سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

رؤية عُمان 2040

نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence

الفيزياء

الصف الحادي عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية
1445 هـ - 2023 م

سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

الصف الحادي عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية 1445 هـ - 2023 م

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.

الطبعة التجريبية ٢٠٢٣ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من كتاب الطالب - الفيزياء للصف الحادي عشر - من سلسلة كامبريدج للفيزياء لمستوى الدبلوم العام والمستوى المتقدم AS & A Level للمؤلفين دايفيد سانغ، وغراهام جونز، وغوريندر تشادا، وريتشارد وودسيد.

تمت مواءمة هذا الكتاب بناءً على العقد الموقع بين وزارة التربية والتعليم ومطبعة
جامعة كامبريدج.

تمت مواءمة الكتاب

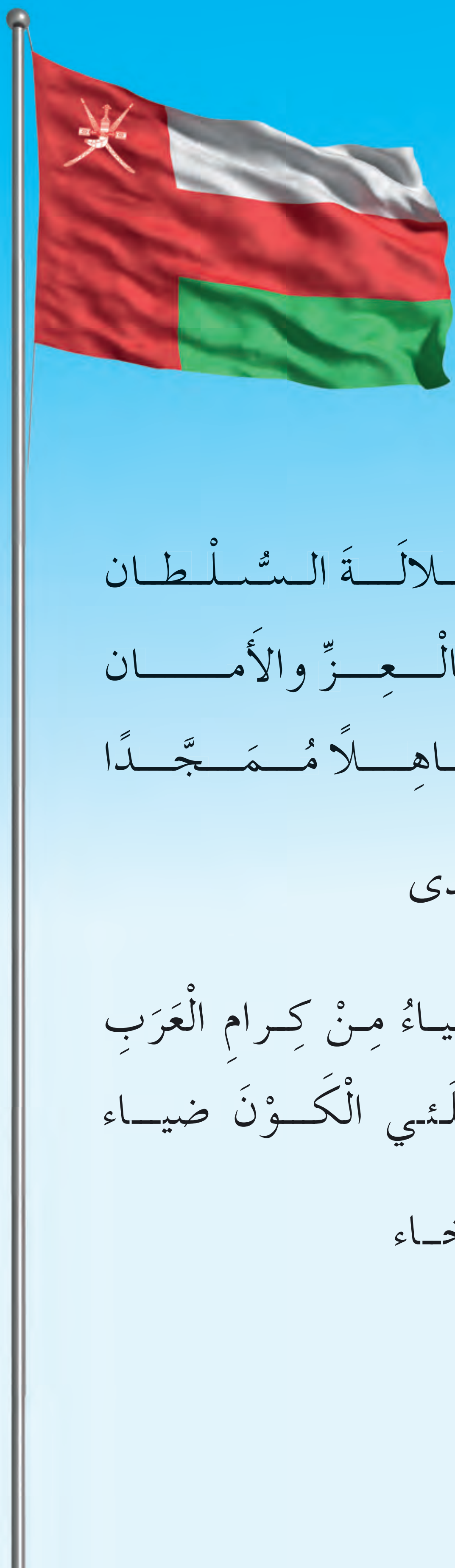
بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢٢/١٢١ واللجان المنبثقة عنه

المغفور لــه
السلطان قابوس بن سعيد
–طيّب اللّه ثراه–

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

سلطنة عُمان

(المحافظات والولايات)



النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يا رَبَّنا احْفَظْ لنا　　جَلالَةَ السُّلْطان

وَالشَّعْبَ في الأَوْطان　　بِالْعِزِّ والأَمان

وَلْيَدُمْ مُؤَيَّدًا　　عاهِلًا مُمَجَّدًا

بِالنُّفُوسِ يُفْتَدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي　　أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ

فارْتَقي هامَ السَّماء　　وَامْلَئي الْكَوْنَ ضِياء

وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخاء

تقديم

الحمد للّٰه 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 المقرّرات الدراسية، وطرائق التدريس، وأساليب التقويم وغيرها؛ وذلك لتتناسب مع الرؤية المستقبلية للتعليم في السلطنة، ولتتوافق مع فلسفته وأهدافه.

