\ \text{m/s})^2$$

$$= 250\,000\ \text{J}$$

الخطوة ٢: احسب القدرة (p).

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

$$= \frac{250\,000\ \text{J}}{10\ \text{s}}$$

$$= 25\,000\ \text{W} = 25\ \text{kW}$$

لذلك تنتقل الطاقة إلى السيارة (من مُحرّكها) بمعدّل (25 kW) أو (25 kJ) في الثانية.

أسئلة

٨-١٨ **أ.** كم واتًا في الكيلووات؟

ب. كم واتًا في الميغاوات؟

٨-١٩ تشير التقديرات إلى أن القدرة التي يتطلّبها الدماغ البشري تبلغ (40 W). ما مقدار الطاقة بالجول المُنتقلة في الثانية؟

٨-٢٠ مصباح كهربائي ينقل (1000 J) من الطاقة في (10 s). كم تبلغ قدرته؟

٨-٢١ محرّك كهربائي ينقل (100 J) في (8.0 s). إذا نقل هذا المحرّك مقدار الطاقة نفسه في (6.0 s)، فهل تزداد قدرته أم تنقص؟

نشاط ٨-٣

قياس قدرتك

المهارات:

- يقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانيّة والميل.

⚠ **• احرص أن يكون العمل بأمان في هذا النشاط.**

• اعمل في مساحة فارغة بحيث لا تتداخل مع الآخرين، وكذلك لا تُجهد نفسك.

إليك طريقة لقياس قدرة جسمك.

صعود الدرج

ما مدى سرعة صعودك للدرج؟ لقياس قدرتك ستحتاج إلى معرفة:

- وزنك mg.
- الارتفاع الذي تصعده h.
- الزمن الذي تستغرقه t.

خطوات الطريقة:

١ قِس وزن أحد الطلاب الذي سيصعد الدرج.

٢ عيّن طالبًا آخر لقياس زمن الصعود.

٣ قِس ارتفاع درجة واحدة واحسب ارتفاع الدرج.

٤ استنتج قدرة الطالب.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تخزين الطاقة ونقلها.
- مبدأ حفظ الطاقة.
- أن الطاقة تُقاس في نظام SI بوحدة الجول (J).
- حساب التغيُّرات في طاقة وضع الجاذبية وطاقة الحركة.
- أن القدرة هي معدّل نقل الطاقة.
- وحدة القدرة في نظام SI هي الوات (W).
- حساب القدرة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ صعد مازن درجًا. اذكر اسم الطاقة التي تعود إلى:

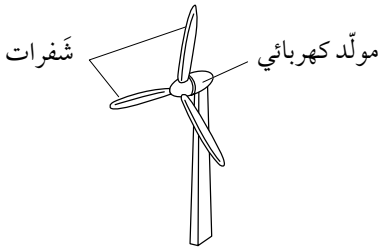
أ. حركة مازن.

ب. موضع مازن.

٢ كلّ من الأمثلة الواردة في الجدول أدناه هو إمّا مخزن للطاقة وإمّا نقل لها. أكمل الجدول بوضع إشارة ✓ في عمود المخزن أو في عمود النقل.

المثال	مخزن	نقل
طاقة الوضع الكيميائية في البطّارية		
الطاقة الحرارية القادمة من الشمس إلى الأرض		
الطاقة الكهربائية للتيار الكهربائي في سلك		
الطاقة الحرارية للمياه الساخنة في دورق معزول		
طاقة الوضع الكيميائية في الأرز		
طاقة الوضع المرونية في زُنبرك مشدود		
طاقة وضع الجاذبية لكتاب على رفّ		
الطاقة الصوتية الصادرة عن آلة موسيقية		
الطاقة النووية في نواة الذرّة		
الضوء القادم من مصباح كهربائي		

٣ يُبيّن الرسم الآتي توربين رياح.



تُستخدم الرياح لتدوير شفرات توربين الرياح، وتُدوّر الشفرات بدورها مُولِّدًا كهربائيًا ينتج الكهرباء التي يمكن نقلها إلى المنازل والمصانع.

أ. اشرح كيف تنتقل الطاقة:

١. من الرياح إلى المولّد.

٢. من المولّد إلى المنازل والمصانع.

ب. ليست كل الطاقة المُنتقِلة إلى المولّد تتحوَّل إلى طاقة كهربائية.

اذكر شكلَين آخرَين للطاقة المُنتقلة إلى المولّد غير الطاقة الكهربائية.

٤ **أ.** صف المقصود بمبدأ حفظ الطاقة.

ب. اشرح كيفية تطبيق مبدأ حفظ الطاقة في:

١. مصباح كهربائي.

٢. احتراق الخشب.

٥ **أ.** جسم كتلته m وسرعته v. اكتب معادلة طاقة حركته (K.E.).

ب. سيّارة كتلتها (800 kg) وسرعتها (20 m/s).

احسب طاقة حركتها.

ج. يقول أحد الطلاب: «إذا تضاعفت سرعة جسم ما فإن طاقة حركته ستتضاعف أيضًا».

اشرح إن كان قول الطالب صحيحًا.

٦ **أ.** جسم كتلته m، يُرفع إلى ارتفاع h في مجال جاذبية شدّته g. اكتب معادلة طاقة وضع الجاذبية (G.P.E.) له.

ب. كتاب كتلته (1.2 kg) يُرفع على رفّ ارتفاعه (1.5 m). تبلغ قوّة الجاذبية لكل وحدة كتلة (10 N/kg).

احسب طاقة وضع الجاذبية للكتاب.

ج. تمّ اختبار الذراع الروبوتي لمركبة فضائية على الأرض، فرفع كتلة إلى علوّ (0.6 m).

تمّ إرسال المركبة الفضائية إلى المرّيخ، حيث قوة الجاذبية لكل وحدة كتلة على المريخ أقل ممّا هي على الأرض.

اشرح كيف تُقارِن بين طاقة وضع الجاذبية للكتلة التي يرفعها الذراع الروبوتي على كلّ من المرّيخ والأرض، إذا كانت الكتلة والارتفاع ثابتين على كِلا الكوكبين.

٧ **أ.** ١. ما وحدة القدرة في نظام SI.

٢. صف العلاقة بين القدرة والطاقة.

ب. تمّ نقل (126 000 J) من الطاقة الكهربائية إلى إبريق كهربائي في (60 s). احسب القدرة الكهربائية لهذا الإبريق.

ج. تُقدَّر قدرة محرّك كهربائي بـ (750 W). احسب الزمن الذي يستغرقه المحرّك لتحويل (22 500 J) من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركة. افترض عدم فَقْد طاقة.

الوحدة التاسعة

انتقال الطاقة: التوصيل والحمل الحراري والإشعاع

Energy Transfer: Conduction, Convection and Radiation

تُغطّي هذه الوحدة:

- وصف تجارب لإثبات التوصيل والحمل الحراري والإشعاع.
- شرح كيفية حدوث التوصيل والحمل الحراري والإشعاع.
- الفرق بين الموصِّلات الجيدة والرديئة وباعثات الإشعاع الجيدة والرديئة.

٩-١ التوصيل

ناقشنا في الوحدة الثامنة الطاقة الحرارية على أنها الطاقة التي تنتقل من المكان الأكثر سخونة إلى المكان الأكثر برودة. ولكي تنتقل الطاقة الحرارية من مكان إلى آخر فإنها تتطلّب **فرقًا في درجة الحرارة** بين المكانَين. وسوف نتعرّف في هذه الوحدة الطرق المختلفة التي تنتقل بها الطاقة الحرارية. ونبدأ بطريقة **التوصيل Conduction**.

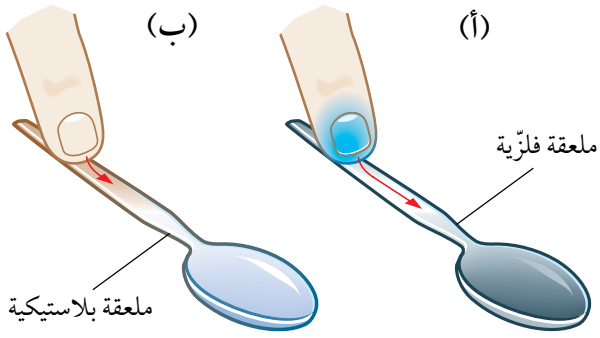
مصطلحات علمية

التوصيل Conduction: نقل الطاقة الحرارية أو الطاقة الكهربائية من خلال مادّة من دون أن تتحرَّك المادّة نفسها.

الموصّلات الجيدة والموصّلات الرديئة

إذا وضَعتَ ملعقتَين على المائدة، إحداهما فلزّيّة والأخرى بلاستيكية، ولمَستَ الملعقة الفلزّيّة سوف تشعر ببرودة. وعندما تلمس الملعقة البلاستيكية سوف تشعر بدفء؛ مع أنّهما في الواقع لهما درجة الحرارة نفسها، وهي درجة حرارة الغرفة. وهذا ما يؤكّده لك ميزان الحرارة.

كيف يمكن ذلك؟ ما تكتشفه هو أن المواد الفلزّيّة في الحقيقة هي موصّلات جيّدة للحرارة، بعكس المواد البلاستيكية التي تُعدّ موصّلات رديئة. يبيّن الشكل ٩-١ ما الذي يحدث.



