سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

رؤية عُمان 2040 OmanVision

نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence

الفيزياء

كتاب الطالب

١٠

الفصل الدراسي الأول

الطبعة التجريبية ١٤٤٣هـ - ٢٠٢١م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

كتاب الطالب

١٠

الفصل الدراسي الأول

الطبعة التجريبية ١٤٤٣هـ - ٢٠٢١م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

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

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

© مطبعة جامعة كامبريدج ووزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

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

الطبعة التجريبية ٢٠٢١ م، طُبعت في سلطنة عُمان

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

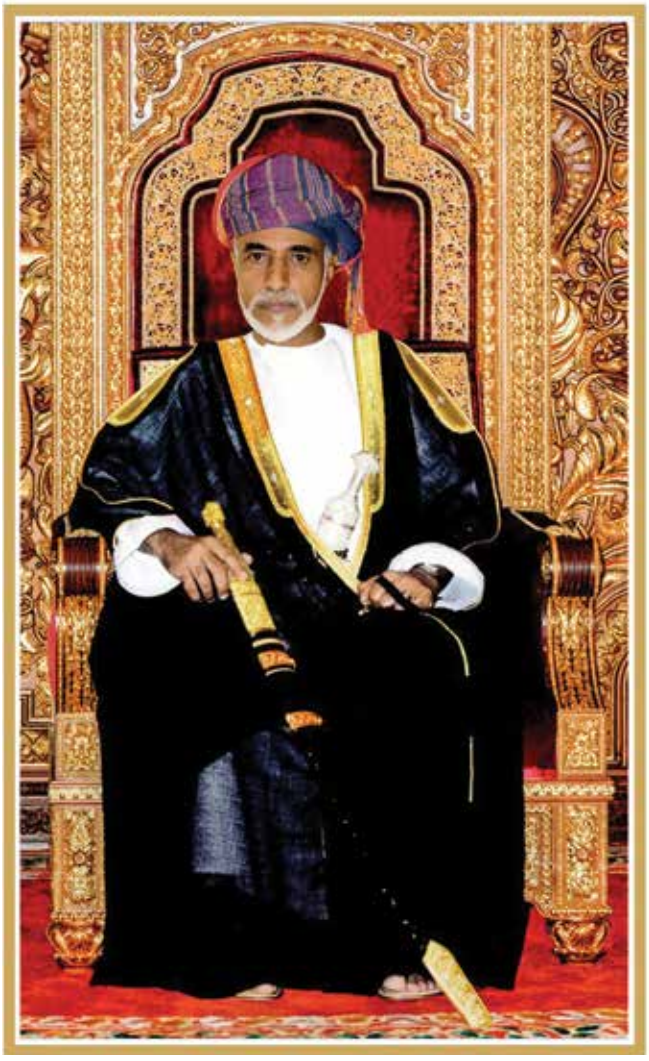
تمت مواءمة هذا الكتاب بناءً على العقد الموقع بين وزارة التربية والتعليم ومطبعة
جامعة كامبريدج رقم ٢٠٢٠/٤٠.
لا تتحمل مطبعة جامعة كامبريدج المسؤولية تجاه توفُّر أو دقة المواقع الإلكترونية
المستخدمة في هذا الكتاب، ولا تؤكد أن المحتوى الوارد على تلك المواقع دقيق
وملائم، أو أنه سيبقى كذلك.

تمت مواءمة الكتاب

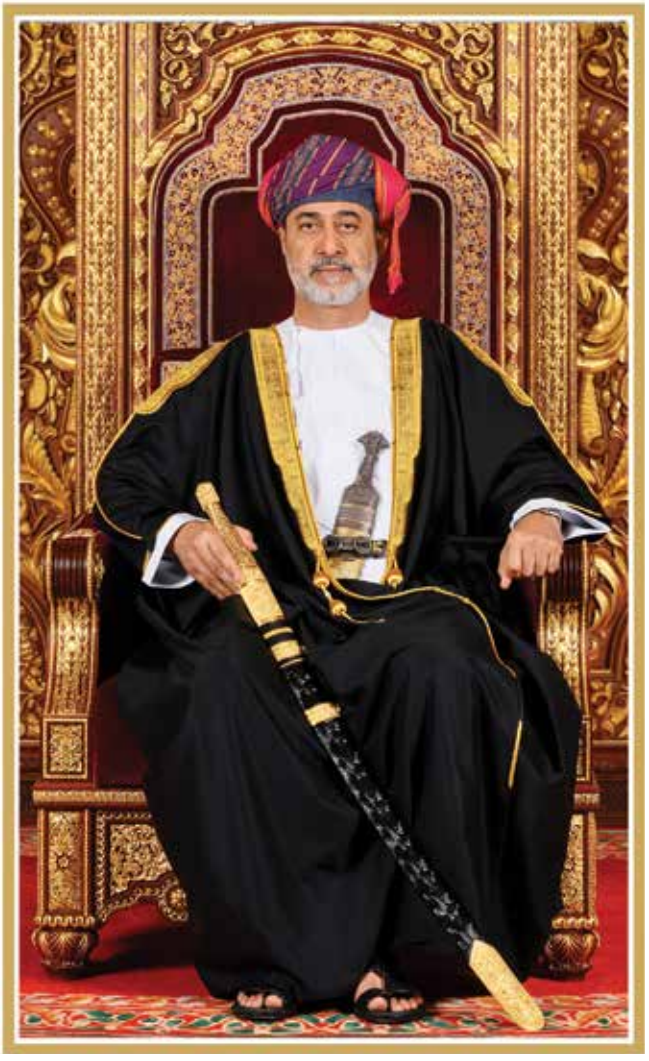
بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢١/٩٠ واللجان المنبثقة عنه

جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم

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

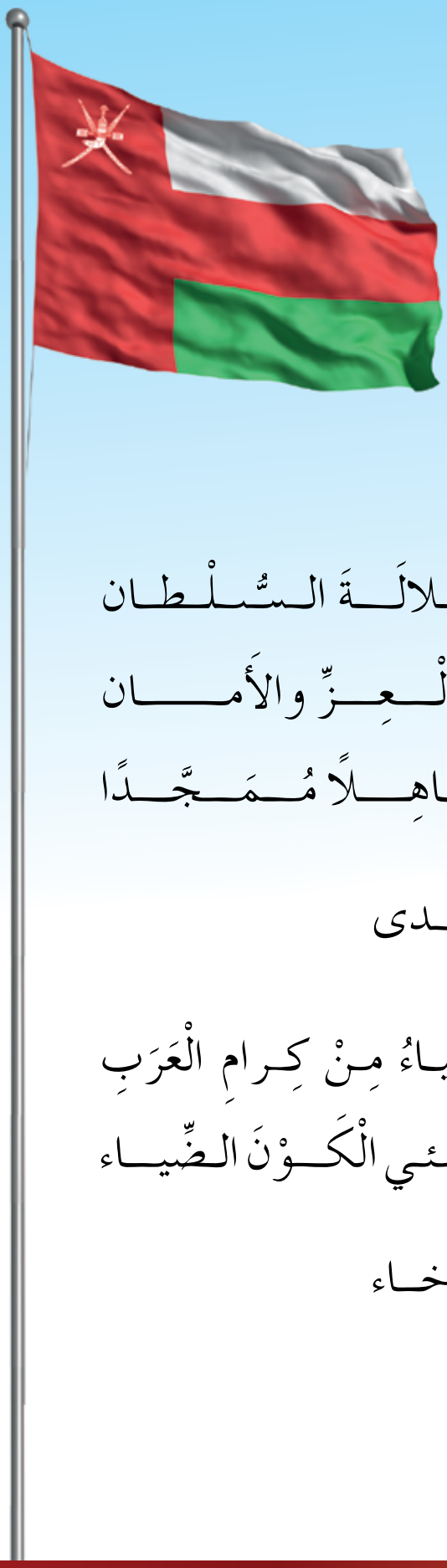


المغفور لـه
السلطان قابوس بن سعيد
–طيّب اللّه ثراه–



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

سلطنـــــة عُمـــــان



النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

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

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

تقديم

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

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

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

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

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

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

والله ولي التوفيق

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم

المحتويات

المقدمة xi

كيف تستخدم هذا الكتاب xii

الوحدة الأولى: الشحنة الكهربائيّة

١-١ الكهرباء الساكنة ١٥

١-٢ الاحتكاك والشحن الكهربائي ١٨

١-٣ المجالات الكهربائية والشحنة الكهربائية ١٩

١-٤ الموصِّلات الكهربائية والعوازل ٢٠

الوحدة الثانية: مخطّطات الدوائر الكهربائيّة

٢-١ مكوّنات الدائرة الكهربائية ٢٣

٢-٢ توصيل المقاومات ٢٩

الوحدة الثالثة: مخاطر الكهرباء

٣-١ المخاطر الكهربائية ٣٨

٣-٢ المنصهرات ٣٩

الوحدة الرابعة: تأثيرات القوى

٤-١ القوى المؤثّرة على قطار الملاهي ٤٣

٤-٢ القوى المؤثّرة على المركبة الفضائية ٤٤

٤-٣ القوّة والكتلة والتسارع ٤٩

٤-٤ استطالة الزنبرك ٥١

٤-٥ قانون هوك ٥٤

الوحدة الخامسة: عزم القوّة ومركز الكتلة

٥-١ عزم القوّة ٥٨

٥-٢ حساب عزم القوّة ٦١

٥-٣ الاستقرار ومركز الكتلة ٦٤

الوحدة السادسة: الشغل والقدرة

٦-١ الشغل المبذول ٧١

٦-٢ حساب الشغل المبذول ٧٣

٦-٣ القدرة ٧٦

الوحدة السابعة: الضغط

٧-١ الضغط على سطح ٧٩

٧-٢ حساب الضغط ٨٠

الوحدة الثامنة: فيزياء النواة

٨-١ بنية النواة ٨٣

الوحدة التاسعة: النشاط الإشعاعي

٩-١ النشاط الإشعاعي في كلّ مكان ٨٨

٩-٢ فهم النشاط الإشعاعي ٩٣

٩-٣ استخدام النظائر المشعّة ٩٧

الوحدة العاشرة: الاضمحلال الإشعاعيّ وعمر النصف

١٠-١ تناقُص النشاط الإشعاعي مع مرور الزمن ١٠٢

١٠-٢ معادلات الاضمحلال الإشعاعي ١٠٣

١٠-٣ عُمر النصف للمادّة المشعّة ١٠٣

الوحدة الحادية عشرة: احتياطات السلامة

١١-١ التعامُل الآمن ١٠٩

مصطلحات علمية ١١٣

ملحق ١١٥

المقدمة

سوف تتعلَّم من خلال هذا المُقرَّر الكثير من الحقائق والمعلومات، كما ستكتسب مهارة التفكير مثل العُلماء. وقد تمَّت مواءمة كتاب الطالب – الفيزياء للصف العاشر – 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

الشحنة الكهربائيّة Electric Charge

تُغطّي هذه الوحدة:

- القوى بين الشحنات الكهربائية.
- تفسير الكهرباء الساكنة.
- شحن الأجسام بواسطة الدلك (الاحتكاك).
- المجال الكهربائي الناتج عن الشحنة الكهربائية.
- الفرق بين الموصِّلات الكهربائية والعوازل.

مصطلحات علمية

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

مصطلحات علمية

عُمر النصف Half-life: متوسّط الزمن الذي يستغرقه اضمحلال نصف النوى في عيّنة من مادة مشعّة.

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

تذكّر

أن الكتلة يجب أن تكون بوحدة (kg) وليس بوحدة (g) إذا كانت وحدة قياس القوَّة المؤثِّرة هي (N).

مثال

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

مثال ٤-٢

عندما تضرب كرة مضرب متَّجهة إليك، فأنت تؤثّر بقوّة كبيرة لعكس اتّجاه حركتها، مُكسِبًا إيّاها تسارعًا كبيرًا. ما القوَّة اللازمة لإكساب كرة مضرب كتلتها (0.10 kg) تسارعًا مقداره ($500\ m/s^2$)؟

الخطوة ١: لدينا:

الكتلة: $m = 0.10\ kg$

التسارع: $a = 500\ m/s^2$

القوّة: $F = ?$

الخطوة ٢: عوّض القيَم في المعادلة لإيجاد القوَّة:

القوَّة = الكتلة × التسارع

$F = m\,a$

$F = 0.10 \times 500$

$F = 50\ N$

نشاط

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

نشاط ٤-١

استقصاء الاحتكاك

المهارات:

- يبرّر اختيار الأجهزة والموادّ والأدوات لاستخدامها في إجراء التجارب.
- يصف الخطوات التجريبية والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يكوّن التنبّؤات والفرضيات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة).
- يحدِّد المتغيرات ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكُّم ببعض المتغيّرات.
- يرسم الأشكال التخطيطية للجهاز ويُسمّي أجزاءه.
- يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.
- يحدِّد الأسباب المحتملة لعدم دقة البيانات أو الاستنتاجات ويقترح التحسينات المناسبة للخطوات التجريبية والتقانة المستخدمة.

تعتمد قوَّة الاحتكاك بين سطحَين على متغيّرات تتضمَّن طبيعة المواد المتلامسة. فعندما تُسحَب كتلة إلى أعلى منحدَر، ينشأ احتكاك بين الكتلة والمنحدَر.

١ خطّط استقصاءً لتحدِّد كيف تعتمد قوَّة الاحتكاك على ارتفاع المنحدَر. اكتب خطّتك بتفاصيل كافية بحيث يتمكّن شخص آخر من إجراء الاستقصاء بالخطوات نفسها تمامًا. أضف إلى خطّتك أي أداة ستستخدم، مثل الميزان الزنبركي. أضف أيضًا توقُّعاتك وتبرير ذلك مستخدمًا فهمك للقوى.

٢ أجرِ الاستقصاء وسجّل نتائجك واعرضها بطريقة مناسبة. استخلص استنتاجًا من هذه النتائج. هل تدعم نتائجك توقُّعك؟

٣ هل واجهتَ صعوبات في الحصول على نتائج دقيقة؟ إذا واجهتها، فهل يمكنك اقتراح تحسينات للتغلّب على تلك الصعوبات؟

أسئلة

ترد في كل وحدة لتقييم معرفة الطلاب واستيعابهم للفيزياء.

أسئلة

١-٢ **أ.** ارسم رمز المقاوَمة في الدائرة الكهربائية.

ب. ارسم رمز المقاوَمة المتغيّرة في الدائرة الكهربائية.

٢-٢ يمرّ تيّار كهربائي شدَّته (2.8 A) في مقاوَمة ما عندما يكون فرق الجهد بين طرفَيها (12.0 V). كم ستبلغ شدَّة التيّار الكهربائي المارّ عبرها عندما ينخفض فرق الجهد إلى (6.0 V)؟

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

محصِّلة القوى هي القوّة التي لها نفس تأثير قوَّتَين أو أكثر على جسم ما.

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

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- معادلات الاضمحلال الإشعاعي.
- عُمر النصف لمادة مشعّة.

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

أسئلة نهاية الوحدة

١ اذكر نوعَي الجُسيمات في نوى الذرّات.

٢ تحتوي ذرّة على (53) بروتونًا و (127) نيوكليونًا.

أ. ما الرموز المُستخدمة للدلالة على:

١. عدد البروتونات (العدد الذرّي)؟

٢. عدد النيوكليونات (العدد الكتلي)؟

ب. احسب عدد كل نوع من الجُسيمات في نواة هذه الذرّة.

٣ لعنصر الكربون عدّة أنواع مختلفة من الذرّات، يمكن تمثيل ثلاثة منها بالرموز الآتية:

$^{14}_{6}C$ $^{13}_{6}C$ $^{12}_{6}C$

أ. اذكر الاسم المُستخدم لوصف تلك الأنواع الثلاثة من ذرّات الكربون.

ب. صِف أوجُه التشابُه وأوجُه الاختلاف بين نوى كل من تلك الذرّات الثلاث للكربون.

٤ **أ.** ما المقصود بالنويدة؟

ب. يمتلك نظير عنصر التكنيشيوم الرمز الكيميائي (Tc)، وتحتوي نواة ذرّته على (43) بروتونًا و (56) نيوترونًا.

اكتب هذه المعلومات باستخدام الرمز $^{A}_{Z}X$.

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

الوحدة الأولى

الشحنة الكهربائيّة Electric Charge

تُغطّي هذه الوحدة:

- القوى بين الشحنات الكهربائية.
- تفسير الكهرباء الساكنة.
- شحن الأجسام بواسطة الدلك (الاحتكاك).
- المجال الكهربائي الناتج عن الشحنة الكهربائية.
- الفرق بين الموصِّلات الكهربائية والعوازل.

١-١ الكهرباء الساكنة

قام بنجامين فرانكلين Benjamin Franklin في عام 1752م بجعل طائرة ورقية تحلِّق في عاصفة رعدية؛ ليستقصي البرق كجزء من دراسته للكهرباء الساكنة، وتُعدّ هذه التجربة من أكثر تجاربه شهرةً وخطورةً.

اعتقد فرانكلين أن البرق شكل من أشكال الكهرباء الساكنة، وأشار إلى أن وميض البرق يتشابه في الشكل واللون مع الشرار الذي يمكن إنتاجه في المختبر.

ولاحظ فرانكلين أن الشرارات الكهربائية تميل إلى القفز من الأطراف المُدبَّبة، واستفاد من هذه الملاحظة في اختراع مانعة الصواعق؛ لذلك نرى اليوم أن معظم المباني الشاهقة قد تُثبّت على أسطحها ساق فلزّية طويلة طرفها العلوي مدبّب، وطرفها السفلي متّصل بسلك فلزّيّ يمتدّ على جانب المبنى إلى داخل الأرض. نحن نعلم الآن أن البرق عبارة عن تيّار كهربائي يتدفَّق سريعًا من سحابة مشحونة إلى جسم آخر.

حقّق فرانكلين تقدُّمًا كبيرًا في تطوير علم الكهرباء؛ إذ أنَّ العديد من المصطلحات التي نستخدمها اليوم كان فرانكلين أوَّل من استخدمها، كالشحنة الموجبة والشحنة السالبة، والبطّارية والموصِّل، فضلًا عن مصطلحات أخرى.

ليست ومضات البرق وحدها تُشعرنا **بالكهرباء الساكنة Static electricity**، فنحن نشعر بها بطرق عدَّة في الحياة اليومية. قد تكون لاحظت انطلاق شرارات صغيرة عند خلع ملابسك المصنوعة من الألياف الصناعية، وربما شعرت بوخزات بسيطة عند نزولك من السيّارة؛ إذ تتراكم **الشحنة الكهربائية الساكنة Electrostatic charge** على السيّارة، ثم تنتقل الشحنات من خلالك عندما تلمس الباب الفلزّي وهذا يسمّى بالتفريغ الكهربائي.

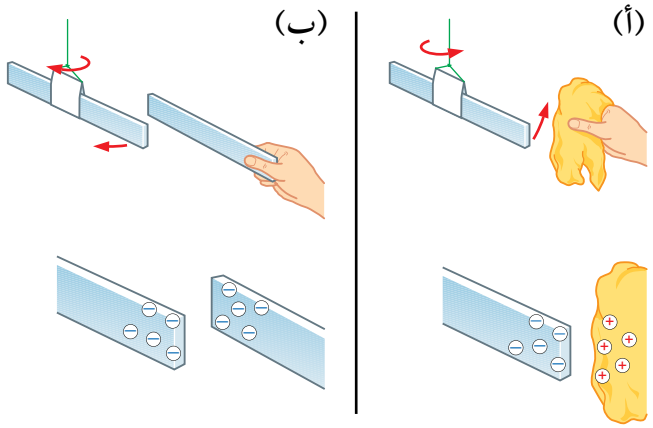
وإذا دلكتَ ساقًا بلاستيكية بقطعة قماش، فمن المرجّح أن تُصبح الساق وقطعة القماش مشحونتَين كهربائيًّا. وللتحقُّق من ذلك يمكنك تقريب الساق وقطعة القماش من شعرك، وسوف ترى أنَّ كلًّا منهما قد جذب جزءًا من شعرك (إذا لم ينجذب شعرك، جرّب قصاصات صغيرة من الورق بدلاً منه). وقد تكون دلكت بالونًا على ملابسك أو شعرك ورأيت كيف يلتصق البالون بالحائط، وبهذا تكون قد لاحظت أن الكهرباء الساكنة تنتج عن طريق الدلك، وأن الجسم المشحون (كالساق) قد يجذب أجسامًا غير مشحونة (كشعرك أو قصاصة الورق).

مصطلحات علمية

الكهرباء الساكنة Static electricity: هي الكهرباء الناتجة عن تراكُم الشحنات الكهربائية على أسطُح الموادّ.

والآن علينا التفكير بطريقة منهجية في كيفية تأثير جسمَين مشحونَين أحدهما على الآخر. يوضّح الشكل ١-١ إحدى الطرق لاستقصاء هذه الظاهرة، إذ تُدلَك ساق بلاستيكية بقطعة قماش فتصبحان كلتاهما مشحونتَين، ثم تعلَّق الساق بحامل عازل بحيث تكون الساق حرّة الحركة.

عندما تقرِّب قطعة القماش من جزء الساق المدلوك، نلاحظ أن الساق تتحرّك باتّجاه قطعة القماش كما يظهر في الشكل ١-١ (أ). لكن إذا دلكتَ ساقًا ثانية بالطريقة نفسها وقرّبت جزءها المدلوك من جزء الساق المعلّقة المدلوك، فسوف تبتعد الساق المعلّقة كما يظهر في الشكل ١-١ (ب)؛ وهكذا نكون قد تعرّفنا على حالتَي **التجاذب والتنافر**، فكلتا الساقَين دُلكتا بالطريقة نفسها، ولذلك نتوقَّع أن يكون لهما النوع نفسه من الشحنة الكهربائية الساكنة، ولكن القماش والساق يمتلكان نوعَين مختلفَين من الشحنة الكهربائية الساكنة.



الشكل ١-١ استقصاء الكهرباء الساكنة. (أ) الساق المشحونة والقماش المشحون يجذب أحدهما الآخر، حيث أن كلًّا من الساق والقماش يمتلك شحنة كهربائية تختلف عن الأخرى. (ب) الساقان المشحونتان تتنافران حيث أنّهما تمتلكان نفس نوع الشحنة الكهربائية

يُشار إلى نوعَي الشحنة الكهربائية الساكنة **بالشحنة الموجبة Positive charge والشحنة السالبة Negative charge**. يمكننا تفسير تلك الاستقصاءات المبيّنة في الشكل ١-١ بالقول إنّ عملية الدلك تُكسب الساقَين نوعًا واحدًا من الشحنة الكهربائية (شحنة سالبة، مثلًا)، بينما يفقد القماش شحنة سالبة (إلكترونات) فيصبح ذا شحنة موجبة.

يمكننا من الاستقصاء السابق أن نستنتج شيئًا عن القوى التي تؤثِّر بها الشحنات الكهربائية بعضها على بعض:

- الشحنات الكهربائية المُتشابهة تتنافر.
- الشحنات الكهربائية المختلفة تتجاذب.

تبدو هذه القاعدة مشابهة للقاعدة التي رأيتها في الأقطاب المغناطيسية التي درستها في الصف الثامن، لكن لا تخلط بين المغناطيسية والكهرباء الساكنة! فالمغناطيسية تنشأ من أقطاب مغناطيسية، بينما تنشأ الكهرباء الساكنة من الشحنات الكهربائية؛ فعندما تدلك ساقًا بلاستيكية، فأنت لا تمغنطها بل تشحنها كهربائيًّا.

نشاط ١-١

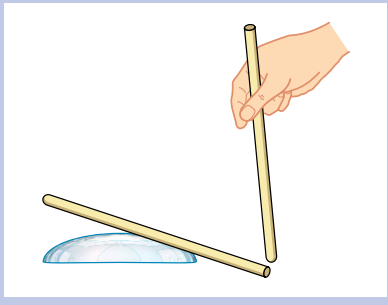
الكهرباء الساكنة

المهارات:

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

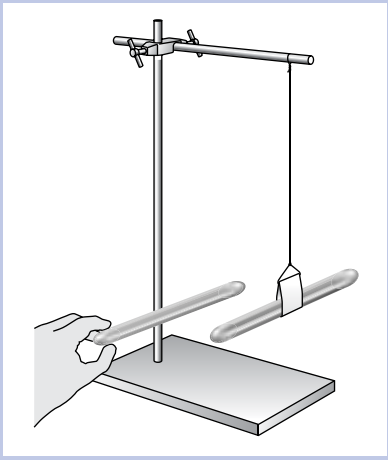
أجرِ بعض التجارب الأساسية لمعرفة المزيد عن الكهرباء الساكنة.

١ اختر قضيبَين من الأبونايت وقضيبَين من الزجاج. تحتاج إلى التأكُّد من أنَّك تستطيع وضع القضيب بحيث يدور بحرّية، إما عن طريق تعليقه من المنتصف باستخدام خيط، أو بوضعه على زجاجة ساعة مقلوبة كما في الشكل. جرّب ذلك بالقضبان التي اخترتها.



٢ ادلك قضيب الأبونايت بقطعة من الصوف. احرص على أن يتمّ الدلك على طول القضيب بكامله وبنفس الاتِّجاه. علّق القضيب بحامل أو ضعه على زجاجة ساعة مقلوبة.

٣ ادلك قضيبًا آخر من الأبونايت واجعل أحد طرفَيه قريبًا من الطرف المدلوك للقضيب الأوّل، هل يتجاذبان أم يتنافران؟



٤ ادلك قضيبًا من الزجاج وقرّب طرفه المدلوك من الطرف المدلوك لقضيب الأبونايت المعلّق، ماذا تلاحظ؟

٥ جرّب مجموعات مختلفة من القضبان وجرّب قطع قماش من نسيج مختلف، علمًا بأن دلك قضيب أبونايت بقطعة من الصوف، يُكسِب القضيب شحنة سالبة. ما الشحنة التي تتكوّن على قطعة الصوف عند دلك قضيب الأبونايت بها؟

٦ انفخ بالونًا وادلكه بملابسك، هل يمكنك تحديد ما إذا كان قد اكتسب شحنة موجبة أم سالبة؟ وضّح إجابتك.

أسئلة

١-١ وُضعت كُرتان من البوليسترين مشحونتان بشحنة موجبة إحداهما قرب الأخرى، هل تتجاذبان أم تتنافران؟

٢-١ دُلك قضيب أبونايت بقطعة من الصوف فاكتسب القضيب شحنة سالبة:

أ. ما الشحنة التي تتكوّن على قطعة الصوف؟

ب. هل يتجاذب الصوف والقضيب أم يتنافران؟

٣-١ قد تكون لاحظت الآتي:

- إذا مشَّطت شعرك الجاف بمشط من البلاستيك فإن شعرك ينجذب إلى المشط.
- يصبح شعرك بعد التمشيط خفيفًا ورقيقًا لأن كلّ شعرة تتنافر مع الشعرة المجاورة لها.

ماذا تستنتج من هذه الملاحظات عن الشحنات الكهربائية على شعرك وعلى المشط؟

١-٢ الاحتكاك والشحن الكهربائي

بات معلومًا أن قوّة الاحتكاك هي التي تُسبِّب الشحن الكهربائي نتيجة انتقال الإلكترونات الحرّة من جسم إلى آخر.

تشكّل هذه الإلكترونات جزءًا من كل ذرَّة وتحمل شحنة سالبة. ونظرًا لأن هذه الإلكترونات ضعيفة الارتباط نسبيًّا بالذرَّة يمكن سحبها بسهولة إلى الخارج بواسطة قوَّة الاحتكاك، فالذرَّة ليس لها شحنة كهربائية، وهي **متعادلة Neutral**، وعندما تفقد إلكترونًا تصبح موجبة الشحنة.

تستطيع مادَّة معيَّنة أن تسحب إلكترونات من مادَّة أخرى، فالذرّات التي يتكوَّن منها الأبونايت تحتوي على شحنات موجبة، قادرة على جذب الإلكترونات بقوّة أكبر من القماش الصوفيّ.

مصطلحات علمية

الجسم المتعادل Neutral: هو الجسم الذي يحتوي على عدد متساوٍ من الشحنات السالبة والموجبة.

تذكّر

أن إنتاج الكهرباء الساكنة يتطلّب توفّر مادّتَين مختلفتَين، لتصبح إحداهما موجبة الشحنة والأخرى سالبة الشحنة.

جذب الأجسام غير المشحونة

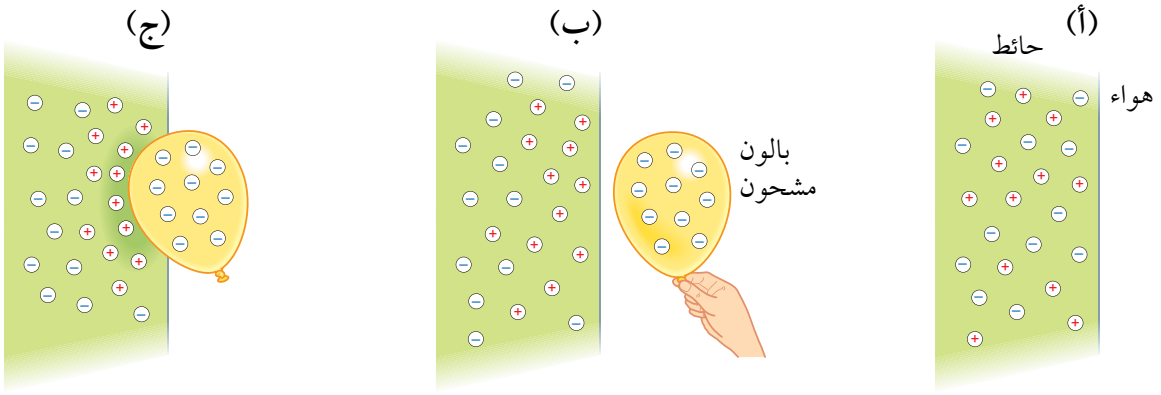
قد يجذب الجسم المشحون أجسامًا غير مشحونة، كأن تنثر بعض قصاصات الورق الصغيرة على طاولة ويُدلَك قضيب الأبونايت بقطعة من الصوف. سوف يتمكّن كل من القضيب المشحون وقطعة الصوف المشحونة من جذب قصاصات الورق. يُشبه ذلك تأثير دلك بالون بملابسك وإلصاقه بالحائط (الشكل ١-٢)؛ فالجسم المشحون (البالون) ينجذب نحو جسم غير مشحون (الحائط)، فكيف يحدث ذلك؟

افترض أن شحنة البالون سالبة، يعني ذلك أنّها يجب أن تنجذب إلى شحنة موجبة في الحائط، غير أنّ الحائط نفسه متعادل (غير مشحون) ولكن ذرّاته مُكوّنة من جُسيمات موجبة الشحنة وجُسيمات سالبة الشحنة كما يظهر في الشكل ١-٢ (أ). فعندما يقترب البالون من سطح الحائط تتحرَّك شحنة الحائط السالبة (الإلكترونات) مبتعدةً عن البالون سالب الشحنة كما يظهر في الشكل ١-٢ (ب)، قد لا تتحرَّك بعيدًا جدًّا، ولكن تأثيرها يكفي لإعطاء سطح الحائط شحنة موجبة تجذب البالون كما يظهر في الشكل ١-٢ (ج).

أسئلة

١-٤ ارسم مخطَّطًا توضِّح فيه كيف يمكن لقضيب الأبونايت سالب الشحنة جذب قصاصة ورق غير مشحونة.

١-٥ **أ.** ما شحنة الإلكترون، موجبة أم سالبة؟
ب. هل يتجاذب إلكترونان أم يتنافران؟



الشكل ١-٢ (أ) الحائط متعادل كهربائيًّا لأنه يحتوي على عدد متساوٍ من الشحنات الموجبة والشحنات السالبة. (ب) تتنافر الشحنات السالبة في الحائط مع شحنات البالون فتبتعد عنه. (ج) يلتصق البالون السالب بسطح الحائط الموجب

١-٣ المجالات الكهربائية والشحنة الكهربائية

يؤثِّر الجسم المشحون على أجسام أخرى، سواءً كانت مشحونة أو غير مشحونة من دون لمسها فعليًّا، كأن يؤثِّر قضيب بلاستيكي مشحون بقوّة كهربائية على قضيب آخر مشحون موضوع بالقرب منه.

نستنتج من ذلك أن هناك **مجالًا كهربائيًا Electric field** قد تكوَّن حول الجسم المشحون، وأنّ أي جسم مشحون آخر يوضع في المجال الكهربائي سوف يتأثّر بقوّة. فالبالون في الشكل ١-٢ له مجال كهربائيّ يحيط به؛ وعندما يقرَّب البالون من سطح الحائط يؤثِّر هذا المجال الكهربائي بقوَّة على شحنات الحائط ممّا يجعلها تتحرَّك. ويصبح جزء الحائط الأقرب إلى البالون عندئذٍ مشحونًا بشحنة مخالفة لشحنة البالون نفسه، فتنشأ قوَّة تجاذب بين البالون وسطح الحائط.

تذكّر

عدم الخلط بين المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية، فالمغناطيس لا يجذب الشحنات الكهربائية ولا يجذب الجسم المشحون مغناطيسًا.

تُعدّ القوَّة الكهربائية بين جسمَين مشحونَين إحدى القوى الأساسية في الطبيعة، حيث تربط القوَّة الكهربائية بين الجُسيمات لتكوين الذرّة، وبين الذرّات لتكوين الجُزيئات، وبين الجُزيئات لتكوين الأجسام. فقط فكّر: عندما تقف على أرضية المنزل فإن القوَّة الكهربائية بين جُزيئات الأرضية هي التي تمنعك من السقوط عبر الأرضية؛ يعني ذلك أنّ القوَّة الكهربائية قوَّة مهمَّة للغاية.

الجُسيمات المشحونة في الذرّة

تعلَّمنا أن الإلكترونات هي جُسيمات مشحونة تنتقل من جسم إلى آخر عندما تُدلك هذه الأجسام معًا، فالشحنة الكهربائية هي خاصّية الجُسيمات التي تكوِّن الذرّات (ستدرس ذلك في الوحدة الثامنة: فيزياء النواة).

يتمّ قياس الشحنة بوحدة الكولوم نسبة إلى العالِم كولوم Coulomb الذي اكتشف أن القوَّة بين جسمَين مشحونَين تعتمد على مقدار شحنة كل منهما والبُعد بينهما.

تذكّر

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

الإلكترون هو جُسيم سالب الشحنة موجود في جميع الذرّات، ويمتلك شحنة كهربائية صغيرة جدًّا.

$$\text{شحنة الإلكترون} = -0.000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 16\ \text{C}$$

$$= -1.6 \times 10^{-19}\ \text{C}$$

تكون الذرّات متعادلة؛ بالإضافة إلى الإلكترونات تحتوي الذرّات على عدد مساوٍ من الجُسيمات المشحونة بشحنة موجبة تسمّى البروتونات. ويساوي مقدار شحنة البروتون مقدار شحنة الإلكترون تمامًا، ولكنّ البروتون موجب الشحنة، هذا يعني أنّ:

$$\text{شحنة البروتون} = +0.000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 16\ \text{C}$$

$$= +1.6 \times 10^{-19}\ \text{C}$$

عندما يُدلك جسمان معًا وتنتقل الشحنة فإن الذي ينتقل من جسم إلى آخر هو بعض الإلكترونات فقط، أما البروتونات فهي لا تتحرّك أبدًا.

سؤال

١-٦ وُضعت كُرتان فلزّيّتان متماثلتان إحداهما قرب الأخرى. شُحنت إحداهما بشحنة كهربائية كبيرة سالبة، وتُركت الأخرى غير مشحونة.

أ. اذكر الاسم الذي يُعطى للمنطقة المحيطة بالكُرة السالبة الشحنة.

ب. وُصّلت الكُرتان بعد ذلك بسلك، استخدم فكرة القوَّة الكهربائية لشرح ما سوف يحدث.

١-٤ الموصّلات الكهربائية والعوازل

تُعرّف شدَّة التيّار الكهربائي بأنها معدَّل تدفُّق الشحنة، وهذا ما درسته في الصف التاسع، وتتمتَّع بعض المواد بمقاومة منخفضة لتدفُّق الشحنة خلالها، فهي توصِّل الكهرباء بشكل جيّد للغاية، ونسمّي هذه المواد **الموصِّلات الكهربائية Conductors**، أمّا المواد الأخرى فلا تسمح بتدفُّق الشحنات خلالها ونسمّيها **العوازل Insulators**. قد تتكوّن الشحنات الكهربائية الساكنة على العوازل لكنّها لا تستطيع أن تتحرّك، فهي لا تتكوّن على الموصِّلات إلا عندما يكون الموصِّل معزولاً، كأن يوضع على حامل عازل.

مصطلحات علمية

الموصّل Conductor: مادَّة تسمح بمرور التيّار الكهربائي عبرها.

العازل Insulator: مادَّة لا توصّل التيّار الكهربائي.

الموصِّلات الكهربائية

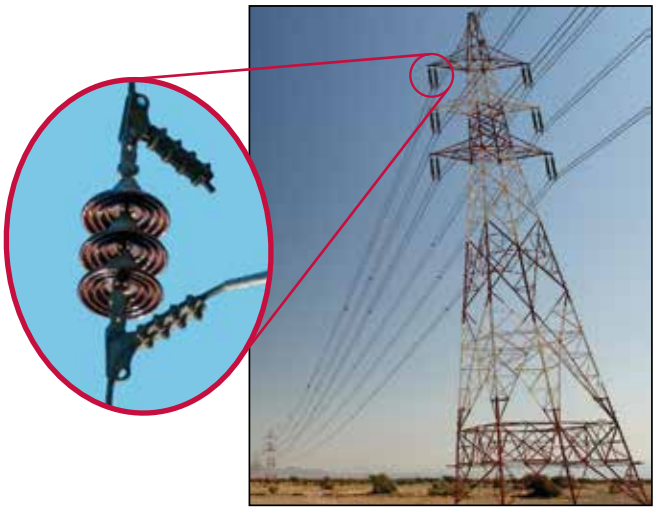
تُعدّ الفلزّات أمثلة على الموصِّلات الكهربائية، وأفضلها توصيلًا النحاس والفضَّة والذهب، وتُصنَع عادة أسلاك الدوائر الكهربائية من هذه الفلزّات الثلاثة لاسيّما النحاس لأنه الأقلّ تكلفة بينها، وفي المقابل فإنّ عددًا قليلًا جدًّا من المواد الصلبة اللافلزّية تكون موصِّلات للكهرباء، ومن أمثلتها الشائعة الجرافيت الذي يُستخدم في أقلام الرصاص، حيث أن الجرافيت شكل من أشكال الكربون، أي أنّه لافلزّ لكنه يوصِّل الكهرباء.

يُعرَف سريان التيّار الكهربائي في الفلزّات بأنّه تدفُّق للإلكترونات. فعندما يوصَّل سلك فلزّي بمصدر قوَّة دافعة كهربائية فإن القطب السالب للخلية، أو لأي مصدر للجهد الكهربائي، يتنافر مع الإلكترونات السالبة فيُجبرها على التدفُّق بعيدًا عن القطب السالب، بينما يجذب القطب الموجب الإلكترونات فيُجبرها على التدفُّق نحوه.

العوازل

العوازل موادّ لا توصِّل التيّار الكهربائي، فالبلاستيك ومعظم المواد اللافلزّية، كالخشب والزجاج والأقمشة، أمثلة على العوازل. تمتلك العوازل مقاومة كهربائية عالية جدًّا، فعلى سبيل المثال نجد أنّ قطعة من البلاستيك الذي يسمّى أسيتات السليلوز سمكها 1 cm تمتلك مقاومة $1 \times 10^{19}\ \Omega$!

تُستخدم العوازل في الأماكن التي لا نريد أن يتدفَّق التيار الكهربائي فيها؛ فهي تُستخدم لتغليف الأسلاك الكهربائية ولتغطية المقابس المُتَّصلة بتلك الأسلاك، وتُستخدَم العوازل أيضًا لإيقاف تدفُّق التيّار الكهربائي في الهياكل التي تحمل أسلاك توزيع الطاقة الكهربائية، كتلك المبيّنة في الصورة ١-١.



الصورة ١-١ هذه الأبراج مصنوعة من الفولاذ وهو من الموصِّلات، والأجزاء التي تظهر على شكل أقراص هي عوازل مصنوعة من مادة خزفية تشبه تلك المستخدمة في صنع صحون المطبخ. تجعل هذه العوازل التيّار الكهربائي يتدفَّق عبر الأسلاك فقط وتمنعه من التدفُّق نحو الأبراج الفلزّية

أسئلة

١-٧ **أ.** اذكر مثالاً واحدًا على مادّة موصِّلة للكهرباء.

ب. اذكر مثالاً واحدًا على مادّة عازلة للكهرباء.

١-٨ اكتسب بالون شحنة سالبة عند دلكه بالصوف، وعندما يلامس البالون المشحون قطعة فلزّية كبيرة يفقد شحنته، وضّح السبب.

ملخّص

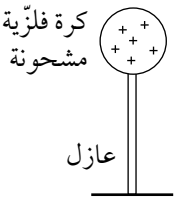
ما يجب أن تعرفه:

- هناك شحنات كهربائية موجبة وأخرى سالبة.
- الشحنات الكهربائية الساكنة قد تُنتَج على سطح جسم ما بالدلك (الاحتكاك).
- القوّة الكهربائية بين جسمَين مشحونَين.
- شحن جسم يتضمّن إضافة إلكترونات إليه أو إزالتها منه.
- المجال الكهربائي.
- سبب سماح الموصِّلات للتيّار الكهربائي بالتدفُّق عبرها ولا تسمح العوازل بذلك.

أسئلة نهاية الوحدة

١ ما نوعا الشحنات؟ وما رمزهما؟

٢ يُبيّن الرسم التخطيطي كرة فلزّية مشحونة محمولة على عازل.



أ. يوجد مجال كهربائي حول الكرة، ما المقصود بالمجال الكهربائي؟

ب. لماذا يجب حمل الكرة الفلزّية في الرسم التخطيطي بواسطة عازل؟

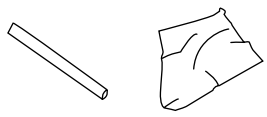
ج. اشرح ما يحدث عندما:

١. يُقرَّب جسم موجب الشحنة من الكرة.

٢. يوضع جسم سالب الشحنة قرب الكرة.

٣ لدى عائشة الأدوات الآتية:

- قضيب مصنوع من مادّة بلاستيكية يسمّى الأبونايت.
- قطعة من الصوف جافة.



أ. اذكر كيف يمكن لعائشة استخدام هذَين الجسمَين لتكوين شحنة كهربائية ساكنة.

ب. عندما تكوّن عائشة شحنة ساكنة يصبح قضيب الأبونايت مشحونًا بشحنة سالبة.

١. ما نوع الشحنة على قطعة الصوف؟

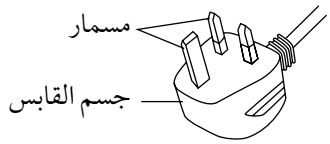
٢. اشرح بدلالة الجُسيمات كيف أصبح القضيب سالب الشحنة.

٣. صف كيف يمكن لعائشة إثبات أن القضيب أصبح مشحونًا بشحنة سالبة.

٤ صنّف الموادّ الآتية إلى موصّلات كهربائية وعوازل.

زجاج	بلاستيك	حديد	خشب	نحاس	فولاذ
	ألومنيوم	قطن	صوف		

٥ تُصنع مسامير القابس المُثبَّت في السلك الكهربائي من سبيكة فلزّية تسمّى النحاس الأصفر.

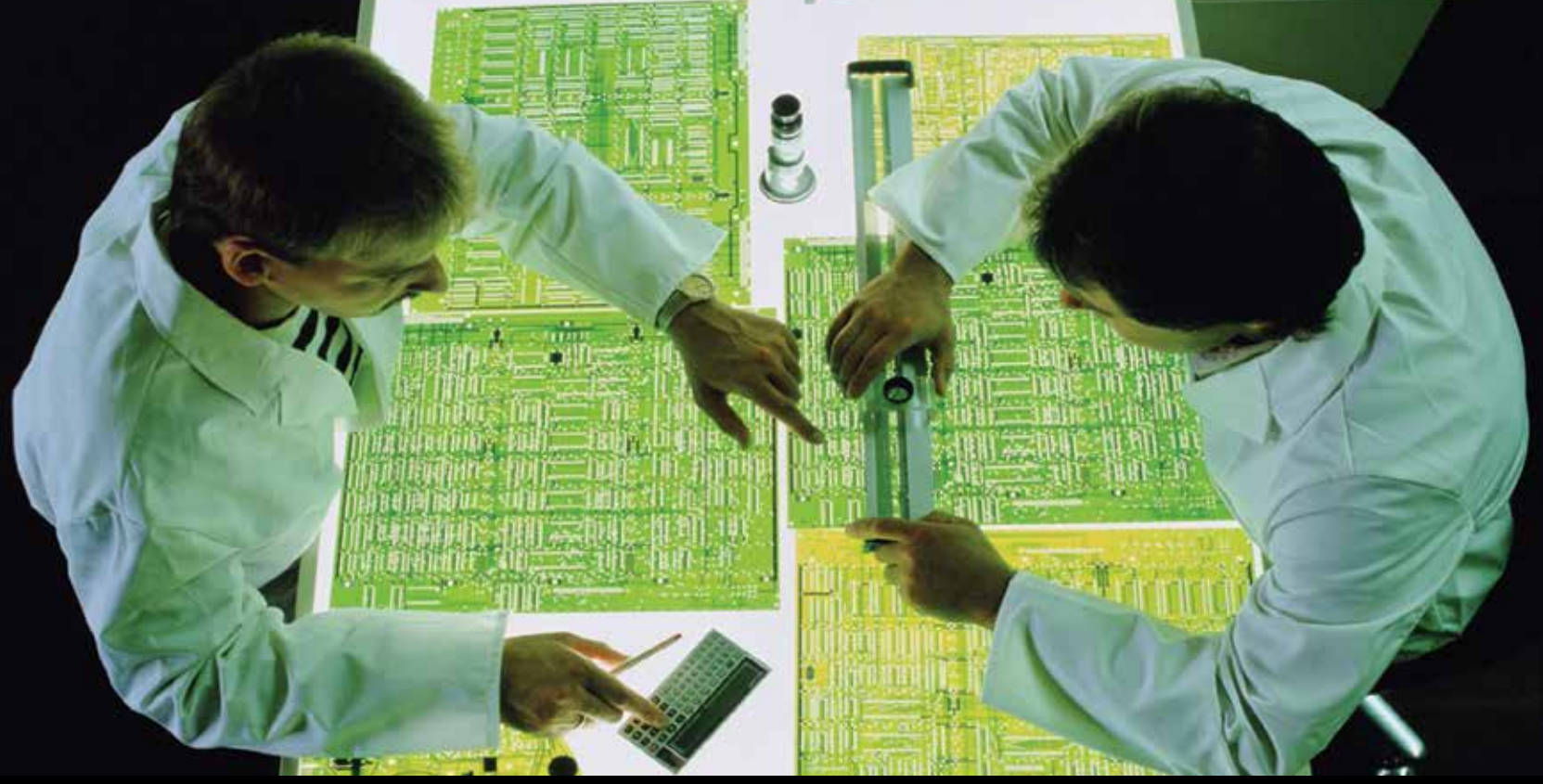


أ. النحاس الأصفر موصِّل جيد للكهرباء. وضّح لماذا تُعدّ الفلزّات موصِّلات جيدة للكهرباء.