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

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

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

واللّٰه ولي التوفيق،،،

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم

المحتويات

المقدمة

يغطي هذا الكتاب منهج الفيزياء للفصل الدراسي الأول للصف الحادي عشر بما يلبّي السياسة التعليمية وغاياتها في سلطنة عُمان.

يطرح هذا الكتاب المفاهيم الفيزيائية المختلفة ويشرحها ويعمق فهمك حولها، كما يزوّدك بالأمثلة والأسئلة التي ستساعدك على اختبار فهمك، وعلى تطوير المهارات الأساسية اللازمة للنجاح في هذه المادة. كما توضح صفحات «كيف تستخدم هذا الكتاب» مكوّنات وميزات هذا الكتاب.

خلال دراستك لمادة الفيزياء، ستجد أن بعض المفاهيم الأساسية قد تتكرر؛ وذلك لأن موضوعات الفيزياء مترابطة في المجالات المختلفة، وسوف تمضي قدمًا في دراستها بتعمق أكثر في الصفَّين الحادي عشر والثاني عشر، بذلك ستكتسب المزيد من الثقة في فهم مادة الفيزياء إذا تعمّقت في هذه الموضوعات. ويشمل هذا الكتاب المفاهيم الأساسية الآتية:

- نماذج الأنظمة الفيزيائية كالنموذج الرياضي للجاذبية الأرضية.
- اختبار التنبؤات مقابل الأدلة.
- الرياضيات كلغة وأداة لحل المسائل الفيزيائية.
- المادة والطاقة
- القوى والمجالات

تُعدّ دراسة الفيزياء تجربة مثيرة وممتعة وجديرة بالاهتمام؛ فالفيزياء مادة أساسية للعديد من المجالات والتخصصات العلمية المختلفة كالطب والهندسة وغيرهما، ومتكاملة مع مواد العلوم المختلفة كالجيولوجيا والكيمياء والأحياء. وتُعدّ تدريبًا مفيدًا لاكتشاف كيف أسهَم مختلف العلماء في تطوير معرفتنا ورفاهيتنا، وذلك من خلال أبحاثهم التي أجروها في مفاهيم الفيزياء وتطبيقها. نأمل ألّا يساعدك هذا الكتاب على النجاح في دراساتك ومهنتك المستقبلية فحسب، بل أن يحفّز فضولك وخيالك العلمي أيضًا؛ فقد يصبح طلبة اليوم من العلماء والمهندسين المبدعين غدًا، كما نأمل أن تكون التجارب التي أجراها الفيزيائيون في الماضي درجة من درجات سلّم التطوّر، فنمضي بالفيزياء قُدمًا نحو مستويات أعلى وأرقى.

كيف تستخدم هذه السلسلة

تقدّم هذه المكوّنات (أو المصادر) الدعم للطلبة في الصف الحادي عشر في سلطنة عمان لتعلم مادة الفيزياء واستيعابها، حيث تعمل كتب هذه السلسلة جميعها معًا لمساعدة الطلبة على تطوير المعرفة والمهارات العلمية اللازمة لهذه المادة. كما تقدّم الدعم للمعلمين لإيصال هذه المعارف للطلبة وتمكينهم من مهارات الاستقصاء العلمي.

يقدّم «كتاب الطالب» دعمًا شاملًا لمنهج الفيزياء للصف الحادي عشر في سلطنة عمان، ويقدّم شرحًا للحقائق والمفاهيم والتقنيات العلمية بوضوح، كما يستخدم أمثلة من العالم الواقعي للمبادئ العلمية. والأسئلة التي تتضمنها كل وحدة تساعد على تطوير فهم الطلبة للمحتوى، في حين أن الأسئلة الموجودة في نهاية كل وحدة تحقق لهم مزيدًا من التطبيقات العلمية الأساسية.

يحتوي «كتاب التجارب العملية والأنشطة» على أنشطة وأسئلة نهاية الوحدة، والتي تمّ اختيارها بعناية، بهدف مساعدة الطلبة على تطوير المهارات المختلفة التي يحتاجون إليها أثناء تقدمهم في دراسة كتاب الفيزياء. كما تساعد هذه الأسئلة الطلبة على تطوير فهمهم لمعنى الأفعال الإجرائية المستخدمة في الأسئلة، إضافة إلى دعمهم في الإجابة عن الأسئلة بشكل مناسب.