الشكل ٩-١ (أ) تشعر مع الفلزّات بالبرودة، (ب) وتشعر مع البلاستيك بالدفء

(أ) عندما تلامس طرف إصبعك جسمًا فلزّيًا فإن طاقة حرارية تتسرّب من إصبعك إلى الفلزّ، لأنه **موصّل Conductor** جيّد للحرارة. وهكذا تنتشر الطاقة الحراريّة بسرعة خلال الفلزّ، وتستمر في التسرُّب من طرف إصبعك تاركةً إياها أبرد من قبل. وعندئذ تقوم الأعصاب المتحسِّسة لدرجة الحرارة في طرف إصبعك بإخبار دماغك أن إصبعك قد بردَت. وبذلك تعتقد أنك قد لمست شيئًا باردًا.

(ب) وعندما تلمس جسمًا من البلاستيك فإن الطاقة الحرارية تتسرّب فقط إلى المنطقة التي تكون فيها طرف إصبعك على تماسّ مباشر مع الجسم البلاستيكي ولا تنتشر أبعد من ذلك؛ لأن البلاستيك **عازل Insulator** جيّد للحرارة. وهكذا فإن الطاقة الحرارية لا تنتقل فيه بعيدًا، فلا تفقد إصبعك مزيدًا من الطاقة الحرارية وتبقى دافئة. وتكون الرسالة من أعصاب أطراف أصابعك هي أن إصبعك تظلّ دافئة. لذلك تعتقد أنك تلمس شيئًا دافئًا.

(لاحظ أن الأعصاب في طرف إصبعك تخبرك بمدى سخونة الإصبع، وليس مدى سخونة الجسم الذي تلمسه! وهذا يشبه مناقشتنا لموازين الحرارة في الوحدة السابعة.

فميزان الحرارة في الماء يشير إلى درجة الحرارة الخاصّة به، ونحن علينا أن نفترض أن درجة حرارة الماء هي درجة حرارة ميزان الحرارة نفسها).

مصطلحات علمية

الموصِّل Conductor: مادّة تنقل الطاقة الحرارية.

العازل Insulator: مادّة تنقل الطاقة الحرارية بشكل رديء جدًا.

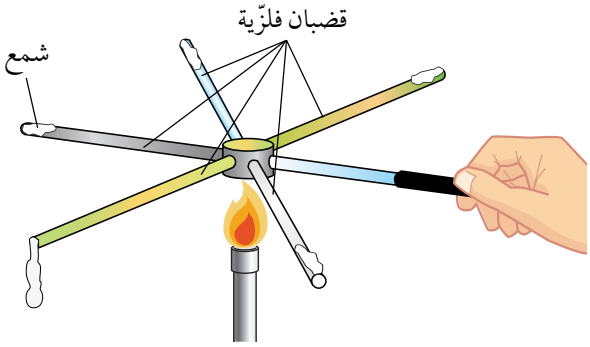
يقارن الجدول ٩-١ الموصّلات والعوازل. وتستطيع أن ترى بشكل عامّ أن الفلزّات موصّلات جيّدة للحرارة في حين أن معظم اللافلزّات هي موصّلات رديئة للحرارة.

موصّل جيّد	الماس	عازل رديء
	الفضّة والنحاس	
	الألومنيوم والفولاذ	
	الرصاص	
	الثلج والرخام والزجاج	
	النايلون والبوليثين	
	المطّاط والخشب	
	البولسترين	
موصّل رديء	الصوف الزجاجي	عازل جيّد

الجدول ٩-١ يكون الموصّل الرديء عازلاً جيّدًا. ويأتي في أسفل القائمة البولسترين والصوف الزجاجي الذي يُعدّ عازلاً ممتازًا لأن معظمه هواء

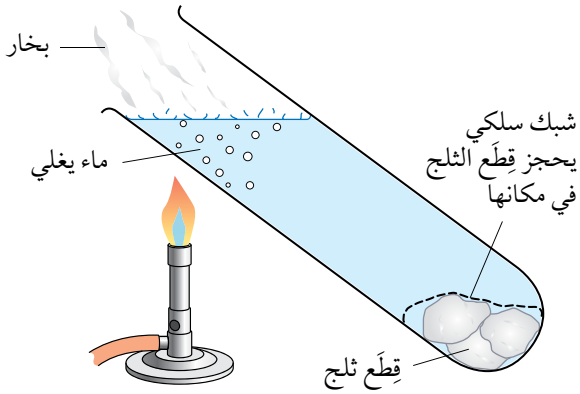
توضيح التوصيل

يبيّن الشكل ٩-٢ واحدة من طُرق المقارنة بين فلزّات مختلفة. فالقضبان الفلزّية لها الحجم نفسه، وعلى أحد طرفي كلٍّ منها كمّية متساوية من الشمع، وتسخن جميعها عند الطرف الآخر بالتساوي. ويكون أفضل موصّل هو الفلزّ الذي ينصهر الشمع عنده أوّلاً.



الشكل ٩-٢ تجربة توضّح أيّ الفلزّات هو أفضل موصّل حراري

يوضِّح الشكل ٩-٣ أن الماء موصِّل رديء للحرارة. فعندما سُخّن الماء أعلى الأنبوبة حتى الغليان، ظلّ في القاع باردًا وظلّت قِطَع الثلج المحجوزة في الشبك السلكي متجمّدة. ويدلّ هذا على أن الطاقة الحرارية لم تنتقل من أعلى الأنبوبة حيث الماء يغلي (100 °C) إلى أسفل الأنبوبة حيث يوجد الثلج مع الماء (0 °C)، لأن الماء في القاع بقي باردًا، وقِطَع الثلج لم تنصهر.



الشكل ٩-٣ تجربة توضح أن الماء رديء التوصيل للحرارة

نشاط ٩-١

استقصاء التوصيل

المهارات:

- يُقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتَّخذة لضمان السلامة.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدّمها، بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانية والميل.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.

⚠ **ستكون القضبان الفلزّية ساخنة للغاية بحيث لا يمكن لمسها عند تسخينها.**

احرص على حماية عينيك بوضع النظارة الواقية عند استخدام موقد بنزن.

اختبر تجربتَين تتضمّنان توصيلاً حراريًّا.

مُقارنة الفلزّات

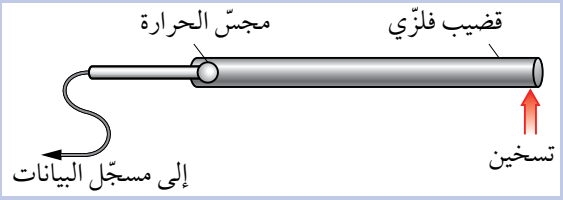
١ صِل مجسّ الحرارة بأحد طرفَي قضيب فلزّي.

٢ سخِّن القضيب عند الطرف الآخر.

٣ كرّر هذا مع قضبان فلزّية مختلفة.

أيّ فلزّ يوصّل الحرارة بسرعة أكبر؟

٤ استخدم نتائجك لرسم تمثيل بياني بالأعمدة. لماذا لا يكون التمثيل البياني الخطّي مناسبًا لهذه النتائج؟



الماء عازل

انظر إلى الشكل ٩-٣.

١ استخدم شبكًا سلكيًّا لحجز بعض قِطَع الثلج في الجُزء السفلي من الأنبوبة.

٢ املأ ثلاثة أرباع الأنبوبة بالماء.

٣ سخّن الماء قرب الجُزء العلوي من الأنبوبة.

لماذا تبقى قِطَع الثلج صلبة؟

أسئلة

٩-١ **أ.** سمِّ موصّلاً حراريًا جيّدًا.

ب. سمِّ عازلاً حراريًا جيّدًا.

٩-٢ ما الشرط الذي يجب أن يحقّقه طرفا موصِّل لكي تتدفّق الطاقة الحرارية خلاله؟

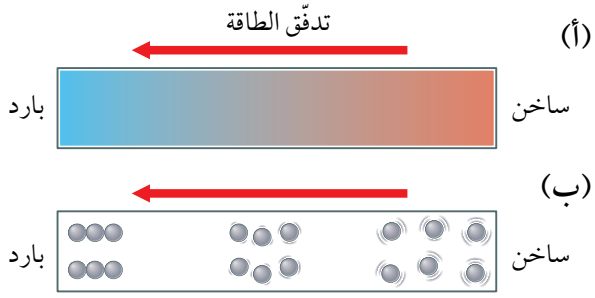
٩-٣ انظر إلى الجدول ٩-١. أيّهما سيشعرك بالبرودة أكثر عند لمسه: الرخام أم البولسترين؟

تفسير التوصيل في الفلزّات واللافلزّات

قد تكون الفلزّات واللافلزّات موصِّلات حرارية. لكن الفلزّات عمومًا تُعدّ موصِّلات حرارية أفضل بكثير من اللافلزّات. ونحن في حاجة إلى تفسيرات مختلفة لكيفية التوصيل في هذَين النوعَين من المواد.