ب. جسم القابس مصنوع من مادّة تُسمّى اليوريا فورمالدهايد، وهي مادّة صلبة قوية، مقاومة للماء ومقاومة للحرارة.

١. اذكر إحدى الخصائص الأساسية الأخرى التي يجب أن تتوفّر في اليوريا فورمالدهايد من أجل استخدامها كجسم قابس التيّار الكهربائي.

٢. وضّح بدلالة الجُسيمات، أسباب وجود هذه الخاصّية في موادّ مثل اليوريا فورمالدهايد.



الوحدة الثانية

مخطّطات الدوائر الكهربائية Electric Circuit Diagrams

تُغطّي هذه الوحدة:

- كيفية تصميم وتفسير مخطّطات الدوائر الكهربائية.
- شدَّة التيّار الكهربائي في دائرة كهربائية موصَّلة على التوالي.
- فرق الجهد الكهربائي في الدوائر الكهربائية الموصَّلة على التوالي وعلى التوازي.
- استخدام المقاومات الحرارية والمقاومات الضوئية كمحوِّلات إدخال.
- حساب المقاوَمة المكافئة لمقاومتَين أو أكثر موصَّلتَين على التوالي.
- حساب المقاوَمة المكافئة لمقاومتَين موصَّلتَين على التوازي.

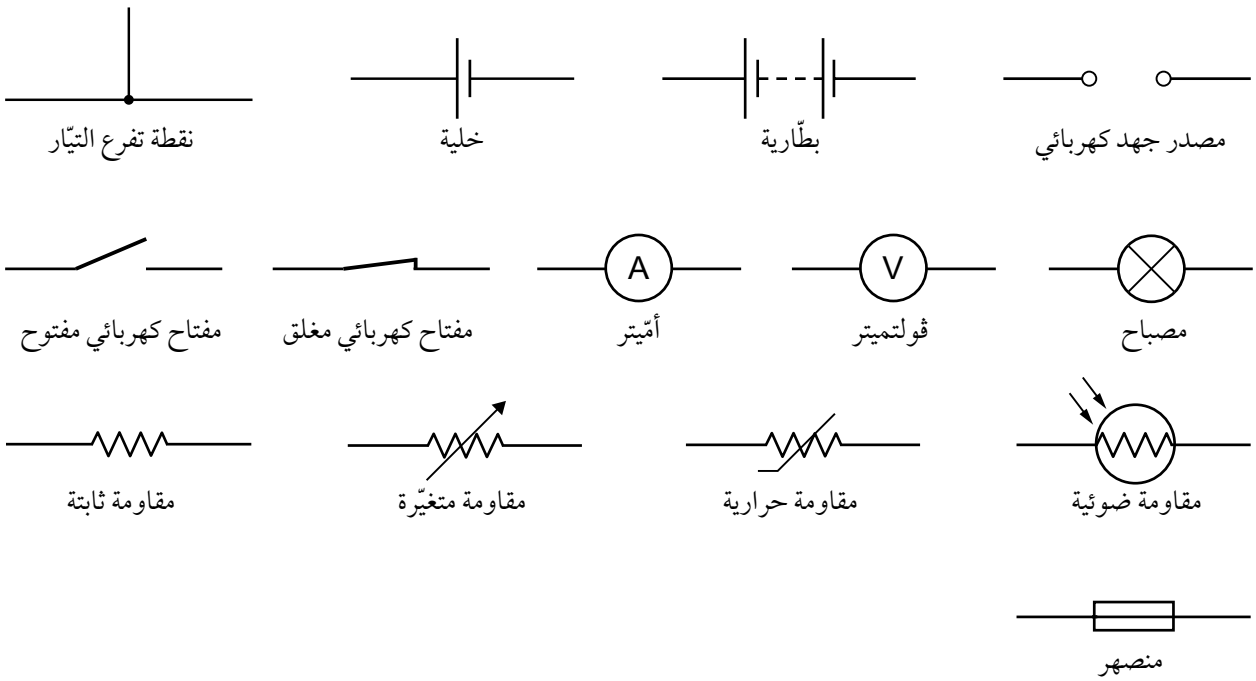
٢-١ مكوّنات الدائرة الكهربائية

تُظهِر الصورة أعلاه مهندسَين إلكترونيَّين يفحصان جودة بعض لوحات الدوائر الكهربائية. تحمل هذه اللوحات كثيرًا من المكوِّنات المتَّصلة بعضها ببعض في دوائر معقَّدة.

تُستخدَم دوائر كهربائية كهذه في كثير من التطبيقات المختلفة، من سيّارات وأجهزة راديو وحواسيب وغسّالات وغيرها. قد يصمِّم مخطّطات هذه الدوائر الكهربائية مهندسون إلكترونيّون في بلد معيّن، وتُصنَّع في بلد آخر، وتُستخدَم في بلد ثالث. يجب على كل من يشارك في هذه العملية فهم المطلوب منه؛ لهذا السبب هناك اتّفاق دولي على رموز مكوّنات الدوائر الكهربائية.

استخدمتَ سابقًا دوائر كهربائية تحتوي على خلايا ومصابيح ومقاومات ومفاتيح وأجهزة أمّيتر وأجهزة ڤولتيمتر، ويجب أن تكون على معرفة برموزها. سوف تدرس المكوِّنات الكهربائية الأخرى ورموزها في هذه الوحدة والوحدة الثالثة. يوضح الشكل ٢-١ هذه الرموز.

الصورة ٢-١ فحص لوحات الدوائر الكهربائية، حيث توضع اللوحات على صندوق ضوئي أو منضدة ضوئية، ويستخدم المهندسون الإلكترونيّون عدسات مكبِّرة لمشاهدة التفاصيل الدقيقة



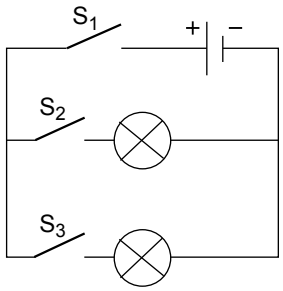
الشكل ٢-١ رموز بعض مكوِّنات الدائرة الكهربائية

المفاتيح الكهربائية

المفتاح مكوِّن كهربائي وظيفته السماح بتدفُّق التيّار الكهربائي أو إيقافه في دائرة كهربائية ما، حيث يعمل هذا المفتاح إمّا بجعل الدائرة الكهربائية مغلقة لبدء تدفُّق التيّار الكهربائي أو يعمل كقاطع في الدائرة الكهربائية لإيقاف تدفُّق التيّار الكهربائي.

انظر إلى رموز مفاتيح الدوائر المفتوحة والمغلقة في مخطَّطات الدوائر الكهربائية في الشكل ٢-١.

المفاتيح الثلاثة في الشكل ٢-٢ مفتوحة، الأمر الذي يعني عدم تدفُّق التيّار الكهربائي في أي جزء من هذه الدائرة الكهربائية. وإذا أُغلِقت المفاتيح الثلاثة يتدفَّق التيّار الكهربائي ويضيء المصباحان. لكن إذا فُتح المفتاح S_1 في حين تمّ إغلاق المفتاحَين S_2 و S_3 ينطفئ المصباحان، لأن التيّار الكهربائي لا يمكن أن يتدفَّق من الخلية؛ ومع ذلك إذا أُغلق المفتاح S_1، يُستخدَم المفتاحان S_2 و S_3 للتحكُّم بإضاءة كل من المصباحَين بشكل منفصل.



الشكل ٢-٢ تحتوي هذه الدائرة الكهربائية على خلية واحدة ومصباحَين موصَّلَين على التوازي وثلاثة مفاتيح

المقاومات

يمكن استخدام **المقاومة Resistor** (الصورة ٢-٢) للتحكُّم بمقدار شدَّة التيّار الكهربائي في الدائرة الكهربائية، فالمقاومة لها طرفان، بحيث يمكن للتيّار أن يتدفَّق في أحدهما ويخرج من الآخر. قد تكون المقاومات مصنوعة من أسلاك فلزّية (تكون عادة سبيكة مكوَّنة من خليط فلزَّين أو أكثر لهما مقاوَمة عالية) أو من الكربون؛ فالكربون (مثل الجرافيت في قلم رصاص) يوصِّل الكهرباء ولكنه ليس مثل معظم الفلزّات، لذلك تُصنَع المقاومات عالية المقاومة من الجرافيت لأن درجة انصهاره مرتفعة جدًّا.

الصورة ٢-٢ مجموعة مختارة من المقاومات الثابتة، بعضها له ترميز من حلقات ملوَّنة للإشارة إلى قيمة مقاوَمتها، وتستخدم الأخرى ترميزًا رقميًّا

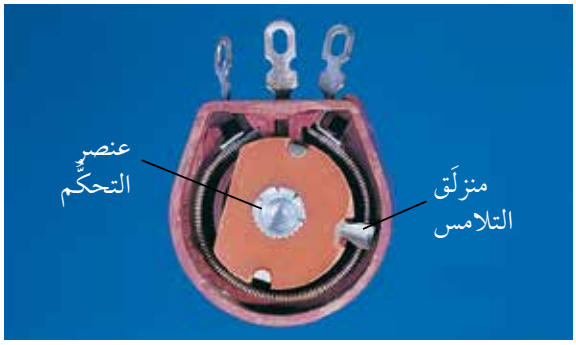
يتمّ استخدام **المقاومة المتغيِّرة Variable resistor** لتغيير تدفُّق التيّار في الدائرة الكهربائية. توضّح الصورة ٢-٣ الجزء الداخلي من المقاوَمة المتغيِّرة حيث يبدو أن لها ثلاثة أطراف وأنّها تحتوي على عنصر تحكّم يعمل لدى زلقه فوق مسار مصنوع من مادَّة مقاومة، يُسمّى مُنزلَق التلامُس والمتّصل مباشرة بالطرف الأوسط. أما الطرفان الآخران فإنهما متّصلان بنهايتَي مسار المقاومة، حيث يدخل التيّار الكهربائي في أحد أطراف المقاومة ويتدفَّق عبر المسار حتى يصل إلى منزلَق التلامُس؛ حينها يغادر المقاوَمة ويخرج من هذا التلامس. تعتمد قيمة المقاوَمة المتغيّرة على طول المسار بين أحد الطرفَين الخارجيَّين وموقع منزلَق التلامُس، وغالبًا ما تُستخدَم المقاوَمات المتغيِّرة في التحكُّم بشدَّة الصوت في أنظمة المذياع أو نظام موزّع الصوت (الستيريو).

مصطلحات علمية

المقاومة Resistance: مقياس مدى ممانعة تدفُّق تيّار كهربائي في جهاز ما أو في أي مكوِّن في دائرة كهربائية ما.

مصطلحات علمية

المقاومة المتغيِّرة Variable resistor: المقاومة الأومّية التي يمكن تغيير قيمة مقاومتها، كأن نقوم بتدوير عنصر التحكّم.



الصورة ٢-٣ مقاومة متغيِّرة في أنظمة المذياع، حيث توفّر هذه المقاومة المتغيِّرة مقاومة بواسطة «مسار» من سلك مقاومة أو كربون، ويعتمد مقدار المقاومة في الدائرة الكهربائية على موقع منزلَق التلامس

ربّما صادفت مقاوَمة متغيِّرة مثل المقاومة المتغيِّرة المستخدَمة في المختبر المدرسي (انظر الصورة ٢-٤).

الصورة ٢-٤ المقاومة المتغيِّرة في المختبرات

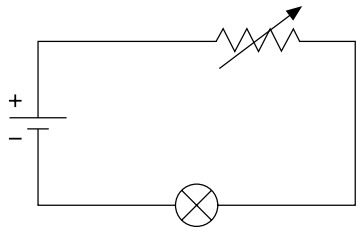
درست في الصف التاسع أن العلاقة $R = \frac{V}{I}$ تسمّى قانون أوم، نسبة إلى جورج أوم Georg Ohm الذي درس عام 1827 م العلاقة بين شدّة التيّار الكهربائي (I) وفرق الجهد (V) والمقاومة (R) في الأسلاك. اكتشف أوم الأمر الآتي: إذا كان لدينا سلك مقاومته ثابتة، فإن شدّة التيّار الكهربائي تتناسب مع فرق الجهد بين طرفَيه.

فرق الجهد = شدّة التيار الكهربائي × المقاومة

$$V = I R$$

نحن نعلم الآن أن قانون أوم ينطبق على العديد من المكوّنات الأخرى إضافة إلى الأسلاك التي نسمّيها المكوّنات الأومّية.

يوضّح الشكل ٢-٣ مثالاً على دائرة كهربائية تحتوي على مقاوَمة متغيّرة.



الشكل ٢-٣ دائرة كهربائية تحتوي على مقاومة متغيّرة

أسئلة

٢-١ **أ.** ارسم رمز المقاوَمة في الدائرة الكهربائية.

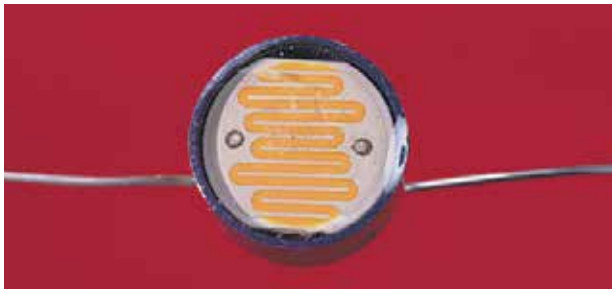
ب. ارسم رمز المقاوَمة المتغيّرة في الدائرة الكهربائية.

٢-٢ يمرّ تيّار كهربائي شدَّته (2.8 A) في مقاوَمة ما عندما يكون فرق الجهد بين طرفَيها (12.0 V). كم ستبلغ شدَّة التيّار الكهربائي المارّ عبرها عندما ينخفض فرق الجهد إلى (6.0 V)؟

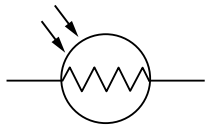
المقاومات الضوئية

المقاومة الضوئية Light-dependent resistor (LDR)

نوع من «المقاومات المتغيِّرة» تعتمد مقاومتها على مقدار الضوء الساقط عليها (الصورة ٢-٥)، ويُرمَز إليها كما هو موضَّح في الشكل ٢-٤.



الصورة ٢-٥ مقاومة تعتمد على الضوء. يُشكّل «السلكان» الفضّيان الداخلان في المقاومة طرفَين، يدخل التيّار في أحدهما ويخرج من الآخر، وبينهما تكون مادّة المقاومة (اللون البرتقالي)



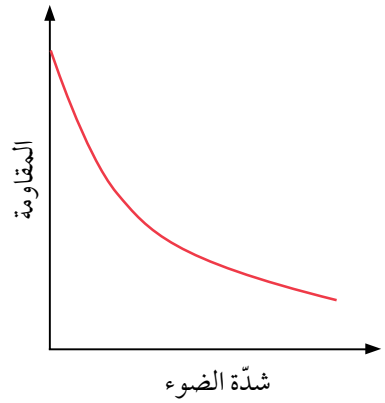
مقاومة ضوئية

الشكل ٢-٤ تمثِّل الأسهم في رمز الدائرة الكهربائية الضوء الساقط على المقاومة الضوئية

مصطلحات علمية

المقاومة الضوئية Light-dependent resistor (LDR): مكوِّن كهربائي تقلّ مقاومته عندما يُسلَّط عليه الضوء.

تتكوَّن المقاومة الضوئية من مادة لا توصِّل التيار الكهربائي بشكل جيد في الظلام. ولهذه المادة مقاوَمة عالية، وغالبًا ما تكون أكثر من 1 MΩ (1000 000 Ω). ومع ذلك يوفِّر الضوء طاقة تكفي لتدفُّق التيّار الكهربائي خلالها (الشكل ٢-٥). فعندما يسقط الضوء على المقاومة الضوئية تنخفض مقاومتها، وقد تنخفض في الضوء الساطع إلى 400 Ω.



الشكل ٢-٥ تنخفض المقاومة الضوئية كلّما ازدادت شدَّة الضوء، لكن تغيُّرها ليس خطّيًّا

تُستخدَم المقاومات الضوئية في الدوائر الكهربائية لاكتشاف مستوى شدَّة الضوء، ومثال ذلك استخدامها في الساعات الرقمية التي توضع جانب السرير، حيث تحتوي بعض الساعات الرقمية على مقاومة ضوئية؛ فعندما تكون إضاءة الغرفة ساطعة تضيء شاشة الساعة تلقائيًّا ويمكن رؤية ما حولها مُضاءً، لكن في غرفة مظلمة تكون الشاشة خافتة.

المقاومات الحرارية (الثيرمستور)

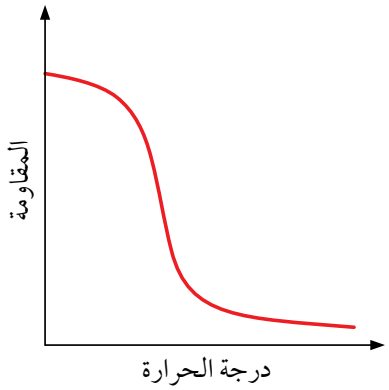
المقاومة الحرارية Thermistor (NTC) (الصورة ٢-٦) نوع آخر من المقاومات تعتمد على درجة حرارة الوسط المحيط بها، يُرمَز لها بالرمز الموضّح في الشكل ٢-٦ حيث تتغيّر المقاومة بمقدار كبير في مدى ضيّق من تغيُّر درجات الحرارة.

الصورة ٢-٦ مقاومة حرارية

مقاومة حرارية

الشكل ٢-٦ يشير الخطّ المار برمز المقاومة في الدائرة الكهربائية إلى أن المقاومة ليست ثابتة، بل تعتمد على عامل خارجي (في هذه الحالة درجة الحرارة)

تنخفض مقاومة بعض المقاومات الحرارية كلّما سخنت، وقد تتغيّر مقاومتها من 2 kΩ في درجة حرارة الغرفة إلى 20 Ω في درجة حرارة 100°C (الشكل ٢-٧).



الشكل ٢-٧ تعتمد مقاومة المقاومة الحرارية على درجة الحرارة. وهنا في هذه الحالة تنخفض مقاومة المقاومة الحرارية كثيرًا في منتصف المنحنى كلّما ارتفعت درجة الحرارة بمقدار صغير

وبناء على ما ذُكِر تكون هذه المقاومات الحرارية مفيدة كمستشعِرات لدرجة الحرارة (انظر مناقشة موازين الحرارة في الصف التاسع الوحدة السابعة). تسمّى هذه المقاومات الحرارية بالمقاومات الحرارية ذات المُعامِل الحراري السالب (ثيرمستورات NTC)، لأن مقاومتها تنخفض مع ارتفاع درجة الحرارة.

مصطلحات علمية

المقاومة الحرارية (ذات المُعامِل الحراريّ السالب) Thermistor (NTC): مكوِّن كهربائي تقلّ مقاومته مع ارتفاع درجة حرارته.

محوِّلات إدخال الطاقة

عندما تُستخدَم المقاومة الحرارية ذات المُعامِل الحراري السالب (NTC) في ميزان حرارة، أو تُستخدَم مقاومة ضوئية (LDR) لجعل إضاءة الشاشة الرقمية خافتة، تكون المكوِّنات المذكورة قد استُخدِمت في هذه التطبيقات **كمحوِّلات إدخال Input transducers**. ومحوِّلات الإدخال هي نوع من أجهزة الاستشعار التي تقيس كمّية فيزيائية غير كهربائية (أي درجة الحرارة والضوء والصوت، إلخ) وتحوّلها إلى إشارة كهربائية يمكن قراءتها بسهولة (فرق الجُهد، أو شدَّة التيّار الكهربائي). فعندما تتغيّر مقاومة أحد المكوِّنات يتغيَّر فرق الجُهد بين طرفَيه، وتتغيَّر المقاومة الحرارية (NTC) استجابة للتغيُّر في الطاقة الحرارية؛ لذلك تعمل المقاومة الحرارية كمُستشعِر درجة حرارة، وتتغيّر المقاومة الضوئية (LDR) استجابةً للتغيُّرات في شدَّة الضوء، لذلك تعمل كمُستشعِر للضوء.

أسئلة

٢-٣
- **أ.** ما الذي يدلّ على اختصار LDR؟
- **ب.** ارسم رمزه في الدائرة الكهربائية.
- **ج.** ماذا يحدث للمقاومة الضوئية عندما يسقط عليها ضوء؟

٢-٤
- **أ.** ارسم رمز المقاومة الحرارية في الدائرة الكهربائية.
- **ب.** اذكر استخدامًا للمقاومة الحرارية.
- **ج.** وضّح سبب ملاءمة المقاومة الحرارية لهذا الاستخدام.

نشاط ٢-١

استقصاء المقاومات الحرارية والمقاومات الضوئية

المهارات:

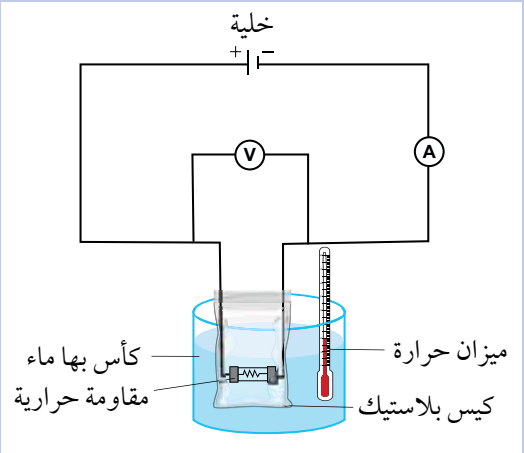
- يرسم الأشكال التخطيطيّة للجهاز ويُسمّي أجزاءه.
- يبرّر اختيار الأجهزة والمواد والأدوات لاستخدامها في إجراء التجارب.
- يسجِّل الملاحظات بطريقة منهجية باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقة المناسبة.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدِّمها بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانية والميل.
- يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.

الجزء ١: المقاومة الحرارية

١ صمّم دائرة كهربائية لقياس مقاومة المقاومة الحرارية. تحقّق من تصميمك مع معلِّمك قبل تركيب دائرتك.

٢ قم بقياسات لتحديد المقاومة الحرارية في درجة حرارة الغرفة.

٣ غلّف المقاومة الحرارية الخاصّة بك وأسلاك التوصيل التابعة لها في كيس بلاستيكي، وغطِّس الكيس في كأس بها ماء بحيث لا تتلامس المقاومة الحرارية مع الماء. حدّد المقاومة الحرارية عند درجات حرارة مختلفة، وتأكّد من استخدام درجات حرارة مختلفة كافية لتتمكّن من اكتشاف التغيُّر في نتائجك. سجِّل نتائجك في جدول.



٤ ارسم تمثيلًا بيانيًّا لتوضِّح كيف تختلف المقاومة الحرارية باختلاف درجة الحرارة عبر المدى الذي اختبرته. أكمل تمثيلك البياني برسم المنحنى أو الخطّ المستقيم الأكثر تناسبًا مع نتائجك.

الجزء ٢: المقاومة الضوئية

٥ استخدم الدائرة نفسها كما في الجزء ١، ولكن قُم بتوصيل مقاومة ضوئية (LDR) بدلاً من المقاومة الحرارية. غيّر شدّة سطوع الضوء الساقط عليها. لاحظ وسجّل كيف تختلف شدّة التيّار الكهربائي المتدفِّق خلالها.

٦ يمكنك استخدام مقياس شدّة الضوء لتحديد شدَّة الضوء الساقط على المقاومة الضوئية (Light meter). ضَع مقياس شدة الضوء مباشرة بجوار المقاومة الضوئية (LDR). صمّم طريقة لتغيير مستوى شدَّة الضوء. سجّل نتائجك في جدول. ارسم تمثيلًا بيانيًّا يوضّح كيف تعتمد المقاومة الضوئية على شدَّة الضوء.

الجزءان ١ و٢ من هذا الاستقصاء

٧ استخدم تمثيلاتك البيانية لوصف نمط تغيُّر المقاومة الحرارية والمقاومة الضوئية.

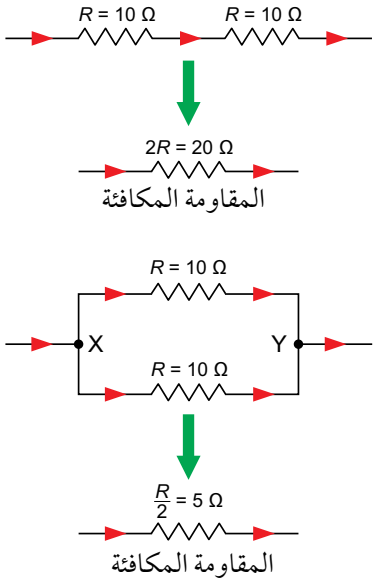
٨ كنت قد غلّفت المقاومة الحرارية وأسلاكها بكيس بلاستيكي، اشرح أي احتياطات أمان أخرى اتّخذتها لهذه الاستقصاءات.

٢-٢ توصيل المقاومات

إذا كان لديك مقاومتان، فهناك طريقتان لتوصيل إحداهما بالأخرى في دائرة كهربائية هما: التوالي والتوازي، وهذا موضّح في الشكل ٢-٨ لمقاومتَين.

وللتعرُّف على الحالة التي تكون فيها المقاومتان موصَّلتَين على التوالي، نتتبّع مسار التيّار الكهربائي في الدائرة الكهربائية. فإذا كان كامل التيّار الكهربائي يتدفَّق عبر مقاومة واحدة ثم عبر المقاومة الأخرى كما في الشكل ٢-٨ (أ) فإن المقاومتَين تكونان موصَّلتَين على التوالي.

وعندما يتمّ توصيل مقاومتَين على التوازي يتدفَّق التيّار الكهربائي في الدائرة الكهربائية حتى يصل إلى نقطة يحدث فيها تفرُّع كما في النقطة X على الشكل ٢-٨ (ب). فيتدفَّق بعض التيّار الكهربائي خلال إحدى المقاومتَين، ويتدفَّق بعضه الآخر خلال المقاومة الأخرى، ثم يُعاد جمع هذَين التيّارَين كما هو في النقطة Y على الشكل ٢-٨ (ب) ثم تتمّ العودة إلى الخلية.

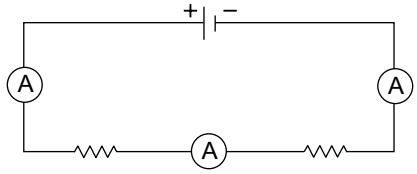


الشكل ٢-٨ طريقتان لتوصيل مقاومتَين في الدائرة الكهربائية: (أ) التوصيل على التوالي. (ب) التوصيل على التوازي. يشير السهم باللون الأحمر إلى اتّجاه التيّار الكهربائي

التيّار الكهربائي في الدوائر الموصَّلة على التوالي

عندما تكون الدائرة الكهربائية موصَّلة على التوالي، فإن كامل التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق في أحد مكوِّناتها يتدفَّق إلى المكوِّن الذي يليه. يعني ذلك أن الدائرة الموصَّلة على التوالي لا تحتوي على فروع: حيث يتدفَّق التيّار الكهربائي عبر جميع المكوِّنات. لذلك يجب أن يكون معدَّل تدفُّق الشحنة في الدائرة الموصَّلة على التوالي هو نفسه على طول مسار الدائرة الكهربائية، لعدم وجود مكان آخر يذهب إليه التيّار الكهربائي. فالشحنة الكهربائية التي تتدفَّق في الدائرة الكهربائية بعيدًا عن الطرف السالب لمصدر الجهد الكهربائي هي نفسها الشحنة الكهربائية التي تتدفَّق عائدة باتّجاه الطرف الموجب للمصدر.

انظر إلى الدائرة الكهربائية في الشكل ٢-٩. بما أن التيّار الكهربائي هو نفسه في جميع نقاط الدائرة الكهربائية الموصَّلة على التوالي، فإن التيّار الكهربائي المُتدفّق عبر كل من المقاومتَين في الشكل ٢-٩ سيكون هو نفسه بغضّ النظر عن قيَم هاتَين المقاومتَين. حتى وإن كانت إحدى المقاومتَين أكبر بكثير من الأخرى فسوف يبقى التيّار الكهربائي نفسه في كلتَيهما، وذلك لأن المقاومة المكافئة بالنسبة إلى الخلية التي تدفع التيّار الكهربائي هي التي تحدِّد شدَّته.



الشكل ٢-٩ ستُظهِر أجهزة الأمّيتر الثلاثة جميعها القراءة نفسها؛ لأن التيّار الكهربائي هو نفسه في جميع نقاط التوصيل على التوالي

تذكّر

هذه الحقائق حول التيّار الكهربائي:

- يكون اتّجاه التيّار الاصطلاحي في الدائرة الكهربائية من الطرف الموجب للبطّارية إلى الطرف السالب للبطارية.
- يكون اتّجاه التيّار الإلكتروني في الدائرة الكهربائية من الطرف السالب للبطّارية إلى الطرف الموجب للبطارية.

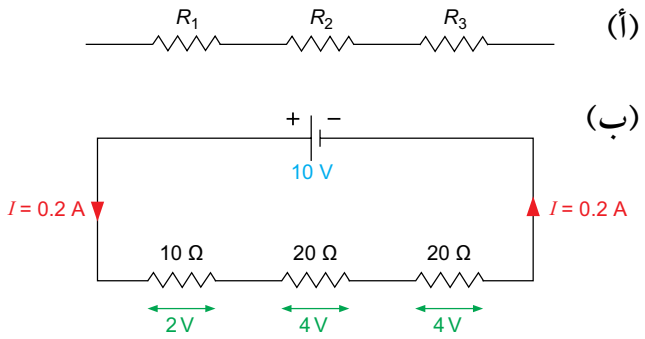
توصيل المقاومات على التوالي

إذا وُصِّلت عدَّة مقاومات على التوالي فإن التيار الكهربائي يجب أن يتدفَّق خلالها جميعًا، واحدة تلو الأخرى، فالمقاومة المكافئة (R) في الدائرة الكهربائية هي ببساطة مجموع كلّ المقاومات الموصّلة. ففي حالة ثلاث مقاومات موصَّلة على التوالي كما في الشكل ٢-١٠ (أ) نحسب المقاومة المكافئة باستخدام المعادلة الآتية:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

يوضّح الشكل ٢-١٠ (ب) أن التيّار الكهربائي المتدفِّق هو نفسه عبر المقاومات الثلاث. يمكننا حساب المقاومة المكافئة (R) في هذه الدائرة الكهربائية:

$$R = 10\ \Omega + 20\ \Omega + 20\ \Omega = 50\ \Omega$$



الشكل ٢-١٠ (أ) ثلاث مقاومات موصَّلة على التوالي. (ب) قيَم المقاومات وفرق الجهد في دائرة التوصيل على التوالي. يتدفَّق التيّار الكهربائي نفسه عبر كل واحدة من المقاومات الثلاث

لذلك يمكن استبدال المقاومات الثلاث بمقاومة واحدة 50 Ω، وسيكون للتيّار الكهربائي في الدائرة الكهربائية الشدَّة نفسها كما لو كانت لدينا ثلاث مقاومات في الدائرة.

تذكّر

أنه يجب توصيل الأمّيتر على التوالي مع المكوِّنات الأخرى للدائرة الكهربائية، في حين يجب توصيل الڤولتميتر بين طرفَي أحد مكوِّنات الدائرة الكهربائية على التوازي.

فرق الجُهد الكهربائي في الدوائر الموصَّلة على التوالي

عندما تكون المقاومات موصَّلة على التوالي في دائرة كهربائية مزوَّدة بمصدر جُهد كهربائي، فسوف ينشأ فرق جُهد بين طرفَي كل مقاومة. من المثال الموضَّح في الشكل ٢-١٠ (ب) يمكنك أن ترى أن مجموع فروق الجهد بين طرفَي كل مقاومة من المقاومات الثلاث يساوي فرق الجهد بين طرفَي مصدر الجهد الكهربائي. بعبارة أخرى

يكون فرق الجُهد للمصدر مقسَّمًا على جميع المقاومات، ويمكننا كتابة ذلك كمعادلة:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

هذا يعني أنه في **المقاومات الموصّلة على التوالي**:

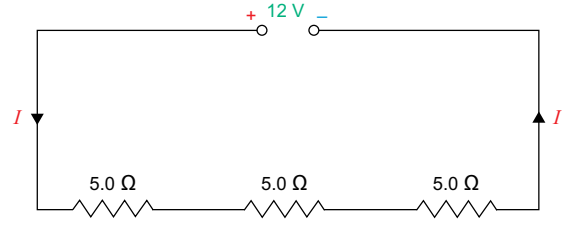
- تكون المقاومة المكافئة مساوية لمجموع المقاومات (وتكون أكبر من أي مقاومة فيها).
- تكون شدَّة التيّار الكهربائي هي نفسها في جميع نقاط الدائرة الكهربائية.
- يكون مجموع الجهود بين طرفَي كل مقاومة في الدائرة الكهربائية مساويًا لجهد المصدر.

غالبًا ما توصَّل أضواء الزينة في الشوارع على التوالي، لأن كل مصباح يعمل على فرق جُهد صغير. فإذا وُصِّل مصباح واحد بمصدر جُهد كهربائي يكون فرق الجُهد عبره كبيرًا جدًّا. وعندما توصَّل مصابيح الزينة على التوالي سوف ينقسم فرق الجُهد الكهربائي بينها جميعًا. ومن سلبيّات هذا التوصيل أنه إذا تعطَّل مصباح واحد (انقطع فتيله)، تنطفئ المصابيح جميعها لأن الدائرة الكهربائية تكون مفتوحة.

مثال ٢-١

ثلاث مقاومات قيمة كل منها (5.0 Ω)، موصَّلة على التوالي بمصدر جُهد كهربائي (12 V). احسب المقاومة المكافئة، وشدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق في الدائرة الكهربائية، وفرق الجُهد بين طرفَي كل مقاومة.

الخطوة ١: ارسم مخطّطًا للدائرة الكهربائية وضَع عليه جميع الكمّيات التي تعرفها. أضف أسهمًا لتُظهر اتّجاه تدفُّق التيّار الكهربائي.



الخطوة ٢: احسب المقاومة المكافئة.

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = 5.0 + 5.0 + 5.0$$

$$R = 15\ \Omega$$

الخطوة ٣: احسب شدَّة التيّار الكهربائي. ينتج التيّار الكهربائي عن فرق جُهد مقداره (12 V) بين طرفَي المقاومة المكافئة (15 Ω)، وبالتالي فإن شدَّة التيّار الكهربائي:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{15} = 0.8\ \text{A}$$

الخطوة ٤: احسب فرق الجُهد بين طرفَي مقاومة مفردة مقدارها (5.0 Ω)، عندما يتدفَّق عبرها تيّار كهربائي شدَّته (0.8 A). وبالتالي فإن فرق الجُهد:

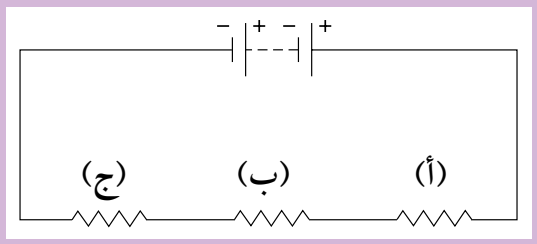
$$V = IR = 0.8 \times 5 = 4.0\ \text{V}$$

وهكذا فإن فرق الجُهد بين طرفَي كل مقاومة يبلغ (4.0 V). لاحظ أن فرق جُهد المصدر (12 V) قد قُسِّم بالتساوي على المقاومات لأن لكلّ منها مقدار المقاومة نفسه. ويمكننا إجراء هذا الحساب من دون معرفة قيمة شدَّة التيّار الكهربائي.

أسئلة

٢-٥ ما المقاومة المكافئة لمقاومتَين موصّلتَين على التوالي قيمة كل منهما (20 Ω)؟

٢-٦ وُصِّلَت ثلاث مقاومات على التوالي ببطّارية كما هو موضَّح في الشكل أدناه.



تمتلك المقاومة (أ) أكبر قيمة بين الثلاث مقاومات، شدَّة التيّار الكهربائي عبر (أ) تبلغ (1.4 A)، ماذا تقول عن شدَّة التيّار عبر كل من المقاومتَين (ب) و (ج)؟

٢-٧ كم تبلغ المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات موصّلة على التوالي قيمة كل منها (30 Ω)؟

٢-٨ ما عدد المقاومات التي يجب توصيلها على التوالي لتعطي مقاومة مكافئة قيمتها (80 Ω) إذا كانت قيمة كل منها (20 Ω)؟

توصيل المقاومات على التوازي

توصّل المصابيح في المنازل على التوازي، والسبب في ذلك أن كل مصباح منها في حاجة إلى فرق جهد مساوٍ لجهد المصدر الكهربائي ليعمل بشكل سليم. فإذا كانت المصابيح متَّصلة على التوالي فإن فرق الجهد سيكون منقسمًا فيما بينها، وستكون إضاءة كل مصباح خافتة. من مزايا توصيل المصابيح على التوازي أن كلّ مصباح يمكن أن يزوَّد بمفتاح خاص به، بحيث يمكن إضاءته بشكل منفصل، وإذا تعطّل أحد المصابيح تبقى المصابيح الأخرى مضاءة.

يوضّح الشكل ٢-١١ (أ) ثلاث مقاومات متّصلة على التوازي. تكون المقاومة المكافئة لعدَّة مقاومات متَّصلة على التوازي أقلّ من أقلّ مقاومة في الدائرة الكهربائية، إذ تُماثل زيادة مساحة المقطع العرضي للمكوّن الأومّي، وبالتالي يسهل على التيّار الكهربائي أن يتدفَّق عبرها. درستَ في الصف التاسع أن المقاومة تتناقص مع زيادة مساحة المقطع العرضي. يوضِّح الشكل ٢-١١ (ب) أن التيّار الكهربائي يتفرّع من مصدر الجهد الكهربائي ويمرّ عبر المقاومات الثلاث على التوازي.

شدَّة التيّار الكهربائي والمقاومة في الدوائر الموصَّلة على التوازي

يمكنك أن ترى من الشكل ٢-١١ (ب) تفرُّع التيّار الكهربائي ليعبر فروع دائرة التوازي. يعطي جمع شدَّة التيّارات الكهربائية المارّة عبر المقاومات الثلاث المنفصلة شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق من مصدر الجهد الكهربائي.

بمعنى آخر فإنّ شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق من المصدر تساوي مجموع شدَّة التيّارات المتدفِّقة عبر المقاومات:

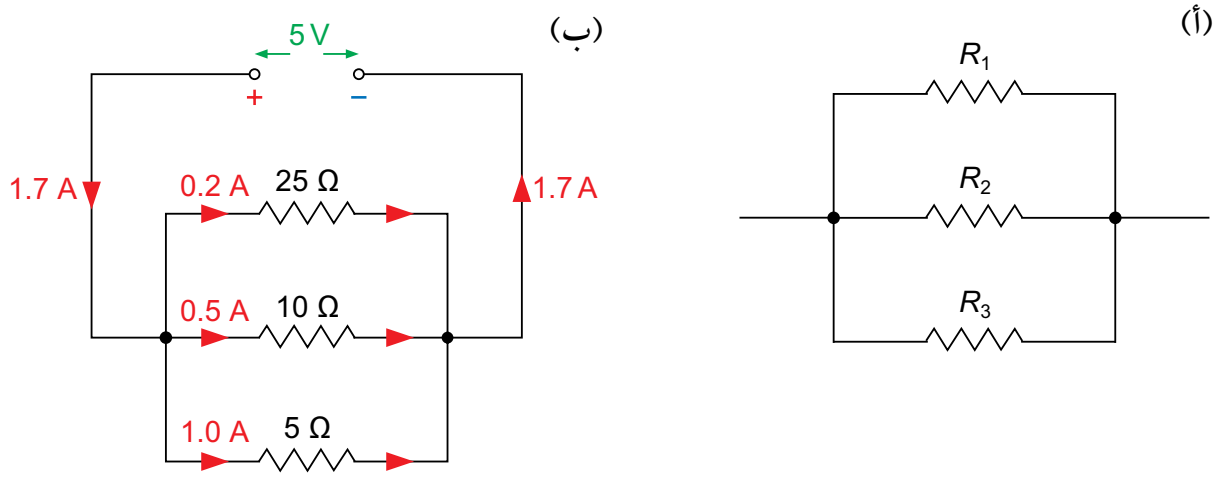
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

وسبب ذلك أنّ شدّة التيّار الكهربائي في كلّ فرع من فروع الدائرة الموصَّلة على التوازي تجتمع عند نقطة التقاء هذه الفروع.

ولحساب المقاومة المكافئة (R) للمقاومات الثلاث المتَّصلة على التوازي، نستخدم هذه المعادلة:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

يمكن حساب ذلك، إما باستخدام آلة حاسبة، أو بجمع الكسور عن طريق إيجاد المُضاعَف المشتَرك الأصغر.



الشكل ٢-١١ (أ) ثلاث مقاومات موصَّلة على التوازي. (ب) قيَم شدَّة التيّارات الكهربائية وفرق الجهد في دائرة موصَّلة على التوازي. التيّار الكهربائي المتدفِّق من المصدر يتفرّع في المقاومات

يوضّح المثال ٢-٢ كيفية استخدام هذه المعادلة وكيفية حساب المجموع عن طريق إيجاد المضاعَف المشترَك الأصغر.

هذا يعني أنه في **المقاومات الموصّلة على التوازي**:

- تكون المقاومة المكافئة أقلّ من أقلّ مقاومة في الدائرة الكهربائية.
- تكون شدَّة التيّار الكهربائي الخارج من المصدر أكبر من شدَّة التيّار الكهربائي المارّ عبر أي مقاومة.
- يكون فرق الجهد عبر كافة المقاومات هو نفسه.

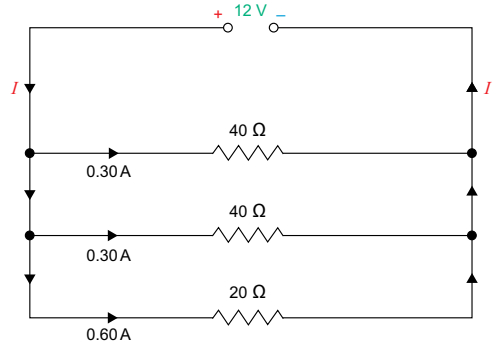
تذكّر

يتفرّع التيّار الكهربائي في دائرة على التوازي، ولكن المجموع الكلّي يجب أن يبقى كما هو؛ فالإلكترونات لا يمكن أن تفنى.

مثال ٢-٢

وُصِّلت ثلاث مقاومات على التوازي قيمة كل منها (40 Ω - 40 Ω - 20 Ω) بمصدر جهد كهربائي مقداره (12 V). احسب المقاومة المكافئة وشدَّة التيّار الكهربائي المارّ في كلّ مقاومة. ما شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق من المصدر؟

الخطوة ١: ارسم مخطَّطًا للدائرة الكهربائية وضَع عليه جميع الكمّيات التي تعرفها. أضف أسهمًا لتُظهر اتّجاه تدفُّق التيّار الكهربائي.



الخطوة ٢: احسب المقاومة المكافئة.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{40} + \frac{1}{40} + \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{40} + \frac{1}{40} + \frac{2}{40}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{4}{40}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10}$$

$$R = 10\ \Omega$$

لذا، فإن المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث هي (10 Ω).

الخطوة ٣: يبلغ فرق الجهد بين طرفَي كل مقاومة (12 V). يمكننا حساب شدَّة التيّارات باستخدام المعادلة:

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

نحصل على النتائج الآتية لشدَّة التيّارات الكهربائية:

شدَّة التيّار الكهربائي المارّ خلال المقاومة (20 Ω):

$$\frac{12}{20} = 0.60\ \text{A}$$

شدَّة التيّار الكهربائي المارّ خلال المقاومة (40 Ω):

$$\frac{12}{40} = 0.30\ \text{A}$$

كذلك يمرّ في المقاومة الأخرى (40 Ω) تيّار شدّته (0.3 A).