كما يحقّق هذا الكتاب للطلبة الدعم الكامل الذي سوف يساعدهم على تطوير مهارات الاستقصاء العملية الأساسية جميعها. وتشمل هذا المهارات تخطيط الاستقصاءات، واختيار الجهاز وكيفية التعامل معه، وطرح الفرضيات، وتدوين النتائج وعرضها، وتحليل البيانات وتقييمها.

يدعم دليل المعلم «كتاب الطالب» و «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، ويعزز الأسئلة والمهارات العملية الموجودة فيهما. ويتضمّن هذا الدليل أفكارًا تفصيلية للتدريس وإجابات عن كل سؤال ونشاط وارد في «كتاب الطالب» وفي «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، فضلًا عن الإرشادات التعليمية لكل موضوع، بما في ذلك خطة التدريس المقترحة، وأفكار للتعلم النشط والتقويم التكويني، والمصادر المرتبطة بالموضوع، والأنشطة التمهيدية، والتعليم المتمايز (تفريد التعليم) والمفاهيم الخاطئة وسوء الفهم. كما يتضمن أيضًا دعمًا مفصلًا لإجراء الاستقصاءات العملية وتنفيذها في «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، بما في ذلك فقرات «مهم» لجعل الأمور تسير بشكل جيد، إضافة إلى مجموعة من عينات النتائج التي يمكن استخدامها إذا لم يتمكن الطلبة من إجراء التجربة، أو أخفقوا في جمع النتائج النموذجية.

كيف تستخدم هذا الكتاب

خلال دراستك هذا الكتاب، ستلاحظ الكثير من الميزات المختلفة التي ستساعدك في التعلم. هذه الميزات موضحة على النحو الآتي:

أهداف التعلّم

تُمثّل هذه الأهداف مضمون كل وحدة دراسية، وتساعد على إرشاد الطلبة خلال دراسة «كتاب الطالب»، كما تشير إلى المفاهيم المهمة المطروحة في كل موضوع، ويتم التركيز عليها عند تقويم الطالب.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

تحتوي هذه الميزة على أسئلة وأنشطة تتمحور حول المعرفة القبلية للموضوعات التي ستحتاج إليها قبل البدء بدراسة الوحدة.

العلوم ضمن سياقها

تُقدّم هذه الميزة أمثلة وتطبيقات واقعية للمحتوى الموجود في كل وحدة دراسية، ما يعني أنها تشجع الطلبة على إجراء المزيد من البحث في الموضوعات المختلفة.

مهارة عملية

لا يحتوي هذا الجزء من الكتاب على تعليمات مفصلة لإجراء تجارب معيّنة، لكنك ستجد، في مربّعات النص هذه، توجيهات أساسية حول النشاط العملي الذي تحتاج إلى تطبيقه.

ترد التعريفات للمفاهيم العلمية والمبادئ والقوانين والنظريات العلمية المهمة في الهامش، ويتم إبرازها في النص بلون غامق عند تقديمها لأول مرة. وستجد هذه التعريفات أيضًا في قائمة المصطلحات الموجودة في نهاية هذا الكتاب.

المعادلة: يتم تمييز المعادلات الأساسية في النص عند تقديم المعادلة لأول مرة. تعريف للمعادلة ومزيد من المعلومات ترد في الهامش.

مصطلحات علمية

يتم تمييز المصطلحات الأساسية في النص عند تقديمها لأول مرة. ثم يتم تقديم تعريفات لها في الهامش تشرح معاني هذه المصطلحات.

سوف تجد أيضًا تعريفات لهذه المصطلحات في قائمة المصطلحات الواردة في نهاية هذا الكتاب.

أفعال إجرائية

لقد تمّ إبراز الأفعال الإجرائية الواردة في المنهج الدراسي بلون غامق في أسئلة نهاية الوحدة، ويمكن استخدامها في الاختبارات، خصوصًا عندما يتم تقديمها للمرة الأولى. وستجد في الهامش تعريفًا لها.

سوف تجد أيضًا التعريفات نفسها في قائمة المصطلحات الواردة في نهاية هذا الكتاب.