سنبدأ مع اللافلزّات. تخيّل قضيبًا زجاجيًّا طويلًا (الشكل ٩-٤). عندما يُسخّن أحد طرفَيه يكون الطرف الآخر باردًا. وبالتالي سيكون هناك فرق في درجة الحرارة بين طرفَي القضيب، فتتدفّق الطاقة الحرارية فيه، كما في الشكل ٩-٤ (أ). فما الذي يحدث داخل القضيب؟

سوف نتصوّر الذرّات التي يتكوّن منها الزجاج كما هو مبيّن في الشكل ٩-٤ (ب).



الشكل ٩-٤ التوصيل الحراري في المواد اللافلزّية. (أ) تنتقل الطاقة الحرارية من الساخن إلى البارد في قضيب زجاجي. (ب) ترجع آليّة هذا التوصيل إلى اهتزاز الجُسيمات التي يتم نقلها إلى الجُسيمات المجاورة

تهتزّ الذرّات في الطرف الساخن للقضيب بشكل أكبر ممّا يجعلها تدفع الذرّات المجاورة لها. وبما أن الذرّات ليست مرتّبة بانتظام ولا ترتبط معًا ربطًا مُحكمًا، فسوف يكون انتقال الطاقة الحرارية من الطرف الساخن إلى الطرف البارد بواسطة الذرّات بطيئًا جدًّا.

هذه هي الآليَّة التي تقوم بها الموصّلات الرديئة بنقل بعض الطاقة الحرارية عبرها. أما الفلزّات فتُعدّ موصِّلات جيدة لأنها أيضًا تحتوي على جُسيمات تُسمى **الإلكترونات Electrons** يمكنها التحرُّك بحرِّية داخل المادة. والإلكترونات جُسيمات أصغر بكثير من الذرّات وهي التي تنقل الطاقة الحرارية عبر فلزّ، وهي نفسها التي تحمل الطاقة الكهربائية عندما يتدفّق التيار الكهربائي عبر فلزّ.

وأخيرًا يمكن **للمواد السائلة** نقل الطاقة الحرارية بواسطة التوصيل أيضًا لأن الجُسيمات التي تتكوّن منها متقاربة جدًا. ومع ذلك فإن الحمل الحراريّ (انظر الموضوع ٩-٢) غالبًا ما يكون أكثر أهمّية من التوصيل في نقل الطاقة الحرارية عبر مادة سائلة.

نشاط ٩-٢ (إثرائي)

استقصاء التوصيل باستخدام فيلم اللون الحراري (Thermocolour film)

استخدم فيلم اللون الحراري لاستقصاء التوصيل الحراري.

٩-٢ الحمل الحراري

«الهواء الساخن يرتفع» هذا قول شائع. فالصورة ٩-١ التُقِطَت باستخدام تقنية تبيّن التيارات في الهواء، حيث يمكنك رؤية الهواء الساخن يتصاعد فوق الفانوس (القنديل).

فعندما يسخن الهواء تنخفض كثافته (لأنه يتمدّد) وتصبح أقلّ من كثافة الهواء المحيط به، فيطفو إلى الأعلى (تمامًا كما يطفو الفلّين إلى الأعلى إذا أمسكته داخل الماء ثم تركته). فكّر في منطاد الهواء الساخن: إذا كان الهدف

هو «التحليق» فيجب أن تكون كثافة الهواء الساخن داخل البالون أقلّ من كثافة الهواء البارد المُحيط به.

الصورة ٩-١ يُنتج الفانوس (القنديل) هواء ساخنًا، فترتفع تيّارات الهواء الساخن فوق الفانوس

ويُعدّ صعود الهواء الساخن مثالًا على **الحمل الحراري Convection**. فالهواء الساخن يمكن أن يرتفع لأن الهواء مائع والحمل الحراري ظاهرة يمكن ملاحظتها مع أي مائع (سائل أو غاز).

مصطلحات علمية

الحمل الحراري Convection: نقل الطاقة الحرارية عن طريق حركة مادة المائع نفسها.

توضيح الحمل الحراري

تُبيّن الصورة ٩-٢ كيف يمكن أن نلاحظ تيّار الحمل الحراري في الماء. فالماء الذي يعلو اللهب مباشرة يسخن ويتمدّد. وتكون كثافته عندئذٍ أقلّ من كثافة الماء المحيط به، فيطفو. وتُظهِر الصبغة الأرجوانية كيف يتحرّك الماء الساخن إلى أعلى، وينتقل الماء الأبرد والأكثر كثافة ليحلّ محلّه.

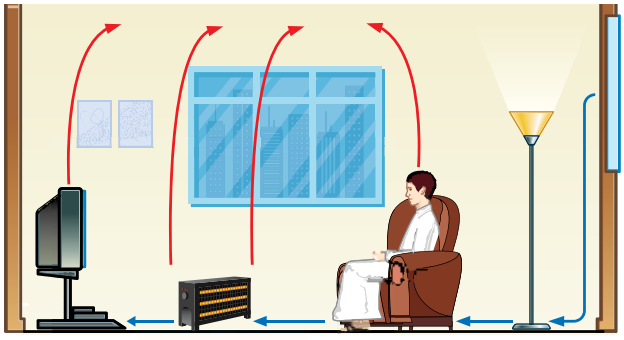
الصورة ٩-٢ بما أن الماء صافٍ وعديم اللون تصعب رؤية حركته لتشكيل تيّار حمل حراري. لذلك أُضيفَت بلّورات برمنغنات البوتاسيوم (VII) لتعمل كصبغة أرجوانية تُظهِر حركة الماء

يُعرف **تيّار الحمل الحراري** بأنه حركة المائع الذي ينقل الطاقة من مكان دافئ إلى مكان أبرد. وهذا يسلّط الضوء على الاختلاف المُهمّ بين الحمل الحراري والتوصيل.

- ففي الحمل الحراري تُنقل الطاقة عبر المادة من مكان دافئ إلى مكان أبرد عندما تتحرَّك المادة نفسها.
- لكن في التوصيل تُنقل الطاقة عبر المادة من مكان دافئ إلى مكان أبرد من دون أن تتحرّك المادة نفسها.

كيف تعمل تيّارات الحمل الحراري

تساعد تيّارات الحمل الحراري على تَشارُك الطاقة بين الأماكن الدافئة والأماكن الباردة. فإذا كنت تجلس في غرفة شُغِّلت فيها مدفأة كهربائية فإن الطاقة ستتحرّك داخل الغرفة من المدفأة نتيجة لتيارات الحمل الحرارية التي ترتفع من فوق المدفأة. وربّما كنت أنت نفسك مصدرًا لتيارات الحمل الحرارية، لأن جسمك يكون في العادة أكثر دفئًا من المنطقة المحيطة به (انظر الشكل ٩-٥). تستخدم العديد من الحشرات القارضة هذا التأثير. فعلى سبيل المثال يزحف بقّ الفراش عبر سقف غرفة النوم، لأنه يستطيع اكتشاف الشخص النائم تحته من خلال البحث عن المناطق الأكثر دفئًا من السقف. ثم يسقط مباشرة على النائم.

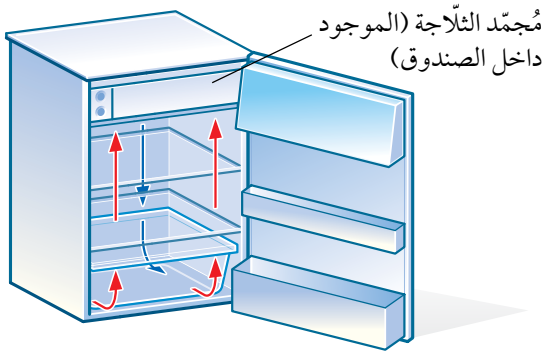


الشكل ٩-٥ ترتفع تيّارات الحمل الحراري فوق الأجسام الدافئة أو الساخنة في الغرفة

استفاد الإنسان العُماني من فهم الآثار المُترتّبة على نقل الطاقة الحرارية وتطبيقاتها. فالعديد من المباني في سلطنة عُمان تحتوي على نوافذ عُلويّة وأخرى سُفلية (الصورة ٩-٣). حيث تسمح النوافذ العلوية في المبنى للهواء الدافئ الصاعد بالخروج من خلالها. وعندما يسخن الهواء البارد في الأسفل، يصعد إلى الأعلى ليحلّ محله الهواء البارد الذي يدخل من النوافذ السفلية للمبنى.

الصورة ٩-٣ مبنى يحتوي على نوافذ علوية وسفلية للحفاظ على برودة الهواء في المبنى

تتكوَّن تيّارات حمل حرارية في الموائع كما ذكرنا سابقًا. فمُجمّد الثلّاجة، مثلاً، يقع في الجزء العلوي الخلفي من الثلّاجة. حيث ينتج هواء باردًا يهبط إلى أسفل الثلّاجة ويرتفع الهواء الدافئ فيها ليتمّ تبريده مرة أخرى، كما هو موضّح في الشكل ٩-٦. فلو كان مُجمّد الثلّاجة في الأسفل لبقي الهواء البارد هناك، وبقي الجُزء العلوي من الثلّاجة بلا تبريد.