لاحظ أن المقاومة الأصغر (20 Ω) تكون شدَّة التيّار الكهربائي خلالها أكبر من شدَّة التيّار الكهربائي خلال المقاومة الأكبر (40 Ω).

الخطوة ٤: شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق I من المصدر هي مجموع شدَّة التيّارات الكهربائية الثلاثة المتدفِّقة عبر كل واحدة من المقاومات.

$$I = 0.6 + 0.3 + 0.3 = 1.2\ \text{A}$$

كان بإمكاننا الوصول إلى النتيجة نفسها باستخدام المقاومة المكافئة للدائرة (10 Ω) والتي وجدناها في الخطوة ٢:

$$I = \frac{12}{10} = 1.2\ \text{A}$$

هذه طريقة مفيدة للتحقّق من أنك حسبت المقاومة المكافئة بشكل صحيح.

نشاط ٢-٢

توصيل المقاومات

المهارات:

- يعالج البيانات ويعرضها ويقدِّمها بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانية والميل.
- يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.

في هذا النشاط، استخدم القيَم المعروفة للمقاومات. قد تكون هذه القيَم ضمن المدى من 5 Ω إلى 100 Ω. تعمل المقاومة التي تقلّ عن 1000 Ω بشكل أفضل في هذا النشاط. سوف تقوم بتوصيل مجموعات من المقاومات على التوالي ومجموعات على التوازي. يمكنك تشكيل مجموعات باستخدام قيَم متساوية للمقاومات. سوف تقوم بعد ذلك بقياس مقاوماتها المكافئة ومقارنتها بالقيَم المحسوبة.

١ كوِّن دائرة كهربائية باستخدام مصدر جهد كهربائي مناسب وجهاز أمّيتر وجهاز فولتميتر.

٢ اختر أربع مقاومات ذات قيم متماثلة. قُم بتوصيلها في دائرتك بشكل منفصل كلّ على حِدة، ثم قُم في كلّ مرّة بإجراء القياسات اللازمة لكلّ مقاومة بهدف حساب قيمة مقاومتها.

٣ قُم بتوصيل مقاومتَين على التوالي في الدائرة الكهربائية، وأجرِ القياسات اللازمة لتحدّد قيمة مقاومتهما المكافئة (باستخدام جهازَي الأمّيتر والفولتميتر). احسب القيمة النظرية للمقاومة المكافئة وقارنها مع قيَم تجربتك.

٤ كرّر الخطوة ٣ بتوصيل عدد أكبر من المقاومات (حتى أربع مقاومات) على التوالي.

٥ تكون المقاومة المكافئة لمقاومتَين موصَّلتَين على التوازي أقلّ من مقاومة أي مقاومة فردية. تحقّق من هذه العبارة بواسطة قياس المقاومة المكافئة لمقاومتَين موصَّلتَين على التوازي.

٦ احسب المقاومة المكافئة للمقاومتَين الموصَّلتَين على التوازي. ماذا تستنتج من القيمة المحسوبة مقارنة بالقيمة المأخوذة من قياسات التجربة؟

أسئلة

٢-٩ استخدم فكرة المقاومات الموصَّلة على التوالي، لتشرح لماذا يكون للسلك الطويل مقاومة أكبر من السلك القصير (وكلاهما مصنوعان من المادّة نفسها ولهما السمك نفسه).

٢-١٠ استخدم فكرة المقاومات الموصَّلة على التوازي، لتشرح لماذا يكون للسلك السميك مقاومة أقلّ من السلك الرفيع (وكلاهما مصنوعان من المادّة نفسها ولهما الطول نفسه).

٢-١١ وُصِّلت مقاومة (10.0 Ω) ومقاومة (20.0 Ω) على التوالي بمصدر جهد كهربائي (15.0 V).

أ. احسب شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق في الدائرة الكهربائية.

ب. أيِّ مقاومة سيكون فرق الجهد بين طرفَيها أكبر؟

٢-١٢ كم تبلغ المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات قيمة كل منها (60 Ω) موصَّلة على التوازي؟

٢-١٣ وُصِّلت مقاومتان مقدارهما (30 Ω) و (60 Ω) على التوازي، احسب مقاومتهما المكافئة.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- رموز مكوّنات الدائرة الكهربائية: خلية وبطّارية ومصدر جهد كهربائي ومفتاح ومقاومات ثابتة ومتغيّرة ومصباح وأمّيتر وفولتميتر ومنصهر.
- كيف تعمل المقاومة الضوئية والمقاومة الحرارية (الثيرمستور) كمحوِّلات إدخال.
- شدَّة التيّار الكهربائي في جميع نقاط دائرة كهربائية موصَّلة على التوالي هي نفسها.
- شدَّة التيّار الكهربائي وفروق الجهد للمكوِّنات في دائرة كهربائية موصَّلة على التوالي.
- شدَّة التيّار الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي في دوائر موصَّلة على التوازي.
- المقاومة المكافئة لمقاومتَين موصَّلتَين على التوازي ومقاومتَين أو أكثر موصَّلتَين على التوالي.

أسئلة نهاية الوحدة

١ اكتب اسم كل رمز من رموز الدائرة الكهربائية الآتية:

أ.

ب.

ج.

٢ ارسم رمز كلّ مكوّن من المكوّنات الآتية في الدائرة الكهربائية:

أ. بطّارية

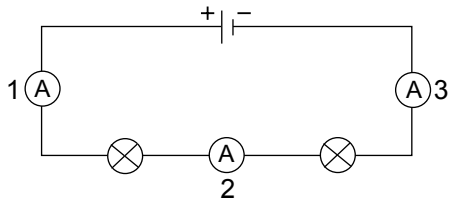
ب. مقاومة متغيِّرة

ج. مقاومة حرارية (ثيرمستور)

د. مقاومة ضوئية

هـ. مصباح

٣ لدى قيس ثلاثة أجهزة أمّيتر متشابهة، وهو يعرف أن واحدًا منها يعمل بشكل سليم ويعطي قراءات دقيقة، **ولا** يعرف ما إذا كان الجهازان الآخران دقيقَين أم لا. يوصّل قيس أجهزة الأمّيتر الثلاثة في الدائرة الكهربائية كما هو موضّح.



جاءت قراءات أجهزة الأمّيتر كالآتي:

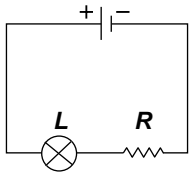
$A_1 = 2.0$ A

$A_2 = 1.7$ A

$A_3 = 1.4$ A

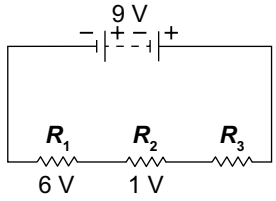
هل يمكن التوصُّل إلى الأمّيتر السليم من هذه القراءات؟ اشرح إجابتك.

٤ يوضّح مخطَّط الدائرة الكهربائية أدناه دائرة موصَّلة على التوالي مزوَّدة بمصدر جهد كهربائي ومصباح (**L**) ومقاومة (**R**)، فإذا كان فرق الجهد بين طرفَي المصباح هو (4 V) وبين طرفَي المقاومة هو (8 V)،



احسب فرق الجهد بين طرفَي مصدر الجهد الكهربائي.

٥ يوضّح المخطّط أدناه دائرة كهربائية تحتوي على ثلاث مقاومات مختلفة موصّلة على التوالي، فإذا كان فرق الجهد بين طرفَي R_1 هو (6 V) وفرق الجهد بين طرفَي R_2 هو (1 V)،



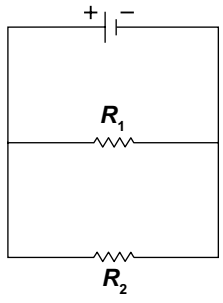
احسب فرق الجهد بين طرفَي R_3.

٦ تحتوي دائرة كهربائية على ثلاث مقاومات مختلفة موصَّلة على التوالي هي R_1 و R_2 و R_3.

أ. اكتب معادلة المقاومة المكافئة (R) في الدائرة الكهربائية بدلالة R_1 و R_2 و R_3.

ب. دائرة كهربائية أخرى فيها ثلاث مقاومات متماثلة موصّلة على التوالي مع بطارية (12 V)، وتبلغ شدَّة التيّار الكهربائي فيها (2 A). احسب قيمة **إحدى** تلك المقاومات.

٧ يوضّح مخطَّط الدائرة الكهربائية أدناه مقاومتَين متماثلتَين موصَّلتَين على التوازي.



استخدم الكلمات (**أكبر من** أو **أصغر من** أو **تساوي**) لتوضِّح الآتي:

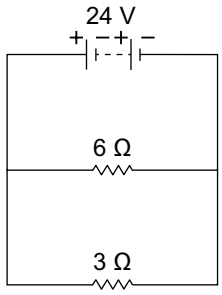
أ. يكون فرق الجهد بين طرفَي الخلية، ..... فرق الجهد بين طرفَي كل مقاومة.

ب. تكون شدَّة التيّار الكهربائي عبر الخلية ..... شدَّة التيّار الكهربائي عبر كل مقاومة.

ج. تكون المقاومة المكافئة ..... أقلّ مقاومة في الدائرة الكهربائية.

د. تكون شدَّة التيّار الكهربائي عبر R_1 ..... شدَّة التيّار الكهربائي خلال R_2.

٨ يُظهر مخطَّط الدائرة الكهربائية أدناه مقاومتَين موصَّلتَين على التوازي مع بطارية (24 V).



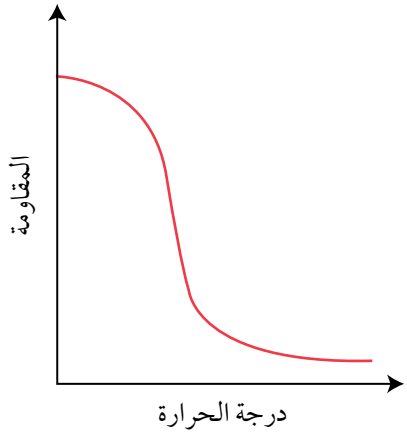
أ. احسب شدَّة التيّار الكهربائي خلال المقاومة (6 Ω).

ب. احسب شدَّة التيّار الكهربائي عبر البطارية.

٩ مبنى مدرسة فيه 10 غرف صفّية، وتحتوي كل غرفة على مصباح كهربائي واحد. تتزوّد جميع المصابيح من مصدر الجهد الكهربائي الأساسي نفسه وبفرق جهد (220 V)، ويعمل كل مصباح بفرق جهد (220 V).

اذكر **سببَين** لتوصيل المصابيح في كل غرفة صفّية على التوازي وليس على التوالي.

١٠ يوضِّح التمثيل البياني كيف تختلف مقاومة حرارية ذات مُعامِل حراري سالب (NTC) باختلاف درجة الحرارة.



استخدم التمثيل البياني لشرح معنى المُعامِل الحراري السالب.

١١ وضِّح بالتمثيل البياني كيف تعتمد المقاومة الضوئية (LDR) على شدَّة الضوء.

الوحدة الثالثة

مخاطر الكهرباء Dangers of Electricity

تُغطّي هذه الوحدة:

- تحديد مخاطر الكهرباء.
- كيف تحمي المنصهرات الدوائر الكهربائية.
- كيف يتمّ اختيار المنصهرات المناسبة للدائرة الكهربائية.

٣-١ المخاطر الكهربائية

يوصِّل جسم الإنسان الكهرباء، لأن ماء الجسم يحتوي على العديد من الأيونات المذابة فيه. وعندما يتعرّض شخص ما لصدمة كهربائية، فإن تيّارًا كهربائيًّا يتدفَّق خلال جسمه، ويكون التيّار الكهربائي خطِرًا جدًّا إذا زادت شدّته عن 0.01 A. فالتيّار الكهربائي المتدفِّق عبر الجسم يجعل العضلات تنقبض بشدَّة، وقد يتوقَّف القلب، أو تحدث حروق في الجلد. وتكون مصادر الجهد الكهربائي الرئيسية خطرة بسبب فرق الجهد الكبير المستخدَم فيها. فإذا لمستَ سلكًا مكشوفًا عند فرق جهد 220 V، فقد تصاب بصدمة كهربائية مميتة. وسوف تتعرَّف هنا على بعض المكوّنات الكهربائية التي تساعدك على استخدام الدوائر الكهربائية بأمان.

الكابلات الكهربائية

يتمّ اختيار الكابلات التي تنقل التيّار الكهربائي المنزلي بعناية. وتُظهر الصورة ٣-١ بعض الأمثلة على ذلك. فلكلّ واحدٍ من الكابلات حدّ أقصى من شدَّة التيّار الكهربائي الذي صُمِّم لنقلها. فكابل شحن الهاتف في الصورة ٣-١ (أ) رفيع نسبيًّا، لأنه صُمِّم لنقل تيّار كهربائيّ صغير، في حين أنّ كابل شحن السيارة الكهربائية في الصورة ٣-١ (ب) أكثر سمكًا، لأنّه صُمِّم لنقل تيّار كهربائي كبير دون أن يؤدّي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارته.

(أ)

(ب)

الصورة ٣-١ يتمّ اختيار الكابلات المختلفة السمك وفقًا لأقصى تيّار كهربائي يمكن أن يتدفَّق خلالها. (أ) يتطلَّب شحن الهاتف شدَّة تيّار كهربائي في حدود 1 A. (ب) بينما يحتاج شحن السيّارة الكهربائية إلى أكثر من 30 A

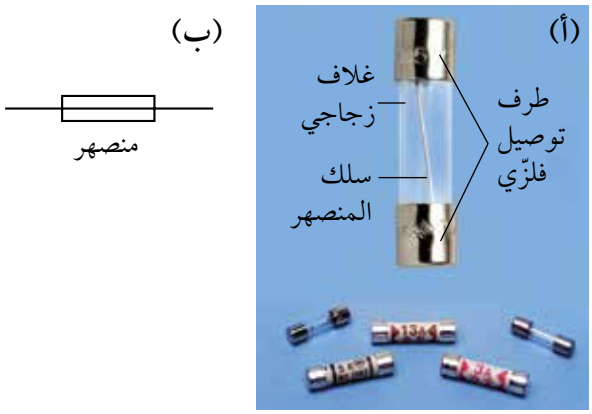
تكون الأسلاك في كل كابل معزولة بعضها عن بعض، ويكون للكابل ككلّ عازل إضافي يلفّه من الخارج. فإذا تلف هذا العازل، يُحتمَل أن يلمس المستخدم السلك المكشوف ويتلقّى صدمة كهربائية. ويُحتمَل أيضًا أن يتدفَّق التيّار الكهربائي بين سلكَين مكشوفَين داخل الكابل، أو من أحد الأسلاك المكشوفة وأيِّ قطعة فلزّية تلامسه.

وقد ينشأ خطر آخر، إذا تدفَّق تيّار كهربائي كبير في الأسلاك، ذلك أنّها ستسخن، الأمر الذي يؤدّي إلى انصهار العازل، متسبِّبًا في انبعاث أبخرة سامّة أو حتى اشتعال نار. لذلك يكون من الضروري تجنُّب استخدام الأجهزة الكهربائية التي يتطلّب تشغيلها تيّارًا كهربائيًّا شدَّته كبيرة والموصّلة بمصدر جهد كهربائي يُستخدَم فيه كابل غير مناسب. وهنا يأتي دور المنصهرات التي تُساعد على تجنُّب حدوث مثل هذه المخاطر، كما سيتّضح في الموضوع الآتي.

كذلك من المهمّ تجنُّب حالات الرطوبة أو البلل عند استخدام التيّار الكهربائي، حيث أن الماء موصِّل للكهرباء. واحذر أن تلمس أي جهاز كهربائي ويداك مبلَّلتان، لأنّ الماء يوفّر مسارًا لتدفُّق التيّار الكهربائي عبر جسمك إلى الأرض، وقد يكون ذلك مميتًا.

٣-٢ المنصهرات

يتمّ وضع المنصهرات في الدوائر الكهربائية لوقف التيّارات الكبيرة وغير المناسبة من التدفُّق عبرها. يتكوّن **المنصهر Fuse** من قطعة رفيعة من سلك موضوع داخل غلاف من الزجاج (الصورة ٣-٢)، صُمِّم ذلك السلك لينصهر ويقطع التيّار الكهربائي إذا تجاوزت شدَّته قيمة معيَّنة. فكلّما كان السلك أسمك، كانت شدَّة التيّار الكهربائي اللازمة لجعله «ينصهر» أكبر. يمثّل المنصهر الوصلة الضعيفة في حلقة مصدر الإمداد بالتيّار الكهربائي؛ لذلك يُفضَّل استبدال المنصهر بدلًا من استبدال أسلاك المنازل جميعها.



الصورة ٣-٢ (أ) أجزاء المنصهر. (ب) رمز المنصهر في الدائرة الكهربائية

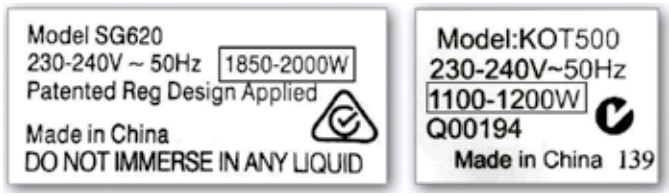
مصطلحات علمية

المنصهر Fuse: مكوّن كهربائي يُستخدَم لحماية الأجهزة من التلف عند تدفُّق التيارات الكهربائية عالية الشدّة في الدائرة الكهربائية.

يجب اختيار المنصهر ذي القيمة المناسبة من أجل حماية الجهاز؛ ولذلك يجب تقدير قيمة شدَّة التيّار الكهربائي للمنصهر بحيث تكون أعلى بقليل من قيمة شدَّة تيّار التشغيل الذي يعمل عليه الجهاز بشكل طبيعي (انظر المثال ٣-١).

درست سابقًا مفهوم القدرة الكهربائية في الصف التاسع. تُحسب القدرة الكهربائية (P) من القوّة الدافعة الكهربائية (e.m.f.) لمصدر الجهد الكهربائي أي فرق الجهد (V) ومن شدّة التيّار الكهربائي (I)، باستخدام المعادلة $P = V I$.

تتضمَّن الأجهزة الكهربائية المنزلية عادةً مُلصقًا للمعلومات يعطي قيَم V و P اللازمة للجهاز كي يعمل بشكل سليم (انظر الصورة ٣-٣).



الصورة ٣-٣ يوضع مثل هذا الملصق على الجهة الخلفية أو السفلى للأدوات الكهربائية المنزلية

إذا أخذنا القدرة القصوى للجهاز بالوات (W) وفرق الجهد الكهربائي لمصدر الجهد الكهربائي الرئيسي، يمكننا حساب شدّة التيّار الكهربائي اللازمة للجهاز باستخدام $I = \frac{P}{V}$. ثمّ نختار قيمة شدّة التيّار الكهربائي للمنصهر بحيث تكون أعلى بقليل من القيمة المحسوبة لدينا.

مثال ٣-١

مدفأة قدرتها (2 kW)، تعمل بجُهد كهربائي (220 V). ما مقدار شدَّة تيّار المنصهر المناسب لها؟ اختر أحد المنصهرات الآتية: (3 A) و (13 A) و (30 A).

الخطوة ١: استخدم المعادلة $P = V I$ لحساب شدَّة التيّار الكهربائي الذي يتدفَّق خلال المدفأة.
شدَّة التيّار الكهربائي المتدفِّق:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2000}{220} = 9.1 \text{ A}$$

الآن وبعد أن عرفتَ شدّة التيار الكهربائي للمدفأة، فكّر في الخيارات وأيها مناسب كمنصهر للمدفأة.

الخطوة ٢: لن ينصهر المنصهر (30 A)، لكنه غير مناسب؛ لأنه سيسمح بتدفُّق تيّار كهربائي كبير شدَّته (20 A) على سبيل المثال. ممّا يؤدّي إلى ارتفاع درجة حرارة المدفأة.

الخطوة ٣: المنصهر (13 A) هو الاختيار السليم، لأن له أدنى قيمة شدَّة تيّار كهربائي فوق شدَّة تيّار التشغيل الطبيعي للمدفأة.

نشاط ٣-١ (إثرائي)

تقييم مخاطر الكهرباء

المهارة:

- يقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.

اكتشف المزيد عن المخاطر الكهربائية.

اقترح ما إذا كان ممكنًا أن تحدث أيّ من هذه المخاطر في تجارب مختبر المدرسة، واقترح الاحتياطات التي يمكن أن تتَّخذها أنت أو معلّمك.

أسئلة

٣-١ أ. تيّار كهربائي شدَّته (3.5 A) يتدفَّق في مجفِّف شعر. اختر منصهرًا مناسبًا له من المنصهرات الآتية: (3 A)، (5 A)، (13 A)، (30 A). اشرح سبب اختيارك.

ب. غلاية كهربائية قدرتها (1300 W)، تعمل بفرق جهد (220 V). اشرح أي من المنصهرات السابقة يجب استخدامه مع الغلاية.

٣-٢ لماذا تُركَّب المنصهرات في قوابس الأجهزة الكهربائية؟

٣-٣ ما المخاطر التي قد تنشأ عند تدفُّق تيّار كهربائي شدَّته مرتفعة جدًّا في سلك كهربائي؟

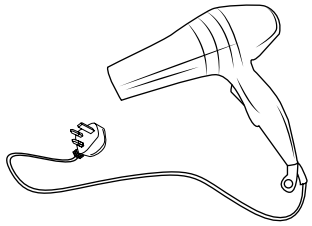
ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تحديد المخاطر الكهربائية.
- كيف يحمي المنصهر الدائرة الكهربائية.
- كيف يتمّ اختيار المنصهرات المناسبة للدائرة الكهربائية.

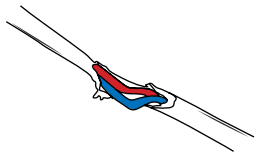
أسئلة نهاية الوحدة

١ مجفِّف شعر يعمل بواسطة مصدر جُهد كهربائي رئيسي بفرق جُهد (220 V).



أ. لماذا يُفضّل عدم استخدام مجفِّف الشعر في الحمّام؟

ب. أصاب التلف سلك التيّار الكهربائي للمجفِّف، كما هو موضّح في الرسم أدناه.
فالعازل الخارجي تالف، ولكن الموصِّل النحاسي **غير** مكشوف.

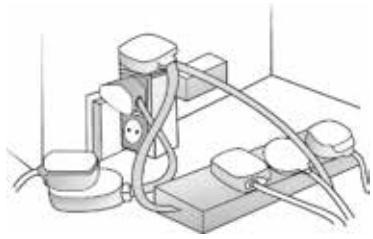


يقول سعيد: «إن استخدام مجفِّف الشعر هذا لا يزال آمنًا، لأن السلك النحاسي بداخله غير مكشوف».

ويقول هيثم: «يجب عدم استخدام مجفِّف الشعر هذا، لأن من الخطر استخدامه في هذه الحالة وهو موصَّل بمصدر جهد كهربائي».

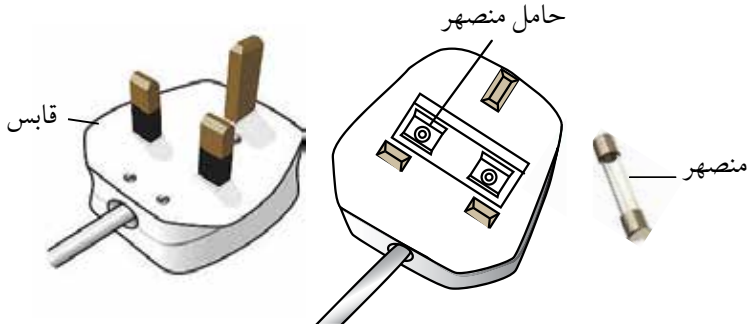
مَن منهما رأيه صائب؟ اشرح ذلك.

٢ يُوضّح الرسم التخطيطي الآتي العديد من الأجهزة الكهربائية الموصولة بمقبس رئيسي واحد.



صِف مخاطر استخدام مقبس التيّار الكهربائي بهذه الطريقة.

٣ يُبيّن الرسم التخطيطي الآتي قابس تيّار كهربائي ومنصهرًا في القابس.



أ. اشرح كيف يحمي المنصهر الدائرة الكهربائية المتَّصلة بالقابس.

ب. تتوفَّر ثلاثة منصهرات مختلفة تناسب حامل المنصهر في هذا القابس، قُدِّرت بـ (3 A) و (5 A) و (13 A).
يستخدم الجهاز المتَّصل بالقابس تيّارًا كهربائيًّا تتراوح شدَّته بين (2.1 A) و (4.5 A).
أيّ من المنصهرات الثلاثة يجب استخدامه؟ اشرح إجابتك.

الوحدة الرابعة

تأثيرات القوى Effects of Forces

تُغطّي هذه الوحدة:

- تحديد القوى المؤثّرة على الجسم.
- كيف تغيّر مُحصِّلة القوى حركة الجسم أو شكله.
- كيف ترتبط مُحصِّلة القوى بكل من الكتلة والتسارع.
- كيف تجعل القوّة جسمًا مرنًا يستطيل.
- قانون هوك وثابت الزنبرك.
- مفهوم حدّ التناسب.

٤-١ القوى المؤثّرة على قطار الملاهي

يستمتع بعض الناس كثيرًا بالتسارع والتباطؤ المفاجئَين. تتضمَّن العديد من ألعاب الملاهي تغيُّرات مفاجئة في السرعة؛ فقد تزداد سرعة قطار الملاهي (الصورة ٤-١) كأن تتحرّك مقطورتك إلى أسفل منحدر. وعندما تنحرف إلى اليسار فجأة، فأنت عندئذٍ تتسارع جانبيًا. يُنتج الكبح المفاجيء تسارعًا سالبًا كبيرًا (تباطؤًا)، وعليك أن تُثبِّت نفسك في مقعدك لئلّا تندفع خارج العربة بسبب تلك التغيُّرات المفاجئة في السرعة.

ما القوى التي تؤثّر على قطار الملاهي؟ عندما يتحرّك قطار الملاهي بسرعة إلى الأسفل، يكون تسارعك حوالي $10\ m/s^2$ تقريبًا، وبما أن $10\ m/s^2$ هو نفسه تسارع السقوط الحر، g يمكننا القول إنّ هذا التسارع يبلغ $1\ g$؛ فذلك يعني أن القوّة المؤثّرة عليك تساوي وزنك. وعمدنا في الحالات التي يكون فيها التسارع كبيرًا أن نسمّي القوة g-force، وأن تكون وحدتها g. وهكذا تكون القوّة المؤثّرة عليك $1\ g$. عندما يُبطئ قطار الملاهي فجأة، قد يصل تسارعه إلى $4\ g$؛ يعني ذلك أن القوَّة المؤثِّرة عليك تكون أكبر بأربع مرّات من وزنك؛ نقول عندئذ إنّها تساوي $4\ g$.

على سبيل المثال، إذا بدأ قطار الملاهي بالتحرُّك فجأة نحو الأعلى، فسوف يتمّ دفعك إلى الأسفل نحو مقعدك بقوَّة أكبر بكثير من وزنك الذي تحدِّده القوَّة-g.

تعلّم مصمِّمو قطار الملاهي كيف يجعلونك تستمع بالمنعطفات والتقوّسات المفاجئة، وقد تكون خائفًا أو مبتهجًا. وفي أي حال، ومهما يكن شعورك آنذاك، يمكنك إزالة توتُّرك بالصراخ.

الصورة ٤-١ تخضع حركة قطار الملاهي لتغيُّرات كثيرة ومُتلاحقة في السرعة. تمنح حالات التسارع والتباطؤ تلك الركّاب تشويقًا ومتعة. لقد حسب مصمِّمو القطار حالات التسارع بعناية، للتأكّد من أن العربات لن تخرج عن مسارها، وأنّ الركّاب لن يندفعوا خارج العربة

٤-٢ القوى المؤثّرة على المركبة الفضائية

يتطلَّب رفع مكّوك الفضاء العملاق عن منصَّة الإطلاق ودفعه إلى الفضاء قوَّة هائلة (الصورة ٤-٢). وهذه مهمّة الصواريخ المساندة التي تزوّد الدفع الأوّلي بقوَّة تبلغ الملايين بوحدة النيوتن. وكلّما تسارعت المركبة الفضائية صعودًا، أحسّ فريق روّاد الفضاء بضغط شديد إلى الوراء نحو مقاعدهم؛ وهكذا يعرفون أن مركبتهم تتسارع.

الصورة ٤-٢ يتسارع مكّوك الفضاء مبتعدًا عن منصَّة الإطلاق، إذ توفِّر صواريخ عدَّة القوَّة المطلوبة. وبمجرّد أن يستهلك كل صاروخ كل ما لديه من وقود، يتمّ التخلُّص منه بهدف تقليل الكتلة المحمولة إلى الفضاء

محصِّلة القوى تُغيِّر الحركة

كان المكّوك الفضائي في لحظة ما، مستقرًّا على الأرض. وفي لحظة الإقلاع، تسارع إلى أعلى، مدفوعًا بالقوَّة التي وفّرتها الصواريخ.

سنتطرّق في هذه الوحدة إلى تأثير القوى، سواءً كانت دفعًا أو شدًّا، على حركة الأجسام أو على تغيير شكلها. وسوف تعرف أنّ الوحدة المُستخدَمة في قياس القوى هي النيوتن (N). ولإعطاء فكرة عن مقادير القوى المختلفة، إليك بعض الأمثلة:

- رفع تفّاحة: القوَّة اللازمة لرفع تفّاحة هي نيوتن واحد تقريبًا (1 N).
- القفز في الهواء: توفّر عضلات ساقَيك القوّة اللازمة لتقفز في الهواء والتي تبلغ حوالي 1000 N.
- وصولك بالسيّارة إلى الطريق السريع، بضغط قدمك على دوّاسة الوقود: يوفّر المحرِّك قوَّة تبلغ حوالي 5000 N لتتسارع السيّارة إلى الأمام.

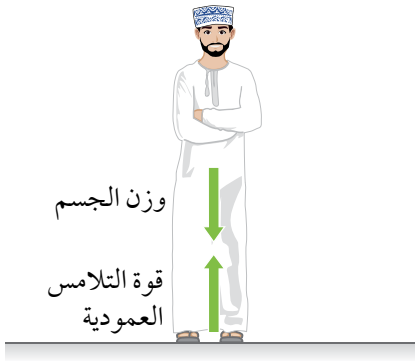
- عند التحليق في طائرة بوينج 787 يوفّر المحرِّكان معًا قوّة دفع تبلغ حوالي 620 000 N.

بعض القوى المهمّة

تظهر القوى عندما يؤثّر جسمان أحدهما على الآخر، ويبيّن الشكل ٤-١ بعض القوى المهمّة. تُمثَّل كل قوّة بسهم لإظهار اتّجاهها.

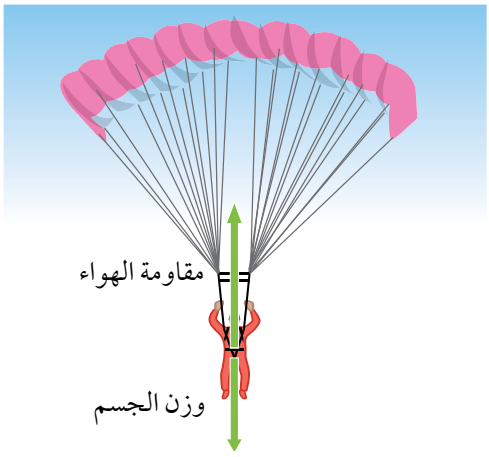
قوّة التلامس Contact force هي قوّة تعمل صعودًا من سطح معيَّن لدعم شيء ما. فإذا كان لدينا سطح أفقي لا يتحرَّك، فسوف تكون قوّة التلامس عليه مساوية لوزن الجسم ومعاكسة له كما في الشكل ٤-١ (أ). تنتج هذه القوّة من الإلكترونات السالبة المتحلّقة حول الذرّة والتي تدفع إلكترونات الذرّة المجاورة لئلّا تقترب من بعضها البعض.

(أ)



وزن الجسم هو قوّة جذب الأرض له نحو مركزها. يؤثِّر الوزن دائمًا رأسيًّا إلى الأسفل. عندما يتلامس جسمان تنشأ بينهما قوّة تلامس عمودية إلى الأعلى هي التي توقف سقوطك عبر الأرضية.

(ج)



مقاومة الهواء هي قوّة الاحتكاك عندما يتحرَّك الجسم عبر الهواء.

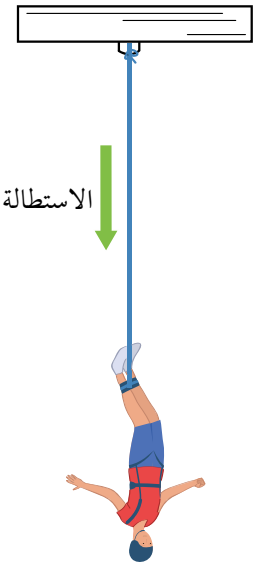
الاحتكاك Friction قوّة تنشأ بين أيِّ سطحَي جسمَين صلبَين متلامسَين. يبيّن الشكل ٤-١ (ب) أنّ الصندوق لا يتحرّك في البداية، لوجود احتكاك بين الصندوق والأرضية، وحتى قبل أن يبدأ الصندوق بالتحرُّك؛ لذلك يجب على الرجل أن يدفع الصندوق بقوّة أكبر من قوّة الاحتكاك.

قد يكون الاحتكاك مفيدًا في بعض الأحيان كما في الشكل ٤-١ (ج)، وغير مرغوب في أحيانٍ أخرى. فالمكابح والإطارات في المركبات التي تسير على الطرق يكون فيها الاحتكاك مفيدًا. وفي المقابل يكون الاحتكاك غير مرغوب في المحرِّكات مثلًا؛ لأنّه يسبِّب تآكل الأجزاء المتحرِّكة فيها. ويمكن استخدام الزيت كمادّة تشحيم لتقليل قوّة الاحتكاك في بعض الحالات.

(ب)

تعاكس قوّة الاحتكاك الحركة. ذلك أنّ الاحتكاك يؤثّر في الاتّجاه المعاكس لاتّجاه الحركة.

(د)



قوّة الاستطالة تزيد من طول المادّة المرنة، كأن يسبّب وزنك استطالة حبل القفز (حبل بنجي).

الشكل ٤-١ بعض القوى الشائعة

عندما تفرك يدًا بيَد فأنت تمارس احتكاكًا. سوف تلاحظ أن يدَيك تسخنان بسرعة؛ ذلك أن الاحتكاك يولّد حرارة. وأنت تذكُر من الصف التاسع أن التسخين يؤدّي إلى فَقد الطاقة الحرارية؛ لذلك تسبِّب قوَّة الاحتكاك هدرًا في الطاقة.

مصطلحات علمية

الاحتكاك Friction: قوّة تعمل بين سطحَي جسمَين متلامسَين صلبَين لمُقاوَمة الحركة.

نشاط ٤-١

استقصاء الاحتكاك

المهارات:

- يبرّر اختيار الأجهزة والموادّ والأدوات لاستخدامها في إجراء التجارب.
- يصف الخطوات التجريبية والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يكوّن التنبّؤات والفرضيات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة).
- يحدِّد المتغيرات ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكم ببعض المتغيّرات.
- يرسم الأشكال التخطيطية للجهاز ويُسمّي أجزاءه.
- يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.
- يحدِّد الأسباب المحتملة لعدم دقة البيانات أو الاستنتاجات ويقترح التحسينات المناسبة للخطوات التجريبية والتقانة المستخدمة.

تعتمد قوّة الاحتكاك بين سطحَين على متغيّرات تتضمَّن طبيعة المواد المتلامسة. فعندما تُسحَب كتلة إلى أعلى منحدَر، ينشأ احتكاك بين الكتلة والمنحدَر.

١ خطّط استقصاءً لتحدِّد كيف تعتمد قوّة الاحتكاك على ارتفاع المنحدَر. اكتب خطّتك بتفاصيل كافية بحيث يتمكّن شخص آخر من إجراء الاستقصاء بالخطوات نفسها تمامًا. أضف إلى خطّتك أي أداة ستستخدم، مثل الميزان الزنبركي. أضف أيضًا توقّعاتك وتبرير ذلك مستخدمًا فهمك للقوى.

٢ أجرِ الاستقصاء وسجّل نتائجك واعرضها بطريقة مناسبة، واستخلص استنتاجًا من هذه النتائج. هل تدعم نتائجك توقّعك؟

٣ هل واجهتَ صعوبات في الحصول على نتائج دقيقة؟ إذا واجهتها، فهل يمكنك اقتراح تحسينات للتغلّب على تلك الصعوبات؟

محصِّلة القوى تُنتِج التسارع

ينتظر سائق السيّارة في الشكل ٤-٢ (أ) تغيُّر إشارة المرور. فعندما تتحوَّل الإشارة إلى اللون الأخضر، يتحرَّك إلى الأمام. تتسبَّب القوَّة التي يوفّرها المحرّك في تسارع السيّارة. وخلال ثوانٍ قليلة تتحرَّك السيّارة بسرعة معيّنة على طول الطريق. يوضِّح السهم في المخطَّط القوَّة التي تدفع السيّارة إلى الأمام. فإذا أراد السائق الابتعاد عن إشارة المرور بسرعة أكبر، فما عليه إلا الضغط بقوَّة على دوّاسة الوقود؛ عندئذٍ تصبح القوَّة أكبر ويصبح تسارع السيارة أكبر.

عندما يصل السائق إلى مفترق طرق يضطر إلى التوقُّف، وعليه بالتالي أن يستخدم المكابح؛ حيث توفّر المكابح قوَّة أخرى تبطئ من سرعة السيّارة كما في الشكل ٤-٢ (ب). وبما أن السيّارة تتحرّك إلى الأمام، فإنّ القوَّة اللازمة لجعلها تتباطأ يكون اتّجاهها إلى الخلف. وإذا أراد السائق التوقُّف بسرعة فإنه يحتاج إلى قوَّة أكبر؛ لذلك يجب عليه أن يضغط بشدَّة على دوّاسة المكابح، وسيكون عندئذٍ تباطؤ السيّارة أكبر.

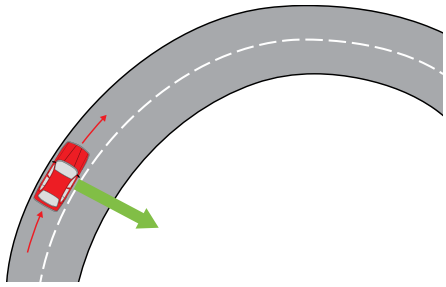
(أ)

(ب)

الشكل ٤-٢ يمكن تمثيل القوَّة بسهم. (أ) تتسبَّب القوَّة التي يوفّرها المحرّك بتسارع السيّارة إلى الأمام. (ب) وتتسبَّب القوَّة التي توفّرها المكابح في تباطؤ السيّارة

محصِّلة القوى قد تُغيّر اتّجاه الحركة

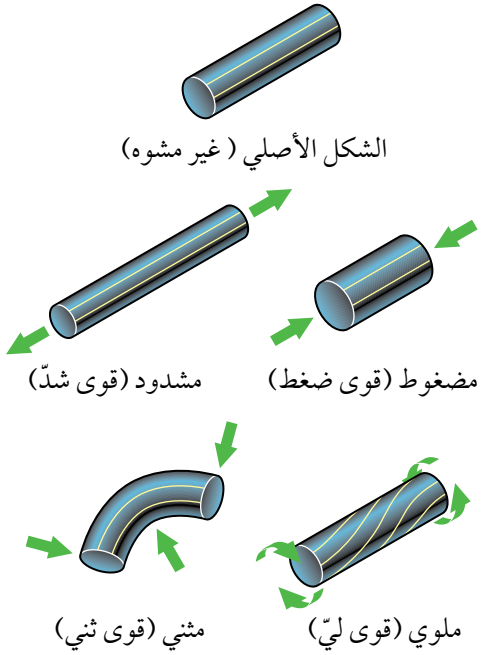
يريد السائق الانعطاف، فيدير عجلة القيادة. وهذا يُنتج قوَّة جانبية تؤثّر على السيّارة كما هو موضّح في الشكل ٤-٣، لذلك تُغيّر اتّجاهها.



الشكل ٤-٣ تتسبَّب القوَّة الجانبية في تغيير اتّجاه السيّارة

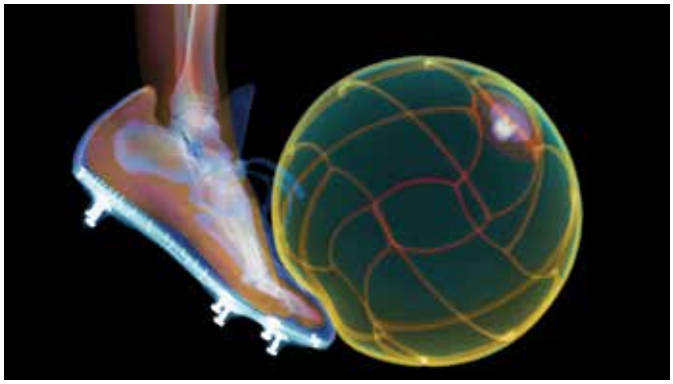
القوى تُسبّب تغييرات في الشكل

تستطيع القوى أن تُغيّر حجم الجسم وشكله، حيث يمكنها شدّ الجسم أو سحقه أو ثنيه أو ليّه. يوضِّح الشكل ٤-٤ القوى اللازمة لتغيير شكل الجسم بتلك الطرق المتنوِّعة. تخيّل أنّك تحمل أسطوانة من المطّاط الإسفنجي الذي يسهل تغيير شكله بكل من تلك الطرق. فالمطّاط الإسفنجي يوضّح كيف تتغيّر أشكال الأشياء، لأنه يعود إلى شكله الأصلي متى ما أُزيل تأثير القوى عنه.



الشكل ٤-٤ تستطيع القوى تغيير حجم الجسم الصلب وشكله. تبيّن هذه الرسوم أربع طرق مختلفة لتغيير شكل جسم صلب

يعدّ ركل كرة القدم والقفز بحبال القفز مثالَين على تغيُّر أشكال الأجسام. فعندما تُركل كرة القدم تُضغَط لفترة قصيرة (انظر الصورة ٤-٣) وتعود بعد ذلك إلى شكلها الأصلي عندما تندفع بعيدًا عن قدم اللاعب الذي ركلها، وهذا مثال على التشوّه المرن. وكذلك الحال مع كرة التنس عند ضربها بمضرب.



الصورة ٤-٣ تبيّن هذه الصورة الرائعة بالأشعة الملوّنة (السينية) كيف تُضغَط كرة القدم عند ركلها. يُضغَط الحذاء قليلاً أيضًا، ولكن بما أنّه أصلب من الكرة، يكون التأثير عليه أقلّ وضوحًا

يعتمد لاعبو القفز بالحبال على مرونة الحبل المطّاطي (حبل بنجي) كما في الشكل ٤-١ (د).

تتميّز بعض الموادّ بأنّ مرونتها أقلّ؛ لذلك تتشوّه بشكل دائم عندما تخضع لتأثير القوى.

عندما تتصادم سيّارتان فإن الألواح الفلزّية الخارجية لهيكلَيهما تنثني. وفي الحوادث الخطيرة تنثني الأجزاء الفلزّية الصلبة لهيكل كلّ من السيّارتَين أيضًا.

ويُعتبر الذهب والفضة من الفلزّات التي يمكن تغيير شكلها بالطرق عليها. وقد عرف الناس منذ آلاف السنين كيفية تشكيل الحليّ من تلك الفلزّات النفيسة.

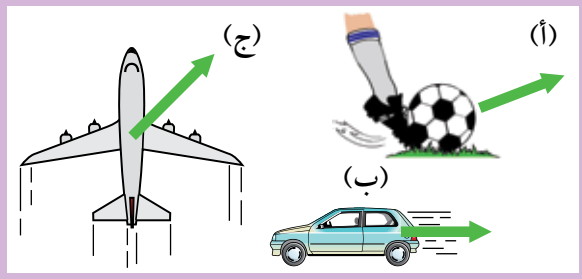
والآن سوف نلخّص ما تعلمناه عن القوى على النحو الآتي:

- يمكن تمثيل القوى بالأسهم. حيث يبيّن اتّجاه السهم اتّجاه القوَّة.

- يمكن أن تؤدّي محصِّلة القوى إلى تغيير سرعة الجسم (تسارعه أو تباطؤه)، حيث تجعل القوَّة المتَّجهة إلى الأمام الجسم يتسارع، بينما تجعله القوَّة المتَّجهة إلى الخلف يتباطأ.
- يمكن للقوَّة أن تغيِّر اتّجاه حركة الجسم.
- قد تسبِّب محصِّلة القوى تمديد الأجسام أو تقليصها أو تغيير شكلها.

سؤال

٤-١ تُظهِر الرسوم التخطيطية ثلاثة أجسام تتحرَّك. تؤثِّر محصِّلة قوى على كل جسم منها على حدة. صِف كيف ستتغيَّر حركة كل جسم من هذه الأجسام.



حساب محصّلة القوى

فكّر في الرجل الذي يدفع الصندوق في الشكل ٤-١ (ب). فبمجرَّد أن يتحرَّك الصندوق، تعمل قوّة الاحتكاك في الاتّجاه المعاكس للاتّجاه الذي يدفع به الرجل. فإذا كانت قوَّة الدفع أكبر من قوّة الاحتكاك، تكون هناك محصّلة قوى باتّجاه قوَّة الدفع وبالتالي يتسارع الصندوق.