أسئلة

يتخلّل النص أسئلة تمنحك فرصة للتحقق من أنك قد فهمت الموضوع الذي قرأت عنه.

أمثلة

تحتوي على أمثلة محلولة توضّح كيفية استخدام صيغة رياضية معيّنة لإجراء عملية حسابية.

مهمّ

يتم في مربّعات النص هذه إدراج حقائق وإرشادات مهمّة للطلبة.

ملخّص

تحتوي مربّعات النص هذه على ملخّص للنقاط الرئيسية في نهاية كل وحدة.

أسئلة نهاية الوحدة

تقيس هذه الأسئلة مدى تحقّق الأهداف التعليمية في الوحدة، وقد يتطلب بعضها استخدام معارف علمية من وحدات سابقة. تتوافر إجابات هذه الأسئلة في دليل المعلم.

قائمة تقييم ذاتي

تلي الملخّص عبارات تتضمّن عناوين منها: «أستطيع أن» التي تتطابق مع أهداف التعلم الموجودة في بداية الوحدة؛ و «أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد»، أو «متمكّن إلى حدٍّ ما» اللتَين تشيران إلى وجوب مراجعة ما تراه ضروريًا في هذا المجال. وقد تجد أنه من المفيد تقييم مدى ثقتك بكل من هذه العبارات أثناء عملية المراجعة.

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدٍّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا

الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء

- العمل بأمان في مختبر الفيزياء جانب أساسي من جوانب التعلّم الذي يتميّز به العمل التجريبي.
- كن دائمًا مستمعًا جيدًا للتعليمات، وملتزمًا التوجيهات وقواعد السلوك بعناية.
- إذا لم تكن متأكّدًا من أي جانب من جوانب عملك التجريبي، فلا تتوانَ في سؤال معلّمك، وإذا كنت تودّ تصميم استقصاءٍ خاصّ بك، فاطلب إلى معلّمك أن يتحقّق من خطّتك قبل تنفيذها.
- العديد من احتياطات الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء تُعنى بمنع حدوث ضرر يلحق بالطالب أو بالأجهزة والأدوات.

استخدام السوائل في العمل	ضع كل الأدوات في حوض بحيث إذا انسكب شيء منها لا يؤثّر على أوراق العمل. فإذا كنت تستخدم الماء الساخن أو المغلي؛ فاستخدم ماسكًا لحمل الأوعية مثل الكؤوس.
استخدام ميزان الحرارة الزجاجيّ المُعبأ بسائل	ضع ميزان الحرارة بشكل آمن على الطاولة فور الانتهاء من استخدامه، وتأكّد من موقعه بحيث لا يتدحرج، وإذا تعرّض للكسر؛ فأبلغ معلّمك فورًا، ولا تلمس الزجاج المكسور أو السائل المتسرّب منه.
تعليق موادّ على أسلاك رفيعة	ارتدِ نظّارات واقية تحسّبًا لحدوث انقطاع في السلك، واحذر من سقوط أثقال في حال انقطاع السلك؛ وضَع وسادة أو ما شابه على الأرض.
توصيل مكوّنات كهربائية	لا تتجاوز فرق الجهد الكهربائي الموصى به للمكوِّن الكهربائي، على سبيل المثال: فرق الجهد الكهربائي لمصباح ما هو (6 V).
استخدام الحوامل المعرّضة للانقلاب	إذا كان الحامل متحرّكًا أو معرّضًا لخطر الانقلاب، فثبّته على الطاولة بإحكام.
استخدام الأجسام القابلة للتدحرُج كالأسطوانات	ضع شيئًا مناسبًا مثل صندوق لجمع الأجسام القابلة للتدحرُج، بحيث لا تسقط على الأرضية أو تؤثّر على تجربة شخص آخر.
الخلايا الجافة 1.5 V	لا توصل قطبَي الخلية أو البطارية أحدهما بالآخر بسلك كهربائي.

الجدول ١ احتياطات الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء

الوحدة الأولى

المهارات العملية

Practical skills

أهداف التعلّم

١-١ يستخدم المسطرة، والقدمة ذات الورنية، والميكروميتر لقياس الأطوال المختلفة ويصف طريقة استخدامها.