الشكل ٩-٦ يهبط الهواء البارد من المُجمّد لتبريد بقية الثلاجة (السهم الأزرق) ويرتفع الهواء الدافئ من أجل إعادة تبريده (السهم الأحمر)

نشاط ٩-٣

تجارب الحمل الحراري

المهارة:

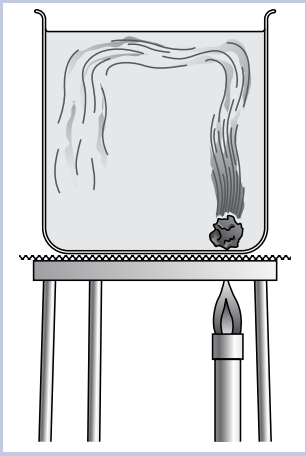
- يُقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.

⚠ • احرص على حماية عينيك بوضع النظارة الواقية عند استخدام موقد بنزن.

• ارتدِ قفّازين واقيين عند التعامل مع برمنغنات البوتاسيوم (VII).

نفّذ بعض التجارب التي تظهر كيف يعمل الحمل الحراري.

الحمل الحراريّ في سائل

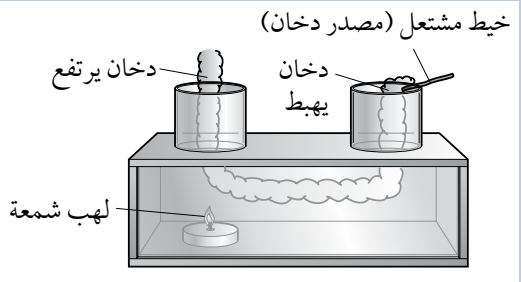


١ املأ كأسًا بالماء.

٢ عندما يكون الماء ساكنًا، استخدم ملقطًا لوضع بلّورة صغيرة من برمنغنات البوتاسيوم (VII) في الجزء السفلي من الكأس، ومن جهة واحدة.

٣ استخدم موقد بنزن لتسخين الماء ببطء تحت البلّورة. سوف يتحرّك اللون ليُظهِر كيف يتحرّك الماء.

الحمل الحراري في الهواء



١ جهّز التجربة كما هو مبيّن في الشكل.

٢ أشعل الشمعة. فسوف يتسبّب لهب الشمعة بارتفاع الهواء الدافئ عبر المدخنة اليسرى. وعندئذ يتدفّق الهواء البارد إلى الأسفل عبر المدخنة اليمنى.

٣ استخدم قطعة من خيط مشتعل لإنتاج دخان وإظهار حركة الهواء.

أسئلة

٤-٩ تنتقل الطاقة الحرارية بواسطة حركة الموائع. هل هذا وصف **التوصيل الحراري** أم **الحمل الحراري**؟

٥-٩ تكتسب جُسيمات الغاز عند تسخينه طاقة. تخيّل أنك تستطيع رؤية جُسيمات الغاز الساخنة وجُسيمات الغاز الباردة (عند الضغط نفسه) في حاوية ما.

أ. ما الفرق الذي ستراه في حركة جُسيمات الغازَين؟

ب. ما الفرق الذي ستراه في تباعُد جُسيمات الغاز في كلّ منهما؟

٦-٩ ما الدور الذي يؤدّيه الحمل الحراري في نشر الطاقة من مدفأة كهربائية في أرجاء غرفة؟

٧-٩ لماذا يُعدّ وضع جهاز التبريد الكهربائي قرب أرضية الغرفة فكرة غير جيدة؟

٨-٩ ابحث عن أمثلة يوميّة أخرى على كيفية عمل الحمل الحراري.

الحمل الحراري والكثافة

تنشأ تيارات الحمل الحرارية من الاختلافات في الكثافة. تذكر من الوحدة الرابعة كيف نحسب كثافة المادة. لقد رأينا أن الحمل الحراري ينتج عن تمدُّد المائع عند تسخينه، والتمدُّد يعني زيادة في الحجم وبقاء الكتلة ثابتة، وبالتالي انخفاض الكثافة. عندها تصبح المادة الأكثر دفئًا أقلّ كثافة، وتندفع إلى الأعلى بواسطة المادة الأكثر برودة المحيطة بها.

تمتلك الجُزيئات في الموائع الأكثر سخونة والأقلّ كثافة، مزيدًا من طاقة الحركة. فهي تتحرّك بشكل أسرع. وتقوم في أثناء تدفُّقها من مكان إلى آخر بحمل هذه الطاقة معها.

يتحرّك المائع الأكثر برودة والأكثر كثافة إلى المكان الذي يتركه المائع الأكثر سخونة والأقلّ كثافة. وتؤدّي هذه العملية إلى تسخين المائع البارد؛ وبالتالي يسخن كل المائع في النهاية.

يُعدّ الحمل الحراري الطريقة الرئيسية لنقل الطاقة الحرارية في الموائع. ورغم أن الطاقة الحرارية يمكن نقلها بالتوصيل عبر السائل، إلا أن هذه العملية بطيئة بصورة عامة مقارنة بالحمل الحراري حيث يتحرّك السائل نفسه ويحمل الطاقة معه.

سؤال

٩-٩ اكتب شرحًا موجزًا للحمل الحراري باستخدام مصطلحات **التمدُّد والكثافة والجاذبية**.

٣-٩ الإشعاع

يمكنك أن ترى في ظُلمة الليل أبعد بكثير ممّا تراه في ضوء النهار. فأبعد شيء يُمكن أن تراه في النهار هو الشمس، التي تبعد عنك حوالي 150 مليون كيلومتر. لكنك في الليل تستطيع أن ترى أبعد من ذلك؛ حيث ترى النجوم البعيدة. ويكون أبعد ما يمكن أن تراه بالعين المجرّدة مجرّة أندروميدا التي تبعد حوالي 20×10^{18} كيلومتر.

ينتقل الضوء الذي يصل إلى الأرض من الشمس والنجوم الأخرى عبر الفضاء على شكل **إشعاع كهرومغناطيسي Electromagnetic radiation**. وينتقل هذا الإشعاع كموجات كهرومغناطيسية التي هي جزء من الطيف الكهرومغناطيسي عبر مسافات شاسعة مُتّبعًا خطًّا مستقيمًا خلال انتقاله في الفضاء الفارغ. فضلاً عن الضوء المرئي تغمر الأرض أشكالٌ أخرى من الإشعاع الكهرومغناطيسي تأتي من الشمس؛ بما في ذلك الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجية. (وسوف يرِد الطيف الكهرومغناطيسي في الصف العاشر).

وكلما كان الجسم أكثر سخونة أعطى مزيدًا من **الأشعّة تحت الحمراء Infrared radiation**. ويمكنك استخدام هذه الفكرة لتعينك على فهم أكثر لعمل المحقّقين. فعندما تكون سيّارة متوقّفة خارج المنزل وتريد أن تعرف مدّة توقُّفها هناك، ضع يدَيك قرب حجرة المحرّك لتعرف إن كانت هناك طاقة حرارية مُشعّة منه. إذا كانت جميع المصابيح الكهربائية في المنزل مُطفأة، فهل يمكنك معرفة أي مصباح تمَّت إضاءته (تشغيله) مؤخَّرًا؟

مصطلحات علمية

الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic radiation: طاقة تنتقل على شكل موجات.

الأشعّة تحت الحمراء Infrared radiation: هي الأشعّة الكهرومغناطيسية التي يكون طولها الموجي أكبر من طول موجة الضوء المرئي؛ وتُعرف أحيانًا بالإشعاع الحراري.

يكشف جلدنا الأشعة تحت الحمراء التي تنتج بواسطة الأجسام الحارة. فالخلايا العصبية تحت سطح الجلد مباشرة تستجيب للسخونة. وسوف تلاحظ ذلك إن كنت تقف في الهواء الطلق في يوم مشمس.

وفيما يلي خصائص الأشعّة تحت الحمراء التي ذكرناها حتى الآن:

- تنتج بواسطة الأجسام الدافئة أو الساخنة.
- تُعدّ شكلاً من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي.
- تنتقل عبر الفضاء الفارغ (وعبر الهواء) على شكل موجات.
- تنتقل في خطوط مستقيمة.
- تُدفئ الجسم الذي يمتصّها.
- لا تُرى بالعين المجرّدة.
- يمكن الكشف عنها بواسطة الخلايا العصبية في الجلد.

تذكّر

أن الإشعاع هو نقل للطاقة؛ وأن أي شيء يمتص الإشعاع سيصبح أكثر دفئًا.

تُبيّن الصورة ٩-٤ طريقة أخرى للكشف عن الأشعّة تحت الحمراء؛ تتمثَّل في استخدام كاميرا استشعار للأشعّة تحت الحمراء تُظهر تغيُّرات طفيفة في درجة حرارة الجسم. ومن الجدير بالذكر أن العاملين في المجال الطبّي يستخدمون كاميرات مشابهة في صالات المطار لمعرفة درجة حرارة كلّ مسافر. حيث إن درجة الحرارة المرتفعة من أولى أعراض الأمراض الفيروسية وأشهرها كوفيد 19 (كورونا).

الصورة ٩-٤ كاميرا استشعار للأشعّة تحت الحمراء في مطار مسقط الدولي تظهر الاختلافات الطفيفة في درجة حرارة الجسم

أسئلة

٩-١٠ كيف يمكن نقل الطاقة عبر الفضاء الفارغ: بالتوصيل أم بالحمل الحراري أم بالإشعاع؟

٩-١١ نستقبل على الأرض ضوءًا مرئيًّا من الشمس. اذكر **شكلَين** آخرين من الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي نستقبله من الشمس.