تتحرَّك السيّارة الموضّحة في الشكل ٤-٥ (أ) بسرعة، حيث يوفّر محرِّكها قوَّة لتسريعها إلى الأمام، ولكن هناك قوَّة أخرى تعمل على إبطاء السيّارة. هذه القوَّة هي **مقاومة الهواء Air resistance**، وهي شكل من أشكال قوَّة الاحتكاك. تنشأ مقاوَمة الهواء عندما يتحرَّك الجسم فيه. يُعرقل الهواء حركة الجسم، فينتج قوَّة تعمل في الاتّجاه المعاكس لاتّجاه حركته. هاتان القوَّتان في الشكل ٤-٥ (أ) هما:

- قوَّة دفع المحرِّك = 600 N إلى الأمام.
- مقاومة الهواء = 400 N إلى الخلف.

يمكن حساب محصِّلة هاتَين القوَّتَين بطرح إحداهما من الأخرى لإعطاء **محصِّلة القوى Resultant force** المؤثِّرة على السيّارة.

محصِّلة القوى هي القوّة التي لها نفس تأثير قوَّتَين أو أكثر على جسم ما.

لذلك فإنّ محصّلة القوى في الشكل ٤-٥ (أ) تكون:

$$= 600 - 400$$

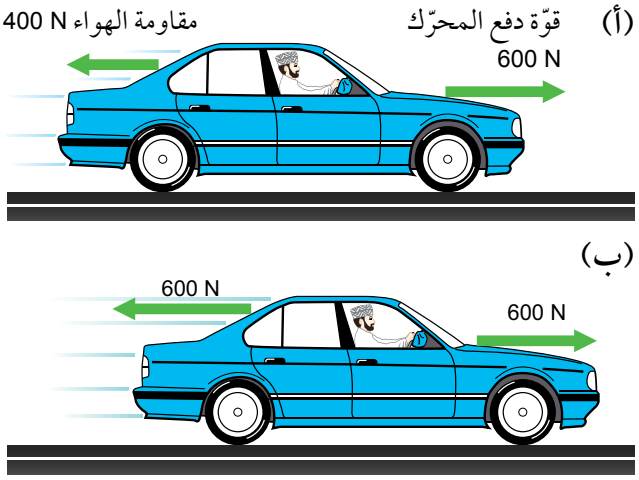
$$= 200 \text{ N نحو اليمين}$$

ستجعل محصّلة القوى على هذه السيّارة تتسارع إلى اليمين، ولكن ليس بنفس تسارعها عندما لا تكون هناك مقاومة هواء.

تتحرَّك السيّارة حتّى في الشكل ٤-٥ (ب) بسرعة، ولكنها تتحرَّك خلال هواء مقاومته أكبر من قبل، فالقوَّتان الآن تلغي كل منهما الأخرى؛ لذلك نجد في الشكل ٤-٥ (ب):

أنّ محصِّلة القوى:

$$= 600 - 600 = 0 \text{ N}$$



الشكل ٤-٥ تعمل مقاومة الهواء في الاتّجاه المعاكس لحركة السيارة

نذكر هنا أن القوى المؤثّرة على السيارة متّزنة، أي لا ينتج عنها محصِّلة قوى، وبالتالي لا تتسارع السيّارة بل تستمرّ في حركتها بسرعة ثابتة على خطّ مستقيم.

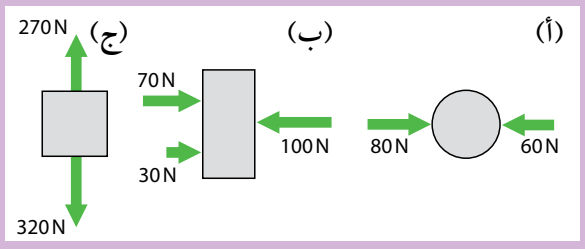
- إذا لم تؤثّر أي محصّلة قوى على جسم ما فإنه لن يتسارع. وسيبقى في حالة سكون أو يستمرّ في حركته بسرعة ثابتة على خطّ مستقيم.

مصطلحات علمية

مقاومة الهواء Air resistance: هي قوّة الاحتكاك التي تؤثّر على الأجسام عندما تتحرّك في الهواء، وتعيق حركتها.

أسئلة

٤-٢ تُظهِر الرسوم التخطيطية ثلاثة أجسام تتحرّك. تؤثّر عدّة قوى على كل جسم منها على حدة.



لكلّ من (أ) و (ب) و (ج):

١. اذكر ما إذا كانت القوى متّزنة أو غير متّزنة.

٢. إذا كانت القوى غير متّزنة، احسب محصِّلة القوى المؤثّرة على الجسم واذكر اتّجاهها.

٣. اذكر كيف ستتغيّر حركة الجسم.

٤-٣ اشرح ما سيحدث للحركة في كلّ من الآتي:

١. يُدفَع قطار بقوّة محرِّكه تبلغ (20 000 N) وتعاكسها قوّة احتكاك مقدارها (10 000 N).

٢. يهبط مظلّيّ وزنه ووزن مُعدّاته (1200 N)، وتؤثّر عليه مقاومة الهواء بقوّة مقدارها (1200 N).

٣. يتحرّك مسبار فضائي غير مأهول بسرعة (40 000 km/h) ولا تؤثّر عليه محصّلة قوى.

٤. تُدفَع دراجة نارية بقوّة محرّكة مقدارها (1500 N) وتؤثّر عليها قوّتا احتكاك ومقاومة هواء محصّلتهما (2000 N).

٤-٣ القوّة والكتلة والتسارع

يستخدم سائق سيّارة دوّاسة الوقود للتحكّم بتسارع السيّارة، مما يجعله يتحكّم بمقدار القوّة التي يوفّرها المحرّك. فكلّما ازدادت القوّة المؤثِّرة على السيّارة، ازداد مقدار تسارعها. فمضاعفة القوّة تكسب السيارة ضعف التسارع، وثلاثة أضعاف القوّة تكسب السيارة ثلاثة أضعاف التسارع، وهكذا.

هناك عامل آخر يؤثِّر على تسارع السيّارة. لنفترض أن السائق ملأ صندوق السيّارة بالعديد من الصناديق الثقيلة وركّب فيها عددًا من طلاب المدرسة. سوف يلاحظ السائق الفرق عندما يبتعد عن إشارات المرور. فالسيّارة لن تتسارع بسهولة، لأن كتلتها قد ازدادت. وبالمثل عندما يستخدم المكابح، فلن تتباطأ السيّارة بسرعة كما كانت من قبل. ذلك أنّ كتلة السيّارة تؤثّر على مدى سهولة تسارعها أو تباطؤها، وقد اعتاد السائقون أن يأخذوا ذلك بالحسبان.

لذلك يصعب تسريع الأجسام الكبيرة (الأكبر كتلة) مقارنة بالأجسام الصغيرة (الأقل كتلة). فإذا ضاعفنا كتلة الجسم يقلّ تسارعه الناتج عن قوّة معيَّنة إلى النصف. لذلك نكون بحاجة إلى مضاعفة القوّة لمنحه التسارع نفسه.

وهذا يوضّح ما نعنيه بالكتلة؛ فهي خاصّية الجسم التي تجعله يقاوم التغيّرات في حركته

كلّما ازدادت كتلة الجسم، يقلّ التسارُع الذي ينتج عن القوّة.

حساب القوّة

عندما تؤثّر أكثر من **قوّة Force** على جسم ما، يمكننا حساب القوّة المحصّلة أو القوّة المؤثّرة التي تنتج عن تلك القوى. وفي جميع حسابات القوّة التي تُجرى بعد ذلك، نستخدم كلمة القوّة أو الحرف *F* للدلالة على القوّة المحصَّلة.

مصطلحات علمية

القوّة Force: مؤثّر يؤثّر على جسم ما فيغيِّر من حالة سكونه أو حركته أو يغيِّر شكله.

يمكن كتابة العلاقة بين القوَّة والكتلة والتسارع في معادلة واحدة مفيدة كما هو موضّح أدناه:

القوَّة = الكتلة × التسارع

$$F = ma$$

يلخّص الجدول ٤-١ الكمّيات المتضمّنة في هذه المعادلة ووحدات قياسها.

الكمّية	الرمز	وحدة القياس (SI)
القوّة	F	نيوتن (N)
الكتلة	m	كيلوغرام (kg)
التسارع	a	متر في مربّع الثانية (m/s^2)

الجدول ٤-١ الكمّيات المرتبطة بمعادلة حساب القوّة

مصطلحات علمية

النيوتن (N): وحدة قياس القوّة في النظام الدولي للوحدات (SI) وهي القوّة اللازمة لإكساب كتلة 1 kg تسارعًا مقداره $1\ m/s^2$.

$$1\ N = 1\ kg \times 1\ m/s^2$$

مثال ٤-١

لطائرة الإيرباص النفّاثة (A380) أربعة محرِّكات، كل منها قادر على توفير قوَّة دفع مقدارها (320 000 N). تبلغ كتلة الطائرة مع حمولتها (560 000 kg)، ما أقصى تسارع يمكن أن تصل إليه الطائرة؟

الخطوة ١: أقصى قوَّة توفّرها المحرِّكات الأربعة عندما تعمل معًا هي:

$$4 \times 320\ 000\ N = 1\ 280\ 000\ N$$

الخطوة ٢: لدينا الآن:

القوّة: $F = 1\ 280\ 000\ N$

الكتلة: $m = 560\ 000\ kg$

التسارع: $a = ?$

الخطوة ٣: أقصى تسارع يمكن للمحرِّكات منحه يُحسَب من خلال المعادلة:

$$\text{التسارع} = \frac{\text{القوّة}}{\text{الكتلة}}$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{1280\ 000}{560\ 000}$$

$$a = 2.29\ m/s^2$$

تذكّر

أن الكتلة يجب أن تكون بوحدة (kg) وليس بوحدة (g) إذا كانت وحدة قياس القوَّة المؤثِّرة هي (N).

مثال ٤-٢

عندما تضرب كرة مضرب متَّجهة إليك، فأنت تؤثّر بقوّة كبيرة لعكس اتّجاه حركتها، مُكسِبًا إيّاها تسارعًا كبيرًا. ما القوَّة اللازمة لإكساب كرة مضرب كتلتها (0.10 kg) تسارعًا مقداره ($500\ m/s^2$)؟

الخطوة ١: لدينا:

الكتلة: $m = 0.10\ kg$

التسارع: $a = 500\ m/s^2$

القوّة: $F = ?$

الخطوة ٢: عوّض القيَم في المعادلة لإيجاد القوَّة:

القوَّة = الكتلة × التسارع

$$F = m\,a$$

$$F = 0.10 \times 500$$

$$F = 50\ N$$

أسئلة

٤-٤ ما القوَّة اللازمة لإكساب سيّارة كتلتها (600 kg) تسارعًا مقداره ($2.5\ m/s^2$)؟

٤-٥ يسقط حجر كتلته (0.20 kg) بتسارع مقداره ($10.0\ m/s^2$)، ما مقدار القوَّة التي تسبِّب هذا التسارع؟

٤-٦ ما التسارع الناتج عن قوَّة مقدارها (2000 N) تؤثِّر على شخص كتلته (80 kg)؟

٤-٧ هناك طريقة لإيجاد كتلة جسم ما، هي قياس تسارعه عندما تؤثِّر عليه قوَّة. إذا تسبَّبت قوَّة مقدارها (80 N) في تسارع صندوق بمقدار ($0.10\ m/s^2$) فما كتلة الصندوق؟

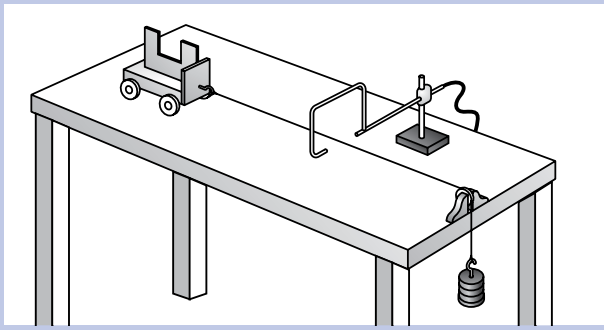
نشاط ٤-٢

العلاقة بين القوّة والكتلة والتسارع

المهارات:

- يقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.
- يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.
- يحدّد المتغيّرات، ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكّم في بعض المتغيّرات.

إذا غيّرتَ القوَّة المؤثّرة على جسم ما أو غيّرت كتلته، فإن تسارعه سيتغيّر. يوضّح الرسم التخطيطي إحدى الطرق لاستقصاء هذه التغيّرات باستخدام عربة المختبر وبوّابة ضوئية ومؤقّت. تُوضَع العربة على مسار أفقي، وتُربط بطرف خيط يمرّ فوق بكرة، ويُربط بالنهاية الأخرى للخيط حامل أثقال من أجل توفير القوَّة اللازمة لجعل العربة تتسارع.



نقطتان مهمّتان يجب ملاحظتهما:

- قوَّة الشدّ F لكلّ من العربة والكتل المعلَّقة هي وزن الكتل m_2 المعلّقة بنهاية الخيط، احسب القوَّة باستخدام $F = m_2g$.
- الكتلة المتسارعة هي إذن كتلة العربة m_1 إضافة إلى الكتل m_2 المعلّقة بنهاية الخيط.

استقصِ كيف يعتمد تسارع العربة a على كل من القوَّة F المؤثّرة عليها ومجموع الكتلتَين $(m_1 + m_2)$.

١ ضَع العربة على المسار، كما هو موضّح في الرسم التخطيطي. حدِّد كيف ستقيس تسارعها. يمكنك استخدام بوّابة ضوئية وبطاقة قطع أو بوّابتَين ضوئيَّتَين أو مُستشعِر حركة ومسجِّل بيانات وحاسوب.

٢ علّق أوزانًا بنهاية الخيط ودع العربة تتحرَّك. كن مستعدًّا للإمساك بها عندما تصل إلى نهاية المسار. تأكّد من أنّك تستطيع قياس تسارعها.

٣ لتعرف كيف يعتمد التسارع على كتلة العربة يجب أن تحافظ على القوَّة ثابتة؛ فلا تغيِّر الثقل المُعلَّق بنهاية الخيط. زِد كتلة العربة بوضع كتل فوقها.

٤ لتعرف كيف يعتمد التسارع على القوَّة يجب عليك تغيير عدد الكتل المُعلَّقة بنهاية الخيط، والمحافظة على الكتلة الكلّية ثابتة. لذلك ابدأ بكتلة واحدة مُعلَّقة بالخيط وتسع كتل على العربة، ثم انقل كتلة واحدة تلو الأخرى من العربة إلى نهاية الخيط.

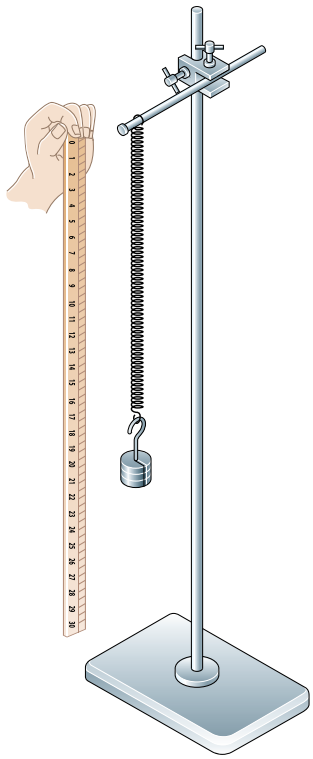
٤-٤ استطالة الزنبرك

لاستقصاء تشوّه الأجسام يكون من الأسهل البدء بالزنبرك (النابض). صُمِّم الزنبرك ليستطيل عندما تؤثّر عليه قوَّة صغيرة؛ لذلك يسهل قياس تغيُّر طوله.

يبيّن الشكل ٤-٦ كيفية إجراء استقصاء عن استطالة زنبرك. يعلَّق الزنبرك بالمشبك في حامل ثابت، بحيث تكون نهايته العليا مثبّتة، وتعلَّق أثقال بنهايته السفلى، يُشار إلى الثقل المعلَّق باسم **الحِمل Load**. وكلّما ازداد الحِمل استطال الزنبرك وازداد طوله.

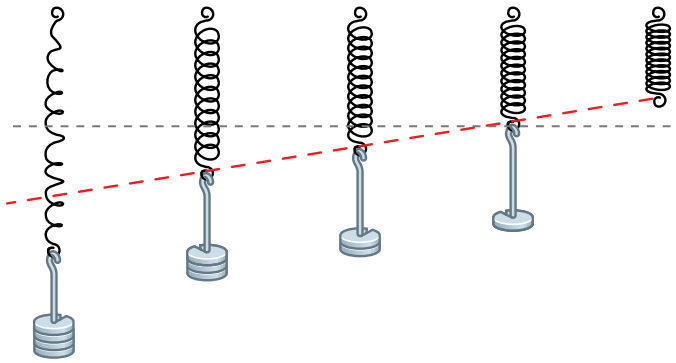
مصطلحات علمية

الحِمل Load: قوّة تؤدّي إلى استطالة الزنبرك.



الشكل ٤-٦ استقصاء استطالة زنبرك

يبيّن الشكل ٤-٧ أنه عندما يزداد الحِمل في خطوات منتظمة، فإن طول الزنبرك يزداد (في خطوات منتظمة أيضًا). سيعود الزنبرك في هذه المرحلة إلى طوله الأصلي إذا أُزيل الحِمل. ولكن إذا ازداد الحِمل كثيرًا يتمدّد الزنبرك بشكل دائم ولا يعود إلى طوله الأصلي، ويكون قد تشوّه تشوّهًا غير مرن.



الشكل ٤-٧ استطالة الزنبرك. مع زيادة عدد الكتل يستطيل الزنبرك في البداية بحيث تزداد الاستطالة بمقادير متساوية متناسبة مع الزيادة في الحمل. وتؤدّي إضافة كتلة رابعة في هذه الحالة إلى تجاوز حدّ المرونة (كما هو الحال في الخطّ الأحمر المتقطّع) وتلف الزنبرك

كلّما ازدادت القوَّة المؤثّرة على الزنبرك يصبح أطول. ومن المهمّ الانتباه للزيادة في طول الزنبرك، والتي تُعرف **بالاستطالة Extension**.

طول الزنبرك المتمدّد = طوله الأصلي + الاستطالة

مصطلحات علمية

الاستطالة Extension: هي الزيادة في طول الزنبرك عند تأثير حمولة عليه.

يُظهر الجدول ٤-٢ تسجيل نتائج تجربة تمدّد زنبرك. يستخدم العمود الثالث لتسجيل مقدار الاستطالة، محسوبة بطرح الطول الأصلي (24.0 cm) من طول الزنبرك بعد استطالته الوارد في العمود الثاني.

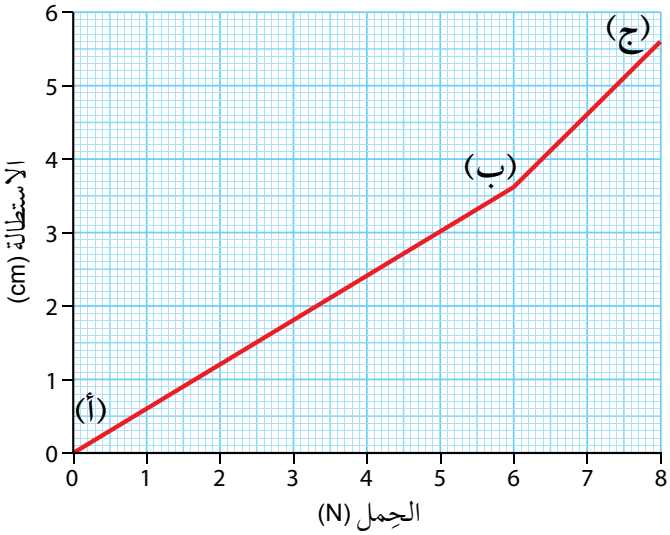
الحمل (N)	الطول (cm)	الاستطالة (cm)
0.0	24.0	0.0
1.0	24.6	0.6
2.0	25.2	1.2
3.0	25.8	1.8
4.0	26.4	2.4
5.0	27.0	3.0
6.0	27.6	3.6
7.0	28.6	4.6
8.0	29.6	5.6

الجدول ٤-٢ نتائج تجربة تُبيّن كيف يتمدّد الزنبرك بزيادة الحِمل عليه

لنرى كيف تعتمد الاستطالة (المتغيّر الذي تقيسه) على الحِمل (العامل الذي تتحكّم به)، نرسم التمثيل البياني (الاستطالة - الحِمل) كما في الشكل ٤-٧. يمكنك أن ترى هذا التمثيل البياني في جزءَين.

- يميل منحنى التمثيل البياني في البداية بثبات نحو الأعلى كما هو موضّح في الشكل ٤-٧ للجزء (أ ب). وهذا يبيّن أن الاستطالة تزداد في مقادير متساوية متناسبة مع الزيادة في الحِمل.

- ثم يزداد مَيل منحنى التمثيل البياني أكثر نحو الأعلى كما هو موضّح في الشكل ٤-٨ للجزء (ب ج). ويحدث ذلك عندما يكون الحِمل كبيرًا إلى درجة أنّه يتلف الزنبرك؛ فهو لن يعود إلى طوله الأصلي.



الشكل ٤-٨ تمثيل بياني (الاستطالة – الحِمل) لزنبرك بناءً على البيانات الواردة في الجدول ٤-٢

(يمكنك ملاحظة النمط في الجدول ٤-٢ نفسه. انظر إلى العمود الثالث: تزداد الاستطالة في البداية بمقادير متساوية، وتصبح في المقدارَين الأخيرَين أكبر).

نشاط ٤-٣

استقصاء استطالة الزنبرك

المهارات:

- يقيّم الأخطار ويشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.
- 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.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.
- يحدِّد الأسباب المحتملة لعدم دقة البيانات أو الاستنتاجات ويقترح التحسينات المناسبة للخطوات التجريبية والتقانة المستخدمة.

استخدام الأثقال لجعل الزنبرك يتمدّد، ثم رسم تمثيل بياني لإظهار نمط نتائجك.

١ اختر زنبركًا.

٢ ثبِّت جيدًا الطرف العلوي من الزنبرك في الحامل.

٣ ضَع صفر المسطرة بجانب الطرف العلوي للزنبرك حتى تتمكّن من قياس الطول الكامل للزنبرك، كما هو مبيّن في الشكل ٤-٦، ثمّ قِس طول الزنبرك غير المتمدّد.

٤ ارسم جدولًا لتسجيل نتائجك مثل الجدول ٤-٢. تذكَّر تحويل الكتلة إلى وزن لهذه النتائج. سجّل نتائجك في الجدول عند تنفيذ الاستقصاء.

٥ علّق حامل أثقال بالطرف السفلي من الزنبرك. قِس طول الزنبرك الآن.

٦ أضِف كتلًا إلى حامل الأثقال بعناية، واحدًا تلو الآخر. قِس طول الزنبرك في كلّ مرَّة.

٧ بمجرَّد حصولك على مجموعة كاملة من النتائج، احسب قيَم استطالة الزنبرك.

٨ ارسم تمثيلاً بيانيًّا للاستطالة (المحور الصادي) والحِمل (المحور السيني). أكمل التمثيل البياني بأفضل خطّ مستقيم ملائم. ماذا تستنتج من التمثيل البياني؟

٩ اشرح سبب اختيارك عددًا من الكتل المختلفة لاستخدامها.

١٠ قد يكون من الصعب قياس طول الزنبرك بدقّة. اقترح تحسينًا لإجراءات الاستقصاء تسمح بقياسات أدق للطول.

١١ اقترح خطرًا محتملاً في هذا النشاط وصِفه كإجراء تحذيري لتقليل تأثيره.

أسئلة

٨-٤ حبل مرن طوله (80 cm)، يزيد طوله عندما يتمدَّد إلى (102 cm). ما مقدار استطالته؟

٩-٤ يبيِّن الجدول نتائج تجربة تمدّد حبل مرن. انسخ الجدول وأكمله، وارسم تمثيلاً بيانيًّا لهذه البيانات.

الحمل (N)	الطول (mm)	الاستطالة (mm)
0.0	50	0
1.0	54	
2.0	58	
3.0	62	
4.0	66	
5.0	70	
6.0	73	
7.0	75	
8.0	76	

٤-٥ قانون هوك

كان العالِم الإنجليزي روبرت هوك Robert Hooke أوّل مَن وصف النمط الرياضي لتمدّد الزنبرك، حيث أدرك أنه عندما يتضاعف الحِمل على الزنبرك، فإن الاستطالة تتضاعف أيضًا. وإذا تضاعف الحِمل ثلاث مرّات، تتضاعف الاستطالة ثلاث مرّات أيضًا، وهكذا. ويظهر هذا النمط في منحنى التمثيل البياني الوارد في الشكل ٤-٨، والذي يبيّن كيف تعتمد الاستطالة على الحِمل. يكون منحنى التمثيل البياني في البداية خطًّا مستقيمًا يرتفع إلى الأعلى من نقطة الأصل. وهذا يدل على أن الاستطالة تتناسب مع الحِمل، ثم يتقوَّس عند نقطة معيَّنة ويصبح مَيل الخطّ أكثر حدَّة. هذه النقطة تسمّى **حدّ التناسب Limit of proportionality**. وهناك نقطة أخرى، غالبًا ما تكون قريبة من حدّ التناسب، تسمّى حدّ المرونة (Limit of elasticity).

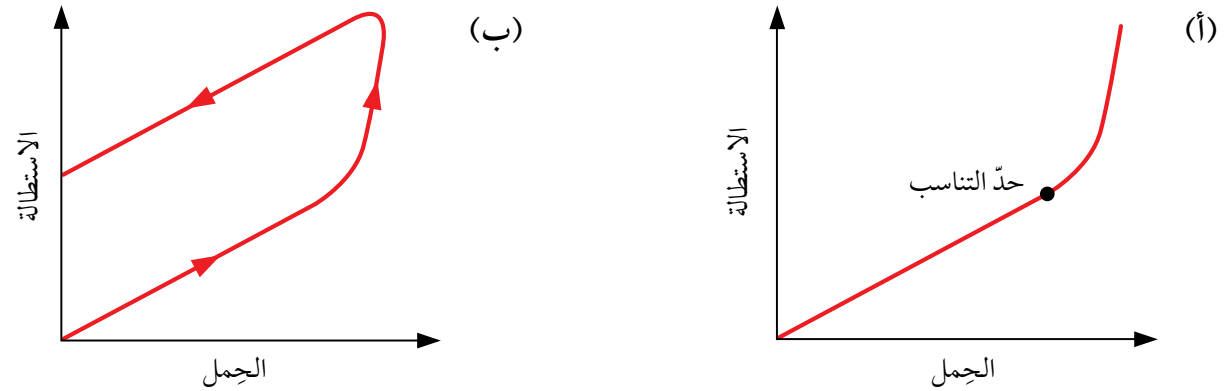
فإذا تمدَّد الزنبرك إلى ما بعد هذه النقطة، فسوف يتلف. وحتى لو أُزيل الحِمل، فلن يعود الزنبرك إلى طوله الأصلي غير المشوّه.

مصطلحات علمية

حدّ التناسب Limit of proportionality: هو النقطة التي لا يعود الجسم عندها خاضعًا لقانون هوك حين يؤثّر عليه حِمل لاستطالته.

يُمثّل سلوك الزنبرك من خلال المنحنى البياني في الشكل ٤-٩ (أ) ويُلخَّص في **قانون هوك Hooke's law**:

> تتناسب استطالة الزنبرك طرديًّا مع الحِمل المؤثّر عليه شرط عدم تجاوز حدّ التناسب.



الشكل ٤-٩ (أ) منحنى التمثيل البياني (الاستطالة - الحمل) لزنبرك. لم يعد منحنى التمثيل البياني بعد حدّ التناسب خطًّا مستقيمًا. (ب) يبيّن منحنى التمثيل البياني ما يحدث عندما يتمدّد الزنبرك إلى ما بعد حدّ المرونة، وكذلك بعد أن يُزال عنه الحِمل. فلا تعود الاستطالة إلى الصفر، لذلك يصبح الزنبرك أطول ممّا كان عليه في بداية التجربة

يمكننا أيضًا كتابة قانون هوك على شكل معادلة:

$$F = k\,x$$

في هذه المعادلة، F هي الحِمل أي القوّة التي تجعل الزنبرك يتمدّد. k هو ثابت الزنبرك و x هو استطالة الزنبرك. ومعلوم أنّ زنبرك أكثر مرونة سوف يتطلّب قوّة أقلّ ليتمدّد بنفس المسافة من زنبرك أقلّ مرونة. يعبَّر عن مدى مرونة زنبرك ما بثابت معيّن يُرمَز له بـ k. وكلّما كان ثابت الزنبرك أكبر كان الزنبرك أقلّ مرونة. (تمّ تصميم الزنبركات بقيَم k مختلفة لوظائف مختلفة).

مثال ٤-٣

زنبرك له ثابت زنبرك (k = 20 N/cm). ما الحِمل المطلوب للحصول على استطالة (2.5 cm)؟

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

ثابت الزنبرك: k = 20 N/cm

الاستطالة: x = 2.5 cm

الحِمل: F = ?

الخطوة ٢: اكتب المعادلة التي تربط بين هذه الكمّيات، وعوِّض القيَم واحسب النتيجة.

$$F = k\,x$$

$$F = 20 \times 2.5$$

$$F = 50\ \text{N}$$

لذلك، فإن الحِمل البالغ (50 N) سيجعل الزنبرك يستطيل بمقدار (2.5 cm).

تذكّر

إذا ضاعفتَ الحِمل الذي يجعل الزنبرك يتمدّد، فلن يصبح طول الزنبَرك ضعف طوله، لأن الاستطالة هي التي تتضاعف.

أسئلة

٤-١٠ يؤثر حِمل مقداره (2.5 N) على زنبرك فيؤدّي إلى زيادة طوله بمقدار (4.0 cm). إذا كان الزنبرك يخضع لقانون هوك، فما هو الحِمل الذي سيعطي استطالة مقدارها (12 cm)؟

٤-١١ إذا كان طول زنبرك غير متمدّد يساوي (12.0 cm) وثابت الزنبرك له يساوي (8.0 N/cm)، فما الحِمل المطلوب ليتمدّد الزنبرك إلى طول (15.0 cm)؟

٤-١٢ يبيّن الجدول أدناه نتائج تجربة تمدُّد زنبرك. استخدم النتائج لرسم تمثيل بياني (الاستطالة – الحِمل). ضَع على منحنى التمثيل البياني حدّ التناسب وحدّد قيمة الحِمل عند تلك النقطة.

الحِمل (N)	الطول (m)
0.0	0.800
2.0	0.815
4.0	0.830
6.0	0.845
8.0	0.860
10.0	0.880
12.0	0.905

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- كيف تؤثِّر القوى على الحركة.
- محصّلة القوى.
- يبقى الجسم ساكنًا أو يستمر بسرعة ثابتة وعلى خطّ مستقيم عندما لا تؤثِّر عليه محصّلة قوى.
- العلاقة بين القوَّة والكتلة والتسارع.
- تأثيرات القوى بما في ذلك التمدّد.
- قانون هوك.
- تفسير منحنى التمثيل البياني (الاستطالة – الحِمل).
- معنى ثابت الزنبرك والوحدات المناسبة له.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يمكن استخدام القوى لتغيير شكل الإسفنج. إحدى الطرق التي يحدث بها ذلك هي ضغط الإسفنج. اذكر **ثلاث** طرق أخرى يمكن للقوى فيها أن تغيّر شكل الإسفنج.

٢ يستطيل زنبرك بمقدار (0.04 m) عندما تؤثّر عليه قوَّة مقدارها (200 N). احسب ثابت الزنبرك مبيّنًا الوحدة في إجابتك.

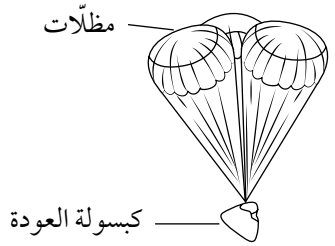
٣ اشرح المقصود **بحدّ التناسب**. وضّح إجابتك بمنحنى تمثيل بياني.

٤ تتكوَّن مكابح السيّارة من قرص أسطواني يدور مع كل إطار. يُمسك كل قرص دوّار بوسائد (فحمات pads) تعمل على إبطاء دوران الإطارات عند استخدام المكابح.

أ. سمِّ القوَّة التي تسبِّبها الوسائد وتؤدّي إلى إبطاء دوران الإطارات.

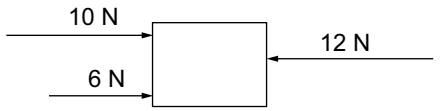
ب. قد تصل درجة حرارة أقراص المكابح في سيّارات السباق إلى أكثر من (800° C). لماذا يحدث ذلك؟

٥ عاد روّاد الفضاء الذين سافروا إلى القمر بين عامي 1969 م و 1972 م إلى الأرض في كبسولة العودة. لم يكن لهذه الكبسولة محرّكات، وقد هبطت على الأرض باستخدام الجاذبية فقط. يُظهر الرسم أدناه مخطط كبسولة العودة.



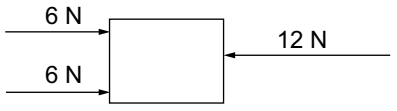
كانت كبسولة العودة بحاجة إلى مظلّات من أجل الهبوط بأمان. اشرح كيف مكّنتها المظلّات من الهبوط بأمان.

٦ تؤثِّر ثلاث قوى على جسم كما هو مبيّن في الرسم التخطيطي.



أ. احسب مقدار واتّجاه محصِّلة القوى المؤثّرة على هذا الجسم.

ب. تتغيَّر إحدى القوى المؤثّرة على الجسم كما هو مبيّن في الرسم التخطيطي الآتي:



وضّح ما يمكن استنتاجه الآن حول حركة الجسم.

٧ **أ.** اكتب معادلة تربط القوَّة F، والكتلة m، والتسارع a.

ب. تحتوي طائرة إيرباص (A380) على أربعة محرِّكات، ينتج كل منها قوَّة قصوى تبلغ (3.5×10^5 N).

١. احسب أقصى قوَّة للمحرِّكات الأربعة معًا.

٢. تبلغ أقصى كتلة للطائرة عند إقلاعها (5.7×10^5 kg). احسب الحدّ الأقصى لتسارع الطائرة عند هذه الكتلة مع ذكر الوحدة في إجابتك (عند إهمال مقاومة الهواء).

الوحدة الخامسة

عزم القوّة ومركز الكتلة

Moment of Force and Centre of Mass

تُغطّي هذه الوحدة:

- وصف التأثير الدوراني للقوَّة.
- الشروط اللازمة ليكون جسم ما في حالة اتّزان.
- حساب عزم القوَّة.
- تطبيق العزم لتحديد القوى المجهولة والمسافات.
- تأثير مركز كتلة جسم ما على استقراره.
- إيجاد مركز الكتلة لصفيحة مستوية.

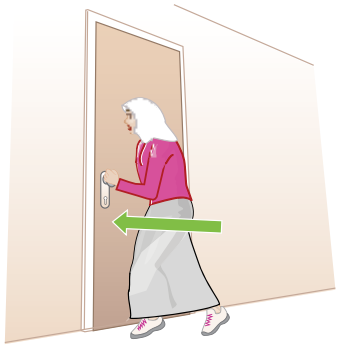
٥-١ عزم القوة

يتعلّم الأطفال الوقوف والمشي عند بلوغهم السنة تقريبًا؛ ويتطلّب ذلك كثيرًا من الممارسة، فعلينا في بداياتنا أن نتعلّم كيفية تنسيق عضلاتنا بحيث تتحرّك الساقان والجسم والذراعان بشكل صحيح، وهناك جزء خاصّ في كل أذن من الأذنَين (القنوات الهلالية) يبقينا على علم إن كنّا معتدلين أو مائلين، ويحتاج تطوير مهارة المشي إلى شهور من الممارسة والعديد من مرّات السقوط.

إذا كنت تركب درّاجة، فسوف تُعدّل وضعك باستمرار للمحافظة على ثباتك ولتبقى مُعتدلًا (الصورة ٥-١). فإذا مالت الدرّاجة قليلاً إلى اليسار، فإنك تميل تلقائيًّا قليلاً إلى اليمين لتوفير القوّة التي تعيد الدرّاجة إلى اعتدالها. فأنت تقوم بهذه التعديلات لا شعوريًّا، وإذا تركتَ الدرّاجة تميل كثيرًا، فلن تتمكّن من استعادة وضع الاعتدال، وسينتهي بك الأمر إلى السقوط على الأرض.

الصورة ٥-١ يجب أن يتوازن راكب هذه الدرّاجة بحذر شديد؛ لأن الثقل الذي يحمله على رأسه يجعله غير مستقرّ

يبيّن الشكل ٥-١ فتاة تحاول فتح باب وذلك بدفعه. يجب أن تجعل التأثير الدوراني لقوَّتها أكبر ما يمكن. كيف يجب أن تدفع الباب؟



الشكل ٥-١ فتح الباب: كيف يمكن للفتاة الحصول على تأثير دوراني كبير؟

ابحث بادئ الأمر عن **محور الدوران Pivot**، الذي يتشكَّل من نقاط ثابتة يدور حولها الباب، هي مِفصلاته، ولكي تفتح الباب ادفعه بقوّة، ولكن كن بعيدًا قدر الإمكان عن محور الدوران الذي يقع عند الحافة الأخرى للباب. يجب على الشخص أن يدفع الباب بقوة وبزاوية قائمة على الباب للحصول على تأثير دوراني كبير؛ إذ أن الدفع بزاوية مختلفة ينتج تأثيرًا دورانيًّا أصغر؛ ولهذا السبب رُكِّب مقبض الباب في الموقع الموضّح في الشكل ٥-١.

ويُطلَق على الكمّية التي تُعبِّر عن التأثير الدوراني لقوَّة حول محور الدوران اسم **العزم Moment**.

- يكون للقوّة عزم أكبر إذا كان مقدارها أكبر.
- يكون للقوّة عزم أكبر إذا أثّرت بعيدًا عن محور الدوران.
- يكون للقوّة عزم أكبر ما يمكن إذا كانت تؤثّر على الجسم بزاوية قائمة 90°.

الاستفادة من التاثير الدوراني للقوّة

يبيّن الشكل ٥-٢ كيف يساعدك فهم عزم القوّة على إنجاز بعض المهام الشاقّة.

- يتمّ استخدام العتلة لرفع صخرة ثقيلة، وذلك بالسحب عند نهاية العتلة بقوّة إلى الأسفل وبزاوية 90°، للحصول على أكبر قدر ممكن من التأثير الدوراني كما يظهر في الشكل ٥-٢ (أ).
- عند رفع حِمل بعربة يدوية، تساعد المقابض الطويلة على زيادة عزم قوَّة الرفع كما يظهر في الشكل ٥-٢ (ب).

(أ)

(ب)

الشكل ٥-٢ الاستفادة من فهم العزم عند القيام ببعض المهامّ الشاقّة

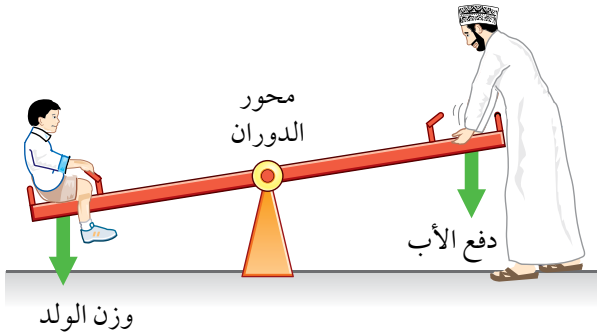
مصطلحات علمية

عزم القوّة Moment of force: تأثير الدوران لقوَّة حول نقطة معيَّنة.

موازنة العارضة

يبيّن الشكل ٥-٣ ولدًا يجلس عند الطرف الأيسر لأرجوحة توازُن، ويسبِّب وزنه نزول الطرف الأيسر للأرجوحة إلى الأسفل، في حين يقوم والده بالضغط على الطرف الأيمن. فإذا كان الأب يضغط بقوَّة أكبر من وزن الولد، فسوف ينزل الطرف الأيمن إلى الأسفل وسيرتفع الولد إلى الأعلى.

والآن افترض أن الأب يضغط إلى أسفل قرب محور الدوران، سوف يتعيّن عليه الدفع بقوَّة أكبر بكثير من وزن ابنه ليتغلّب التأثير الدوراني لقوَّته على التأثير الدوراني لوزن ابنه. لكن إذا دفع عند منتصف المسافة من محور الدوران، فسوف يحتاج إلى الدفع بقوَّة تساوي ضعف وزن ابنه لموازنة وزنه.



الشكل ٥-٣ تتسبّب كل قوّة في إمالة أرجوحة التوازن هذه. فوزن الولد يجعل الطرف الأيسر للأرجوحة ينزل إلى الأسفل في حين يوفّر والده قوّة لجعل الطرف الأيمن ينزل إلى الأسفل، ويمكنه زيادة التأثير الدوراني لقوّته بزيادة القوَّة، أو بالدفع عند مسافة أبعد عن محور الدوران

تُعدّ أرجوحة التوازن مثالًا على العارضة، والعارضة جسم طويل وصلب له محور دوران في نقطة ما. يجعل وزن الولد العارضة تميل إلى جهة واحدة، بينما يجعل دفع الأب العارضة تميل إلى الجهة الأخرى، فإذا كانت العارضة متّزنة، يلغي عزما القوَّتَين أحدهما الآخر.

الاتّزان

نقول عن عارضة إنها في حالة **اتّزان Equilibrium** عندما تكون متّزنة، وإذا كان الجسم في حالة اتّزان:

- يجب أن تكون القوى المؤثّرة عليه متّزنة (لا توجد محصّلة قوى، أي أنها تساوي الصفر).
- يجب أن يكون التأثير الدوراني للقوى المؤثّرة عليه متّزنًا أيضًا (لا توجد محصّلة تأثير دوراني).

عندما نصف جسمًا في حالة اتّزان كالأرجوحة مثلًا، نستخدم مصطلحًا عامًّا له هو النظام فنقول: النظام في حالة اتّزان، وكلمة **نظام System** تعني الجسم أو الأجسام التي تمّ اختيارها لدراستها، ولنفترض أنه لا توجد قوى خارجية أخرى تؤثّر على النظام وأنه لا توجد طاقة تدخل النظام أو تخرج منه. مثلاً في الشكل ٥-٣، الأرجوحة والأشخاص يمثّلان النظام، والقوّتان الظاهرتان فقط هما اللتان تؤثّران في هذا النظام.

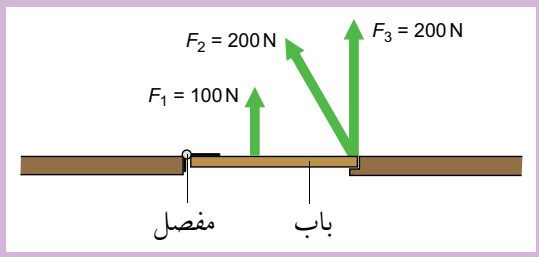
إذا أثّرت مُحصّلة قوى على الجسم، يبدأ بالحركة في اتّجاهها، وإذا كانت هناك محصّلة تأثير دوراني، يبدأ الجسم بالدوران.

مصطلحات علمية

الاتّزان Equilibrium: يكون جسم ما في حالة اتّزان عندما تكون محصّلة القوى المؤثّرة عليه تساوي الصفر ومحصّلة عزوم هذه القوى تساوي الصفر أيضًا.

أسئلة

٥-١ تظهر في الشكل أدناه ثلاث قوى مختلفة وهي تشدّ بابًا قلّابًا ثقيلًا الى الأعلى. ما القوَّة التي سيكون لها أكبر تأثير دوراني؟ وضّح إجابتك.



٥-٢ تبقى الشجرة الطويلة ثابتة ما دامت الرياح خفيفة. ولكنها قد تُقتلَع إذا هبّت عليها رياح عاصفة. لماذا يُرجَّح أن تُقتلَع الشجرة الطويلة مقارنة بالشجرة القصيرة؟

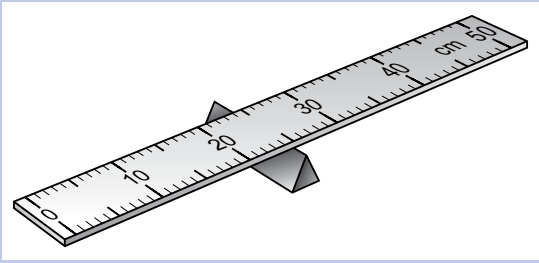
نشاط ٥-١

التوازن

المهارات:

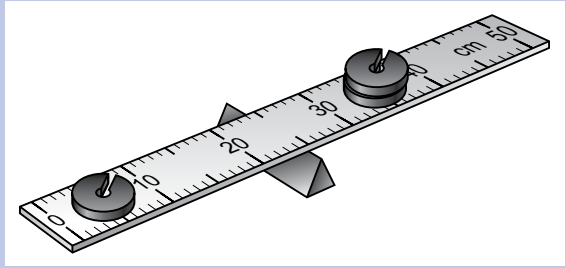
- يسجّل الملاحظات بطريقة منهجيّة باستخدام الوحدات المناسبة والأرقام ومدى القياسات المناسبة ودرجة الدقّة المناسبة.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.

هل يمكنك صنع عارضة توازن؟



١ تدرّب على جعل العارضة مُتّزنة على محور الدوران. يجب أن تتّزن عند منتصفها، كما هو مبيّن في الشكل أعلاه.

٢ تأكّد من أن العارضة ستبقى متّزنة عندما تضع أثقالاً مفردة عند كل طرف وعلى أبعاد متساوية من محور الدوران.



٣ جرِّب مجموعات مختلفة من الأثقال. ضع مثلًا ثقلًا وزنه 2 N على بُعد 10 cm من محور الدوران. أين يجب أن تضع ثقلًا وزنه 1 N لموازنة ذلك؟ انسخ الجدول المُبيّن أدناه، وسجّل نتائجك فيه. يمكنك أن تلاحظ نمط نتائجك.