٩-١٢ إذا ارتفعت درجة حرارة جسم ما، فماذا يحدث لكمّية الأشعّة تحت الحمراء التي تنبعث منه؟

الماصّات الجيدة والباعثات الجيدة

قد يستخدم سائقو السيّارات واقيًا من الشمس تحت الزجاج الأمامي في سيّاراتهم عند إيقافها في مواقف السيّارات في الأيام الحارّة والمشمسة. ويكون لون هذا الواقي في العادة أبيض أو لونًا فاتحًا آخر أو لامعًا؛ لأن تلك الألوان تعكس الضوء والأشعة تحت الحمراء التي تجعل السيارة تسخن بشكل غير مريح.

تُعدّ الأجزاء البلاستيكية السوداء في السيارة مثل المِقوَد ولوحة القيادة موادّ ماصّة جيدة للأشعة تحت الحمراء. ويمكن أن تصبح ساخنة جدًّا إلى درجة لا يمكن لمسها.

يحدّد سطح الجسم إن كان الجسم يمتصّ الأشعة تحت الحمراء أو يعكسها. فالسطح العاكس الجيّد هو سطح ماص رديء. ربما لاحظت في يوم حار أن السطح الأسود لطريق مُعبّد يبعث طاقة حرارية. إذ تمتصّ الأسطح السوداء الأشعة تحت الحمراء بسهولة، وهي باعثات جيدة أيضًا.

- الأسطح اللامعة هي عاكسات أفضل (ماصّات رديئة) من الأسطح غير اللامعة (المُطفأة) ذات اللون نفسه.
- الأسطح البيضاء هي الأفضل بين العاكسات (الأسوأ بين الماصّات).
- وبالمقابل تُعدّ الأسطح السوداء غير اللامعة أفضل الماصّات (وتكون عاكسات رديئة).
- الأسطح السوداء غير اللامعة هي أفضل الباعثات.

سؤال

٩-١٣ افترض أن لديك سطحًا أسود غير لامع وسطحًا أسود لامعًا.

أ. أيُّهما الأفضل في امتصاص الأشعّة تحت الحمراء؟

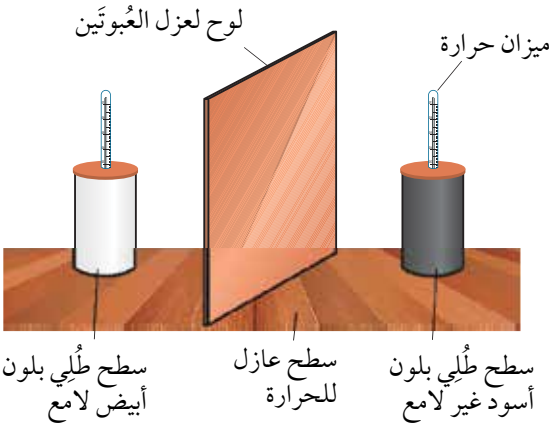
ب. أيُّهما الأفضل في بعث الأشعة تحت الحمراء؟

ج. أيُّهما الأفضل في عكس الأشعّة تحت الحمراء؟

استقصاء مُعدّلات الإشعاع

يُبيّن الشكل ٩-٨ تجربة لمقارنة معدّلات بعث الأسطح السوداء غير اللامعة، والأسطح البيضاء اللامعة، للإشعاع.

تتكوّن التجربة من عُبوة طُلِيَ سطحها من الخارج بلون أسود غير لامع، وعُبوة أخرى طُلِيَ سطحها من الخارج بلَون أبيض لامع، وكلتاهما مملوءتان بالماء الساخن، فتنتقل الحرارة بالتوصيل عبر الجدار الداخلي لكلّ من العبوتَين إلى الأسطح المطلِية، ثم تبردان بواسطة الإشعاع. ولأن السطح الأسود غير اللامع باعث جيد للإشعاع فإن العبوة السوداء غير اللامعة تبرد بسرعة أكبر من العبوة البيضاء اللامعة.



الشكل ٩-٨ أيِّ سطح يشعّ أفضل: الأسود غير اللامع أم الأبيض اللامع؟

سؤال

٩-١٤ انظر إلى الشكل ٩-٨. استخدم ما تعرفه عن نقل الطاقة الحرارية كي تشرح لماذا يجب أن تكون كل من العُبوتَين مغطّاة بغطائها، ولماذا يجب أن تكون موضوعة على سطح خشبي أو بلاستيكي؟

نشاط ٩-٤

تجارب الإشعاع

المهارات:

- يُقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتَّخذة لضمان السلامة.
- يصف الخطوات التجريبيّة والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يرسم الأشكال التخطيطية للجهاز ويُسمّي أجزاءه.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.

⚠ • **كن حذرًا عند استخدام الماء الساخن.**

• **احرص على حماية عينيك بوضع النظارة الواقية عند استخدام موقد بنزن.**

نفّذ بعض التجارب (أو شاهد العروض) التي تبيّن كيف تشعّ الأجسام الساخنة.

مقارنة الباعثات

في الشكل ٩-٨، عُبوة طُلِيَ سطحها من الخارج بلون أسود غير لامع، وعُبوة أخرى طُلِيَ سطحها من الخارج بلون أبيض لامع.

١ جهّز التجربة كما هو مبيّن في الشكل.

٢ املأ العُبوتَين بماء ساخن.

٣ استخدم موازين حرارة أو مجسّات الحرارة الإلكترونية لقياس درجات الحرارة.

٤ ما المُتغيّرات التي يجب ضبطها للتأكد من أن التجربة تمثّل اختبارًا عادلاً؟

مقارنة الماصّات

يمكنك بتعديل التجربة المبيّنة أعلاه، اكتشاف السطح الأفضل في امتصاص الأشعة تحت الحمراء.

١ املأ العُبوتَين بالماء البارد.

٢ ضع موقد بنزن بين العُبوتَين وأشعله.

٣ استخدم موازين الحرارة أو مجسّات الحرارة الإلكترونية لقياس درجتَي حرارة العُبوتَين.

٤ أي العُبوتَين كانت الأسرع في امتصاص طاقة من لهب الموقد؟

٥ اكتب هذا النشاط بالتفصيل وأضف إليه مخطّطًا معنوَنًا لتوضّح كيف تم استخدام الأدوات.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- الموصِّلات الحرارية والعوازل.
- انتقال الطاقة بالتوصيل خلال مادة صلبة.
- الحمل الحراري وتيارات الحمل الحراري في الموائع.
- نشوء تيارات الحمل الحراري بسبب اختلاف الكثافة.
- الأشعة تحت الحمراء هي موجات كهرومغناطيسية معنيّة بنقل الطاقة الحرارية.
- تأثير لون السطح (أسود أو أبيض) وملمسه (لامع أو غير لامع) على انبعاث الإشعاع وامتصاصه وانعكاسه.
- كيفية وصف تجارب التوصيل والحمل الحراري والإشعاع وتفسيرها.

أسئلة نهاية الوحدة

١ ارسم جدولاً بعمودَين. سمِّ عمودًا منهما «موصِّلات حرارية جيدة» والعمود الآخر «موصِّلات حرارية رديئة». دوِّن كل مادة من هذه المواد في العمود الصحيح بالجدول.

خشب	نحاس	قطن	هواء
فولاذ	صوف	بولسترين	ألومنيوم

٢ لدى هشام الأدوات الآتية:

- موقد بنزن
- حامل فلزّي مع مشبك
- قضبان صُنِع كل منها من فلزّ مختلف
- شمع
- مشابك ورق

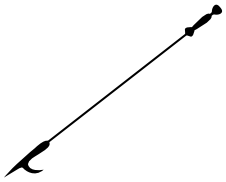
يمكن استخدام تلك الأدوات لمقارنة مدى جودة كل فلزّ في توصيل الطاقة الحرارية.

أ. صف طريقة إجراء التجربة.

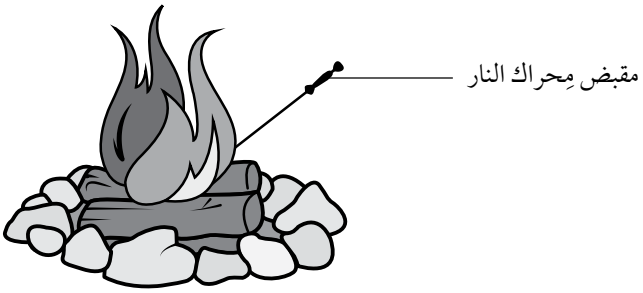
ب. اذكر ثلاثة عوامل يجب الإبقاء عليها كما هي لكي تعطي التجربة مقارنة عادلة.

ج. اذكر واحدًا من احتياطات السلامة اللازمة لتنفيذ هذه التجربة.

٣ مِحراك النار أداة مصنوعة بالكامل من الحديد تُستخدَم لتحريك قطع الخشب أو الفحم داخل النار. يبلغ طول المِحراك المُبيّن في الرسم التخطيطي (60 cm).



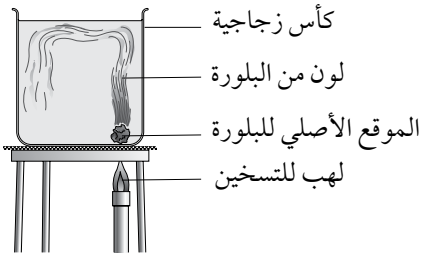
وُضِع طرف المحراك في النار وبعد 10 دقائق، كانت درجة حرارة مقبض مِحراك النار أعلى بـ (90 °C) من درجة حرارة الهواء المحيط به.



أصبح المقبض ساخنًا جدًّا. اشرح التوصيل الحراري في ضوء استخدام الجُسيمات الداخلة في عملية التسخين.

٤ اكتب حالة مادّة واحدة لا تنتقل الطاقة عبرها بواسطة الحمل الحراري. اشرح إجابتك.

٥ وُضعت بلّورة ملوَّنة صغيرة في ماء بارد عند أحد جوانب كأس زجاجية، علمًا أن مادّتها تذوب في الماء البارد ببطء.



سُخِّن ماء الكأس عند الجانب الذي وُضِعت عنده البلّورة.
يبيّن الرسم التخطيطي ما يمكن رؤيته بعد دقائق من بدء التسخين.
اشرح هذه المشاهدة.

٦ أكمِل هذه الجُمل باستخدام مفردات من القائمة الآتية.

يتمدّد	ينكمش	أكثر كثافة	أقلّ كثافة

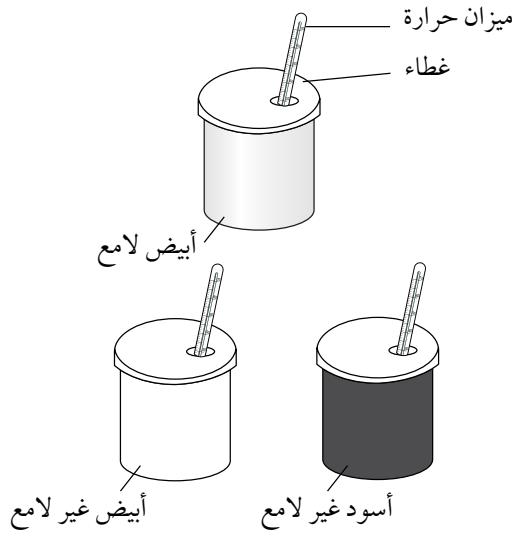
عندما يسخن الهواء فإنه ..... .

وهذا يجعل الهواء الدافئ يرتفع لأنه ..... من الهواء البارد المحيط به.

٧ **أ.** حدِّد اسم منطقة الطيف الكهرومغناطيسي الذي ينقل الطاقة الحرارية.

ب. لماذا يمكن نقل الطاقة الحرارية من الشمس إلى الأرض بواسطة الإشعاع وليس بواسطة التوصيل أو الحمل الحراري؟

٨ يضع عمرو ماء ساخنًا في ثلاث عُلب فلزّيّة طُلِي السطح الخارجي لكلّ منها بلون مختلف.



يسجِّل عمرو درجة حرارة الماء لكل عُلبة في كل دقيقة.

أ. اذكر ثلاثة مُتغيِّرات يجب أن تبقى ثابتة لجعل هذه المقارنة عادلة.

ب. تنبّأ بالعلبة التي يبرد فيها الماء أسرع، واشرح هذا التنبّؤ.

ج. يُنفّذ عمرو تجربة أخرى باستخدام العُلَب الثلاث نفسها. فيملأها بماء بارد ويضعها تحت أشعة الشمس المباشرة.

تنبّأ بالعلبة التي يسخن فيها الماء أسرع، واشرح هذا التنبّؤ.

الوحدة العاشرة

التطبيقات والآثار المترتّبة على نقل الطاقة الحرارية

Consequences of Thermal Energy Transfer

تُغطّي هذه الوحدة:

- التطبيقات المترتّبة على نقل الطاقة الحرارية وآثارها.

١٠-١ بعض التطبيقات والآثار المترتّبة على نقل الطاقة الحرارية

سوف نرى في هذا الموضوع كيف نستخدم الأفكار المتعلّقة بنقل الطاقة الحرارية لفهم الكثير من التطبيقات. وبناء على ذلك تذكّر ما يلي:

- تنتقل الطاقة الحرارية من الأماكن الساخنة إلى الأماكن الباردة، أي إن الفرق في درجة الحرارة هو الذي يجعل الطاقة الحرارية تتدفّق.
- يُعدّ التوصيل الطريقة الوحيدة التي تنتقل بها الطاقة الحرارية عبر مادة صلبة، من دون أن تتحرّك تلك المادّة.
- يُعدّ الحمل الحراري هو الطريقة الرئيسية التي تنتقل بها الطاقة الحرارية في الموائع. حيث يتحرّك المائع الدافئ إلى الأعلى حاملًا معه الطاقة.
- يكون الإشعاع الطريقة الوحيدة التي تنتقل بها الطاقة الحرارية عبر الفضاء الفارغ، ولكن يمكن أن تمرّ الأشعة تحت الحمراء عبر مواد شفّافة كالهواء.

تُخزّن الأجسام الساخنة الطاقة الحرارية التي تميل كما ذكرنا إلى التدفُّق من الجسم الساخن، والانتشار إلى محيطه البارد من خلال التوصيل أو الحمل الحراري أو الإشعاع. لكنّ الطاقة الحرارية هذه تصبح عبئًا علينا. فقد نستهلك الكثير من الطاقة الحرارية (وبالتالي الكثير من المال) لتبريد منازلنا أثناء الطقس الحار. وفي المقابل تتسرّب الطاقة الحرارية ببساطة. فنحن نأكل الطعام

للتزوُّد بالطاقة التي تحتاج إليها أجسامنا لتبقى دافئة، ولكنها تتسرّب من أجسامنا بمعدّل 100 وات تقريبًا (100 W = 100 J/s).

للحفاظ على الطاقة المخزَّنة في جسم أكثر سخونة من محيطه أو أكثر برودة، نلجأ إلى عزله حراريًّا عن محيطه. ومن هذا المنطلق تساعدنا معرفة التوصيل والحمل الحراري والإشعاع على تصميم عازل فعّال للمنازل.

تذكّر

أن الطرق الثلاث لنقل الطاقة الحرارية (التوصيل والحمل الحراري والإشعاع) قد تحدث جميعها معًا عندما يسخن جسم ما أو يبرد.

عزل المنزل

يُعرّف العزل الحراري للمنزل بأنه خفض انتقال الطاقة الحرارية عبر الجدران والأسقُف والنوافذ، من داخل المنزل إلى خارجه كما في فصل الشتاء، أو من خارجه إلى داخله كما في فصل الصيف.

تتفاوت درجات الحرارة في مُناخ سلطنة عمان بشكل كبير بين 50 °C صيفًا في بعض المناطق الصحراوية و 5 °C أو أقلّ شتاءً في قمم الجبال؛ وهذا بدوره يؤثّر في درجة حرارة المنازل، فيصبح لا بُدّ من الاستعانة بأجهزة التكييف للحصول على درجة الحرارة المناسبة للحياة المريحة داخل المنازل. ومن هذا المنطلق يؤدّي عدم عزل المنازل جيدًا إلى ارتفاع في معدّل تشغيل تلك الأجهزة وزيادة الأعباء المادية على المُستهلِك. ومن مزايا استخدام العزل الحراري في المنازل:

- خفض استهلاك الطاقة الكهربائية حتى النصف تقريبًا من خلال تقليص ساعات تشغيل أجهزة التكييف واستخدام أجهزة تكييف ذات طاقة كهربائية منخفضة.
- خفض تكاليف صيانة أجهزة التكييف بسبب احتفاظ المنزل بدرجة حرارة مناسبة لمدَّة طويلة دون الحاجة إلى تشغيل أجهزة التكييف.

تبيّن الصورة ١٠-١ بعض الطرق التي يمكن بها عزل جدران المنازل وسطوحها.

الصورة ١٠-١ منزل عُماني حديث

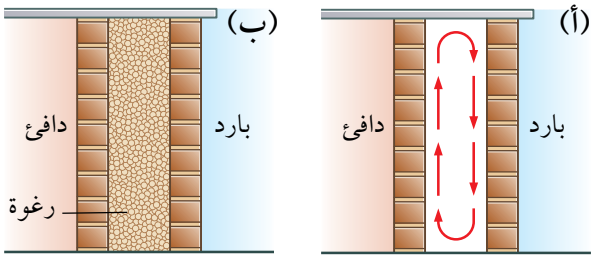
ويتضمَّن الجدول ١٠-١ المزيد عن تلك الطرق.