الوزن على الجهة اليُسرى (N)	البُعد عن محور الدوران (cm)	الوزن على الجهة اليُمنى (N)	البُعد عن محور الدوران (cm)

٥-٢ حساب عزم القوّة

رأينا أنه كلّما ازدادت القوة وازداد بُعد خطّ عملها عن محور الدوران كان عزمها أكبر. يمكننا كتابة معادلة لحساب عزم القوَّة، كما هو مبيّن أدناه:

عزم القوّة = القوّة × المسافة العمودية من المحور إلى القوَّة

$$= F \times d$$

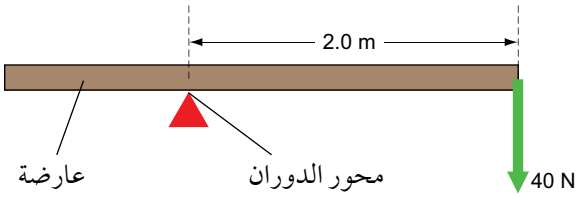
يبيّن الشكل ٥-٤ مثالاً. فالقوّة 40 N تؤثّر على بُعد 2.0 m من محور الدوران، لذلك:

عزم القوة:

$$= F \times d$$

$$= 40\ \text{N} \times 2.0\ \text{m}$$

$$= 80\ \text{N m}$$



الشكل ٥-٤ حساب عزم القوّة

والآن دعونا ننظر في وحدة قياس العزم. بما أن العزم هو قوَّة وحدة قياسها (N) مضروبة في مسافة وحدة قياسها (m)، فإن وحدتها هي ببساطة نيوتن متر (N m)؛ وليس لهذه الوحدة اسم خاصّ في النظام الدولي للوحدات (SI).

تذكّر

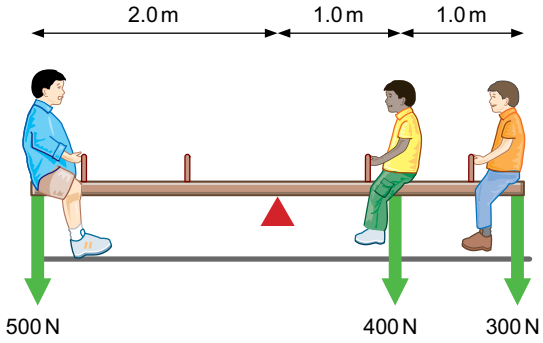
إذا أُعطيت المسافات بوحدة (cm)، فستكون وحدة العزم (N cm). احرص على عدم خلط وحدات القياس المختلفة هذه (N m) و (N cm) في عملية حسابية واحدة.

اتّزان العزوم

جعل الأولاد الثلاثة في الشكل ٥-٥ الأرجوحة في حالة اتّزان، حيث يميل وزن الولد الجالس في الجهة اليسرى إلى تدوير الأرجوحة بعكس اتّجاه عقارب الساعة؛ لذلك

يكون لوزنه عزم بعكس اتّجاه عقارب الساعة، ويكون لوزنَي الولدَين الجالسَين في الجهة اليمنى عزمان باتّجاه عقارب الساعة.

وبما أن الأرجوحة متّزنة، فإن مجموع العزوم باتّجاه عقارب الساعة يجب أن يساوي العزم بعكس اتّجاه عقارب الساعة.



الشكل ٥-٥ اتّزان أرجوحة التوازُن

يمكننا من الشكل ٥-٥ حساب هذه العزوم:

العزم بعكس اتّجاه عقارب الساعة:

$= F \times d$

$= 500 \times 2.0$

$= 1000 \text{ N m}$

العزم باتّجاه عقارب الساعة:

$= (300 \times 2.0) + (400 \times 1.0)$

$= 600 \text{ N m} + 400 \text{ N m}$

$= 1000 \text{ N m}$

(وُضِعت الأقواس كتذكير بإجراء الضرب قبل الجمع).

ويمكننا أن نرى ذلك، في هذه الحالة:

مجموع العزوم باتّجاه عقارب الساعة = مجموع العزوم بعكس اتّجاه عقارب الساعة

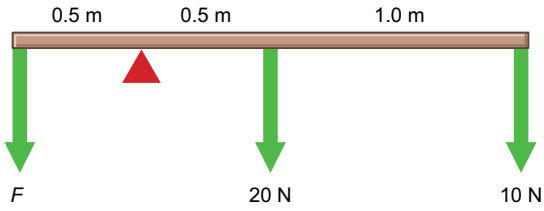
لذا تكون الأرجوحة في الشكل ٥-٥ متّزنة.

مبدأ عزم القوّة

ينصّ **مبدأ عزم القوّة Principle of moments** على أن الجسم يكون في حالة اتّزان عندما تتساوى العزوم باتّجاه عقارب الساعة مع العزوم بعكس اتّجاه عقارب الساعة. يمكننا استخدام هذا المبدأ لإيجاد قيمة أي قوّة أو مسافة مجهولة، كما هو مبيّن في المثال ٥-١.

مثال ٥-١

يبلغ طول العارضة المُبيّنة في الرسم التخطيطي أدناه (2.0 m)، ويبلغ وزنها (20 N) ولها محور دوران. تؤثر قوّة مقدارها (10 N) نحو الأسفل عند أحد طرفَيها. كم تبلغ القوة *F* التي يجب أن تطبّق نحو الأسفل عند الطرف الآخر لتحقيق اتّزان في العارضة؟



الخطوة ١: حدّد القوى التي تؤثّر باتّجاه عقارب الساعة وتلك التي تؤثّر بعكس اتّجاه عقارب الساعة.

تؤثّر قوّتان باتّجاه عقارب الساعة: وزن العارضة (20 N) عند مسافة (0.5 m) عن محور الدوران، والقوة (10 N) عند مسافة (1.5 m). وتؤثّر قوّة واحدة بعكس اتّجاه عقارب الساعة: القوّة *F* على مسافة (0.5 m) من محور الدوران.

الخطوة ٢: بما أن العارضة في حالة اتّزان، يمكننا كتابة الآتي:

مجموع العزوم باتّجاه عقارب الساعة = مجموع العزوم بعكس اتّجاه عقارب الساعة

الخطوة ٣: عوّض القيَم من الخطوة ١ وحلّها:

مجموع العزوم باتّجاه عقارب الساعة:

$= (20 \times 0.5) + (10 \times 1.5)$

$= 10 + 15 = 25 \text{ N m}$

العزم بعكس اتّجاه عقارب الساعة:

$= F \times 0.5 = 0.5\,F$

$25 = 0.5\,F$

$F = \frac{25}{0.5} = 50 \text{ N}$

لذلك نحتاج إلى قوّة مقدارها (50 N).

(قد تكون قادرًا على حلّ هذا السؤال في ذهنك. إذا نظرت إلى المخطّط تلاحظ أن وزن (20 N) يتطلّب (20 N) لاتّزانه، و (10 N) عند (1.5 m) يتطلّب (30 N) لاتّزانه عند (0.5 m). إذن تبلغ محصّلة القوى المطلوبة (50 N)).

في حالة اتّزان

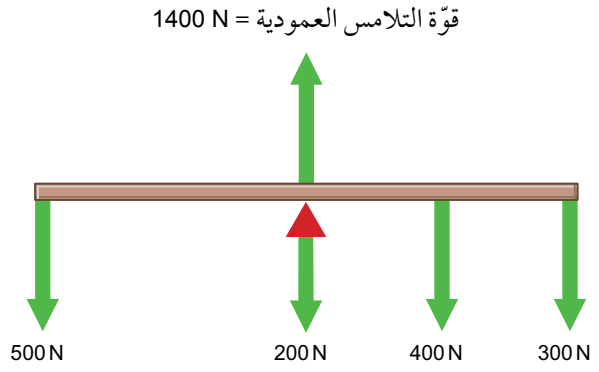
تظهر في الرسم التخطيطي للأولاد الثلاثة على أرجوحة الاتّزان (الشكل ٥-٥)، ثلاث قوى تؤثّر نحو الأسفل، وهناك أيضًا وزن الأرجوحة البالغ 200 N الذي يجب أن يؤخذ بالحسبان، وهو يؤثّر نحو الأسفل أيضًا من نقطة منتصفها. فلو كانت هذه هي القوى الوحيدة التي تؤثّر على الأرجوحة، لجعلت الأرجوحة تتسارع إلى أسفل، ولكن هناك قوّة أخرى تؤثّر لمنع حدوث ذلك، هي قوّة تلامس عمودية تؤثّر إلى الأعلى عند نقطة ارتكاز الأرجوحة على محور الدوران، ويبيّن الشكل ٥-٦ القوى الخمس جميعها.

يمكننا حساب قوّة التلامُس العمودية؛ لأن الأرجوحة في حالة اتّزان. يجب أن توازِن قوّة التلامُس العمودية القوى الأربع الأخرى التي تؤثّر إلى الأسفل؛ لذلك تكون قيمتها:

$$(500 + 200 + 400 + 300)\ \text{N} = 1400\ \text{N}$$

ويكون اتّجاهها إلى أعلى.

ليس لهذه القوّة تأثير دوراني، لأنها تعمل من خلال محور الدوران، أيّ أنّ بُعدها عن محور الدوران يساوي الصفر، وبالتالي فإنّ عزمها يُساوي الصفر.



الشكل ٥-٦ مخطّط القوى على الأرجوحة

تؤثّر قوّة التلامُس العمودية إلى الأعلى على محور الدوران على الأرجوحة المبيّنة في الشكل ٥-٥، وهي تُوازن قوى أوزان الأولاد ووزن الأرجوحة نفسها التي تؤثّر إلى الأسفل. ليس لقوّة التلامُس العمودية عزم حول محور الدوران؛ لأنها تعمل من خلاله. ويشكِّل وزن الأرجوحة قوّة أخرى تعمل من خلال محور الدوران؛ لذلك ليس لها عزم قوّة حوله أيضًا.

استوفينا الآن الشرطَين اللذَين يجب الالتزام بهما إذا كان الجسم في حالة اتّزان:

- يجب ألّا تكون هناك محصّلة قوى تؤثّر على الجسم.
- مجموع العزوم باتّجاه عقارب الساعة = مجموع العزوم بعكس اتّجاه عقارب الساعة.

يمكنك استخدام هاتَين القاعدتَين لحلّ المسائل المتعلِّقة بالقوى المؤثِّرة على أجسام في حالة الاتّزان.

تذكّر

عندما تكون القوى والعزوم التي تؤثّر على جسم ما متّزنة، فإن محصّلة القوى ومحصّلة العزوم تساويان الصفر، وهذا يعني إن الجسم في حالة اتّزان. وفي أحيان أخرى يحدث العكس، أي أن الجسم يكون في حالة اتّزان، فنقول ليس هناك محصّلة قوى تؤثّر على الجسم، ولا محصّلة عزوم كذلك.

نشاط ٥-٢

استقصاء الاتّزان

المهارات:

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

توقّع القوى المؤثّرة على عارضة التوازن.

الجزء ١:

١ جهّز عارضة بطول 0.5 m على محور دوران، بحيث تكون متّزنة عند منتصفها.

٢ ضع ثقلًا وزنه 5 N على مسافة 15 cm من محور الدوران.

٣ والآن توقّع وزن الثقل الذي يجب وضعه على مسافة 20 cm من محور الدوران لجعل العارضة متّزنة. بيّن حساباتك.

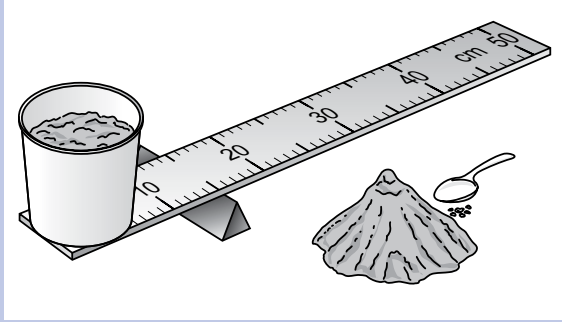
٤ ضع وعاءً صغيرًا على مسافة 20 cm من محور الدوران. أضف أثقالًا إلى الوعاء حتى تتّزن العارضة. (يمكنك فعل ذلك بصب رمل فيه أو إضافة القليل من قطع الصلصال (الطين اللدن)).

٥ اختبر حساباتك بواسطة وزن الوعاء ومحتوياته. هل كان توقّعك صحيحًا؟

الجزء ٢:

٦ زن العارضة التي يبلغ طولها 50 cm.

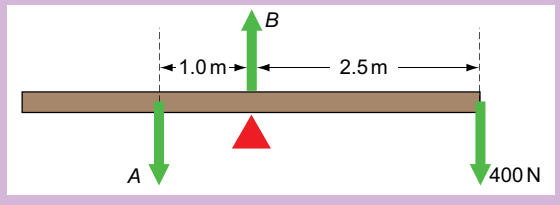
٧ سوف تجعل العارضة متّزنة على محور دوران باستخدام ثقل واحد فقط. ابحث عن ثقل مناسب مماثل في المقدار لوزن العارضة، تضعه عند طرف العارضة، كما هو مبيّن في الشكل أدناه. وتوقّع أين يجب أن تضع محور الدوران لتحقيق اتّزان العارضة. تذكّر أن تبيّن حساباتك.



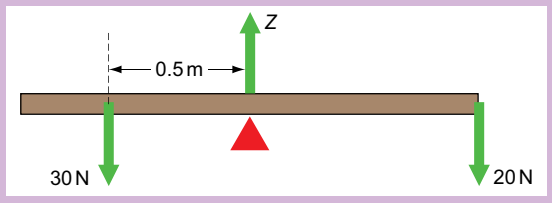
٨ اجعل العارضة متّزنة. هل كان توقّعك صحيحًا؟

أسئلة

٣-٥ احسب القوَّتَين المجهولتَين A و B للعارضة المتّزنة المبيّنة في الشكل أدناه. يمكنك إهمال وزن العارضة.



٤-٥ العارضة المبيّنة في الشكل أدناه متّزنة عند منتصفها، ويبلغ وزنها (40 N). احسب القوّة المجهولة Z وطول العارضة.



٣-٥ الاستقرار ومركز الكتلة

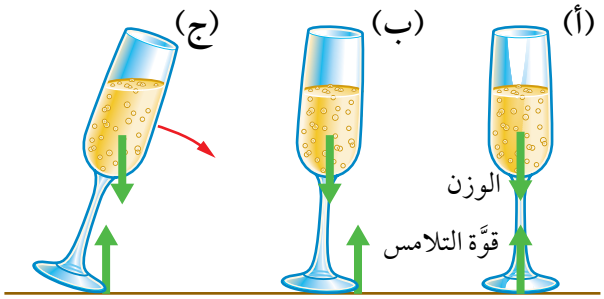
نحن قادرون على البقاء في وضع معتدل، وقادرون على المشي؛ لأننا نُجري تعديلات مستمرّة على أوضاع أطرافنا وجسمنا؛ لذلك نحن نحتاج إلى قدرة دماغ كبيرة للتحكّم بعضلاتنا من أجل ذلك، وهذا من نِعَم الله تعالى علينا.

تُساعدنا فكرة العزم على فهم سبب استقرار بعض الأجسام بينما يسقط بعضها الآخر، فالكأس الطويلة في الشكل ٥-٧ تسقط بسهولة؛ فهي غير مستقرة، ويمكن وصفها بأنها ثقيلة في الأعلى؛ لأن معظم كتلتها تتركّز عاليًا فوق ساقها.

(أ) عندما تكون الكأس معتدلة (قائمة) يؤثّر وزنها إلى أسفل وتؤثّر قوَّة تلامُس الطاولة عليها إلى أعلى، والقوَّتان على خطّ عمل واحد، وتكون الكأس في حالة اتّزان.

(ب) إذا أُميلَت الكأس قليلاً إلى اليمين فإن القوَّتَين لا تعودان على خطّ عمل واحد. يوجد محور دوران عند النقطة التي تُلامس فيها قاعدة الكأس الطاولة، ويكون خطّ عمل وزن الكأس إلى يسار محور الدوران هذا؛ لذلك يكون له عزم بعكس اتّجاه عقارب الساعة يعمل على إمالة الكأس لتعود إلى وضعها المعتدِل.

(ج) والآن أُميلَت الكأس أكثر من ذي قبل، لذلك يؤثّر وزنها إلى يمين محور الدوران، ويكون للوزن عزم باتّجاه عقارب الساعة، وهذا العزم يجعل الكأس تسقط.



الشكل ٥-٧ من السهل سقوط الكأس الطويلة، فبمجرّد أن يكون خطّ عمل وزنها خارج حافة قاعدتها كما في (ج)، تسقط

مركز الكتلة

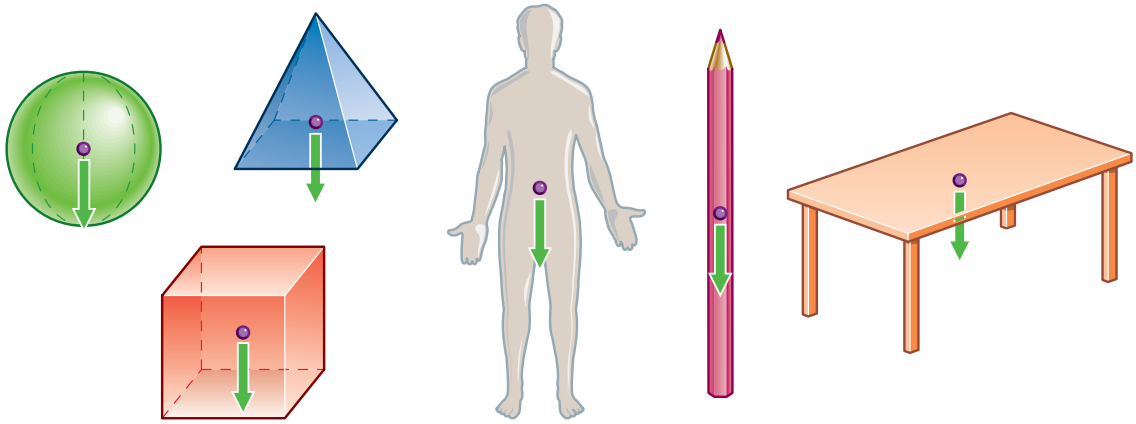
يُمثَّل وزن الكأس بسهم في الشكل ٥-٧ يبدأ من نقطة داخل السائل في الوعاء الزجاجي. ما سبب ذلك؟ السبب هو أن الكأس تتصرَّف كما لو أن كلّ كتلتها مركّزة في هذه النقطة، وتُعرف باسم **مركز الكتلة Centre of mass**. فالكأس ثقيلة من الأعلى لأن مركز كتلتها مرتفع.

تؤثِّر قوَّة الجاذبية على كتلة الكأس، فهي تشدّ كل جزء من الكأس، وبدلًا من رسم أسهم كثيرة يمثّل كلّ منها وزن جزء من الكأس، يتمّ رسم سهم واحد يمثّل جميع الأجزاء، ينطلق من مركز الكتلة (لأنّ بإمكاننا التفكير في أن وزن الكأس يعمل في هذه النقطة التي تُعرف أحيانًا باسم **مركز الجاذبية Centre of gravity** أو مركز الثقل).

يبيّن الشكل ٥-٨ موقع مركز الكتلة لعدَّة أجسام. وبما أن الإنسان متماثل إلى حدّ ما فلا بدّ من أن يقع مركز كتلته في مكان ما على محور التماثُل. (وسبب ذلك أن نصف كتلته يعمل في جانب واحد من المحور، والنصف الثاني في الجانب الآخر). يقع مركز الكتلة في منتصف الجسم، تقريبًا في مستوى السرّة (سرَّة البطن). ونظرًا لأن الكرة أكثر تماثلًا فإن مركز كتلتها يقع في مركزها. ولكي يكون الجسم مستقرًّا يجب أن يكون له مركز كتلة على مستوى منخفض وقاعدة واسعة. ويُعدّ الهرم في الشكل ٥-٨ مثالًا على ذلك.

مصطلحات علمية

مركز الكتلة Centre of mass: النقطة التي يمكن اعتبار أن كل كتلة الجسم متركِّزة فيها.



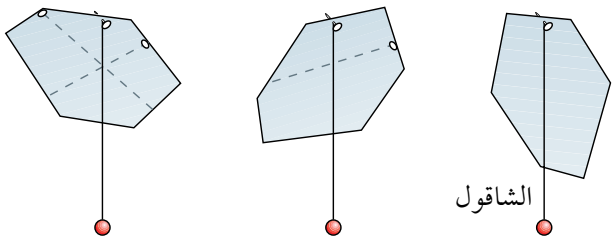
الشكل ٥-٨ يعمل وزن الجسم في مركز كتلته، ويساعد التماثُل على تحديد موقع مركز الكتلة. يمكن الأخذ بالحسبان أن وزن الجسم يعمل من خلال نقطة مركز الكتلة هذه. لاحظ أن مركز الكتلة للطاولة، يقع في الحيِّز الموجود تحت سطح الطاولة

إيجاد مركز الكتلة

الاتّزان هو المفتاح لإيجاد مركز كتلة الجسم. تتّزن المسطرة المترية عند منتصفها، لذلك يكون هذا المكان هو الذي يجب أن يقع فيه مركز الكتلة.

يُبيّن الشكل ٥-٩ خطوات إيجاد مركز كتلة جسم غير منتظم، يكون الجسم في هذه الحالة قطعة من الورق المقوّى غير منتظمة الشكل، توصف بأنها **صفيحة مستوية**، تُعلّق قطعة الورق المقوّى بمسمار، وتُترك لتتحرّك بحرّية حتى تستقرّ، وبالتالي يكون مركز كتلتها أسفل نقطة التعليق. (وسبب ذلك أن وزنها يشدّها إلى أسفل حتى يتطابق خطّ عمل الوزن مع خطّ عمل قوّة التلامُس عند المسمار، وعندئذٍ لا يكون هناك عزم حول المسمار). يُستخدَم شاقول (مُكوّن من خيط وكتلة صغيرة) لرسم الخطّ الرأسي أسفل المسمار. ويجب أن يقع مركز الكتلة على هذا الخطّ.

تُكرّر العملية على ثقبَين آخرَين موزَّعَين على أطراف الورقة، فيكون هناك عندئذٍ ثلاثة خطوط على قطعة الورقة، ويجب أن يقع مركز الكتلة عليها جميعًا، أي عند نقطة تقاطعها. (قد يكفي خطّان، ولكن من المستحسن استخدام ثلاثة خطوط على الأقلّ لإظهار أي معلومات غير دقيقة).



الشكل ٥-٩ إيجاد مركز كتلة قطعة ورق مقوّى غير منتظمة الشكل. تُعلّق الورقة بمسمار، على أن تتحرّك بحرّية. يجب أن يقع مركز الكتلة على الخطّ الذي يشير إليه الشاقول (الخيط الرأسي) المُعلّق بالمسمار. تكفي ثلاثة خطوط لإيجاد مركز الكتلة

نشاط ٥-٣

مركز كتلة صفيحة مستوية

المهارات:

- يفسّر الملاحظات وبيانات التجارب ويقيّمها، ويحدّد النتائج غير المتوقّعة ويتعامل معها بالشكل الملائم.
- يرسم الأشكال التخطيطيّة للجهاز ويُسمّي أجزاءه.

إيجاد مركز كتلة قطعة ورق مقوّى غير منتظمة الشكل.

١ قُصّ من قطعة ورق المقوّى شكلًا غير منتظم، يمثّل صفيحتك المستوية.

٢ استخدم مسمارًا لإحداث ثلاثة ثقوب على أطراف ثلاث حواف متباعدة للصفيحة (استعن بالشكل ٥-٩).

٣ ثبّت المسمار أفقيًّا على مشبك مثبَّت بحامل.

٤ علّق الصفيحة بالمسمار باستخدام ثقب واحد. تأكّد من أنّها تتحرّك بحرّية حول المسمار إلى أن تستقرّ.

٥ علّق خيط الشاقول بالمسمار، سوف يجعله وزنه معلّقًا رأسيًّا. حدِّد نقطتَين على الصفيحة بطول الخيط.

٦ كرّر الخطوتَين ٤ و ٥ باستخدام الثقبَين الآخرَين.

٧ ضَع الصفيحة المستوية على الطاولة، وارسم خطوطًا تصل بين كل زوج من النقاط باستخدام المسطرة. ستكون نقطة تقاطع الخطوط هي مركز كتلة الصفيحة.

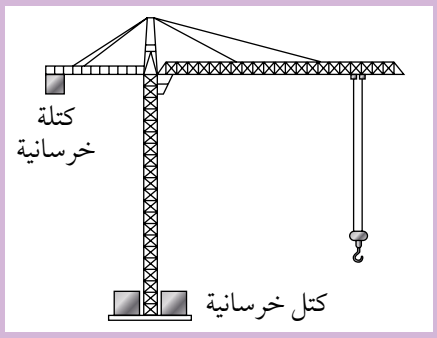
٨ لخّص الطريقة التي استخدمتها مع رسوم تخطيطية مُعنوَنة.

أسئلة

٥-٥ استخدم فكرتَي الاستقرار ومركز الكتلة لشرح ما يأتي:

أ. الأوزان الثقيلة في الحافلات ذات الطابقَين توضع في جوانبها السفلية.

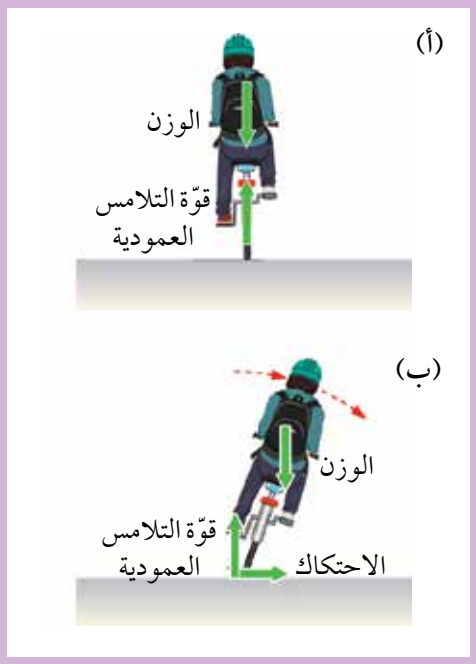
ب. للرافعة كتلة خرسانية ثقيلة تُثبّت بأحد طرفَي ذراعها، وكتل أخرى موضوعة حول قاعدتها كما في الشكل أدناه.



٦-٥ يبيّن الرسم التخطيطي المقابل القوَّتَين المؤثّرتَين على راكب درّاجة.

انظر إلى الجزء (أ) من الرسم التخطيطي.

أ. اشرح كيف تعرف أن راكب الدرّاجة المبيّن في الجزء (أ) في حالة اتّزان.



انظر الآن إلى الجزء (ب) من الرسم التخطيطي.

ب. هل القوى المؤثّرة على راكب الدرّاجة متّزنة الآن؟ وضِّح ذلك.

ملخّص

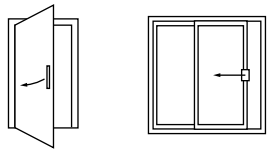
ما يجب أن تعرفه:

- عزم القوَّة.
- شروط النظام ليكون في حالة اتّزان.
- الاستقرار ومركز الكتلة.
- حساب عزم القوة.
- تطبيق مبدأ العزم.
- إيجاد موقع مركز الكتلة لصفيحة مستوية.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يوضّح الشكل أدناه نوعَين من الأبواب، (أ) و (ب).

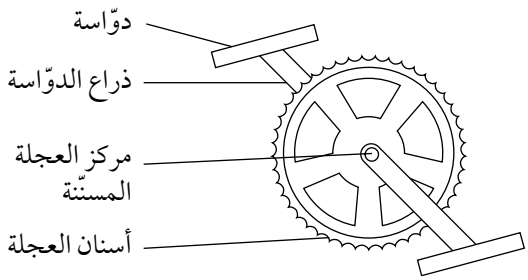
لفتح الباب (أ) يجب على الشخص سحبه إلى الجانب. لفتح الباب (ب)، يجب على الشخص سحبه باتّجاهه.



(ب) (أ)

اشرح أيٌّ من هذه الأبواب يتطلّب عزمًا من أجل فتحه.

٢ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه الأجزاء المُستخدَمة في تحريك دراجة.



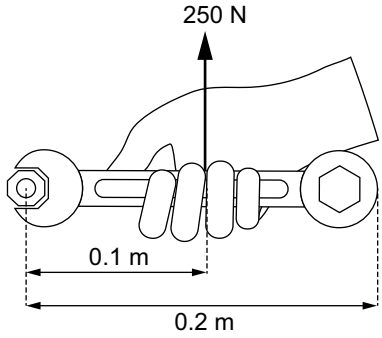
سمِّ الجزء الذي:

أ. تؤثّر عليه قوَّة.

ب. يعمل كعتلة.

ج. يعمل كمحور للعتلة.

٣ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه شخصًا يستخدم مفكّ البراغي لتدوير برغي.



يمكن للشخص أن يؤثّر بأقصى قوَّة ومقدارها (250 N).

أ. احسب عزم القوّة على البرغي، كما هو موضّح في الرسم التخطيطي، مبيّنًا وحدة القياس في إجابتك.

ب. لا يدور البرغي في الرسم التخطيطي عندما يؤثّر الشخص بأقصى قوَّة عليه.

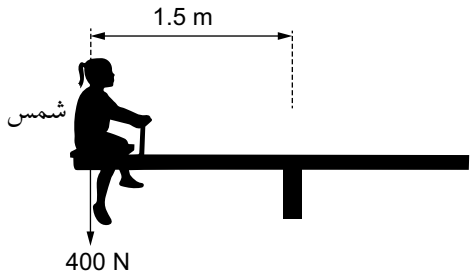
١. اشرح كيف يمكن للشخص أن يمسك مفك البراغي بشكل مختلف لزيادة العزم.

٢. العزم المطلوب لجعل هذا البرغي يدور هو (45 Nm). بيّن بالحساب ما إذا كان ممكنًا لهذا الشخص أن يجعل البرغي يدور باستخدام مفك البراغي هذا.

٤ **أ.** اذكر مبدأ العزم.

ب. تريد طفلتان شمس وشيم استخدام أرجوحة اتّزان.

يبلغ وزن شمس (400 N) وتجلس على مسافة (1.5 m) من محور الدوران، كما يظهر في الرسم التخطيطي أدناه.

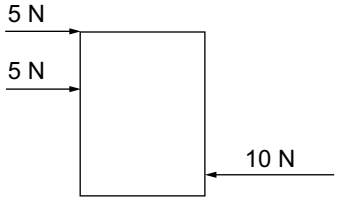


١. احسب العزم الذي تسبّبه شمس في الأرجوحة.

٢. شيم أكبر سنًّا ويبلغ وزنها (800 N). احسب المسافة من نقطة المنتصف التي يجب أن تجلس شيم عندها لتحقيق الاتّزان مع شمس.

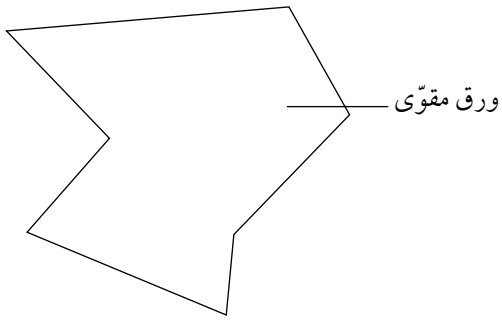
٥ كان أرخميدس Archimedes عالِم فيزياء. وقد عاش في الفترة 250 سنة قبل الميلاد تقريبًا. طرح أرخميدس فكرة أنّه بالإمكان رفع الأرض بعتلة طويلة (رافعة)، بافتراض أن من الممكن صُنع عتلة طويلة وقوية كفاية، اقترح **سببَين** لاستحالة رفع الأرض بعتلة.

٦ يمكن تحريك الجسم الموضّح في الرسم التخطيطي أدناه بحرّية. تؤثّر على الجسم ثلاث قوى.



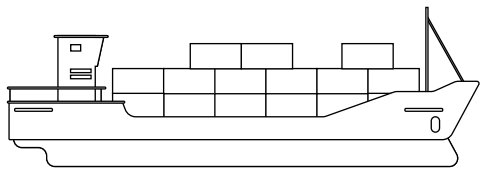
اشرح ما إذا كان هذا الجسم في حالة اتّزان أم لا.

٧ يقصّ مهاب قطعة من الورق المقوّى مُكوِّنًا شكلًا غير منتظم، كما يظهر في الرسم أدناه.



كيف يمكن لمهاب أن يحدّد موقع مركز الكتلة لهذا الشكل؟

٨ يُظهر الرسم أدناه حاويات معدنية كبيرة على سطح سفينة. تمتلك جميع الحاويات الأبعاد نفسها، لكن كتلة كل حاوية تختلف.



اقترح مع الشرح كيفية تحميل الحاويات على السفينة لضمان استقرارها.

الوحدة السادسة

الشغل والقدرة Work and Power

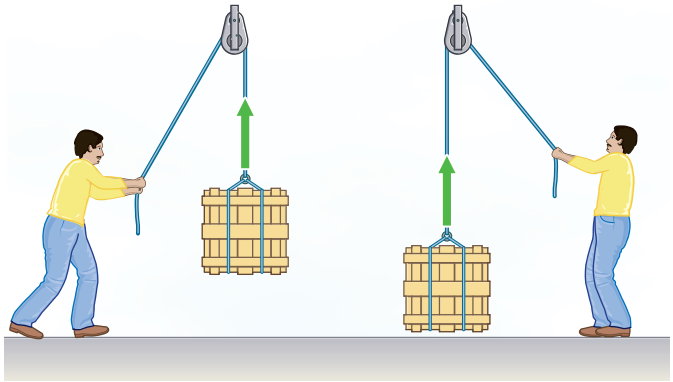
تُغطّي هذه الوحدة:

- الشغل والقدرة.
- حساب الشغل والقدرة.

٦-١ الشغل المبذول

يُظهر الشكل ٦-١ إحدى الطرق لرفع جسم ثقيل. تتمثَّل هذه الطريقة في رفع صندوق ثقيل إلى أعلى بشدّ الحبل بواسطة بكرة. وما دمت تشدّ الحبل إلى الأسفل فإنّ الصندوق يتحرَّك تحت تأثير قوّة شدّ إلى الأعلى.

إذا أردت أن ترفع جسمًا فأنت بحاجة إلى مخزون من الطاقة (الطاقة الكيميائية في عضلاتك، مثلًا). وتكون بذلك قد زوّدت الجسم بطاقة وضع جاذبية (G.P.E.). يُطلَق على هذا النوع من نقل الطاقة باستخدام القوَّة اسم **الشغل المبذول Work done** (ويسمّى هذا أيضًا الشغل الميكانيكي).



الشكل ٦-١ يتطلّب رفع الجسم قوَّة شدّ عكس قوّة الجاذبية يكون اتّجاهها إلى الأعلى. وتُنقَل الطاقة من جسم الشخص بواسطة قوّة الشدّ إلى الصندوق

مصطلحات علمية

الشغل المبذول Work done: هو مقدار الطاقة المنقولة عندما يؤثّر جسم ما بقوّة على جسم آخر فيحرّكه مسافة باتّجاه القوّة، أو هو الطاقة المنقولة بواسطة قوّة عندما يتحرّك الجسم مسافة ما باتّجاه هذه القوّة.

كلّما ازداد الشغل الذي تبذله القوة، ازدادت الطاقة التي تنقلها. ويعادل مقدار الشغل المبذول مقدار الطاقة المنقولة:

الشغل المبذول = الطاقة المنقولة

يبيّن الشكل ٦-٢ ثلاثة أمثلة أخرى على بذل الشغل.

(أ) دفع عربة التسوُّق لبدء حركتها: فقوَّة الدفع تبذل شغلًا، لأنّها تنقل الطاقة إلى العربة، فتزيد طاقة حركتها.

(ب) سقوط تفّاحة من شجرة: تشدّ قوّة الجاذبية التفّاحة إلى الأسفل. فقوَّة الجاذبية تبذل شغلاً، وبالتالي تزيد طاقة حركة التفّاحة.

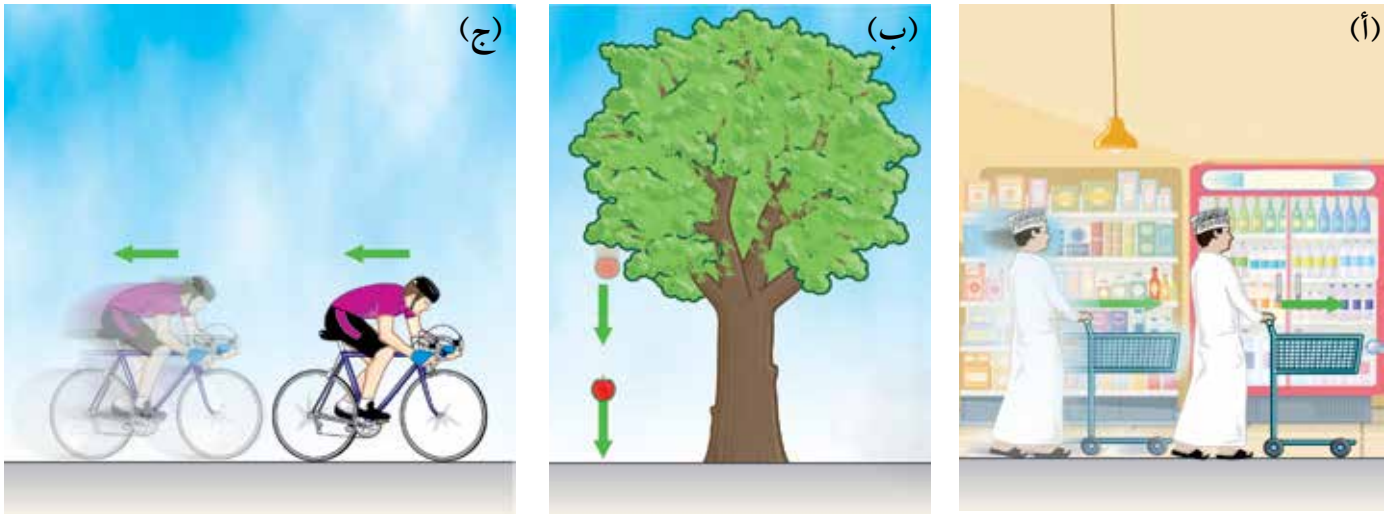
(ج) الضغط على المكابح لإيقاف درّاجة: تنتج المكابح قوّة احتكاك بعكس اتّجاه الحركة، وهي التي تُبطئ الدرّاجة. فالاحتكاك يبذل شغلاً، ويقلّل من طاقة حركة الدرّاجة، حيث تُنقل الطاقة إلى المكابح التي تصبح ساخنة.

ما مقدار الشغل؟

فكّر في رفع جسم ثقيل. لا شكّ في أنّه يحتاج إلى قوّة شدّ كبيرة، كما هو موضّح في الشكل ٦-١. وكلّما كان الجسم أثقل وأكثر ارتفاعًا ازدادت طاقة وضع الجاذبية له. وهذا يشير إلى أن كمّية الطاقة المنقولة بواسطة القوَّة تعتمد على عاملَين:

- مقدار القوَّة: إذ كلّما ازدادت القوَّة ازداد الشغل الذي تبذله.
- المسافة المقطوعة باتِّجاه القوَّة: إذ كلّما تحرّك الجسم أبعد ازداد الشغل الذي تبذله القوَّة.

يعني ذلك أنَّ قوَّة كبيرة تتحرَّك لمسافة كبيرة، تبذل شغلًا أكثر من قوَّة صغيرة تتحرّك لمسافة قصيرة.



الشكل ٦-٢ ثلاثة أمثلة على الشغل المبذول بواسطة القوة

ستفهم منذ الآن أن «الشغل» هو مصطلح له معنى خاصّ في الفيزياء، يختلف عن معناه في الحياة اليومية. فعندما يفكّر الفيزيائيون في مصطلح «الشغل» فإنهم يفكّرون في حركة القوى.

إذا كنت جالسًا تفكّر في واجبك المنزلي، لا تكون هناك أي قوى تحرِّكك ولا تقوم أنت بأيّ شغل، لكن عندما تبدأ بالكتابة تكون قد بذلت شغلًا بالمعنى الفيزيائي. عند رسم شكلٍ على الورقة، ما عليك إلا ضغط القلم قليلاً وتحريكه بعكسِ قوّة الاحتكاك بين القلم والورقة. وهذا ما يحدث عندما تستخدم الممحاة؛ وبذلك تكون قد بذلت شغلًا. وبالمثل أنت تبذل شغلًا (بالمعنى الفيزيائي) عندما ترفع كتابًا ما.

أسئلة

٦-١ ما الذي يتطلّب بذل شغل أكثر: رفع كيس من الفحم كتلته (10 kg) أم رفع كيس من الريش كتلته (15 kg)؟

٦-٢ ما القوّة التي تبذل شغلًا عندما تتدحرج كُرة إلى أسفل منحدَر؟

٦-٢ حساب الشغل المبذول

كيف نحسب الشغل المبذول على جسم بواسطة قوّة؟ توصّلنا إلى أن الشغل المبذول يعتمد على عاملَين:

- مقدار القوّة (F).
- المسافة (d) التي قطعها الجسم تحت تأثير القوّة.

يمكننا كتابة معادلة بذلك، كما هو موضّح:

الشغل المبذول بواسطة قوّة = القوّة × المسافة التي يتحرّكها الجسم باتّجاه القوّة.

$$W = F \times d$$

يمثل الرمز W مقدار الشغل المبذول، لأن هذا المقدار هو كمّية الطاقة المنقولة نفسها والتي تُقاس بوحدة الجول (J)، وهي وحدة الطاقة.

تبيّن لنا معادلة الشغل المبذول بواسطة القوّة ($W = F \times d$) العلاقة بين الجول والنيوتن.

والآن، إذا عوّضنا عن كل كمّية في المعادلة بوحدة SI الخاصّة بها، نحصل على:

$$1\ \text{J} = 1\ \text{N} \times 1\ \text{m} = 1\ \text{N m}$$

وبشكل آخر يُعرّف **الجول (J) Joule** كما هو موضّح أدناه.

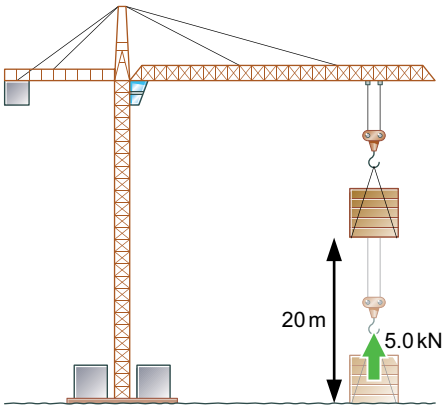
مصطلحات علمية

الجول (J) Joule: الجول الواحد (1 J) هو الطاقة المنقولة (أو الشغل المبذول) بواسطة قوّة مقدارها نيوتن واحد (1 N) عندما يتحرّك الجسم مسافة متر واحد (1 m) باتّجاه القوة.

$$1\ \text{J} = 1\ \text{N m}$$

مثال ٦-١

رافعة تقوم برفع صندوق إلى علوّ (20 m). تبلغ قوّة الرفع التي توفّرها الرافعة (5.0 kN)، كما هو مبيّن في الرسم التخطيطي أدناه. ما مقدار الشغل المبذول بواسطة القوّة؟ وما مقدار الطاقة المنقولة؟



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

القوّة: $F = 5.0\ \text{kN} = 5000\ \text{N}$

المسافة: $d = 20\ \text{m}$

الشغل المبذول: $W = ?$

الخطوة ٢: اكتب معادلة الشغل المبذول وعوّض القيَم فيها وقُم بالحسابات اللازمة:

$W = F \times d$

$W = 5000 \times 20$

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

إذن الشغل المبذول بواسطة القوَّة يبلغ (100 000 J)، أو (100 kJ).

وبما أن الشغل المبذول = الطاقة المنقولة فإنّ هذه الإجابة هي أيضًا للجزء الثاني من السؤال أي أنّ (100 kJ) من الطاقة نُقلت إلى الصندوق.

الشغل المبذول وطاقة وضع الجاذبية

يعبّر المثال ٦-١ الذي ترفع فيه الرافعة صندوقًا عن فكرة مهمّة. فالقوَّة التي توفّرها الرافعة لرفع الصندوق يجب أن تساوي وزن الصندوق mg وهي ترفع الصندوق إلى ارتفاع h. وبناء على ذلك يكون الشغل المبذول هو: الوزن × التغيُّر في الارتفاع، يمكننا كتابة ذلك كمعادلة:

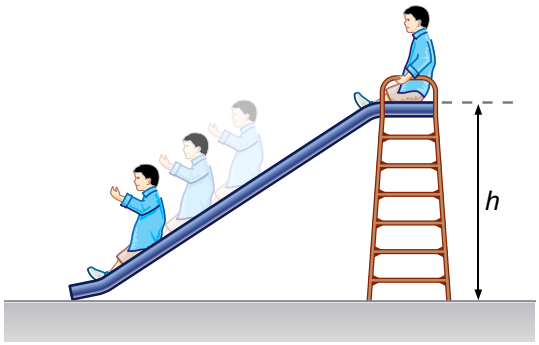
$$W = mg \times \Delta h$$

في هذه المعادلة نستخدم الرمز Δ (الحرف اليوناني الكبير دلتا (delta)) الذي يعني «التغيُّر في كمّية الشيء» أو «التغيُّر في الشيء».

ويتّضح من المثال السابق أن الصندوق يكتسب طاقة وضع جاذبية (G.P.E.) تساوي mgh.

ينزلق الولد في الشكل ٦-٣ إلى أسفل المنحدَر، تشدّه الجاذبية إلى الأسفل وتجعل سرعته تتزايد.