الطريقة	طريقة عملها
الستائر السميكة	تُقلّل دخول الأشعّة وخروجها.
إطارات النوافذ المانعة لتسرّب الهواء	تمنع تسرُّب الحرارة من المنزل وإليه
النوافذ ذات الزجاج المُزدوِج الطبقات	يمنع الفراغ بين ألواح الزجاج فقدان الطاقة الحرارية بواسطة التوصيل والحمل الحراري
جُدران الطوب المجوَّفة ومملوءة بالرغوة (فوم)	تقلِّل من فقدان الطاقة الحرارية بواسطة التوصيل
طلاء المنزل باللون الأبيض أو لون فاتح	يعكس الإشعاع الحراري القادم من الشمس
وضع طبقة سميكة من مادة عازلة للحرارة على السطوح	يُقلّل تدفّق الحرارة بالتوصيل عبر سطح المنزل إلى الداخل أو الخارج
الأشجار والنباتات الصغيرة	تلطِّف درجة حرارة البيئة المحيطة بالمنزل، وتقلّل أثر أشعّة الشمس المباشرة على جدران المنزل

الجدول ١٠-١ طرق الاحتفاظ بالطاقة الحرارية في منزل ما

يتخلّل لَوحَي الزجاج في النوافذ المزدوجة الزجاج فراغ، ما يعني أن الطاقة لا يمكن أن تتدفَّق عبر النوافذ إلا بواسطة الإشعاع؛ لأن كلًّا من التوصيل والحمل الحراري يتطلّب مادة لنقل الطاقة.

يمكن بناء المنازل الحديثة من جُدران مُجوّفة، أي إن كل جدار يتكوّن من طبقتين بينهما تجويف يملأه الهواء، وتنتقل الطاقة الحرارية عبر الهواء في التجويف نتيجة تكوُّن تيّارات الحمل الحراري ما بين طبقتَي الجدار كما في الشكل ١٠-١ (أ). أما عند ملء التجويف بالرغوة (الفوم)، فإن كمّية صغيرة من الطاقة ستُفقد بالتوصيل؛ وذلك لأن مادة الرغوة موصِّل رديء جدًّا، وتوقِف أيضًا تيّارات الحمل الحرارية من التدفُّق من خلالها كما في الشكل ١٠-١ (ب).



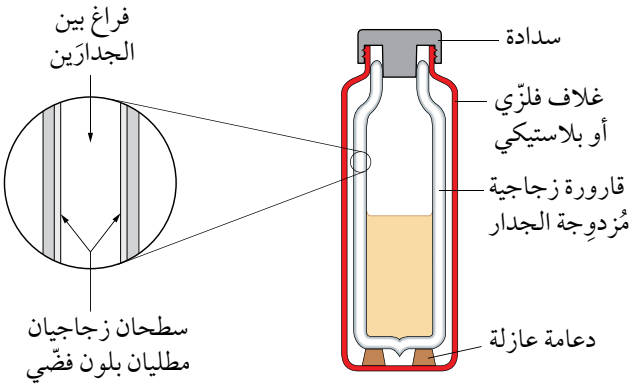
الشكل ١٠-١ (أ) يُقلِّل الجدار المُجوّف فقدان الطاقة الحرارية بواسطة التوصيل. (ب) يساهم ملء التجويف بالرغوة (الفوم) أو الصوف الزجاجي أو الصخري في منع تكوّن تيارات الحمل الحرارية

كذلك تُزوَّد السقوف بطبقة عازلة للحرارة منعًا لتدفُّق الحرارة من خلال سطح المنزل إلى داخله أو خارجه. ويمكن استخدام الألواح الشمسية التي تعمل على حجب أشعة الشمس المباشرة عن بعض أجزاء السطح؛ ممّا يقلّل من كمّية الحرارة الواصلة إلى سطح المنزل بالإشعاع.

الحفاظ على البرودة

يُستخدَم الترموس (thermos) لحفظ حرارة المشروبات الساخنة، وكذلك برودة المشروبات الباردة. ويُستخدم الترموس العملاق لتخزين النيتروجين السائل والهيليوم السائل عند درجات حرارة منخفضة جدًّا. والهدف من ذلك أن يكون هذان الغازان السائلان جاهزَين لاستخدامات طبّية في المستشفيات.

يُبيّن الشكل ١٠-٢ تركيب الترموس الذي يُستخدَم الزجاج في صنعه، لأن الزجاج عازل جيد للحرارة. ومع ذلك فإن بعض الترموسات تُصنَع من الفولاذ بهدف إضافة متانة وقوّة إليها. وتكون الفجوة بين طبقتَي الجدار المزدوج داخل الترموس مفرّغة من الهواء، لتقليل فقدان الطاقة الحرارية من خلال التوصيل والحمل الحراري. وتعمل الطبقة الفضّية التي تُغطى بها طبقتا الزجاج على تقليل فقدان الطاقة الحرارية بواسطة الإشعاع؛ وذلك بعكس الأشعّة تحت حمراء ومنعها من الدخول إلى داخل الترموس أو الخروج منه. أما السدادة فهي تمنع فقدان الطاقة الحرارية بواسطة الحمل الحراري والتبخّر.

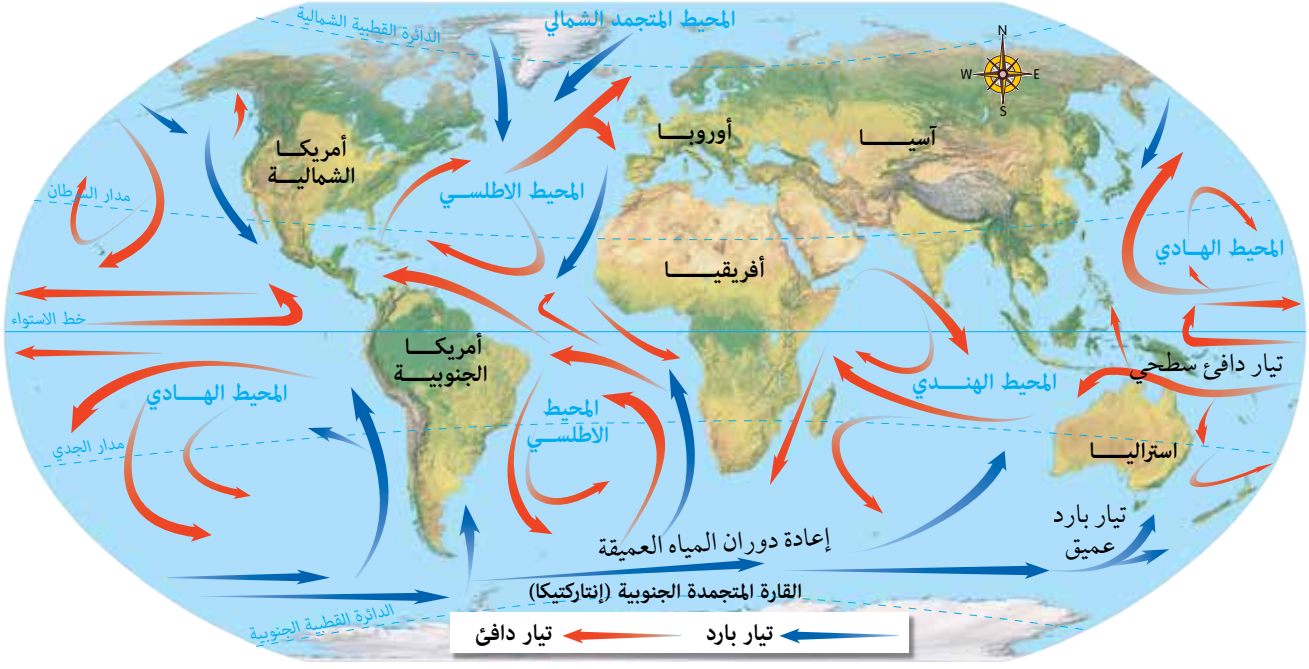


الشكل ١٠-٢ صُمِّم الترموس لتقليل النقل الحراري عن طريق خفض مُعدَّل التوصيل والحمل الحراري والإشعاع

الحمل الحراري والمُناخ والطقس

تفسِّر تيارات الحمل الحرارية منشأ الرياح وتيّارات المُحيط، وهما من العوامل الرئيسية التي تتحكّم في أنماط المُناخ العالمية. فعلى سبيل المثال يرتفع الهواء الدافئ فوق خط الاستواء في حين يهبط الهواء البارد في المنطقة شبه المدارية. وينشأ من ذلك نمط الرياح التجارية المعروفة في المناطق المدارية.

تساعد تيّارات المُحيط (الشكل ١٠-٣) على نشر الدفء من المناطق الاستوائية إلى الأجزاء الأكثر برودة من سطح الأرض، حيث يتدفّق الماء الدافئ على سطح البحر باتِّجاه القُطبين، وتغوص المياه الباردة في المناطق القطبية وتتدفّق مرة أخرى نحو خطّ الاستواء. ويساعد الحفاظ على ثبات هذا النمط في جعل المناطق المُعتدلة من العالم صالحة للسكن. وبالرغم من ذلك هناك أدلّة على أن نمط تيّارات المُحيط هذا يتغيّر، وربّما كان سبب ذلك التغيير هو الاحتباس الحراري.



الشكل ١٠-٣ تساعد تيّارات المُحيطات على نقل الطاقة الحرارية من المناطق المدارية إلى المناطق الأكثر برودة، حيث تهبط المياه الباردة في المناطق القطبية وتتدفّق نحو خط الاستواء، وتتدفّق المياه الأكثر دفئًا قرب سطح المحيط

أسئلة

١-١٠ دوِّن أكبر عدد من الطرق التي يمكن أن تساهم في عزل منزل خلال المُناخ البارد أو الحار. حدِّد آلية كل طريقة في تقليص فقدان أو كسب الطاقة الحرارية: إما بالتوصيل أو بالحمل الحراري أو بالإشعاع.