لحساب الشغل المبذول بواسطة قوّة الجاذبية (أي وزن الجسم)، علينا أن نعرف المسافة الرأسية h التي ينتقلها مركز كتلة الجسم، لأنّها تُمثّل المسافة المقطوعة باتّجاه القوَّة. لأننا إذا حسبنا الشغل المبذول عن طريق: الوزن × طول المنحدر، فسوف نحصل على ناتج كبير جدًا. لذلك، عند حساب الشغل المبذول، نفترض أن القوّة تعمل في نفس اتّجاه حركة الجسم التي تنتجها القوَّة.



الشكل ٦-٣ من المهمّ استخدام المسافة الصحيحة عند حساب الشغل المبذول بواسطة قوَّة. تؤثّر قوّة الجاذبية على الولد فتجعله ينزلق على المنحدَر. ومع ذلك فإنّنا، لحساب الطاقة المنقولة بواسطة قوّة الجاذبية، يجب أن نستخدم الارتفاع الرأسي للحركة فقط لأن الوزن قوة رأسية

قوى لا تبذل شغلًا

إذا كنت جالسًا على كرسيّ كما في الشكل ٦-٤، تكون خاضعًا لتأثير قوَّتَين، هما وزنك mg الذي يتّجه إلى الأسفل، وقوَّة التلامس العمودية من الكرسي التي تمنعك من السقوط إلى الأسفل، والتي تتّجه إلى الأعلى.

لا تبذل أي من هاتَين القوَّتَين أيّ شغل عليك. والسبب هو أن كلتيهما لا تُسبّبان حركتك وبالتالي لا تقطع مسافة d.

الشكل ٦-٤ عندما تجلس على كرسيّ، فإنّك تخضع لتأثير قوَّتَين. ولكن كلًّا منهما لا تنقل الطاقة إليك

ومن المعادلة $W = F \times d$، يكون مقدار الشغل الذي تبذله كل من القوَّتَين مُساويًا للصفر؛ فعندما تجلس على كرسي لا تزيد طاقتك أو تنقص نتيجة القوى المؤثّرة عليك.

تذكّر

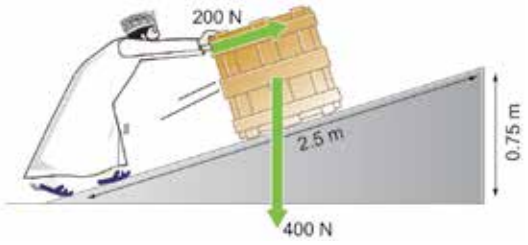
أنّ الحركة يجب أن تكون دائمًا باتّجاه القوَّة إذا كانت القوَّة تبذل شغلًا.

مثال ٦-٢

يؤثّر شخص بقوّة دفع مقدارها (200 N) لتحريك صندوق وزنه (400 N) على منحدر ارتفاعه (0.75 m) كما هو مبيّن في الرسم التخطيطي.

(أ) ما مقدار الشغل الذي يبذله الشخص في رفع الصندوق؟

(ب) وما مقدار طاقة وضع الجاذبية (G.P.E.) التي اكتسبها الصندوق؟



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

قوَّة الدفع على طول المنحدَر: $F = 200$ N

المسافة المقطوعة على طول المنحدَر: $d = 2.5$ m

وزن الصندوق إلى الأسفل: $mg = 400$ N

المسافة الرأسية للحركة: $h = 0.75$ m

الشغل المبذول على طول المنحدَر: $W = ?$

الشغل المبذول ضد الجاذبية: $W = ?$

الخطوة ٢: (أ) احسب الشغل المبذول W بواسطة قوَّة الدفع على طول المنحدَر.

W = قوة الدفع على طول المنحدَر × مسافة الحركة على طول المنحدَر

$$W = F \times d$$

$$W = 200 \times 2.5$$

$$W = 500 \text{ J}$$

الخطوة ٣: (ب) احسب طاقة وضع الجاذبية (G.P.E.) التي يكتسبها الصندوق. هذه الطاقة هي الشغل نفسه المبذول ضدّ الجاذبية، W.

W = وزن الصندوق × مسافة الحركة الرأسية

$$W = mg \times h$$

$$W = 400 \times 0.75$$

$$W = 300 \text{ J}$$

إذن يبذل الشخص (500 J)، ولكن الطاقة المنقولة إلى الصندوق تبلغ (300 J) فقط؛ فالطاقة المتبقية (200 J) هي الشغل المبذول للتغلُّب على الاحتكاك. لا يتمّ نقل هذا الجزء (200 J) من الطاقة إلى الصندوق لأنه سيتحوّل إلى طاقة حرارية ناتجة عن الاحتكاك، ثم تتبدّد هذه الطاقة ولا يُستفاد منها.

نشاط ٦-١

بذل شغل

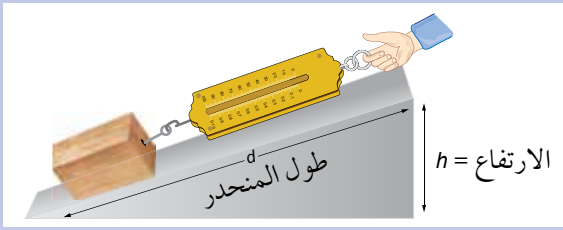
المهارات:

- يصف الخطوات التجريبية والتقانة المستخدمة ويشرحها.
- يكوّن التنبّؤات والفرضيات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة).
- يحدّد المتغيّرات، ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكُّم في بعض المُتغيِّرات.
- يعالج البيانات ويعرضها ويقدِّمها بما في ذلك استخدام الآلات الحاسبة والتمثيلات البيانية والميل.
- يستخلص الاستنتاجات المناسبة ويبرّرها بالرجوع إلى البيانات وباستخدام التفسيرات المناسبة.

أنت تبذل شغلًا عندما تسحب ثقلاً إلى أعلى منحدَر، فأين تذهب طاقتك؟

في هذا النشاط، ستسحب ثقلاً (كتلة خشبية) إلى أعلى منحدَر باستخدام ميزان زنبركي. بهذه الطريقة يمكنك قياس القوَّة والمسافة التي تحرّكها الجسم تحت تأثير القوَّة إلى

أعلى المنحدَر، ويمكنك بعد ذلك حساب الشغل الذي بذلته قوّتك:



الشغل المبذول = القوّة × المسافة التي تحرّكها الجسم تحت تأثير القوّة إلى أعلى المنحدَر

يكتسب الثقل طاقة وضع جاذبية (G.P.E.) لأنه يتحرّك إلى أعلى. يمكنك قياس وزنه والمسافة الرأسية التي تحرّكها الوزن، ويمكنك بعد ذلك حساب طاقة وضع الجاذبية التي اكتسبها الثقل:

طاقة وضع الجاذبية التي اكتسبها الثقل = الوزن × الارتفاع

مُهمّتك هي الإجابة عن السؤال الآتي: هل تحوّل كامل الشغل الذي بذلَته قوّتك إلى طاقة وضع جاذبية للثقل؟

اكتب خطّة استقصاء تجيب عن هذا السؤال وتتضمّن:

- طريقة إجراء الاستقصاء.
- المتغيّرات التي تحتاج إلى قياسها (العامل المتغيِّر) والمتغيّرات التي تحتاج إلى ضبطها (العامل الثابت).
- كيفية حساب الشغل المبذول والتغيّر في طاقة وضع الجاذبية.
- التوقُّع.

أسئلة

٦-٣ ما وحدة قياس الشغل الذي تبذله قوّة ما؟

٦-٤ تمتلك سيّارة طاقة حركة مقدارها (0.5 MJ). يضغط السائق على المكابح لإيقاف السيّارة. ما مقدار الشغل الذي بذلته القوّة التي وفّرتها المكابح لإيقاف السيّارة؟

٦-٥ **أ.** ما مقدار الشغل الذي تبذله قوّة مقدارها (1.0 N) لتحريك جسم مسافة (1.0 m)؟

ب. تبذل قوّة مقدارها (5.0 N) شغلاً مقداره (10 J) لتحريك صندوق ما. ما المسافة التي يتحرّكها الصندوق؟

٦-٦ أيّ قوّة تبذل شغل أكبر: قوّة مقدارها (500 N) تتحرّك مسافة (10 m)، أم قوّة مقدارها (100 N) تتحرّك مسافة (40 m)؟

٦-٧ كتلة معلّقة بخيط في وضع ساكن. تدعم قوّة الشدّ في الخيط الكتلة بعكس قوّة الجاذبية. اشرح لماذا لا تبذل قوّة الشدّ هذه شغلاً على الكتلة.

الشغل المبذول ونقل الطاقة

عندما تبذل قوّة شغلًا، فإنها تنقل طاقة إلى الجسم الذي تؤثّر عليه، وتكون كمّية الطاقة المنقولة ΔE (ΔE تعني التغيُّر في الطاقة) مساوية لمقدار الشغل المبذول W. يمكننا كتابة ذلك كمعادلة بسيطة:

$$W = \Delta E$$

٦-٣ القدرة

تعلّمت في الصف التاسع أن القدرة هي معدّل نقل الطاقة وأنّها تُقاس بوحدة **الوات (Watt (W)**، ووصفتَ قدرة كل من الأنظمة الميكانيكية والكهربائية، وهي تُحسَب كالآتي:

$$\text{القدرة} = \frac{\text{الشغل المبذول}}{\text{الزمن المُستغرَق}}$$

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

$$\text{القدرة} = \frac{\text{الطاقة المنقولة}}{\text{الزمن المُستغرَق}}$$

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

الوات الواحد (1 W) هو القدرة عند بذل شغل مقداره جول واحد (1 J) في ثانية واحدة (1 s). وهذا يعني أن الوات الواحد يساوي جولًا واحدًا في الثانية.

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

$$1\ \text{kW} = 1000\ \text{W}\ \text{(كيلووات)}$$

$$1\ \text{MW} = 1000\ 000\ \text{W}\ \text{(ميغاوات)}$$

مصطلحات علمية

القدرة Power: هي معدّل بذل الشغل، أو معدّل نقل الطاقة.

الوات Watt (W): وحدة قياس القدرة في النظام الدولي للوحدات SI؛ أو هو القدرة على إنجاز شغل 1 J خلال 1 s.

$$1\ W = 1\ J/s$$

هذا يعني، على سبيل المثال، أن مصباحًا قدرته 60 W يحوِّل 60 J من الطاقة في الثانية الواحدة. ومن الجدير بالذكر أنّ محطّة توليد طاقة تُنتج طاقة مقدارها 50 MJ في الثانية، أيّ أن قدرة إنتاجها 50 MW.

تذكّر

احرص على عدم الخلط بين *W* (المائلة) للشغل المبذول أو الطاقة المنقولة و W (المعتدلة) لوحدة قياس القدرة الوات. يمكنك التمييز بينهما في الكتب المطبوعة، لكن يصعب ذلك عندما تكون الكتابة بخطّ اليد.

أسئلة

٦-٨ اذكر العلاقة بين الشغل المبذول والطاقة المنقولة.

٦-٩ يبذل محرّك شغلًا مقداره (10 000 J) في ثانيتَين. ما القدرة الناتجة من المحرّك؟

٦-١٠ يدفع عليّ صندوقًا إلى أعلى منحدَر باستخدام قوّة مقدارها (250 N). يتحرّك الصندوق مسافة (2 m) في زمن مقداره (4 s). احسب قدرة عليّ عند دفع الصندوق.

٦-١١ القدرة التشغيلية لمحرّك كهربائي تبلغ (2200 W). احسب الطاقة المنقولة بواسطة المحرّك في (90 s).

٦-١٢ يُقال إنّ الجمل يستطيع أن يشدّ بقوّة قصوى تساوي 2.5 مرّة من وزن جسمه. تمّ اختبار هذا القول مع جمل وزن جسمه (5000 N). شدّ الجمل عربة بقوّته القصوى على طريق مستوٍ لمسافة (12 km) في زمن 3 ساعات. احسب قدرة الجمل مقرّبًا إجابتك إلى أقرب (1000 W).

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- مفهوم الشغل المبذول.
- حساب الشغل المبذول.
- القدرة هي معدّل نقل الطاقة.
- حساب القدرة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يُبذَل شغل عندما يُدفَع صندوق ثقيل على أرضية.

أ. عرّف الشغل المبذول.

ب. اذكر وحدة قياس الشغل المبذول.

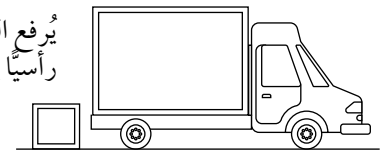
ج. صِف العلاقة بين الشغل المبذول على الصندوق والطاقة المنقولة إليه.

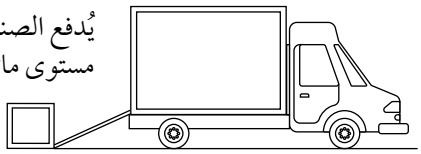
٢ يرفع حيدر كتابًا إلى ارتفاع (1.4 m) باستخدام قوَّة مقدارها (2.2 N). احسب الشغل المبذول على الكتاب.

٣ يُولّد محرّك قطار قوَّة مقدارها (350 kN) على طول طريق (5 km). احسب الشغل الذي بذله محرّك القطار.

٤ صندوق ثقيل موضوع على الأرض، يمكن تحميله إلى الشاحنة بطريقتَين:

- مرفوعًا رأسيًّا إلى داخل الشاحنة.
- مدفوعًا على مستوى مائل إلى داخل الشاحنة.





اذكر واحدة من إيجابيّات استخدام المستوى المائل، وواحدة من سلبيّاته.

٥ **أ.** عرّف القدرة.

ب. إبريق كهربائي ينقل طاقة مقدارها (380 000 J) لغلي الماء في زمن (190 s). احسب قدرة الإبريق مبيّنًا وحدة القياس في إجابتك.

٦ درّاجة كهربائية مُزوّدة بمُحرّك يعمل بقدرة (300 W).

أ. احسب الشغل المبذول لتشغيل المُحرّك لمدَّة (60 s).

ب. محرّك درّاجة قدرته (200 W). فإذا كان المجموع الكلّي لوزن الدرّاجة والراكب (1000 N)، فما الزمن الذي يستغرقه محرّك الدرّاجة لتحريك الدرّاجة والراكب إلى أعلى تلّ ارتفاعه الرأسي (4 m) (أهمل قوّة الاحتكاك ومقاومة الهواء).

الوحدة السابعة

الضغط Pressure

تُغطّي هذه الوحدة:

- ارتباط الضغط بالقوّة والمساحة.
- حساب الضغط.

١-٧ الضغط على سطح

إذا كنت تغوص في حوض سباحة فسوف تشعر بضغط الماء عليك، ذلك أنّك كلّما تعمّقت تحت سطح الماء ازداد **الضغط Pressure** عليك، فالغوّاصون في أعماق البحار مثلًا يأخذون هذا الأمر في الحسبان، فيرتدون بدلات واقية تحمي أجسامهم من أن تُسحق بفعل الضغط. ويُفترض أن تكون الغوّاصات ومركبات الاستكشاف البحري (الصورة ٧-١) مصمّمة لتحمُّل ضغوط كبيرة جدًّا؛ لذلك صُمِّمت أسطحها مقوّسة بحيث تقلّل من احتمال الانثناء تحت تأثير الضغط، وهي مصنوعة كذلك من فلزّ سميك. ويُعزى هذا الضغط إلى أنّ أي جسم يكون تحت الماء يؤثّر عليه ضغط بقدر وزن عمود الماء فوقه.

يُعبِّر مقدار «الضغط» عن تأثير القوّة على وحدة المساحة من سطح ما. عندما تقف على الأرض تسبّب قوّة وزنك ضغطًا على الأرض، يتولّد هذا الضغط عند تلامُس باطن كلّ من قدمَيك مع الأرض، أما إذا استلقيت على ظهرك على الأرض فسوف يظلّ وزنك هو نفسه ولكن المنطقة الملامسة من جسمك للأرض تكون أكبر، وبالتالي يكون الضغط أقلّ، نستدلّ من ذلك على الأمرَين الآتيَين:

- عندما تضغط القوّة الكبيرة على مساحة صغيرة تولِّد ضغطًا كبيرًا.
- عندما تضغط القوّة الكبيرة نفسها على مساحة أكبر تولِّد ضغطًا أقلّ.

مصطلحات علمية

الضغط Pressure: القوّة العموديّة المؤثِّرة على وحدة المساحة.

الصورة ٧-١ تُستخدَم مركبة الاستكشاف هذه تحت الماء في نقل السيّاح إلى عمق 600 m، حيث يصل الضغط هناك إلى 60 ضعفًا من الضغط على سطح الأرض. وجاء تصميم المركبة الذي يعتمد على الأسطُح الكروية والأسطوانية ملائمًا لتتحمّل الضغط. وتُصنع نافذة المشاهدة من بلاستيك الأكريليك الذي يبلغ سمكه 9.5 cm

٧-٢ حساب الضغط

يُعرّف الضغط بأنه القوّة العمودية المؤثّرة على وحدة المساحة. يمكننا كتابة هذا كمعادلة:

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوّة}}{\text{المساحة}}$$

$$p = \frac{F}{A}$$

والآن دعونا نبحث في وحدة قياس الضغط. فإذا كانت القوّة F تُقاس بوحدة النيوتن (N) والمساحة A بوحدة المتر المربّع (m^2)، فإن وحدة الضغط p تكون نيوتن لكل متر مربّع (N/m^2).

وفي النظام الدولي للوحدات (SI) تُسمّى **باسكال Pascal (Pa)**، نسبة إلى العالِم باسكال Blaise Pascal.

$$1\ Pa = \frac{1\ N}{1\ m^2}$$

مصطلحات علمية

باسكال Pascal (Pa): وحدة قياس الضغط، وهو القوّة العمودية المؤثّرة على وحدة المساحة وتكافئ نيوتن لكلّ متر مربّع (N/m^2).

مثال ٧-١

تسبّب الخزائن ذات الأرجُل الرفيعة تلَف أرضيات غُرَف النوم وخاصّة المصنوعة من الباركيه أو الفينيل.

إذا كانت خزانة غرفة النوم تزن (3600 N)، احسب الضغط الذي تؤثّر به إحدى أرجُلها الأربع على أرضية الغرفة، علمًا أن مساحة قاعدة الرِّجل الواحدة تبلغ ($2.5\ cm^2$). إذا كان سطح الأرضية يتلف تحت تأثير ضغط يزيد عن ثلاثة ملايين باسكال (3.0 MPa)، فهل ستسبِّب أرجُل الخزانة تَلَف الأرضية؟

الخطوة ١: لحساب الضغط نحتاج إلى معرفة القوّة التي تؤثِّر بها إحدى الأرجُل على الأرضية، والمساحة بوحدة m^2 التي تؤثّر عليها القوّة.

القوّة: $F = \frac{3600}{4} = 900\ N$

المساحة: $A = 2.5\ cm^2 = 0.00025\ m^2$

$= 2.5 \times 10^{-4}\ m^2$

الخطوة ٢: يمكننا حساب الضغط p.

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوّة}}{\text{المساحة}}$$

$$p = \frac{F}{A}$$

$$p = \frac{900}{0.00025} = 3\,600\,000\ Pa$$

$$p = 3.6\ MPa$$

وبذلك يكون الضغط $3.6 \times 10^6\ Pa$ أو 3.6 MPa.

وهذا الضغط أكبر من الحدّ الأدنى المطلوب لتلف سطح الأرضية؛ لذلك سيسبّب هذا الضغط تلفها.

أسئلة

٧-١ اكتب معادلة حساب الضغط.

٧-٢ ما وحدة قياس الضغط في النظام الدولي للوحدات (SI)؟

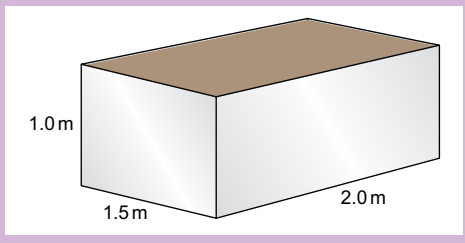
٧-٣ في أي حالة تولّد قوّة مقدارها (100 N) ضغطًا أكبر: عندما تؤثّر على سطح مساحته ($1.0\ cm^2$)، أم على سطح مساحته ($2.0\ cm^2$)؟

٧-٤ كم يبلغ الضغط الذي تؤثّر به قوّة مقدارها (40 000 N) على سطح مساحته ($2.0\ m^2$)؟

٧-٥ حوض سباحة ذو قاع مستوٍ أبعاده ($10.0\ m \times 4.0\ m$). ما القوّة التي يؤثّر بها الماء على قاع الحوض، إذا كان ضغط الماء على القاع يساوي (15 000 Pa)؟

٧-٦ يبيّن الرسم أدناه خزّانًا مملوءًا بزيت كثافته ($920\ kg/m^3$).

أ. احسب حجم الخزّان من الأبعاد المبيّنة في الرسم التخطيطي.



ب. احسب وزن الزيت في الخزّان.

ج. احسب الضغط على قاع الخزّان الناتج عن وزن الزيت.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- مفهوم الضغط.
- حساب الضغط بدلالة القوّة والمساحة.

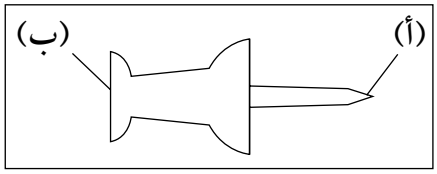
أسئلة نهاية الوحدة

١ عندما ندفع جسمًا صلبًا على آخر، فإننا نولّد ضغطًا.

أ. اكتب معادلة تربط بين الضغط p والقوّة F والمساحة A.

ب. ما وحدة قياس الضغط في النظام الدولي للوحدات (SI)؟ وما الوحدة المكافئة لها؟

٢ يدفع ناصر دبّوسًا في لوحة إعلانات مصنوعة من ورق مقوّى سميك، كما يبيّنه الرسم التخطيطي أدناه.



يدفع ناصر الجزء **(ب)** من الدبّوس بإبهامه.

ينغرز الجزء **(أ)** من الدبّوس في لوحة الإعلانات.

اشرح السبب في أن يكون:

أ. الجزء **(أ)** مُدبّبًا.

ب. الجزء **(ب)** عريضًا ومسطَّحًا.

٣ يقف شخص وزنه (875 N) وكلتا قدمَيه على الأرض. فإذا كان مجموع مساحة التلامس بين نعل حذاءَيه والأرضية هو ($350\ cm^2$)،

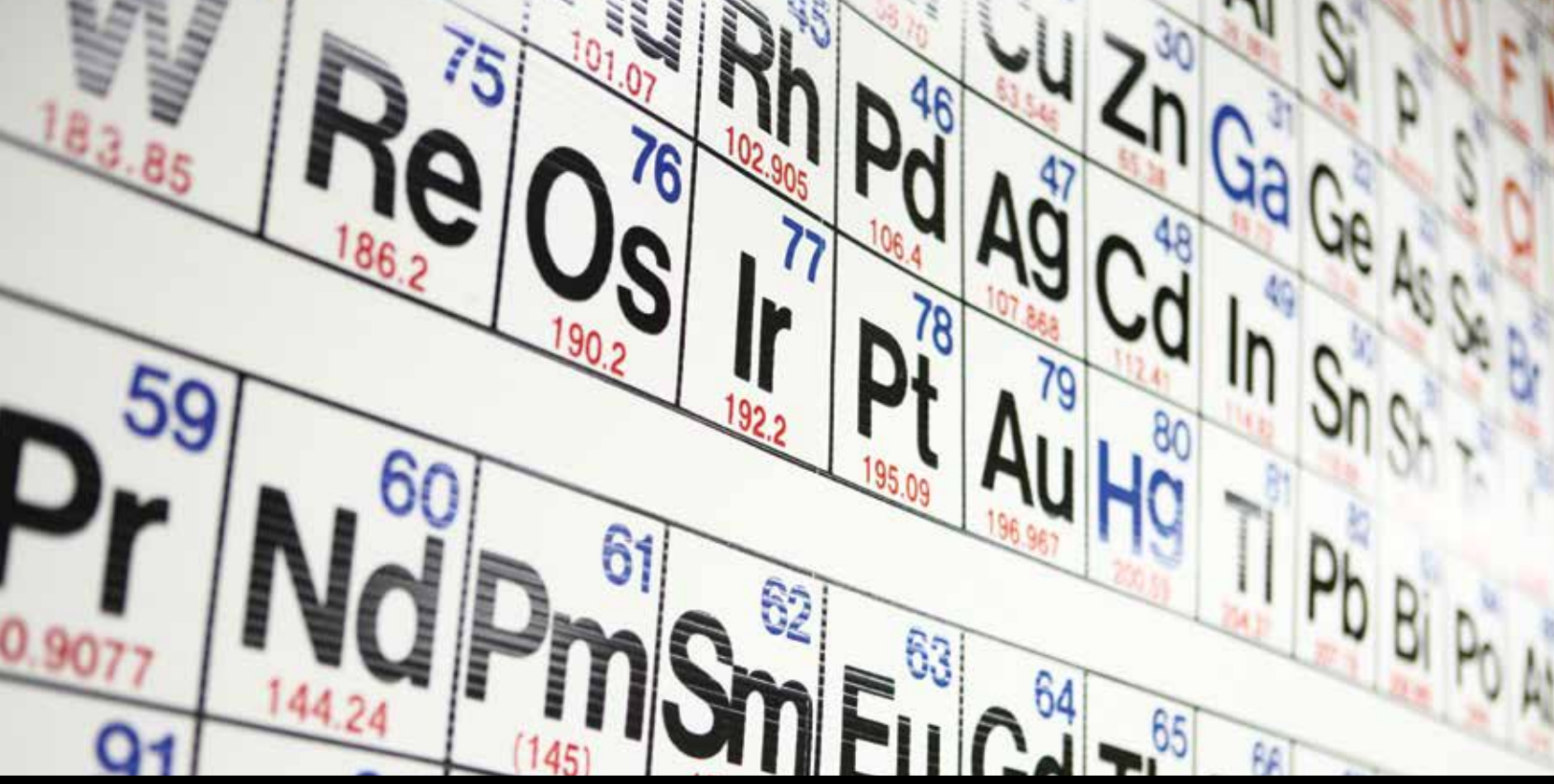
أ. احسب الضغط الذي يؤثّر به هذا الشخص على الأرضية بوحدة (N/cm^2).

ب. إذا رفع الشخص إحدى قدمَيه عن الأرض مع إبقاء القدم الأخرى، احسب الضغط الذي يؤثّر به الآن على الأرضية.

٤ تقصّ مريم قطعة من الورق المقوّى. لديها مقصّان متماثلان أحدهما حادّ والآخر غير حادّ.

علِّل سهولة قصّ الورقة بالمقصّ الحادّ مقارنةً بالمقصّ غير الحادّ.

٥ دُقّ مسمار في قطعة من الخشب، فإذا كانت مساحة رأس المسمار المدبّب الملامِسة للخشب ($1 \times 10^{-6}\ m^2$) وكان الحدّ الأدنى من الضغط اللازم لدخول المسمار في الخشب ($4 \times 10^8\ N/m^2$)، احسب القوّة اللازمة لجعل المسمار يدخل في الخشب.



الوحدة الثامنة

فيزياء النواة Physics of the Nucleus

تُغطّي هذه الوحدة:

- البروتونات والنيوترونات في النواة.
- كيفية تمثيل النويدة بالشكل ${}^{A}_{Z}X$.
- مفهوم النظائر.

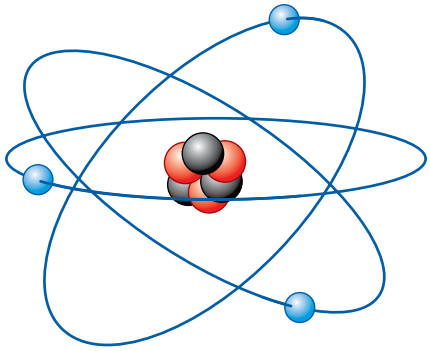
٨-١ بنية النواة

اعتقد معظم العلماء في نهاية القرن التاسع عشر أن المادّة مكوّنة من جُسيمات صغيرة غير قابلة للانقسام، تسمّى الذرّات. وفي عام 1910م اكتشف إرنست رذرفورد Ernest Rutherford وزملاؤه أن كلّ ذرّة لها نواة مركزية صغيرة.

عمل زملاء رذرفورد على ذرّات الذهب، وكان هو قادرًا على تحليل نتائجهم التجريبية لاستنتاج حجم نواة ذرّة الذهب؛ فتوصَّل إلى أن الذرّة صغيرة جدًّا (قطرها حوالي 10^{-10} m)، في حين أن نواتها أصغر من ذلك بكثير (قطرها حوالي 10^{-15} m). أمّا إلكتروناتها فتقع خارج النواة (الشكل ٨–١)، وهي أصغر بكثير من النواة، ويشغل الفراغ معظمَ حجم الذرّة.

لا شكّ في أنّ تخيّل هذه المقاييس النسبية أمرًا صعبًا. حاول إذن تصوّر كرة زجاجية قطرها حوالي 1 cm موضوعة في مركز ملعب لكرة قدم، فهي تُمثّل نواة الذرّة. وتكون الإلكترونات مثل حُبيبات الغبار الصغيرة التي تدور حول تلك النواة، على مسافات مختلفة تصل إلى محيط ملعب كرة القدم.

فمثلاً عندما ترتطم إصبع قدمك بصخرة، يصعب أن نتخيّل أن معظم حجم ذرّات الصخرة وإصبعك تكاد أن تكون فراغًا تامًّا!



الشكل ٨-١ النموذج الذرّي لذرّة ما (ليس مرسومًا بالمقياس). تبدو ثلاثة إلكترونات وهي تتحرّك حول نواة مُكوّنة من ثلاثة بروتونات وثلاثة نيوترونات

البروتونات والنيوترونات في النواة

نعلم أن نواة الذرّة مكوَّنة من نوعَين من الجُسيمات، هما **البروتونات Protons والنيوترونات Neutrons**. وبينما تحمل البروتونات الشحنة الموجبة للنواة تكون النيوترونات متعادِلة الشحنة (غير مشحونة). ويُطلَق عليهما معًا اسم **النيوكليونات Nucleons**.

مصطلحات علمية

البروتون Proton: جُسيم موجب الشحنة يوجد في نواة الذرّة.

النيوترون Neutron: جُسيم متعادِل كهربائيًّا يوجد في نواة الذرّة.

النيوكليون Nucleon: أيّ جُسيم موجود في نواة الذرّة، وهو إمّا بروتون أو نيوترون.

الذرّات والعناصر

عندما نُحدّد الجُسيمات التي تتكوّن منها الذرّات، يسهل كثيرًا فهم الجدول الدوري للعناصر (الشكل ٨-٢). يبيّن هذا الجدول ترتيب العناصر بدءًا من الأخف ثقلًا (الهيدروجين ثم الهيليوم) وصولًا إلى الأثقل (اليورانيوم وما بعده). يعتمد الترتيب الذي تظهر به الذرّات في الجدول الدوري على عدد البروتونات في نواة كل ذرّة. وبما أن كل ذرّة هيدروجين (H) تحتوي على بروتون واحد في نواتها فإنّ الهيدروجين يُمثِّل العنصر رقم 1، وبما أن كلّ ذرّة هيليوم (He) تحتوي على بروتونَين فإنّ الهيليوم يشكّل العنصر رقم 2، وهكذا ...

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La to Lu	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac to Lr															

La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

الشكل ٨-٢ الجدول الدوري للعناصر، وهو طريقة لتنظيم ما نعرفه عن العناصر المختلفة. وقد صُمّم هذا الجدول على أساس البنية الذرّية للعناصر، ورُتبت العناصر فيه وفق عدد البروتونات في النواة (العدد الذرّي في النواة Z).

(لمعرفة المزيد، انظر الجدول الدوري للعناصر الموسّع في الملحق آخر الكتاب)

لكل عنصر رمزه الخاص الذي يتألّف من حرف مثل الهيدروجين H، أو حرفَين مثل الهيليوم He. ويمكن في بعض الأحيان كتابة رمز العنصر باستخدام رقمَين أمامه، أحدهما فوق الآخر مثل:

$$^{4}_{2}\mathrm{He}$$

يُمثّل الرمز أعلاه نواة ذرّة الهيليوم. حيث يُعبّر الرقم السفلي عن وجود بروتونَين في نواة ذرّة الهيليوم، ويُعبّر الرقم العلوي عن وجود 4 نيوكليونات (بروتونَين ونيوترونَين) في نواة ذرّة الهيليوم. (يسهل من الرقم العلوي معرفة وجود نيوترونَين في النواة).

يمكننا كتابة الرمز العام للعنصر X الذي يتضمّن **العدد الذرّي (*Z*) Atomic number** وهو عدد البروتونات في النواة، **والعدد الكتلي (*A*) Mass number** وهو عدد النيوكليونات (البروتونات والنيوترونات) في النواة، على النحو الآتي:

تُكتَب المعلومات حول نواة ذرّة العنصر X كالآتي:

$$^{A}_{Z}\mathrm{X}$$

حيث A هو العدد الكتلي في النواة و Z هو العدد الذرّي فيها.

تحتوي ذرّة العنصر X المتعادِلة كهربائيًّا على عدد من الإلكترونات تدور حول النواة، حيث يكون عدد الإلكترونات مساويًا لعدد البروتونات Z. يوجد في الطبيعة ما يزيد قليلاً عن 100 عنصر، لكلّ منها قيمة مختلفة من A ومن Z، ولكلّ منها نواة مختلفة عن نوى العناصر الأخرى. ويُسمّى كل نوع محدّد من النواة **النويدة Nuclide**. نأخذ مثلًا $^{12}_{6}\mathrm{C}$ و $^{13}_{6}\mathrm{C}$ و $^{14}_{7}\mathrm{N}$ فهي ثلاث نويدات مختلفة، تختلف كل منها بأعداد A و Z.

مصطلحات علمية

العدد الذرّي (*Z*) Atomic number: عدد البروتونات في نواة الذرّة.

العدد الكتلي (*A*) Mass number: عدد البروتونات والنيوترونات في نواة الذرّة.

مصطلحات علمية

النويدة Nuclide: نوع معيّن من الذرّة أو النواة لها عدد محدّد من النيوترونات والبروتونات.

أسئلة

٨-١ ما الجُسيمات التي تشكّل نواة الذرّة؟

٨-٢ تُمثَّل نواة ذرّة أكسجين بالرمز $^{17}_{8}\mathrm{O}$،

أ. ما عدد نيوكليونات الذرّة؟

ب. ما عدد بروتونات الذرّة؟

العناصر والنظائر

لكلّ ذرّة عنصر عدد ذرّي Z خاصّ بها. فالذرّة الصغيرة التي تحتوي نواتها على بروتونَين ($Z = 2$) هي ذرّة هيليوم، والذرّة التي تكبرها بكثير والتي تحتوي نواتها على 92 بروتونًا هي ذرّة يورانيوم، لأن اليورانيوم هو العنصر رقم 92 في الجدول الدوري.

يمكنك من عدد Z وعدد A التوصُّل إلى عدد ثالث، هو عدد النيوترونات (N) في النواة، حيث أن:

العدد الكتلي (A) = عدد النيوترونات (N) + العدد الذرّي (Z)

$$Z + N = A$$

يكون لبعض العناصر أكثر من نوع. يبيّن الجدول ٨-١ ثلاثة أنواع من ذرّات الهيدروجين تحتوي نواة كل منها على بروتون واحد وأعداد مختلفة من النيوترونات (0، 1، 2). توصَف هذه الذرّات بأنها **نظائر Isotopes** مختلفة للهيدروجين.

مصطلحات علمية

النظائر Isotopes: ذرّات لنفس العنصر لها نفس عدد البروتونات ولكنها تختلف في عدد النيوترونات.

أسئلة

٨-٣ تحتوي نواة ذرّة من الرصاص (Pb) على (82) بروتونًا و (128) نيوترونًا. اكتب الرمز الكامل لهذه النويدة.

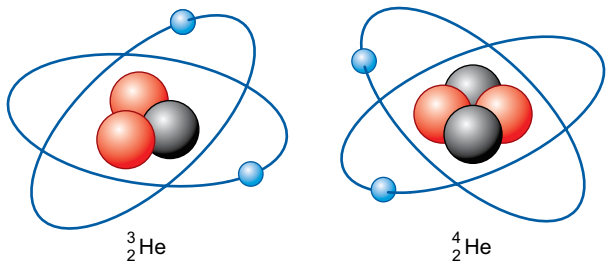
٨-٤ ما عدد البروتونات والنيوترونات في نواة ذرّة الفضّة $^{107}_{47}\mathrm{Ag}$؟

رمز النظير	العدد الذرّي (Z)	عدد النيوترونات (N)	العدد الكتلي (A)
$^{1}_{1}H$	1	0	1
$^{2}_{1}H$	1	1	2
$^{3}_{1}H$	1	2	3
$^{235}_{92}U$	92	143	235
$^{238}_{92}U$	92	146	238

الجدول ٨–١ ثلاثة نظائر للهيدروجين ونظيران لليورانيوم

- تمتلك جميع النظائر المختلفة للعنصر عدد البروتونات نفسه، ولكنّ أنويتها تمتلك أعدادًا مختلفة من النيوترونات.
- تمتلك جميع النظائر المختلفة للعنصر الخصائص الكيميائية نفسها، ولكن التي تمتلك عدد نيوترونات أكبر تكون هي الأثقل.

يبيّن الشكل ٨–٣ ذرّات نظيرَي الهيليوم $^{4}_{2}He$ (النظير الأكثر شيوعًا) و $^{3}_{2}He$ (النظير الأخفّ وزنًا والأكثر ندرة). تحتوي كل نواة على بروتونَين، ولكن النظير الأخفّ $^{3}_{2}He$ يحتوي على نيوترون واحد فقط.



الشكل ٨–٣ يُظهر الرسمان نظيرَين للهيليوم، حيث تظهر البروتونات باللون الأحمر والنيوترونات باللون الرمادي

ولا بدّ من أن يكون لمعظم العناصر الكيميائية نظير واحد على الأقلّ مُستقرًا؛ وقد تكون النظائر الأخرى غير مستقرّة، ونعني بغير مستقرّة أنّها تخضع **للاضمحلال الإشعاعي Radioactive decay**، فينبعث **إشعاع Radiation** من النواة. وسوف يتمّ شرح ذلك في الوحدة التالية.

أسئلة

٨-٥ **أ.** ما الشيء المُتماثِل في ذرّتَين مختلفتَين لنظير عنصر واحد؟

ب. ما الشيء المختلف فيهما؟

٨-٦ يبيّن الجدول أدناه قائمة بأعداد البروتونات والنيوكليونات في ستّ نويدات مختلفة.

النويدة	العدد الذرّي (Z)	عدد النيوترونات (N)	العدد الكتلي (A)
1	6	6	
2		6	13
3	7		14
4		8	14
5		6	11
6		7	13

أ. انسخ الجدول وأكمله بملء المستطيلات الفارغة.

ب. أيٍّ **ثلاث** نويدات هي نظائر لعنصر واحد؟

ج. أيٍّ **نوعَين** من النويدات هما نظيران لعنصر آخر؟

د. استخدم الجدول الدوري للعناصر (الشكل ٨–٢) لتسمية **ثلاثة** عناصر في الجدول.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- عدد البروتونات (العدد الذرّي) Z وعدد النيوكليونات (العدد الكتلي) A.
- بنية النواة وتمثيلها بالرمز $({}^{A}_{Z}X)$.
- نظائر العناصر.

أسئلة نهاية الوحدة

١ اذكر نوعَي الجُسيمات في نوى الذرّات.

٢ تحتوي ذرّة على (53) بروتونًا و (127) نيوكليونًا.

أ. ما الرموز المُستخدمة للدلالة على:

١. عدد البروتونات (العدد الذرّي)؟

٢. عدد النيوكليونات (العدد الكتلي)؟

ب. احسب عدد كل نوع من الجُسيمات في نواة هذه الذرّة.

٣ لعنصر الكربون عدّة أنواع مختلفة من الذرّات، يمكن تمثيل ثلاثة منها بالرموز الآتية:

$${}^{14}_{6}C \qquad {}^{13}_{6}C \qquad {}^{12}_{6}C$$

أ. اذكر الاسم المُستخدم لوصف تلك الأنواع الثلاثة من ذرّات الكربون.

ب. صِف أوجُه التشابُه وأوجُه الاختلاف بين نوى كل من تلك الذرّات الثلاث للكربون.

٤ **أ.** ما المقصود بالنويدة؟

ب. يمتلك نظير عنصر التكنيشيوم الرمز الكيميائي (Tc)، وتحتوي نواة ذرّته على (43) بروتونًا و (56) نيوترونًا.

اكتب هذه المعلومات باستخدام الرمز ${}^{A}_{Z}X$.

الوحدة التاسعة

النشاط الإشعاعيّ Radioactivity

تُغطّي هذه الوحدة:

- إشعاع الخلفية الناتج من المصادر الطبيعية والصناعية.
- كيفية الكشف عن الإشعاع.
- طبيعة إشعاعات ألفا (α) وبيتّا (β) وجاما (γ).
- السلوك المُؤيِّن للإشعاع والقدرة على الاختراق.
- تأثير المجالات الكهربائية والمغناطيسية على الإشعاع.

٩-١ النشاط الإشعاعي في كلّ مكان

تبيّن الصورة في الأعلى استخدام كاشف للتحقّق من وجود نشاط إشعاعي قرب محطّة طاقة نووية.

تحمّس الناس عندما اكتُشف النشاط الإشعاعي وادّعى الأطبّاء أن له آثارًا جيدة على الصحّة. فأضافوا مواد مُشعّة للشوكولاتة والخبز ومعجون الأسنان ومياه الشرب (الصورة ٩-١). ولا تزال بعض المنتجعات الصحّية في جبال الألب حتّى اليوم تتيح للمقيمين فيها فرصة استنشاق الهواء المُشعّ في أنفاق المناجم القديمة.

سوف نتطرّق في هذه الوحدة إلى المواد المُشعّة والإشعاع الذي تنتجه، ونناقش كيف يُستخدَم ذلك الإشعاع بأمان.

الصورة ٩-١ كان بإمكانك في ثلاثينات القرن الماضي شراء عبوات غاز الرادون المشعّ لإذابته في مياه الشرب

لا بدّ من التمييز هنا بين شيئَين: **المواد المشعّة Radioactive substances والإشعاع Radiation** الذي تبعثه المواد المشعّة. فالمادة المشعّة هي مادّة صلبة أو سائلة أو غازيّة تحتوي على نظير أو أكثر من النظائر غير المستقرّة، تبعث النظائر غير المستقرّة إشعاعًا حتى تصبح مستقرّة، وبذلك يتمّ الكشف عن الإشعاع الذي تطلقه المادّة المشعّة. وفي هذه الوحدة سوف يتمّ وصف ثلاثة أنواع من الإشعاع.

تحتوي الطبيعة على الكثير من المواد الطبيعية المُشعّة، والتي لا تكون في العادة شديدة التركيز، لذلك لا تُسبّب مشكلات للإنسان، فنحن جميعًا نتعرّض في الواقع لمستويات منخفضة من الإشعاع في جميع الأوقات، ويُعرف هذا الإشعاع باسم **إشعاع الخلفية Background radiation**. وقد نتعرّض أيضًا لإشعاعات من المصادر الصناعية، كالإشعاع الذي نتلقّاه عندما نتعرّض للأشعّة السينية (X-ray) الطبّية.

وقد تُسبّب المواد المشعّة ضررًا لنا في حالتَين:

- إذا دخلت هذه الموادّ المشعّة إلى أجسامنا؛ لأن إشعاعها يُلحق الضرر بنا.
- إذا تعرّضت أجسامنا للإشعاع الذي تنتجه هذه الموادّ، فنقول حينئذٍ إننا قد تلقّينا جرعة من الإشعاع.

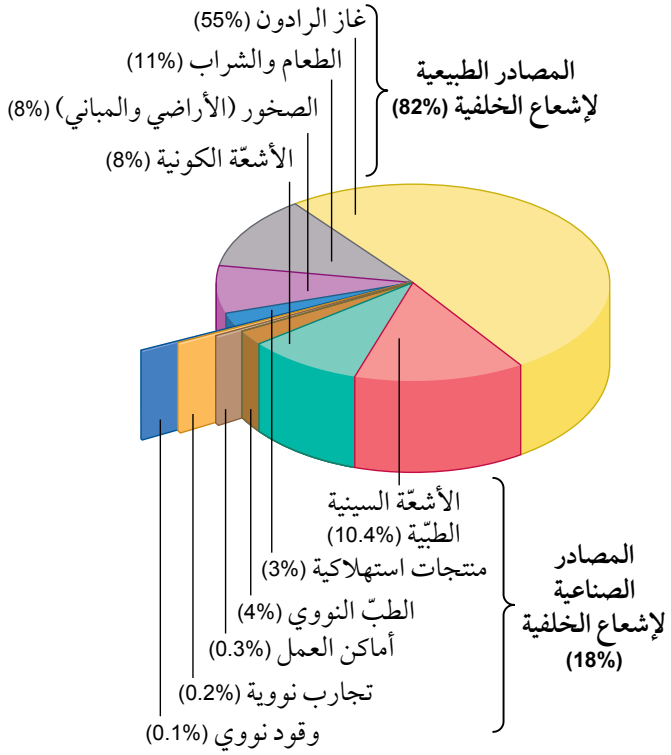
مصطلحات علمية

المادّة المشعّة Radioactive substance: مادّة تضمحلّ بانبعاث إشعاع من نوى ذرّاتها.

الإشعاع Radiation: طاقة تنتشر من مصدر تحملها جُسيمات أو موجات.

إشعاع الخلفية Background radiation: هو إشعاع طبيعي منخفض الكثافة في البيئة المحيطة بنا، ومن الأمثلة عليه إشعاع ألفا وبيتا وجاما، ومصدره الصخور والكائنات الحيّة والفضاء.