٢-١٠ لماذا يفضّل ارتداء قبّعة صوفية في اليوم البارد جدًّا، وارتداء الدشداشة العُمانية البيضاء في اليوم الحار؟

ملخّص

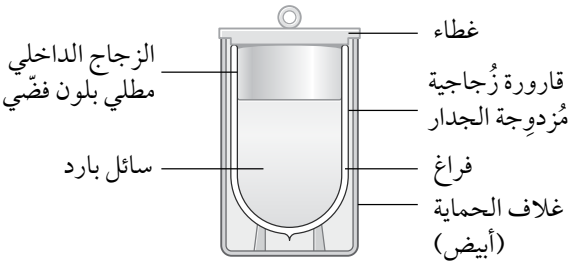
ما يجب أن تعرفه:

- تأثيرات نقل الطاقة الحرارية وتطبيقاتها.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه تركيب ترموس.

يمكن استخدام الترموس للإبقاء على السوائل الباردة عند درجة حرارة أدنى من درجة حرارة المنطقة المحيطة بها.



اشرح كيف صُمِّم الترموس للإبقاء على السائل أبرد من محيطه. استعن في إجابتك بطرق انتقال الطاقة الحرارية.

٢ تبقى المنازل ذات السقوف المُقبّبة في المناطق الصحراوية الساخنة أكثر برودة على مدار 24 ساعة من المنازل ذات السقوف المستوية. وسبب ذلك أن القُبّة لها مساحة سطح أكبر من السقف المستوي.

تتوزّع الطاقة الحرارية من الشمس على مساحة أكبر على سطح السقف المُقبَّب من سطح السقف المستوي.

أ. اذكر الطريقة التي تصل بها الطاقة الحرارية من الشمس إلى السقف.

ب. اقترح كيف يساعد السقف المُقبَّب المنزل على تبريد أسرع في الليل ممّا يُحدثه السقف المستوي.

مصطلحات علمية

الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic radiation: طاقة تنتقل على شكل موجات. (ص ١٠٦)

الأشعة تحت الحمراء Infrared radiation: هي الأشعة الكهرومغناطيسية التي يكون طولها الموجي أكبر من طول موجة الضوء المرئي؛ وتُعرف أحيانًا بالإشعاع الحراري. (ص ١٠٦)

التسارع Acceleration: معدّل التغيّر في السرعة المتَّجهة لجسم ما. (ص ٣٨)

التبخُّر Evaporation: تحوُّل المادَّة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازيّة عند درجة حرارة أقلّ من درجة غليانها. (ص ٦١)

التمدُّد الحراري Thermal expansion: زيادة حجم المادة عندما ترتفع درجة حرارتها. (ص ٧٠)

التوصيل Conduction: نقل الطاقة الحرارية أو الطاقة الكهربائية من خلال مادّة من دون أن تتحرَّك المادّة نفسها. (ص ٩٩)

الحركة البراونية Brownian motion: حركة الحُبَيبات الصغيرة المعلّقة في مادَّة سائلة أو غازيّة، بسبب التصادم الجُسيمي. (ص ٦٢)

الحمل الحراري Convection: نقل الطاقة الحرارية عن طريق حركة مادة المائع نفسها. (ص ١٠٣)

درجة الانصهار Meltling point: درجة الحرارة التي تتحوَّل عندها المادَّة الصلبة إلى مادّة سائلة. (ص ٥٧)

درجة الحرارة Temperature: قياس لمدى سخونة جسم ما أو برودته. (ص ٧٨)

درجة الغليان Boiling point: درجة الحرارة التي تتحوَّل عندها المادَّة السائلة إلى مادّة غازية (عند ضغط ثابت). (ص ٥٧)

الزمن الدوري Period: زمن التأرجُح الواحد الكامل لبندول. (ص ٢١)

السرعة Speed: هي المسافة التي يقطعها جسم ما في وحدة الزمن. (ص ٢٦)

الطاقة Energy: هي المقدرة على بذل شغل. (ص ٨٥)

الطاقة الحرارية Thermal energy: هي الطاقة المُخزّنة بواسطة جُسيمات الجسم المُتحرّكة وهي الطاقة المُنتقلة من مكان ساخن إلى مكان بارد بسبب الفرق في درجة الحرارة بينهما. (ص ٨٧)

طاقة الحركة Kinetic energy (K.E.): الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة حركته. (ص ٨٦)

الطاقة الصوتية Sound energy: هي الطاقة المُنتقلة على شكل موجات يمكن استشعارها بواسطة الأذن البشرية. (ص ٨٧)

الطاقة الضوئية Light energy: هي الطاقة المُنبعثة على شكل إشعاع مرئي. (ص ٨٧)

الطاقة الكهربائية Electrical energy: هي الطاقة المُنتقلة بواسطة تيار كهربائي. (ص ٨٧)

الطاقة النووية Nuclear energy: هي الطاقة المخزّنة في نواة ذرّة والتي يمكن إطلاقها عندما تنشطر النواة. (ص ٨٧)

طاقة وضع الجاذبية Gravitational potential energy (G.P.E.): طاقة جسم يكتسبها عندما يُرفع باتّجاه معاكس لقوّة الجاذبية. (ص ٨٦)

طاقة الوضع الكيميائية Chemical potential energy: هي الطاقة المخزّنة في الموادّ الكيميائية والتي يمكن إطلاقها في تفاعل كيميائي. (ص ٨٧)

طاقة الوضع المرونية Elastic potential energy: هي الطاقة المخزَّنة في الجسم بسبب استطالته أو انضغاطه. (ص ٨٧)

العازل Insulator: مادّة تنقل الطاقة الحرارية بشكل رديء جدًا. (ص ١٠٠)

القدرة Power: هي مُعدَّل نقل الطاقة. (ص ٩٥)

الكتلة Mass: كمية المادة في جسم ما. (ص ٤٤)

الكثافة Density: نسبة كتلة المادة إلى حجمها. (ص ٤٩)

المُزدوج الحراري Thermocouple: أداة كهربائية مصنوعة من فلزّين مختلفين تُستخدَم لقياس درجة الحرارة. (ص ٨٢)

الموصِّل Conductor: مادّة تنقل الطاقة الحرارية. (ص ١٠٠)

نموذج الحركة الجُزيئيّة البسيطة للمادَّة

Kinetic molecular model of matter: نموذج يقول بأن كل مادّة مكوَّنة من عدد كبير من جُسيمات صغيرة (ذرّات أو جُزيئات) جميعها في حركة عشوائية. (ص ٥٩)

الوات watt (W): وحدة القدرة في نظام SI؛ ويُعادل القدرة عندما يتم نقل طاقة 1 J في 1 s. (ص ٩٥)

الوزن Weight: قوة الجاذبية الأرضية المؤثّرة على جسم ما. (ص ٤٣)

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}

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.

KARIM JAAFAR/AFP via GI; Digital Light Source/Universal Images Group via GI; Tetra Images/GI; Peter Dazeley/GI; Jon Feingersh/GI; Hemis/Alamy Stock Photo; Justin Setterfield/GI; Gavin Quirke/Lonely Planet Images/GI; ACE STOCK LIMITED/ Alamy Stock Photo; ERICH SCHREMPP/SPL; malerapaso/GI; Charity Burggraaf/GI; W. Geiersperger/GI; Jaz Singh/EyeEm/GI; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/ SPL (x2); Oman Ministry of Education; Selektor/GI; Vladyslav Danilin/GI; IconBunny/ Shutterstock; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SPL (x2); Bogdan Sonjachnyj/ Shutterstock; brizmaker/Shutterstock; paul liebhardt/Corbis via GI; SmileAon/ Shutterstock; Sashkin/Shutterstock; Yeti studio/Shutterstock; V.S.Anandhakrishna/ Shutterstock; Atstock Productions/Shutterstock; Visions of America, LLC/Alamy Stock Photo; Rabbitmindphoto/Shutterstock; Shultay Baltaay/Shutterstock; Iasha/ Shutterstock; little birdie/Shutterstock; Lisses/Shutterstock; maggee/Shutterstock; charles taylor/Shuttertsock; Top Photo Engineer/Shuttertsock; Castleski (and NASA)/ Shuttrstock; Oman Ministry of Education (x2); ShaniMiller/GI; sciencephotos/Alamy Stock Photo; Oman Ministry of Education; Monty Rakusen/GI; Philip Lange/Shutterstock.

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

رقم الإيداع : ٢٨١٣/ ٢٠٢٠م

مزون للطباعة والنشر والتغليف (ش.م.م) - ٢٤٨١٥٦٩٣

الفيزياء

كتاب الطالب ٩

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

يتضمن كتاب الطالب:

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

إجابات الأسئلة مُتضمَّنة في دليل المعلّم.

يشمل منهج الفيزياء للصف التاسع من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب النشاط
- دليل المُعلِّم

ISBN 978-99969-3-509-1
9 789996 935091 >

www.moe.gov.om