يوضّح الشكل ٩-١ المصادر المختلفة التي تساهم في متوسّط جرعة إشعاع الخلفية التي يتلقّاها الأشخاص، وتشير النسب المئوية إلى متوسّط جرعة إشعاع الخلفية في العديد من البلدان حول العالم. وهي مقسّمة إلى إشعاع خلفية من مصادر طبيعية بنسبة تصل إلى حوالي 82%، وإشعاع خلفية من مصادر صناعية بنسبة تصل إلى حوالي 18%.



الشكل ٩-١ يوضّح هذا المُخطّط البياني الدائري المصادر المختلفة لإشعاع الخلفية. تُظهر النسب المئوية متوسّطًا عالميًّا لإشعاع الخلفية، لذلك تختلف هذه النسب قليلاً بين البلدان

المصادر الطبيعية لإشعاع الخلفية

- **غاز الرادون:** يحتوي الهواء على غاز مُشعّ يُسمّى الرادون، وهو يتسرّب من الصخور، وهذا يدفعنا إلى القول: حتّى الهواء المُحيط بنا مُشع. ينتج غاز الرادون بعد عدّة اضمحلالات متتالية لليورانيوم في الصخور، وتختلف كمّية غاز الرادون في الهواء من مكان إلى آخر، وفقًا لتكوين الصخور، لكن يبلغ متوسّطها حوالي نصف إشعاع الخلفية الذي نتعرّض له، انظر الشكل (٩-١).

- **الصخور:** إنّ العناصر المُشعّة الطبيعية في الصخور، كنظائر اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم، هي أيضًا تُساهم في إشعاع الخلفية، ولمّا كانت مواد البناء، مثل الرمل والطوب والأسمنت، مصنوعة من الصخور، فإن المباني مُشعّة أيضًا (الصورة ٩-٢).

الصورة ٩-٢ مسجد الشواذنة بحلّة العقر في ولاية نزوى المبني من صخور ومواد بناء تُعدّ من الموادّ المشعّة الطبيعية

- **الطعام و الشراب:** تدخل إلى أجسام الحيوانات وكذلك النباتات، موادّ عديدة، بما فيها نظائر الكربون المُشعّة، وهذا ما يحدث بصورة طبيعية خلال حياتها عند حصولها على الغذاء. وأثناء نموّ الحيوانات والنباتات تندمج تلك النظائر في خلاياها، لتُصبح الحيوانات والنباتات بالتالي كائنات مُشعّة، يحدث لنا الأمر نفسه نحن البشر، لذلك نصبح كائنات مُشعّة أيضًا (الصورة ٩-٣).

الصورة ٩-٣ كلّ الأطعمة التي نتناولها مُشعّة بطبيعتها

- **الأشعّة الكونية:** تُشكّل الشمس والنجوم الأخرى مصادر للإشعاع نسمّيها الأشعّة الكونية، ويقوم الغلاف الجوّي بامتصاصها، فإذا كنت تعيش عند مستوى سطح البحر، يكون تعرُّضك للأشعّة الكونية أقلّ من تعرُّضك لها لو أنّك تعيش على علوّ مرتفع، أو كنت كثير السفر جوًّا. ومن الجدير بالذكر أنّ الطائرات التي تُقلّ المسافرين يجب أن تكون محميّة من الأشعّة الكونية.

الصورة ٩-٤ يُشكّل الفضاء مصدر حوالي 8% من إشعاع الخلفية

المصادر الصناعية لإشعاع الخلفية

- **الاستخدامات الطبّية:** يأتي معظم إشعاع الخلفية الصناعية من الاستخدامات الطبّية للأشعّة السينية وأشعّة جاما، حيث تنتج العديد من مولّدات الأشعّة السينية أيضًا أشعّة جاما. وتُستخدَم أشعّة جاما في التصوير الطبّي (الصورة ٩-٥) وعلاج السرطان. ومع ذلك، فإنّ هناك خطرًا ناجمًا عند التعرُّض لأشعّة جاما، هو خطر الإصابة بالسرطان، لذلك يجب على الأشخاص الذين يعملون في قسم التصوير الطبّي مراقبة مدى تعرُّضهم لأشعّة جاما.

الصورة ٩-٥ تُشكّل الاستخدامات الطبّية المصدر الأساسي لإشعاع الخلفية الصناعية

- **التجارب النووية:** قبل سبعينات القرن الماضي، أجرت دول مثل الولايات المتحدة الأمريكية والمملكة المتحدة والاتّحاد السوفييتي تجارب للأسلحة النووية على سطح الأرض أدّت إلى رفع مستوى إشعاع الخلفية في الغلاف الجوّي حول العالم (الصورة ٩-٦).

ومنذ السبعينات، أصبحت الدول تُجري التجارب النووية تحت الأرض، حتّى أن بعض الدول أبرمت اتفاقيات لوقف تجارب الأسلحة النووية تمامًا.

الصورة ٩-٦ أُجريَت هذه التجربة النووية في الغلاف الجوّي عام 1953 م

- **مكان العمل:** معلوم أنّ الأشخاص الذين يعملون في محطّات الطاقة النووية أو السفن أو الغوّاصات التي تعمل بالطاقة النووية، وكذلك الذين يعملون في العديد من المصانع والمختبرات (الصورة ٩-٧)، يتعرّضون لمُستويات مُنخفِضة من الإشعاع مصدرها بيئة عملهم، وتتمّ مراقبة مدى تعرُّض هؤلاء الأشخاص للأشعّة بعناية.

الصورة ٩-٧ تستخدم العديد من مُختبرات الأبحاث يوميًّا النظائر المُشعّة، ممّا يزيد من تعرُّض العاملين بها للإشعاع في أماكن عملهم

تأثير إشعاع الخلفية على التجارب

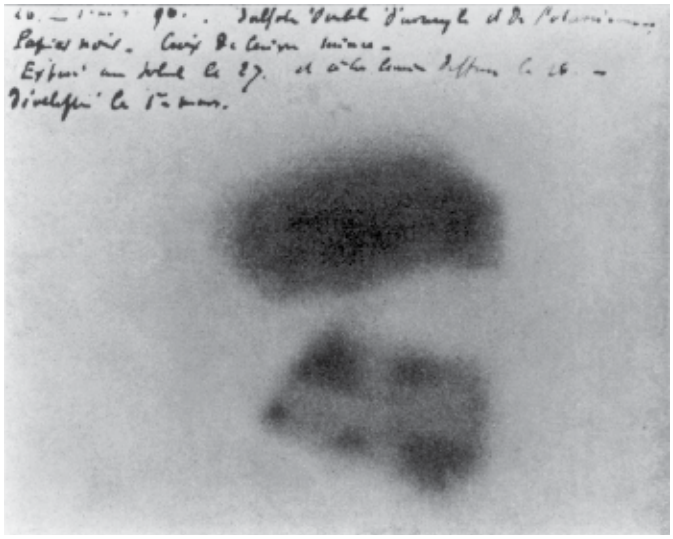
عندما نقيس الانبعاث من مصدر مُشعّ فإننا في الواقع نقيس إشعاع الخلفية أيضًا، هذا يعني أنّ علينا قياس إشعاع الخلفية قبل إجراء أي تجربة وبعدها، ثمّ يجب بعد ذلك طرح نشاط الخلفية من أي نتائج.

ومع ذلك تشهد بعض التجارب نشاطًا من المصدر مُرتفعًا جدًّا وثابتًا في جميع القياسات، ويمكن عندها تجاهُل إشعاع الخلفية على افتراض أنه سيبقى كما هو، وسوف يُشكّل نسبة صغيرة جدًّا من النشاط العالي الذي يتمّ قياسه.

كشف الإشعاع

اكتشف الفيزيائي الفرنسي هنري بيكريل Henri Becquerel، النشاط الإشعاعي عام 1896 م، عندما كان يستقصي بعض الصخور الفوسفورية، وهي الصخور التي تتوهّج لفترة وجيزة من الزمن بعد أن تُترك تحت ضوء ساطع، فكانت طريقته بأن يترك قطعًا من صخرة على حافة نافذة غرفته مقابل الضوء، ثم يضعها في دُرج مظلم على قطعة من فيلم تصوير فوتوغرافي؛ لرصد الضوء الذي ينبعث منها. كان بيكريل يشتبه في أن تلك الصخور التي تحتوي على اليورانيوم قد تجعل فيلم التصوير الفوتوغرافي أكثر سوادًا بسرعة أكبر من الصخور المماثلة التي لا تحتوي على اليورانيوم، لكنه اكتشف شيئًا أكثر إثارة: فالفيلم الفوتوغرافي تغيَّر إلى اللون الأسود حتى عندما لم يتمّ تعريض تلك القطع الصخرية للضوء، فأدرك بيكريل أن نوعًا من الإشعاع غير المرئي كان يصدر من اليورانيوم. لاحظ أيضًا أنه كلّما تُرِك الفيلم الفوتوغرافي تحت القطع الصخرية لفترة أطول، أصبح لونه داكنًا أكثر، أيّ أن اليورانيوم يُصدِر إشعاعًا طوال الوقت، من دون أن يتم تزويده بالطاقة.

اكتشف بيكريل طريقة الكشف عن وجود الإشعاع غير المرئي باستخدام الفيلم الفوتوغرافي، ولا تزال هذه الطريقة مُستخدَمة حتى اليوم، وتُبيّن الصورة ٩-٨ إحدى أولى الصور الناتجة عن هذا الإشعاع.



الصورة ٩-٨ واحدة من أولى الصور الفوتوغرافية لهنري بيكريل التي التقطت الإشعاع الناتج عن اليورانيوم، فالبقعتان السوداوان هما أثران لقطعتَين من بلّورات تحتوي على يورانيوم، ولإظهار أن الإشعاع سيمرّ عبر فلزّ، وضع بيكريل قطعة نحاسية بين إحدى البلّورات والفيلم الفوتوغرافي، ويمكنك أن ترى «ظل» القطعة النحاسية على الصورة، قد تمّ التحميض في الأوّل من مارس (1896 م)

يستغرق تعريض الفيلم الفوتوغرافي للإشعاع وتحميضه بعض الزمن، لكن إذا أردنا رصدًا أسرع للإشعاع، يمكننا استخدام **عدّاد جيجر Geiger counter**، وهذا الكاشف هو عبارة عن أنبوب جيجر مولر الذي يوضع قرب مصدر الإشعاع المُراد الكشف عنه (الصورة ٩-٩). حيث يدخل الإشعاع في الأنبوب مُولّدًا نبضة كهربائية كل مرّة يُرصَد فيها الإشعاع، والعدّاد الإلكتروني (الذي تحمله اليد اليسرى للرجل في الصورة) يحصي تلك النبضات، ومع كلّ نبضة يُسمَع صوت نقرة أو تنبيه. يُستخدَم عدّاد جيجر في الصورة للتحقّق من مستويات الإشعاع في الطحالب التي جُمعَت من سفح جبل في فرنسا، حيث تُجرى فحوصات منتظمة لعيّنات من الهواء والتربة والغطاء النباتي والماء على بُعد 20 km من محطّة الطاقة النووية هناك.

الصورة ٩-٩ استخدام عدّاد جيجر لرصد مستويات الإشعاع

الطبيعة العشوائيّة للانبعاثات الإشعاعيّة

إذا كنت تستمع إلى نقرات أو أصوات تنبيه من عدّاد جيجر، فقد تلاحظ أنّه من المستحيل توقّع متى سيأتي الصوت التالي؛ وسبب ذلك أنّ الانبعاثات الإشعاعية **عملية عشوائية Random process**، فإذا درستَ عيّنة من مادة مشعّة، فأنت لا تستطيع توقُّع متى سيحدث الانبعاث الإشعاعيّ للذرّة التالية، فالانبعاثات الإشعاعيّة للذرّات تحدث عشوائيًّا مع مرور الزمن.

يستحيل كذلك التنبّؤ أي ذرّة مفردة سيكون دورها في الانبعاث الإشعاعي التالي، فإذا كانت الذرّة الواقعة إلى يسار العيّنة قد حدث لها انبعاث إشعاعيّ الآن، فلا يمكننا توقّع أن يكون دور الذرّة الواقعة إلى يمين العيّنة في الانبعاث الإشعاعي القادم.

لتلخيص هذه العشوائية يجب أن نذكر أن الانبعاث الإشعاعي يحدث بشكل عشوائي مكانيًّا وزمانيًّا.

أسئلة

١-٩ ما المصدر الذي يساهم بشكل أكبر في إشعاع الخلفية؟

٢-٩ لماذا يُرجَّح أن يتعرّض الأشخاص الذين يعيشون في أماكن أعلى عن مستوى سطح البحر لمستويات أعلى من إشعاع الخلفية؟

٣-٩ ما النسبة المئوية لمتوسّط الجرعة السنوية لإشعاع الخلفية التي يتعرّض لها الإنسان من مصادر صناعية؟

٤-٩ اذكر ثلاثة مصادر للتعرُّض للإشعاع من مصادر صناعية.

٥-٩ اذكر طريقتَين للكشف عن الإشعاع من المواد المشعّة.

نشاط ٩-١ (إثرائي)

إشعاع الخلفية

قد يقدّم معلّمك بعض العروض التي توضّح كيفية الكشف عن الإشعاع. شاهد العرض واذكر مصدر أو مصادر الإشعاع الذي تم اكتشافه.

٢-٩ فهم النشاط الإشعاعي

إذا أردنا أن نفهم طبيعة النشاط الإشعاعي، فعلينا تصوُّر ما يجري على المستوى المجهري، هناك سؤالان على مستوى الذرّات والنوى نحتاج الإجابة عنهما: لماذا تكون بعض الذرّات مشعّة، وبعضها الآخر غير مشعّ؟ وما طبيعة الإشعاع الذي تُنتجه الذرّات؟

ينبعث الإشعاع من نوى بعض الذرّات كما يظهر في الشكل ٩-٢، فعندما يحدث ذلك، نقول إن النواة غير مستقرّة؛ وهي تبعث إشعاعات لتصبح أكثر استقرارًا، تسمّى هذه العملية **الاضمحلال الإشعاعي Radioactive decay**.

من رحمة الله تعالى أن معظم الذرّات حولنا تملك أنوية مستقرّة، فعندما تشكّلت الأرض، قبل حوالي 4500 مليون سنة، كان عدد الذرّات المشعّة أكثر بكثير من الآن، ولكن مع مرور تلك الملايين من السنين، حدث انبعاث إشعاعي لمعظم الذرّات فأصبحت مستقرّة، فمستوى إشعاع الخلفية في الزمن البعيد كان أعلى بكثير مما هو عليه اليوم.

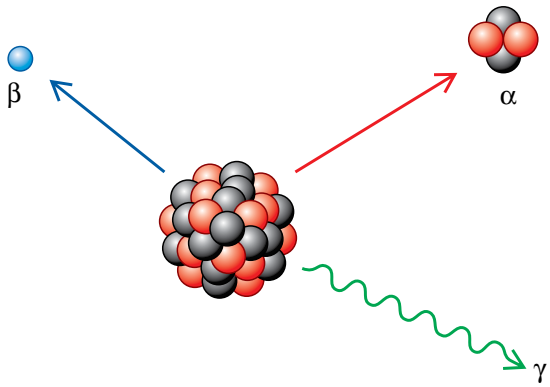
مصطلحات علمية

الاضمحلال الإشعاعي Radioactive decay: انحلال لأنوية الموادّ المشعّة غير المستقرّة بإطلاق جُسيمات أو إشعاع لتصبح أنوية مستقرّة.

أنواع الإشعاعات

هناك ثلاثة أنواع من الإشعاع المنبعث من الموادّ المشعّة (الجدول ٩-١). سُمّيت هذه الإشعاعات باسم الحروف الأولى من الحروف الأبجدية اليونانية، ألفا (α)، وبيتّا (β) وجاما (γ). تُعدّ ألفا وبيتا جُسيمات، في حين أنّ جاما شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي (الشكل ٩-٢) الذي ستدرسه في وحدة الطيف الكهرومغناطيسي في الفصل الدراسي الثاني.

- **جُسيم ألفا (α) Alpha particle**: يتكوَّن من بروتونَين ونيوترونَين. (وهو عبارة عن نواة ذرّة الهيليوم ^4_2He نفسها). وبما أنه يحتوي على بروتونَين فإنّ شحنته موجبة.
- **جُسيم بيتا (β) Beta particle**: وهو إلكترون، لكنّه ليس أحد الإلكترونات التي تدور حول النواة، بل ينبعث من داخل النواة (يتحوّل نيوترون إلى بروتون وإلكترون) نتيجة الاضمحلال الإشعاعي، وهو ذو شحنة سالبة، وكتلته أقلّ بكثير من كتلة جُسيم ألفا.
- **أشعّة جاما (γ) Gamma ray**: وهي شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي، ويمكننا اعتبارها موجات ذات طول موجي قصير جدًّا (أقصر من الطول الموجي للأشعّة السينية وتحمل طاقة أكبر).



الشكل ٩-٢ تنبعث الأنواع الثلاثة للإشعاع من نواة الذرّة المشعّة

مصطلحات علمية

جُسيم ألفا (α) Alpha particle: جُسيم مكوَّن من بروتونَين ونيوترونَين ينبعث من نواة ذرّة أثناء الاضمحلال الإشعاعي.

جُسيم بيتا (β) Beta particle: إلكترون ينبعث من نواة ذرّة أثناء الاضمحلال الإشعاعي.

أشعّة جاما (γ) Gamma ray: الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من نواة ذرّة أثناء الاضمحلال الإشعاعي.

تبعث ذرّة المادة المشعّة إما جُسيم ألفا أو جُسيم بيتا، وقد تبعث بالإضافة إلى ذلك بعض الطاقة على شكل أشعّة جاما؛ إذ ينبعث إشعاع جاما عادةً متزامنًا مع انبعاث ألفا أو بيتا، لكنه أحيانًا قد ينبعث في وقت متأخّر عنهما.

عندما تضمحلّ ذرّة مشعّة ببعث جُسيمات ألفا أو بيتا، فإن ذرّة عنصر آخر تتشكّل عندئذٍ؛ وسبب ذلك أن انبعاث ألفا وبيتا يغيّر عدد البروتونات والنيوترونات في النواة.

اسم الأشعّة	الرمز	مكوّن من	الكتلة	نوع الشحنة
ألفا	α أو ^4_2He	2 بروتون + 2 نيوترون	(كتلة البروتون × 4) تقريبًا	موجبة
بيتا	β أو $^0_{-1}e$	إلكترون	$\frac{\text{كتلة البروتون}}{1840}$ تقريبًا	سالبة
جاما	γ	إشعاع كهرومغناطيسي	0	لا تحمل شحنة

الجدول ٩-١ ثلاثة أنواع من الإشعاع تنتِجها المواد المشعّة

نشاط ٩-٢ (إثرائي)

المقارنة بين الإشعاعات

قد يقدِّم معلّمك بعض العروض للمقارنة بين الإشعاعات التي توضّح خصائص أشعّة ألفا وبيتا وجاما. ماذا تستنتج حول خصائص الإشعاعات التي تُصدرها المصادر المتوفّرة لديك؟

أسئلة

٦-٩ **أ.** ما الإشعاع الصادر عن مادّة مشعّة وله شحنة موجبة؟

ب. ما الإشعاع الصادر عن مادّة مشعّة وله شحنة سالبة؟

٧-٩ ما اسم الجُسيم الذي نرمز إليه بإشعاع β؟

٨-٩ أيّ نوع من أنواع الإشعاعات (ألفا، بيتا، جاما) هو إشعاع كهرومغناطيسي؟

تحرير الطاقة

تحرِّر المواد المشعّة طاقة عند حدوث انبعاث إشعاعي، وتكون هذه الطاقة مخزّنة في نواة الذرّة قبل أن يحدث الانبعاث الإشعاعي، وتتحرَّر هذه الطاقة في شكلَين:

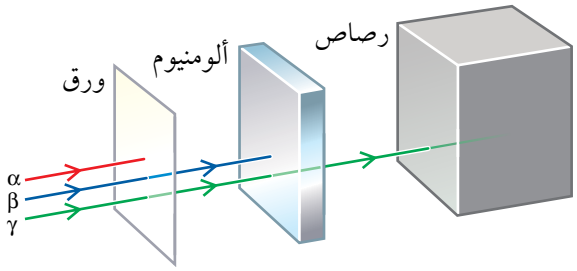
- انبعاث جُسيمَي ألفا أو بيتا يتمّ بسرعة عالية جدًّا، والنواة التي تحرِّر أيًّا منهما ترتدّ بحركة بطيئة، ويكون لكلّ من الجُسيمَين الناتجَين **طاقة حركة Kinetic energy**.
- انبعاث أشعّة جاما ينقل طاقة على شكل **إشعاع كهرومغناطيسي Electromagnetic radiation** بسرعة الضوء.

القدرة على الاختراق

عندما كان علماء الفيزياء يحاولون فهم طبيعة النشاط الإشعاعي، لاحظوا أن الإشعاع يمكن أن يمرّ خلال المواد الصلبة. (رأينا في الصورة ٩-٨ كيف أظهر بيكريل أن بعض إشعاعات اليورانيوم تستطيع المرور في القطعة النحاسية). يمكن أن تخترق الأنواع المختلفة من الإشعاعات مواد مختلفة في السمك.

- تُعدّ جُسيمات ألفا الأسهل امتصاصًا. ذلك أنّها تستطيع أن تنتقل حوالي 5 cm قبل امتصاصها من الهواء، ويمكن امتصاصها بواسطة ورقة رقيقة.
- تستطيع جُسيمات بيتا أن تنتقل حوالي متر واحد في الهواء، وتخترق ورقة رقيقة بسهولة، ولكن يمكن أن تُمتصّ بواسطة فلزّ سمكه عدة ملّيمترات، مثل صفيحة الألومنيوم.
- يُعدّ إشعاع جاما الأكثر قدرة على الاختراق، حيث يلزم عدّة سنتيمترات من فلزّ كثيف مثل الرصاص، أو عدّة أمتار من الخرسانة، لامتصاص معظم أشعّة جاما.

يوضّح الشكل ٩-٣ قدرة الإشعاعات على الاختراق.



الشكل ٩-٣ قدرة إشعاع جاما على الاختراق هي الأكبر، وقدرة إشعاع ألفا هي الأصغر

القدرة على التأيين

عندما يمرّ الإشعاع خلال الهواء قد يتفاعل مع جُزيئات الغاز فيه، وهي جُزيئات متعادلة الشحنة، عندها يُضيف الإشعاع إلكترونات إلى جُزيئات الغاز أو يُزيلها منها، فتصبح مشحونة؛ فنقول عندئذٍ إن الجُزيئات قد أصبحت متأيّنة. يمرّ الإشعاع في الواقع عبر الموادّ ويؤدّي إلى تأيُّنها، وتختلف قدرة الإشعاعات على التأيُّن كالآتي:

- جُسيمات ألفا هي الأكثر قدرة على التأيين.
- إشعاع جاما هو الأقلّ قدرة على التأيين.

وبما أن الإشعاع المنبعث من مصادر مشعّة يسبب **تأيُّن Ionisation** المواد التي تمتصّه، فإن هذا الإشعاع يسمّى **الإشعاع المؤيِّن Ionising radiation**.

مصطلحات علمية

التأيُّن Ionisation: عندما يصبح الجُسيم (ذرّة أو جُزيء) مشحونًا كهربائيًّا بفقدانه أو اكتسابه إلكترونات.

الإشعاع المؤيِّن Ionising radiation: الإشعاع (المنبعث من مواد مشعّة مثلاً) الذي يسبِّب التأيُّن.

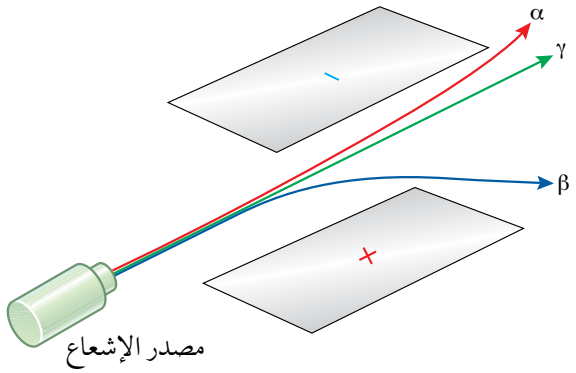
انحراف الإشعاع

يمكننا التمييز بين أنواع الإشعاعات الثلاثة عن طريق معرفة سلوك تلك الإشعاعات في المجالات الكهربائية والمغناطيسية.

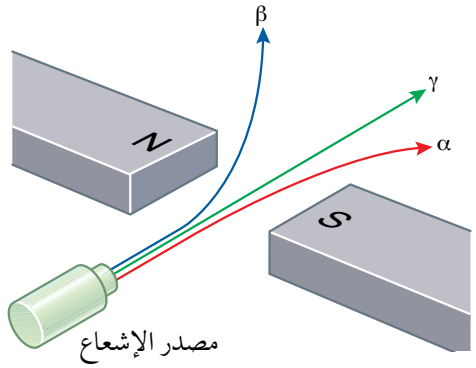
تنحرف جُسيمات ألفا (α) وجُسيمات بيتا (β) في اتّجاهَين متعاكسَين عندما تمرّان خلال مجال كهربائي؛ لأن لكل منهما شحنة مختلفة عن الأخرى كما في الشكل ٩-٤ (أ)، حيث تنجذب جُسيمات ألفا نحو لوح الشحنة السالبة، في حين تنجذب جُسيمات بيتا نحو لوح الشحنة الموجبة، أما أشعّة جاما فلا تنحرف؛ لأنها غير مشحونة.

بما أن جُسيمات ألفا وبيتا ذات شحنة كهربائية، فإنّها عندما تتحرّك تشكّل تيّارًا كهربائيًّا. وبما أنّ لكل منهما شحنة مختلفة تكون القوّة المؤثّرة على كلّ منهما في المجال المغناطيسي متعاكسة في الاتّجاه كما في الشكل ٩-٤ (ب). وكما هو الحال في المجال الكهربائي، فإن أشعّة جاما في المجال المغناطيسي لا تنحرف؛ لأنّها لا تمتلك شحنة كهربائية.

(أ)



(ب)



الشكل ٩-٤ تنحرف إشعاعات (جُسيمات) ألفا وبيتا في اتّجاهَين متعاكسَين عند دخولها: (أ) مجال كهربائي، (ب) مجال مغناطيسي

أسئلة

٩-٩ سمِّ ثلاثة أنواع من الإشعاعات المُؤيِّنة.

١٠-٩ لماذا لا تنحرف أشعّة جاما في المجال المغناطيسي؟

١١-٩ أ. أيِّ نوع من الإشعاع ينبعث من مصدر مشعّ وله قدرة أكبر على التأيين؟

ب. ما علاقة «قدرة أكبر على التأيين» بسهولة امتصاص هذا الإشعاع؟

٩-٣ استخدام النظائر المشعّة

توجد بعض العناصر في الطبيعة على شكل نظائر مختلفة (راجع «العناصر والنظائر» في نهاية الموضوع ٨-١ من الوحدة الثامنة). قد تكون بعض النظائر مستقرّة، في حين بعضها الآخر غير مستقرّ، أي مشعّ، فالكربون مثلاً يحتوي على نظيرَين مستقرَّين ($^{12}_{6}C$ و $^{13}_{6}C$)، ونظير آخر غير مستقرّ $^{14}_{6}C$، تسمّى النظائر غير المستقرّة **النظائر المشعّة Radioisotopes**.

مصطلحات علمية

النظير المشعّ Radioisotope: نظير غير مستقرّ لعنصر ما.

فيما يلي بعض استخدامات النظائر المشعّة المتعلّقة بـ:

- القدرة على الاختراق.
- تلف الخلايا الحية.
- الكشف عن كمّيات ضئيلة من المواد المشعّة.
- الزمن المُستغرَق لتناقص النشاط الإشعاعي لعيّنة من المواد المشعّة.

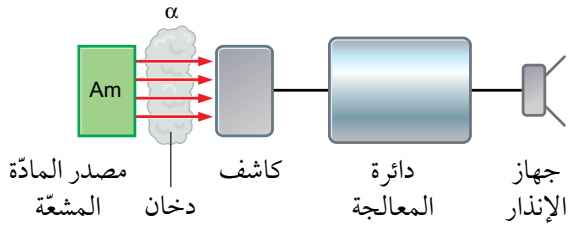
الاستخدامات المتعلّقة بالقدرة على الاختراق

أجهزة كاشف الدخان

غالبًا ما توضع أجهزة كاشف الدخان في المطابخ المنزلية وفي المباني العامة، كالمكاتب والفنادق (الصورة ٩-١٠). يبيّن الشكل ٩-٥ كيف يعمل جهاز كاشف الدخان والمادة المشعّة المُستخدَمة فيه، وهي الأمريسيوم-241، (^{241}Am)، والتي تمثّل مصدر إشعاع ألفا.

- عندما يسقط إشعاع ألفا من مصدر المادة المشعّة على الكاشف (Detector)، ينتج عن ذلك تدفُّق تيّار كهربائي صغير في داخل الجهاز بين المصدر والكاشف؛ لأن أشعّة ألفا تحمل شحنة كهربائية، مما يجعل مخرج دائرة المعالجة مغلقًا، وبالتالي لا يصدر صوت الإنذار.
- لكن عندما يدخل الدخان إلى الفجوة بين مصدر المادّة المشعّة والكاشف، يمتصّ هذا الدخان إشعاع ألفا، عندئذٍ لا يتدفّق تيّار كهربائي في الكاشف، فيتحوّل مخرج دائرة المعالجة إلى وضعية التشغيل، فيصدِر الجهاز صوت إنذار. وبما أن إشعاع ألفا تمتصّه بسهولة جُسيمات الدخان فقد اختير مصدر إشعاع ألفا في هذا الكاشف.

الصورة ٩-١٠ جهاز كاشف للدخان داخل أحد المباني العامة



الشكل ٩-٥ رسم تخطيطي لكاشف الدخان. يصدر جهاز الإنذار صوتًا عندما يمتصّ الدخان إشعاع ألفا

قياسات السماكة

غالبًا ما يُستخدَم إشعاع بيتا في قياس السماكة في الصناعة، حيث يحتاج مصنّعو الورق إلى التأكّد من أن منتجهم من الورق ذو سماكة موحّدة، ولإجراء ذلك توجَّه أشعّة بيتا عبر الورقة عند خروجها من آلة التصنيع، حيث يقيس الكاشف كمّية الإشعاع التي تمرّ عبر الورقة، فإذا كان الورق سميكًا جدًّا يكون مستوى الإشعاع منخفضًا، لذلك يتمّ التحكّم آليًّا بالنظام لضبط السماكة، وتُستخدَم التقنية نفسها في تحديد سماكة الصفائح البلاستيكية.

يُستخدَم إشعاع بيتا في هذا التطبيق؛ لأن إشعاع ألفا يمتصّه الورق أو البلاستيك بالكامل، في حين لا يكاد إشعاع جاما يتأثّر؛ لأنه الأكثر قدرة على الاختراق.

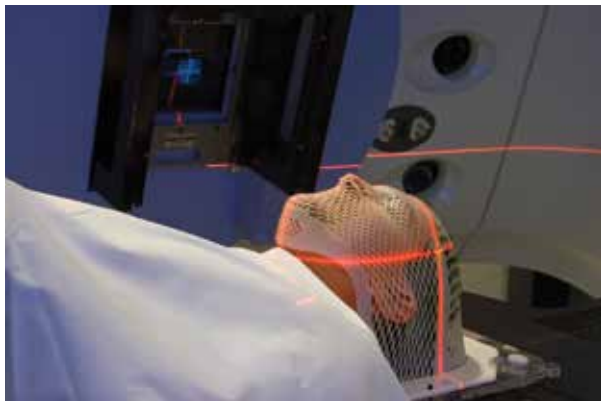
التشخيص الطبّي

يمكن تشخيص بعض الحالات الطبّية باستخدام موادّ مشعّة تصدر أشعّة جاما، إذ يتم إدخال هذه الموادّ إلى جسم المريض عن طريق البلع أو الحقن، فتتراكم في الأنسجة المصابة، ومن خلال الكشف عن الإشعاع نستطيع معرفة مكانها.

الاستخدامات المتعلّقة بتلف الخلايا

العلاج الإشعاعي

يتلقّى المريض الظاهر في الصورة ٩-١١ إشعاعًا علاجيًّا كجزء من علاج مرض السرطان. يوجَّه مصدر أشعّة جاما أو الأشعّة السينية إلى الورم لتدميره. يقترن العلاج الإشعاعي غالبًا بالعلاج الكيميائي، فتُستخدَم الأدوية الكيميائية لاستهداف الخلايا السرطانية وقتلها.



الصورة ٩-١١ يستخدم الإشعاع في علاج الأورام السرطانية. يتعرّض هذا المريض لأشعّة جاما من مصدر مشعّ، حيث توجَّه الأشعّة إلى الورم في المريض من أجل تدمير الخلايا السرطانية

تعريض الطعام للإشعاع (تشعيع الطعام)

تُستخدَم طريقة تشعيع (Irradiation) الطعام لحفظه، فغالبًا ما يتحلّل الطعام بسبب الميكروبات التي يتم قتلها باستخدام أشعّة جاما المركّزة، وبما أن الميكروبات كائنات وحيدة الخلية، فإنّ أي تلف في الخلية يقتل هذا الكائن الحي بأكمله. وتسمح البلدان المختلفة بتشعيع الأطعمة المختلفة.

يُستخدَم الطعام المعقّم في مهمّات الفضاء (حيث يحتاج أن تكون فترة صلاحية الطعام طويلة هناك)، ويُستخدَم أيضًا لبعض مرضى المستشفيات الذين تكون مقاومتهم لعدوى الميكروبات منخفضة.

التعقيم

يتمّ تعقيم المنتجات الطبّية بالطريقة نفسها المُتّبعة في تشعيع الطعام، حيث تُغلَّف المحاقن الطبّية وغيرها من الأدوات في أكياس بلاستيكية، ثم تعرَّض لأشعّة جاما، فتقتل أي ميكروبات موجودة عليها، وعندما يُفضّ الغلاف، نضمن أن يكون العنصر الذي في داخله معقّمًا. وتُستخدَم التقنية نفسها لتعقيم الأدوات الصحّية، كالمناديل القطنية والحفاضات.

الاستخدامات المتعلّقة بالقدرة على الكشف عن كمّيات ضئيلة من الموادّ المشعّة

التتبّع الإشعاعي

في كلّ مرّة تسمع فيها نقرة عدّاد جيجر، يكون قد اكتشف انبعاثًا إشعاعيًّا لذرّة واحدة، يعني ذلك أنّنا نستطيع استخدام الإشعاع للكشف عن كمّيات ضئيلة من المواد المشعّة، وتُعرَف هذه التقنيّات غالبًا باسم **التتبُّع الإشعاعي Radioactive tracing**.

قد يرغب المهندسون في معرفة ما إذا كانت مياه الصرف الصحّي تتسرّب من أنبوبٍ ما تحت الأرض، وتُسبّب تلوُّثًا للمنطقة المُحيطة؛ فيعملون على حقن الماء بمادة تتبُّع مُشعّة تكون في العادة مصدر إشعاع جاما، ويزيدون ضغط المياه داخل الأنبوب، وهكذا يتمكّنون من الكشف عن أيّ تسرُّب برصد الإشعاع خارج الأنبوب.

الاستخدامات المتعلّقة بالنشاط الإشعاعي

التأريخ بالكربون المشعّ

نذكر فيما يلي تطبيقًا آخر للنظائر المشعّة، وبما أن الانبعاث الإشعاعي للمواد المشعّة يحدث بمعدّل يمكننا تحديده (ستتعلّم عن هذا في الوحدة العاشرة)، فيمكننا استخدامه لاكتشاف مدى عمر الأجسام والمواد، وأشهر مثال معروف على ذلك هو **التأريخ بالكربون المُشعّ Radiocarbon dating**.

تحتوي جميع الكائنات الحية على الكربون، حيث تحصل النباتات عليه من ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، وتحصل عليه الكائنات الحية الأخرى من النباتات التي تتغذّى عليها.

تستند فكرة التأريخ بالكربون المشعّ إلى أنه عندما يموت الكائن الحي، يستمرّ انبعاث إشعاع من الكربون-14 ($^{14}_{6}C$) من جسمه، ومع مرور الزمن تقلّ الكمّية المتبقّية في جسمه من هذا النظير، فإذا تمكّنا من قياس الكمّية المتبّقية في جسمه ومقارنتها بما كانت عليه عندما كان الكائن حيًّا، نعرف متى كان هذا الكائن على قيد الحياة.

أسئلة

٩-١٢ لماذا لا يكون إشعاع بيتا مناسبًا للاستخدام في كاشف الدخان؟

٩-١٣ عندما تُعقّم المُعدّات الطبّية، تغلّف أوّلاً بغلاف بلاستيكي. لماذا لا يمتصّ هذا الغلاف الإشعاع المستخدَم؟

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- إشعاع الخلفية.
- أن الانبعاث الإشعاعي هو عملية عشوائية.
- جُسيمات ألفا (α) وبيتا (β) وإشعاع جاما (γ).
- كيف يتسبّب الإشعاع في كسب الذرّات المتعادلة للإلكترونات أو فقدها، ويتسبّب بالتالي في تأيُّن تلك الذرّات.
- طبيعة الإشعاع المؤيّن وكيفية الكشف عنه.
- كيف ينحرف الإشعاع في المجالات المغناطيسية والكهربائية.
- استخدامات المواد المشعّة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يمكن وصف النشاط الإشعاعي بأنه مؤيِّن.

أ. اشرح العبارة السابقة.

ب. اذكر:

١. نوع الإشعاع الأكثر تأيينًا.

٢. نوع الإشعاع الأقلّ تأيينًا.

٢ صِف ما يأتي:

أ. تركيب جُسيم ألفا.

ب. تركيب جُسيم بيتا.

ج. طبيعة أشعّة جاما.

٣ **أ.** رتّب الأنواع الثلاثة للإشعاع: من الأكثر قدرة على الاختراق إلى الأقلّ قدرة.

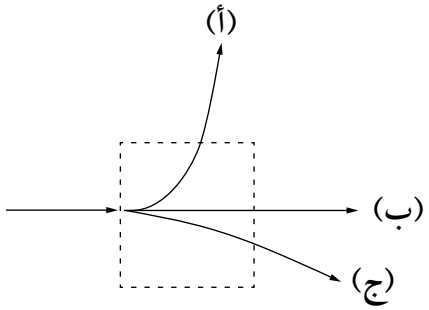
ب. اذكر الحدّ الأدنى لسماكة مادّة لازمة لامتصاص:

١. جُسيمات ألفا.

٢. جُسيمات بيتا.

٣. أشعّة جاما.

٤ **أ.** يبيّن الرسم التخطيطي أدناه دخول انبعاثات مشعّة إلى مجال مغناطيسي. يمثّل المربّع منطقة المجال المغناطيسي.



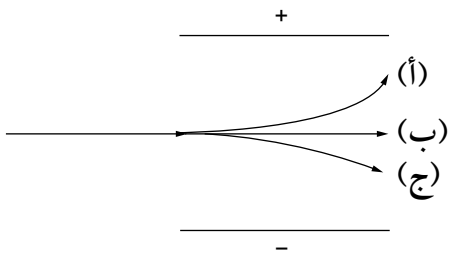
اكتب الحرف الذي يبيّن المسار الذي يمكن أن تسلكه:

١. جُسيمات ألفا.

٢. جُسيمات بيتا.

٣. أشعّة جاما.

ب. يبيّن الرسم التخطيطي أدناه انبعاثات من مادّة مشعّة تدخل مجالًا كهربائيًّا بين لوحَين مشحونَين كهربائيًّا.



اكتب الحرف الدالّ على المسار الذي يمكن أن تسلكه:

١. جُسيمات ألفا.

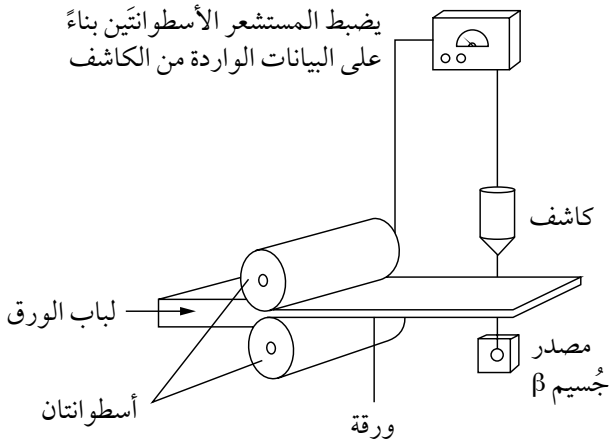
٢. جُسيمات بيتا.

٣. أشعّة جاما.

٥ **أ.** يمكن للأطبّاء استخدام المتتبّع الإشعاعي لتقييم وظيفة عضو أو تشخيص مرض، حيث يتمّ استخدامه داخل الجسم.

اقترح **سببَين** يجعلان باعث أشعّة جاما أكثر ملاءمة لهذا الغرض من باعث ألفا أو بيتا.

ب. يبيّن الرسم التخطيطي أدناه كيف يمكن استخدام باعث بيتا لمراقبة سماكة الورق أثناء عملية تصنيعه.



١. اذكر اسم الجهاز المُستخَدم للكشف عن الجُسيمات المشعّة.

٢. اشرح كيف ستتغيّر الإشارة الصادرة عن الكاشف إذا أصبح الورق سميكًا جدًّا.

٣. اشرح التغيُّر الذي سيحدث في الجهاز إذا بدأت الإشارة الصادرة عن الكاشف بالتزايد.

الوحدة العاشرة

الاضمحلال الإشعاعي وعمر النصف

Radioactive decay and half-life

تُغطّي هذه الوحدة:

- المعادلات التي تمثّل الاضمحلال الإشعاعي.
- عُمر النصف لمادة مشعّة.

١٠-١ تناقُص النشاط الإشعاعي مع مرور الزمن

في عام 1949م، تمّ اقتراح طريقة لتحديد عمر الأجسام المتكوّنة من مادة عضوية، استُخدِم فيها معدّل الاضمحلال لنظير الكربون. وقد تمّ اختبار هذه الطريقة باستخدام العناصر الخشبية الموجودة داخل غرف أقدم هرم في مصر، وهو الهرم المدرّج في سقّارة. لقد كان معروفًا أن هذه العناصر يبلغ عمرها حوالي 4600 سنة، وبعد الاختبار أثبتت الطريقة دقّتها. وأصبحت منذ ذلك الوقت وحتى الآن تُستخدَم في العديد من الاكتشافات الأثرية.

تمّ التطرُّق إلى التقنية المُستخدَمة في التأريخ بالكربون المشعّ في الوحدة التاسعة، حيث يُستخدَم في هذه التقنية معدّل الاضمحلال المعروف للكربون-14 ($^{14}_{6}C$) المشّع، والهدف من ذلك إيجاد العُمر التقريبي لجسم مصنوع من مادة عضوية ميتة. وفي هذه الوحدة ستتعلّم كيف تقيس المعدّل الذي تضمحلّ فيه المواد المُشعّة بقياس متوسِّط الزمن الذي تستغرقه نصف الذرّات في العيّنة لتضمحلّ.

١٠-٢ معادلات الاضمحلال الإشعاعي

يمكننا تمثيل أي اضمحلال إشعاعي بمعادلة مستخدمين فيها الرموز المبيّنة في ملحق الجدول الدوري للعناصر الصفحتَين ١١٦-١١٧. وفي ما يأتي نورد أمثلة عن معادلات انبعاث الأشعّة الثلاث:

أ. معادلة **انبعاث جُسيم ألفا Alpha decay**:

$$^{241}_{94}Am \longrightarrow {}^{237}_{92}U + {}^{4}_{2}He + \text{طاقة}$$

طاقة + ألفا + يورانيوم-237 ⟶ أميريسيوم-241

تُمثّل هذه المعادلة اضمحلال الأمريسيوم-241، وهو النظير المُستخدَم في أجهزة كاشف الدخان، حيث ينبعث من نواته جُسيم ألفا (ممثّلاً بنواة الهيليوم) فيصبح نظيرًا لليورانيوم-237. لاحظ أن المعادلة يجب أن تكون موزونة، أي أن العدد الذرّي والعدد الكتلي مُتساويان في طرفَي المعادلة، وبالتالي فإنّ:

العدد الكتلي (عدد النيوكليونات): 4 + 237 ⟶ 241

العدد الذرّي (عدد البروتونات): 2 + 92 ⟶ 94

ب. معادلة **انبعاث جُسيم بيتا Beta decay**:

$$^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e + \text{طاقة}$$

طاقة + بيتا + نيتروجين-14 ⟶ كربون-14

ويكون هذا هو الاضمحلال المُستخدَم في التأريخ بالكربون المُشعّ، حيث تضمحلّ نواة الكربون-14 لتصبح نواة النيتروجين-14. (مُثِّل جُسيم بيتا، وهو إلكترون، بـ $^{0}_{-1}e$) فإذا تمكّنّا من رؤية ما في داخل النواة، فسنرى أن نيوترونًا مُفردًا قد اضمحلّ ليُصبح بروتونًا، وبالتالي فإنّ:

$$^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e$$

لاحظ أن العدد الكتلي (*A*) (عدد النيوكليونات) والعدد الذرّي (*Z*) (عدد البروتونات) متساويان في كلتا معادلتَي انبعاث بيتا السابقتَين.

ج. معادلة **انبعاث إشعاع جاما Gamma decay**:

طاقة + جاما + باريوم-137 ⟶ باريوم-137

لاحظ أن انبعاث إشعاع جاما لا يؤدّي إلى أي تغيير في اسم العنصر.

سؤال

١٠-١ تُمثِّل المعادلة أدناه اضمحلال نواة البولونيوم لتشكيل نواة الرصاص.

$$^{210}_{84}Po \longrightarrow {}^{206}_{82}Pb + \text{..... + طاقة}$$

أ. أكمل المعادلة السابقة.

ب. بيّن أن العدد الذرّي مُتساوٍ في كلّ من طرفَي المعادلة.

ج. بيّن أن العدد الكتلي مُتساوٍ في كلّ من طرفَي المعادلة.

١٠-٣ عُمر النصف للمادّة المشعّة

اكتشف هنري بيكريل Henri Becquerel النشاط الإشعاعي لليورانيوم. وممّا أدهشه أن اليورانيوم يبدو قادرًا على بعث إشعاعات إلى ما لا نهاية، دون أن تنتهي طاقته، وهذا من شأنه أن يتعارض مع مبدأ حفظ الطاقة. ولكن الذي لم يدركه بيكريل هو أن اليورانيوم كان يخضع لاضمحلال إشعاعي ببطء شديد. فحتّى وإن واصل بيكريل إجراء تجاربه ألف سنة، فلن يلاحظ أي انخفاض على نشاط عيّناته من اليورانيوم. وسبب ذلك أن اليورانيوم الذي يُجري تجاربه عليه يضمحلّ تدريجيًّا في الواقع، منذ أن تشكّلت الأرض، أي قبل أكثر من 4500 مليون سنة.

تضمحلّ جميع المواد المشعّة بالنمط نفسه، كما هو مبيّن في التمثيل البياني في الشكل ١٠-١ (أ)، الذي يُظهِر أن كمّية المادة المشعّة تتناقص بسرعة في البداية، ثم تتناقص ببطء أكثر فأكثر، وهذا يظهر في نهاية منحنى التمثيل البياني.

ويوضّح التمثيل البياني في الشكل ١٠-١ (ب) أن المواد المشعّة المختلفة تضمحلّ بمعدّلات مختلفة، حيث يضمحلّ بعضها أسرع بكثير من بعضها الآخر.

يبيّن منحنى التمثيل البياني في الشكل ١٠-١ (أ) وصفًا لمعدّل الاضمحلال بتحديد **عُمر النصف Half-life** للمادة التي نصفها على النحو الآتي:

عُمر النصف للمادة المشعّة يساوي متوسِّط الزمن الذي تستغرقه نِصف الذرّات في العيّنة لتضمحلّ.

يضمحلّ اليورانيوم ببطء لأنّ له فترة عمر نصف طويلة جدًّا. عُمر النصف لبعض العيّنات المشعَّة يساوي آلاف السنوات، بينما يكون للبعض الآخر عُمر نصف أقلّ من ميكرو ثانية، أيّ أنها لا تكاد تتشكّل حتى تضمحلّ إلى مادة أخرى.

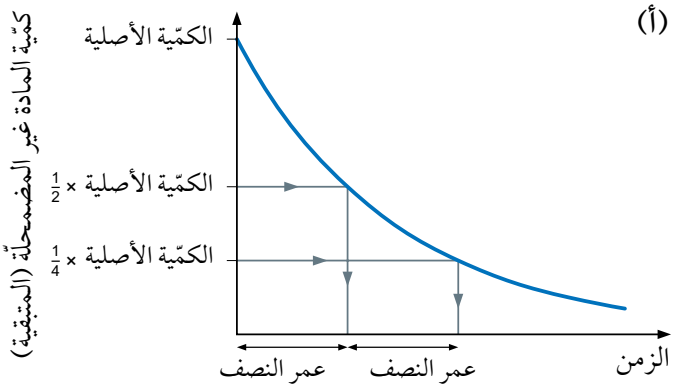
مصطلحات علمية

عُمر النصف Half-life: متوسّط الزمن الذي يستغرقه اضمحلال نصف النوى في عيّنة من مادة مشعّة.

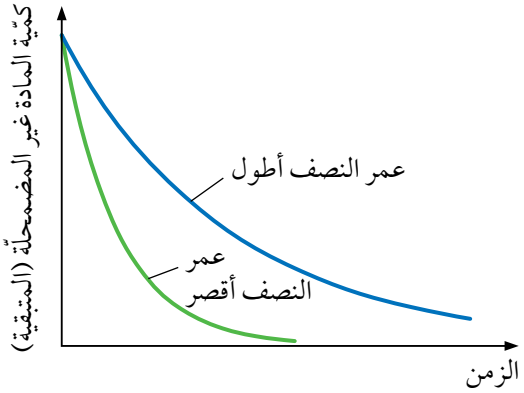
شرح عُمر النصف

عندما يمضي عُمر نصف واحد فإن نصف الذرّات في العيّنة المشعّة تكون قد اضمحلّت. لكن لا يعني ذلك أن جميع الذرّات ستضمحلّ بعد فترتَي عُمر نصف. يمكنك أن ترى من التمثيل البياني في الشكل ١٠-١ (أ) أن ربع كمّية المادة المشعّة لا يزال موجودًا بعد فترتَي عُمر نصف. لماذا يحدث ذلك؟

(أ)



(ب)



الشكل ١٠-١ (أ) تمثيل بياني لاضمحلال مادة مشعّة. يُعرَف منحنى التمثيل البياني في هذا الشكل بالتمثيل البياني الأسّي للاضمحلال. (ب) يبيّن منحنى التمثيل البياني شديد الانحدار أن عُمر نصف المادة قصير

يبيّن الشكل ١٠-٢ طريقة واحدة للتفكير في ما يحدث. تخيّل أننا بدأنا بعيّنة من 100 ذرّة غير مضمحلّة من مادة مشعّة ما (الدوائر البيضاء في الشكل ١٠-٢ (أ)). تحدث العملية العشوائية تدريجيًّا لاضمحلال بعض ذرّات المادة المشعّة (الدوائر السوداء في الشكل ١٠-٢ (ب)) حيث إنّ لكلّ ذرّة غير مضمحلّة فرصة بنسبة 50% للاضمحلال في فترة عُمر النصف الواحد.

وعند النظر في الشكل ١٠-٢، يمكننا وصف هذا الاضمحلال كالآتي:

(أ) في البداية هناك 100 ذرّة لم تضمحلّ.

(ب) يحدث اضمحلال 50 ذرّة بصورة عشوائية خلال نصف عمر واحد.

(ج) يحدث اضمحلال عشوائي خلال عمر النصف الثاني لنصف الذرّات المتبقّية وعددها 50، فتبقى 25 ذرّة غير مضمحلّة.

(د) يحدث اضمحلال عشوائي خلال عمر النصف الثالث لنصف الذرّات المتبقّية وعددها 25 ذرة، فتبقى 12 ذرّة أو 13 ذرّة غير مضمحلّة (بالطبع لا يمكنك الحصول على نصف ذرّة).

بالتالي نجد أنه بالرغم من أن الذرّات المشعّة تضمحلّ بطريقة عشوائية فإنها تضمحلّ وفق النمط الآتي من الاضمحلال بعد فترة كلّ نصف عُمر على التوالي 100–50–25.

لا يمكننا عادة قياس عدد الذرّات في عيّنة، لذا نقيس معدّل العدّ باستخدام عدّاد جيجر أو بعض الكواشف الأخرى. ومن معدّل العدّ هذا قد نحدّد أيضًا **نشاط** العيّنة، أي عدد الذرّات التي تضمحلّ في كل ثانية، ويُقاس **بوحدة البيكريل Becquerel (Bq)**. فنشاط مقداره 1 Bq هو اضمحلال نواة واحدة في الثانية. ويتناقص معدّل العدّ والنشاط بالنمط نفسه تماشيًا مع عدد الذرّات غير المضمحلّة.

مصطلحات علمية

البيكريل Becquerel (Bq): وحدة قياس النشاط الإشعاعي، فنشاط إشعاعي مقداره 1 Bq هو اضمحلال نواة واحدة في 1 s.

مثال ١٠-١

عيِّنة من عنصر مُشعّ (X) يبلغ نشاطها (240 Bq). إذا كان عُمر النصف لها 3 سنوات، فما الذي سيكون عليه نشاطها بعد 12 سنة؟

الخطوة ١: احسب عدد فترات عُمر النصف في 12 سنة.

$$\frac{12 \text{ سنة}}{3 \text{ سنوات}} = 4 \text{ فترات عُمر نصف}$$

ونحن نريد معرفة نشاط العيّنة بعد 4 فترات عُمر نصف.

الخطوة ٢: احسب نشاط العيّنة بعد 1 و 2 و 3 و 4 فترات عُمر نصف (بالقسمة على 2 في كل مرّة).

النشاط الابتدائي = 240 Bq

النشاط بعد 1 عُمر نصف = 120

النشاط بعد 2 عُمر نصف = 60

النشاط بعد 3 عُمر نصف = 30

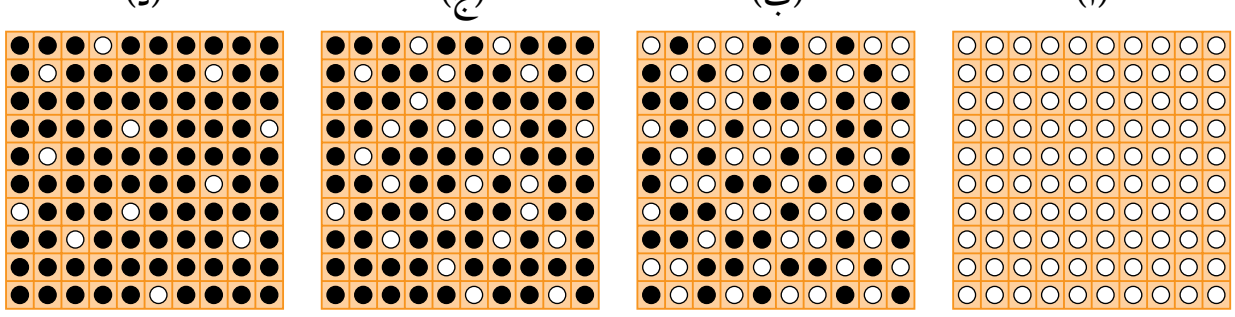
النشاط بعد 4 عُمر نصف = 15

لذلك انخفض نشاط العيّنة إلى 15 Bq بعد 12 سنة.

حلّ آخر: وجدنا أن 12 سنة هي 4 فترات عُمر نصف، لذلك نحتاج إلى تقسيم النشاط الابتدائي بمقدار 2 × 2 × 2 × 2 أي 2^4، أو 16، ممّا يعطي:

$$\frac{240}{16} = 15 \text{ Bq}$$

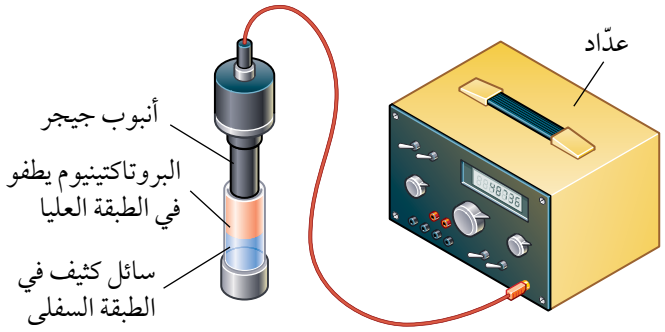
إذن يبلغ نشاط العيّنة 15 Bq بعد 12 سنة، كما كان قد حُسِب من قبل.



الشكل ١٠-٢ يأتي نمط الاضمحلال الإشعاعي بهذا الشكل؛ لأن اضمحلال الذرّات المفردة يحدث بصورة عشوائية. إذ يضمحلّ نصف عدد الذرّات خلال كل عمر نصف، لكن ليس لدينا طريقة لتوقّع أي الذرّات المفردة ستضمحلّ

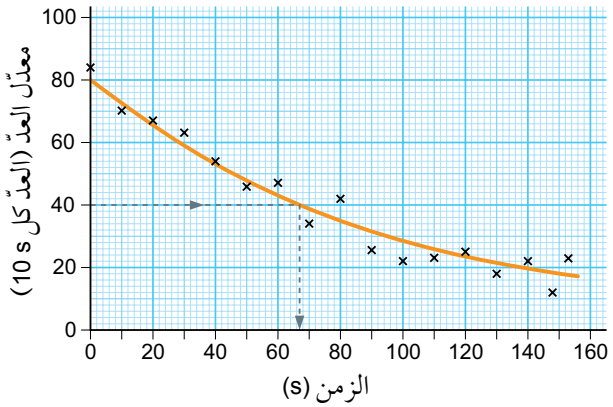
قياس عُمر النصف

يبيّن الشكل ١٠-٣ كيفية قياس عُمر النصف لمادة معيّنة، هي البروتاكتينيوم-234، (^{234}Pa) في المختبر. تحتوي زجاجة بلاستيكية مغلقة بإحكام على نترات اليورانيوم مُذابة في محلول مائي، وتحتوي أيضًا على سائل عضوي لا يختلط بالمحلول المائي. بمرور الوقت يتحلَّل اليورانيوم لإنتاج البروتاكتينيوم-234. عندما يتمّ رج الزجاجة، يذوب البروتاكتينيوم-234 في السائل العضوي. وعندما تُترك الزجاجة جانبًا بدون تحريك ينفصل السائل العضوي ويطفو مشكّلاً طبقة عُليا في الزجاجة. يبعث البروتاكتينيوم-234 في هذه الطبقة إشعاع بيتا عندما يضمحلّ. وبما أن عُمر النصف لهذه المادّة هو 67 s فسوف ينخفض معدّل العدّ بسرعة. تمّ تسجيل العدّ عدّة مرّات كلّ 10 s.



الشكل ١٠-٣ جهاز يُستخدَم لتسجيل معدّل العدّ لقياس عُمر نصف الاضمحلال الإشعاعي للبروتاكتينيوم-234

يمثّل منحنى التمثيل البياني معدّل العدّ مقابل الزمن، كما في الشكل ١٠-٤. يمكن بعد ذلك استنتاج عُمر النصف من منحنى التمثيل البياني للاضمحلال.



الشكل ١٠-٤ يُظهِر المنحنى أنّ معدّل عدّ الاضمحلال الإشعاعي لعنصر البروتاكتينيوم-234 يتناقص بسرعة. ويكون بإمكاننا استنتاج عُمْر النصف من هذا الرسم. يمكننا أيضًا أن نستنتج من هذا التمثيل البياني أن معدّل العدّ الابتدائي قد بلغ 80. وبما أن نصف معدّل هذا العدّ هو 40، فإنّنا من أجل قراءة عمر النصف لهذه المادة، نرسم خطًا موازيًا لمحور الزمن. ومن نقطة التقائه مع المنحنى نرسم خطًا موازيًا لمحور العدّ نزولاً إلى محور الزمن، فنحصل على عُمر نصف اضمحلال عنصر البروتاكتينيوم-234، وهو 67 s

أسئلة

١٠-٢ كتب أحد الطلاب في إجابته: «إن عُمر النصف لمادة مشعّة هو الزمن الذي يستغرقه نصف عدد الذرّات في عيّنة ما للاضمحلال». ما المفرَدة المفقودة من هذا التعريف لعُمر النصف؟

١٠-٣ تحتوي عيّنة من مادة مشعّة على (200) ذرّة غير مضمحلّة، كم ذرّة غير مضمحلّة تبقى بعد 3 فترات أعمار نصف؟

١٠-٤ عُمر النصف للنظير المشعّ X يبلغ (10) أيام. يعطي عدّاد لعيّنة من هذا النظير معدّل عدّ ابتدائيًّا يبلغ (440) عدًّا لكل ثانية، كم سيبلغ معدّل العدّ بعد (30) يومًا؟

١٠-٥ عُمر النصف للنظير المشع Y يبلغ (2000) سنة، كم من الزمن يستغرق انخفاض نشاط عيّنة العنصر Y إلى ثُمن قيمته الأصلية؟

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- معادلات الاضمحلال الإشعاعي.
- عُمر النصف لمادة مشعّة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ ما المقصود بالاضمحلال الإشعاعي؟

٢ اكتب معادلات لفظيّة لتبيّن ما يأتي:

أ. اضمحلال اليود-131 مع انبعاث جُسيم بيتا لتكوين زينون-131.

ب. اضمحلال اليورانيوم-238 مع انبعاث جُسيم ألفا لتكوين ثوريوم-234.

٣ اكتب معادلات موزونة باستخدام الرموز (مستعينًا بالجدول الدوري) لتوضّح الأمرَين الآتيَين:

أ. يضمحلّ $^{233}_{92}U$ بانبعاث جُسيم ألفا واحد.

ب. يضمحلّ $^{14}_{6}C$ بانبعاث جُسيم بيتا واحد.

٤ يقيس عالِمٌ نشاط مصدر مشعّ بـ (150) عدًّا في الدقيقة.

إذا قام العالِم على الفور بتكرار القياس لنفس المصدر وعند نفس الظروف، فهل سيكون النشاط (150) عدًّا في الدقيقة؟ اشرح السبب.

٥ تُعدّ الأشعّة الكونية القادمة من الفضاء أحد مصادر إشعاع الخلفية.

أ. تتمثّل إحدى وحدات قياس النشاط الإشعاعي بالعدّ في الدقيقة، اذكر **وحدة** أخرى للنشاط الإشعاعي.

ب. تمّ قياس إشعاع الخلفية في مختبر الفيزياء فبلغ (19) عدًّا في الدقيقة، وتمّ قياس نشاط مصدر مشعّ ما في المختبر نفسه فوُجد أنه (602) عدّ في الدقيقة، احسب نشاط هذا المصدر.

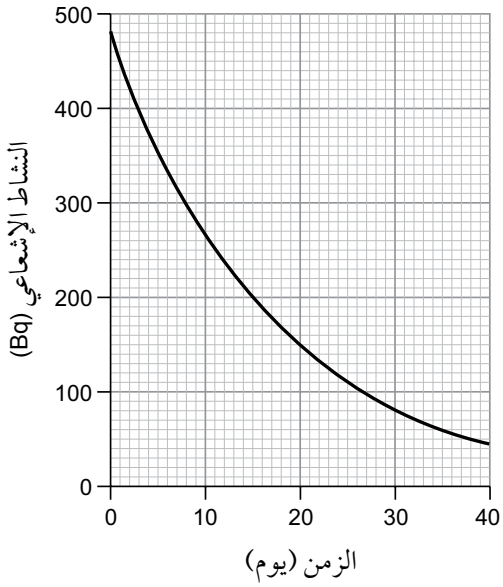
٦ **أ.** ما المقصود بمصطلح عمر النصف؟

ب. يبلغ عُمر النصف لنظير عنصر اليود المشعّ (I) ثمانية أيام، ويشكّل نشاط عيّنة من هذا النظير 100% في بداية التجربة، احسب:

١. نشاط العيّنة بعد (16) يومًا.

٢. عدد الأيام الذي سينخفض فيه نشاط العيّنة إلى (6.25%).

٧ يبيّن التمثيل البياني كيف يتغيّر نشاط عيّنة من الفوسفور–32 (^{32}P) مع الزمن.



استخدم التمثيل البياني لتحديد عُمر النصف للفوسفور–32 (^{32}P). وضّح كيف توصّلت إلى إجابتك.

٨ يتكوّن الكربون–14 بصورة طبيعية، وهو نظير مشعّ للكربون. عُمر النصف للكربون–14 يبلغ (5700) سنة. تظلّ نسبة ذرّات الكربون–14 في الكائنات الحية ثابتة، لأن أي كربون–14 يخضع للاضمحلال الإشعاعي سيُستبدَل بآخر، ما دام الكائن الحي يتناول الطعام، أو يقوم بعملية التمثيل الضوئي. لكن عندما يموت الكائن الحي فلا يُستبدَل الكربون–14. عُثِر على دراسة في أمريكا الجنوبية تشير إلى أن نشاط الكربون–14 في الفحم المدفون في المواقع، التي استخدمها البشر عبر عصور ما قبل التاريخ، يبلغ حوالي (28%) مقارنة بالفحم المصنوع حديثًا.

أ. قدّر متى أُنتِج هذا الفحم، وبيّن كيف توصّلت إلى إجابتك.

ب. ما هي فرضيّتك التي بنيتَ عليها هذا التقدير؟

الوحدة الحادية عشرة

احتياطات السلامة Safety Precautions

تُغطّي هذه الوحدة:

- تأثير الإشعاعات المؤيِّنة على الكائنات الحية.
- استخدام المواد المشعّة بأمان.

١١-١ التعامُل الآمن

يتوجّب تخزين المصادر المشعّة في صناديق تمتصّ أكبر قدر ممكن من الإشعاعات الصادرة عنها؛ وذلك للتعامل معها بأمان قدر الإمكان. يُعتبَر الرصاص مادَّة جيدة لهذا الغرض، لأنّه مادَّة شديدة الامتصاص للإشعاعات ألفا وبيتا وجاما.

تُظهِر الصورة الموجودة أعلاه صندوق تخزين يُستخدَم لحفظ مصادر مشعّة في مختبر ما. يتمّ الاحتفاظ بكل مصدر في صندوق مجوَّف مبطَّن بالرصاص، ويجب أن يكون الصندوق بأكمله مخزّنًا في خزانة فلزّية عليها علامة تحذير من خطر الإشعاعات النووية .

عندما لا تكون المصادر مخزّنة في صناديقها الواقية، فيجب التعامُل معها بعناية لتجنُّب التلوّث الإشعاعي. ويمكن الاستعانة بملقط لئلّا يكون الشخص على تماسّ مباشر مع المصدر. ويجب على الشخص خلال إجرائه أيّ تجربة أن يقف على مسافة آمنة من المصدر. ويُفتَرض به أن يُحدِّد زمن تعرُّضه للمصدر المشعّ، ويُحاول تقليصه قدر الإمكان. لكن إذا كان المصدر عالي النشاطية، أو كانت مدّة التعرُّض له أطول، فيتوجّب وضع ماصّ للأشعّة بين المصدر ومن يُجري التجربة. ويتوجّب أيضًا على المتعاملين مع المصادر المشعّة، كالطاقم الطبّي في المستشفيات، ارتداء مراييل تحتوي على رصاص (الصورة ١١-١).

الصورة ١١-١ يحتوي هذا المريول على الرصاص الذي يعمل على امتصاص الأشعّة، ويُنصح الأشخاص الذين يتعاملون مع المصادر المشعّة بارتدائه

تأثيرات الإشعاعات على الخلايا

يتطلّب التعامُل الآمن مع النظائر المشعّة فهمًا لكيفية تأثير الإشعاع على الخلايا. وسبب ذلك أنّ أي إشعاع يدمِّر الخلايا الحية بإحدى الطرق الثلاث الآتية:

- تسبّب جرعة عالية من الإشعاع تأيينًا كبيرًا في الخلايا، الأمر الذي يؤدّي إلى موتها. وهذا ما يحدث عندما يعاني شخص من الحروق الإشعاعية، حيث تموت الخلايا المتأثّرة ببساطة وكأنها قد احترقت. لكن إذا تلقّى المُصاب العلاج المناسب، فإن الأنسجة قد تنمو مرّة أخرى.
- يسهم الإشعاع في تلف الحمض النووي (DNA) في نواة الخلية، وبذلك يُقضى على العمليات التي تتحكّم بالخلية. وقد تنقسم الخلية انقسامًا لا يمكن السيطرة عليه ممّا يؤدّي إلى تشكّل الورم السرطاني. وهذه هي الطريقة التي يمكن أن يسبّب بها الإشعاع مرض السرطان.
- إذا أصاب الإشعاع خلية مشيج (حيوانًا منويًّا أو خلية بويضة)، سوف ينتقل الحمض النووي مع جيناته التالفة إلى الأجيال القادمة. وهذه هي الطريقة التي يمكن أن يُنتج فيها الإشعاع الطفرات الجينية. قد تكون الطفرة مفيدة أحيانًا للنسل، لكنّها في العادة تكون ضارّة؛ فقد لا تتطوّر خلية البُويضة المخصَّبة على الإطلاق، أو قد يكون لدى الطفل شكل من أشكال الاضطراب الوراثي.

ونكون أقلّ عرضة للضرر من إشعاع ألفا المنبعث من مصدر خارج أجسامنا. وسبب ذلك أن الإشعاع تمتصّه بالكامل الطبقة الخارجية من خلايا الجلد الميتة لأجسامنا (أو من ملابسنا). ولكن، إذا دخل أحد مصادر ألفا إلى أجسامنا، فقد يكون ضارًّا جدًّا، لأن إشعاعه عندئذٍ يكون شديد التأيين داخل الجسم، وهذا هو السبب الكامن وراء خطورة غازات الرادون والثورون، وبخاصة عند تدخين التبغ لاحتوائه على مادة البولونيوم-210 المُشعّ والرصاص-210. يتمّ استنشاق هذه الغازات، فتستقرّ في الرئتَين، ومنهما تشعّ مسبّبة سرطان الرئة.

نعرف اليوم المزيد عن الإشعاع وعن التعامُل الآمن مع المواد المشعّة أكثر من أي وقت مضى. ومتى عرفنا كيف نقلِّل مخاطر الإشعاع نعرف كيف نتعايش معه بأمان، ونضعه ونوظّفه في أمور جديرة بالاهتمام.

تذكّر

يتضمّن التعامُل الآمن مع المصادر المشعّة، تقليل زمن التعرُّض لها، وزيادة البُعد عنها، واستخدام موادّ تمتصّ الإشعاع.

نشاط ١١-١ (إثرائي)

السلامة أوَّلاً

قد يعرض معلّمك كيفية التعامُل مع مصادر مواد مشعّة. لاحظ كيفية استخدام المواد المشعّة وكيف يمكن التعامُل معها بأمان، واشرح ذلك.

أسئلة

١١-١ لخّص إجراءات السلامة التي يجب علينا اتّباعها عند استخدام مصدر لإشعاع ألفا في المختبر.

١١-٢ قد يكون التخلّص من النفايات المشعّة بأمان مشكلة في المختبرات والمستشفيات ومحطّات الطاقة النووية. اقترح بعض الإجراءات التي يجب القيام بها عند التخطيط للتخلّص من هذه النفايات.

١١-٣ صِف بعض تأثيرات الإشعاع المؤيّن على الخلايا الحية.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- الاستخدام والتخزين الآمن للمواد المشعّة.
- تأثير الإشعاع المؤيّن على الكائنات الحية.

أسئلة نهاية الوحدة

١ تظهر أدناه أربعة رموز للتحذير من الخطر (أ، ب، ج، د).

(أ)

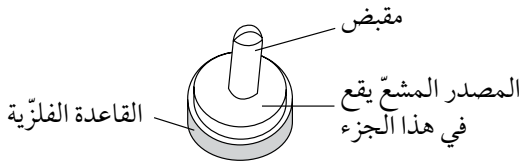
(ب)

(ج)

(د)

اكتب الحرف الذي يرمز إلى التحذير من خطر النشاط الإشعاعي.

٢ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه نوعًا من المصادر المشعّة المُستخدَمة في بعض التجارب.



يبلغ قُطر الجزء الذي يحتوي على المصدر المشعّ حوالي (12 mm)، وتحتوي القاعدة الفلزّية على «نافذة» زجاجية تسمح بمرور معظم الانبعاثات المشعّة.

أ. يجب ألّا توجَّه «النافذة» مباشرة إلى أي شخص نهائيًّا عند استخدام المصدر المشعّ. صِف **اثنَين** من احتياطات السلامة الأخرى التي يجب اتّخاذها عند استخدام مصدر مشعّ كهذا.

ب. صِف كيف يجب تخزين مصدر مشعّ كهذا بأمان في مختبر ما.

٣ هُدم مبنى مستشفى في البرازيل سنة 1987 م، وتُرك فيه دون عِلم الموظّفين مصدر عالي الإشعاعية كان يُستخدَم في العلاج الإشعاعي. وَجد رجُلان يبحثان عن خردة فلزّية (بقايا فلزّية) المصدر المشعّ في موقع المبنى المهدوم؛ ولكنهما لا يعرفان ما هو. حملا المصدر إلى منزل أحدهما وفتحاه بحضور كثير من الناس، وتمّ بيعه في النهاية. توفّي أربعة أشخاص وأصيب كثيرون بالمرض جرّاء تعرُّضهم للمصدر الإشعاعي.

أ. لماذا يسبّب التعرُّض لمصدر مشعّ ضررًا للبشر؟

ب. تمّ هدم المنازل التي فُتح المصدر فيها وخُزّن، وتطلّب كذلك تدمير بعض أجزاء من تلك المنازل. اقترح سبب تلك الإجراءات.

مصطلحات علمية

الاتّزان Equilibrium: يكون جسم ما في حالة اتّزان عندما تكون محصّلة القوى المؤثّرة عليه تساوي الصفر ومحصّلة عزوم هذه القوى تساوي الصفر أيضًا. (ص ٦٠)

الاحتكاك Friction: قوّة تعمل بين سطحَي جسمَين متلامسَين صلبَين لمُقاوَمة الحركة. (ص ٤٦)

الاستطالة Extension: هي الزيادة في طول الزنبرك عند تأثير حمولة عليه. (ص ٥٢)

الإشعاع Radiation: طاقة تنتشر من مصدر تحملها جُسيمات أو موجات. (ص ٨٩)

إشعاع الخلفية Background radiation: هو إشعاع طبيعي منخفض الكثافة في البيئة المحيطة بنا، ومن الأمثلة عليه إشعاع ألفا وبيتا وجاما، ومصدره الصخور والكائنات الحيّة والفضاء. (ص ٨٩)

الإشعاع المؤيِّن Ionising radiation: الإشعاع (المنبعث من مواد مشعّة مثلاً) الذي يسبِّب التأيُّن. (ص ٩٦)

أشعّة جاما (γ) Gamma ray: الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من نواة ذرّة أثناء الاضمحلال الإشعاعي. (ص ٩٤)

الاضمحلال الإشعاعي Radioactive decay: انحلال لأنوية الموادّ المشعّة غير المستقرّة بإطلاق جُسيمات أو إشعاع لتصبح أنوية مستقرّة. (ص ٩٣)

باسكال (Pa) Pascal: وحدة قياس الضغط، وهو القوّة العمودية المؤثِّرة على وحدة المساحة وتكافئ نيوتن لكلّ متر مربّع (N/m^2). (ص ٨٠)

البروتون Proton: جُسيم موجب الشحنة يوجد في نواة الذرّة. (ص ٨٤)

البيكريل (Bq) Becquerel: وحدة قياس النشاط الإشعاعي، فنشاط إشعاعي مقداره 1 Bq هو اضمحلال نواة واحدة في 1 s. (ص ١٠٥)

التأيُّن Ionisation: عندما يصبح الجُسيم (ذرّة أو جُزيء) مشحونًا كهربائيًّا بفقدانه أو اكتسابه إلكترونات. (ص ٩٦)

الجسم المتعادل Neutral: هو الجسم الذي يحتوي على عدد متساوٍ من الشحنات السالبة والموجبة. (ص ١٨)

جُسيم ألفا (α) Alpha particle: جُسيم مكوَّن من بروتونَين ونيوترونَين ينبعث من نواة ذرّة أثناء الاضمحلال الإشعاعي. (ص ٩٤)

جُسيم بيتا (β) Beta particle: إلكترون ينبعث من نواة ذرّة أثناء الاضمحلال الإشعاعي. (ص ٩٤)

الجول (J) Joule: الجول الواحد (1 J) هو الطاقة المنقولة (أو الشغل المبذول) بواسطة قوّة مقدارها نيوتن واحد (1 N) عندما يتحرّك الجسم مسافة متر واحد (1 m) باتّجاه القوة. (ص ٧٣)

حدّ التناسب Limit of proportionality: هو النقطة التي لا يعود الجسم عندها خاضعًا لقانون هوك حين يؤثّر عليه حِمل لاستطالته. (ص ٥٤)

الحِمل Load: قوّة تؤدّي إلى استطالة الزنبرك. (ص ٥١)

الشغل المبذول Work done: هو مقدار الطاقة المنقولة عندما يؤثّر جسم ما بقوّة على جسم آخر فيحرّكه مسافة باتّجاه القوّة، أو هو الطاقة المنقولة بواسطة قوّة عندما يتحرّك الجسم مسافة ما باتّجاه هذه القوّة. (ص ٧٢)

الضغط Pressure: القوّة العموديّة المؤثِّرة على وحدة المساحة. (ص ٧٩)

العازل Insulator: مادَّة لا توصّل التيّار الكهربائي. (ص ٢٠)

العدد الذرّي (*Z*) Atomic number: عدد البروتونات في نواة الذرّة. (ص ٨٥)

العدد الكتلي (*A*) Mass number: عدد البروتونات والنيوترونات في نواة الذرّة. (ص ٨٥)

عزم القوّة Moment of force: تأثير الدوران لقوَّة حول نقطة معيَّنة. (ص ٥٩)

عُمر النصف Half-life: متوسّط الزمن الذي يستغرقه اضمحلال نصف النوى في عيّنة من مادة مشعّة. (ص ١٠٤)

القدرة Power: هي معدّل بذل الشغل، أو معدّل نقل الطاقة. (ص ٧٧)

القوّة Force: مؤثّر يؤثّر على جسم ما فيغيِّر من حالة سكونه أو حركته أو يغيِّر شكله. (ص ٤٩)

الكهرباء الساكنة Static electricity: هي الكهرباء الناتجة عن تراكُم الشحنات الكهربائية على أسطُح الموادّ. (ص ١٦)

المادّة المشعّة Radioactive substance: مادّة تضمحلّ بانبعاث إشعاع من نوى ذرّاتها. (ص ٨٩)

مركز الكتلة Centre of mass: النقطة التي يمكن اعتبار أن كل كتلة الجسم متركِّزة فيها. (ص ٦٥)

المقاومة الحرارية (ذات المُعامل الحراريّ السالب) Thermistor (NTC): مكوِّن كهربائي تقلّ مقاومته مع ارتفاع درجة حرارته. (ص ٢٨)

المُقاوَمة Resistance: مقياس مدى ممانعة تدفُّق تيّار كهربائي في جهاز ما أو في أي مكوِّن في دائرة كهربائية ما. (ص ٢٥)

المُقاوَمة الضوئية Light-dependent resistor (LDR): مكوِّن كهربائي تقلّ مقاومته عندما يُسلَّط عليه الضوء. (ص ٢٧)

المُقاومة المتغيِّرة Variable resistor: المقاومة الأومّية التي يمكن تغيير قيمة مقاومتها، كأن نقوم بتدوير عنصر التحكّم. (ص ٢٥)

مقاومة الهواء Air resistance: هي قوّة الاحتكاك التي تؤثِّر على الأجسام عندما تتحرَّك في الهواء، وتعيق حركتها. (ص ٤٩)

المنصهر Fuse: مكوّن كهربائي يُستخدَم لحماية الأجهزة من التلف عند تدفُّق التيارات الكهربائية عالية الشدّة في الدائرة الكهربائية. (ص ٣٩)

الموصّل Conductor: مادَّة تسمح بمرور التيّار الكهربائي عبرها. (ص ٢٠)

النظائر Isotopes: ذرّات لنفس العنصر لها نفس عدد البروتونات ولكنها تختلف في عدد النيوترونات. (ص ٨٥)

النظير المشعّ Radioisotope: نظير غير مستقرّ لعنصر ما. (ص ٩٧)

النويدة Nuclide: نوع معيّن من الذرّة أو النواة لها عدد محدّد من النيوترونات والبروتونات. (ص ٨٥)

النيوترون Neutron: جُسيم متعادل كهربائيًّا يوجد في نواة الذرّة. (ص ٨٤)

النيوتن (N): وحدة قياس القوّة في النظام الدولي للوحدات (SI) وهي القوّة اللازمة لإكساب كتلة 1 kg تسارعًا مقداره 1 m/s^2. (ص ٥٠)

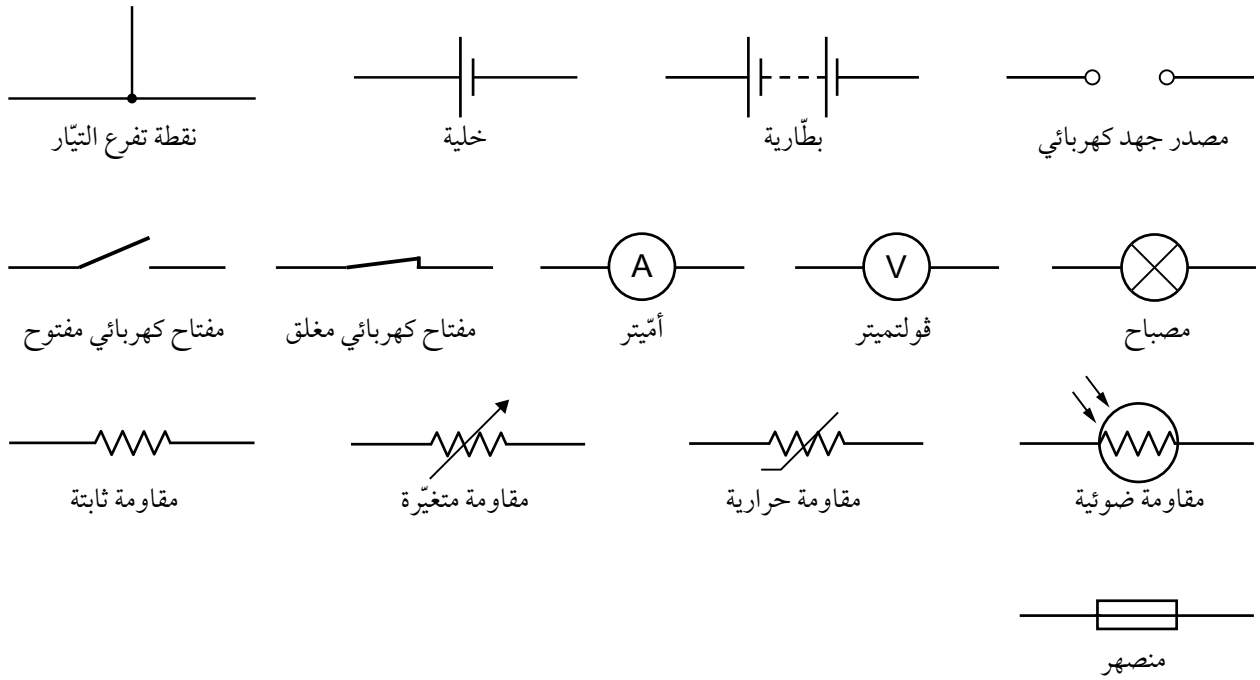
النيوكليون Nucleon: أيّ جُسيم موجود في نواة الذرّة، وهو إمّا بروتون أو نيوترون. (ص ٨٤)

الوات Watt (W): وحدة قياس القدرة في النظام الدولي للوحدات (SI)؛ أو هو القدرة على إنجاز شغل 1 J خلال 1 s. (ص ٧٧)

مُلحق

قائمة بعض رموز مكوِّنات الدوائر الكهربائية الواردة في هذا الكتاب

بعض الرموز الكهربائية



الجدول الدوري للعناصر

				المجموعة III	المجموعة IV	المجموعة V	المجموعة VI	المجموعة VII	المجموعة VIII
									2 He Helium هيليوم 4
				5 B Boron بورون 11	6 C Carbon كربون 12	7 N Nitrogen نيتروجين 14	8 O Oxygen أكسجين 16	9 F Fluorine فلور 19	10 Ne Neon نيون 20
				13 Al Aluminium ألومنيوم 27	14 Si Silicon سيليكون 28	15 P Phosphorus فوسفور 31	16 S Sulfur كبريت 32	17 Cl Chlorine كلور 35.5	18 Ar Argon أرغون 40
27 Co Cobalt كوبالت 59	28 Ni Nickel نيكل 59	29 Cu Copper نحاس 64	30 Zn Zinc خارصين 65	31 Ga Gallium غاليوم 70	32 Ge Germanium جيرمانيوم 73	33 As Arsenic زرنيخ 75	34 Se Selenium سيلينيوم 79	35 Br Bromine بروم 80	36 Kr Krypton كريبتون 84
45 Rh Rhodium روديوم 103	46 Pd Palladium بالاديوم 106	47 Ag Silver فضة 108	48 Cd Cadmium كادميوم 112	49 In Indium إنديوم 115	50 Sn Tin قصدير 119	51 Sb Antimony أنتيمون 122	52 Te Tellurium تيلوريوم 128	53 I Iodine يود 127	54 Xe Xenon زينون 131
77 Ir Iridium إريديوم 192	78 Pt Platinum بلاتين 195	79 Au Gold ذهب 197	80 Hg Mercury زئبق 201	81 Tl Thallium ثاليوم 204	82 Pb Lead رصاص 207	83 Bi Bismuth بيزموث 209	84 Po Polonium بولونيوم –	85 At Astatine أستاتين –	86 Rn Radon رادون –

63 Eu Europium أوروبيوم 152	64 Gd Gadolinium غادولينيوم 157	65 Tb Terbium تيربيوم 159	66 Dy Dysprosium ديسبروسيوم 163	67 Ho Holmium هولميوم 165	68 Er Erbium إيربيوم 167	69 Tm Thulium ثوليوم 169	70 Yb Ytterbium إيتربيوم 173	71 Lu Lutetium لوتيشيوم 175
95 Am Americium أميرسيوم –	96 Cm Curium كوريوم –	97 Bk Berkelium بيركيليوم –	98 Cf Californium كاليفورنيوم –	99 Es Einsteinium إينشتاينيوم –	100 Fm Fermium فيرميوم –	101 Md Mendelevium ماندليفيوم –	102 No Nobelium نوبيليوم –	103 Lr Lawrencium لاورنسيوم –

المفتاح

a =	العدد الذري
X =	الرمز
b =	الكتلة الذريّة النسبية

a
X
الاسم
b

	المجموعة I	المجموعة II						
الدورة 1								1 H Hydrogen هيدروجين 1
الدورة 2	3 Li Lithium ليثيوم 7	4 Be Beryllium بريليوم 9						
الدورة 3	11 Na Sodium صوديوم 23	12 Mg Magnesium ماغنيسيوم 24						
الدورة 4	19 K Potassium بوتاسيوم 39	20 Ca Calcium كالسيوم 40	21 Sc Scandium سكانديوم 45	22 Ti Titanium تيتانيوم 48	23 V Vanadium فناديوم 51	24 Cr Chromium كروم 52	25 Mn Manganese منغنيز 55	26 Fe Iron حديد 56
الدورة 5	37 Rb Rubidium روبيديوم 86	38 Sr Strontium سترونشيوم 88	39 Y Yttrium إيتريوم 89	40 Zr Zirconium زيركونيوم 91	41 Nb Niobium نيوبيوم 93	42 Mo Molybdenum موليبدنوم 96	43 Tc Technetium تكنيشيوم –	44 Ru Ruthenium روثينيوم 101
الدورة 6	55 Cs Caesium سيزيوم 133	56 Ba Barium باريوم 137	La to Lu	72 Hf Hafnium هافنيوم 178	73 Ta Tantalum تانتالوم 181	74 W Tungsten تنغستن 184	75 Re Rhenium رينيوم 186	76 Os Osmium أوزميوم 190
الدورة 7	87 Fr Francium فرانسيوم –	88 Ra Radium راديوم –	Ac to Lr					

57 La Lanthanum لانثانوم 139	58 Ce Cerium سيريوم 140	59 Pr Praseodymium برازيوديميوم 141	60 Nd Neodymium نيوديميوم 144	61 Pm Promethium بروميثيوم –	62 Sm Samarium ساماريوم 150
89 Ac Actinium أكتينيوم –	90 Th Thorium ثوريوم –	91 Pa Protactinium بروتاكتينيوم –	92 U Uranium يورانيوم –	93 Np Neptunium نبتونيوم –	94 Pu Plutonium بلوتونيوم –

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.

Artist TBC - Ministry of Education, Oman; Dirk Funhoff/Getty Images; By Eve Livesey/ Getty Images; ROSENFELD IMAGES LTD/SCIENCE PHOTO LIBRARY; David J. Green - electrical/Alamy Stock Photo; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/ SCIENCE PHOTO LIBRARY; MyLoupe /Getty Images; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY (x2); DonNichols/ Getty Images; Matej Kastelic/Getty Images; 1065399518/Getty Images; sciencephotos/ Alamy Stock Photo; unidentified; ANDREW WHEELER/SCIENCE PHOTO LIBRARY; Chad Slattery/ The Image Bank/Getty Images; Getty Images; GUSTOIMAGES/ SCIENCE PHOTO LIBRARY; Peter Cade/Getty Images; Will Steeley/Alamy Stock Photo; BNP Design Studio/Shutterstock; Ministry of Education, Oman; Thnathip Pha Tir Wat›hn / EyeEm/ Getty Images; ALEXIS ROSENFELD/SCIENCE PHOTO LIBRARY; Daniel Hurst Photography/Getty Images; PRESSLAB/Shutterstock; PUBLIC HEALTH ENGLAND/ SCIENCE PHOTO LIBRARY; Ministry of Education, Oman; Enrique Díaz / 7cero/Getty Images; Darren Flinders / EyeEm/Getty Images; selimaksan/Getty Images; Stocktrek Images/Getty Images; Monty Rakusen/Getty Images; SCIENCE PHOTO LIBRARY; PASCAL GOETGHELUCK/SCIENCE PHOTO LIBRARY; kongpons/Shutterstock; Mark Kostich/VETTA; Medioimages/ Photodisc/ Getty Images; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY; Ministry of Education, Oman.

رقم الإيداع : ٢٠٢١/٣٩٤٨م

مزون للطباعة والنشر والتغليف (ش.م.م) - ٢٤٨١٥٦٩٣

الفيزياء

كتاب الطالب ١٠

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

يتضمن كتاب الطالب:

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

إجابات الأسئلة مُتضمَّنة في دليل المعلّم.

يشمل منهج الفيزياء للصف العاشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب النشاط
- دليل المُعلِّم

ISBN 978-99969-4-718-6
9 789996 947186 >

www.moe.gov.om