١-٢ يصف تأثير الأخطاء النظامية (بما فيها الأخطاء الصفرية) والأخطاء العشوائية على القياس ويشرحها.

١-٣ يميز الفرق بين مصطلحَي الضبط (Accuracy) والدقة (Precision).

١-٤ يقارن بين الخطأ وعدم اليقين عند القياس.

١-٥ يصف كيفية تقدير قيمة عدم اليقين المطلق في القراءة.

١-٦ يجمع بين قيم عدم اليقين المطلقة عند جمع الكميات أو طرحها ويجمع النسب المئوية لعدم اليقين عند ضرب الكميات أو قسمتها.

١-٧ يصف عدم اليقين في القياس ويحدده كقيمة مطلقة أو نسبة مئوية ويحوّل بينهما.

١-٨ يتذكّر الكمّيات الأساسية للنظام الدولي للوحدات (SI) ووحداتها القياسية: الكتلة (kg)، الطول (m)، الزمن (s)، شدة التيّار الكهربائي (A)، درجة الحرارة (K).

١-٩ يعبّر عن الوحدات المشتقّة كنواتج ضرب أو قسمة للوحدات الأساسية للنظام الدولي للوحدات، ويستخدم الوحدات المشتقة للكميات المدرجة في هذا المنهج حسب الحاجة.

١-١٠ يتذكر البادئات الآتية ورموزها للإشارة إلى المضاعفات أو الأجزاء العشرية لكل من الوحدات الأساسية والمشتقة ويستخدمها.
بيكو (p)، نانو (n)، مايكرو (μ)، ميلي (m)، سنتي (c)، ديسي (d)، كيلو (k)، ميجا (M)، جيجا (G)، تيرا (T).

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

- ما الخصائص الفيزيائية للموادّ؟
- ما الكمّيات التي تقيسها كل من الأدوات الآتية: المنقلة، مسطرة 30 cm، المسطرة المترية، الميكروميتر، القدمة ذات الورنية، الميزان الزنبركي، الموازين، المخبار المدرّج، مقياس الحرارة، ساعة الإيقاف، الأميتر، الفولتميتر؟
- هل يمكنك أن تقترح مدى قياس كل أداة من الأدوات السابقة، وأصغر تدريج لمقياسها، والصعوبات التي تواجهك عند استخدام كل أداة؟

العلوم ضمن سياقها

العمل المختبري

يُعدّ العمل المختبري (الصورة ١-١) جانبًا أساسيًا لإحراز التقدم في الفيزياء، حيث يتم اختبار الفرضيات الجديدة من خلال التخطيط للتجارب، ثم إجراؤها لمعرفة ما إذا كانت نتائج التجربة تدعم الفرضية الجديدة.

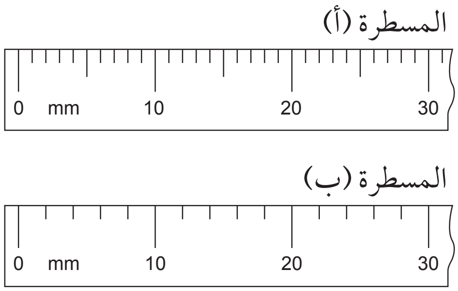
تعرض هذه الوحدة بعض المهارات العملية اللازمة لتخطيط التجارب وتنفيذها وتقييمها مع مراعاة الأخطاء وعدم اليقين.

الصورة ١-١ تجميع وضبط الأدوات الإلكترونية للقياسات الفيزيائية الدقيقة.

١-١ استخدام الأدوات واتّباع التعليمات

من خلال دراستك للفيزياء في الصفَّين الحادي عشر والثاني عشر سيتم تطوير وقياس مهاراتك في العمل المختبري. فالعلوم تختلف عن معظم الموادّ الأخرى في أنها لا تشتمل على مواضيع نظرية فقط، بل على عمل تجريبي أيضًا؛ لأن جوهر العلوم هو أن النظرية يمكن اختبارها عمليًّا بالتجربة؛ لذلك تعدّ القدرة على تنفيذ التجارب العملية بطريقة منطقية وعلمية أمرًا أساسيًّا.

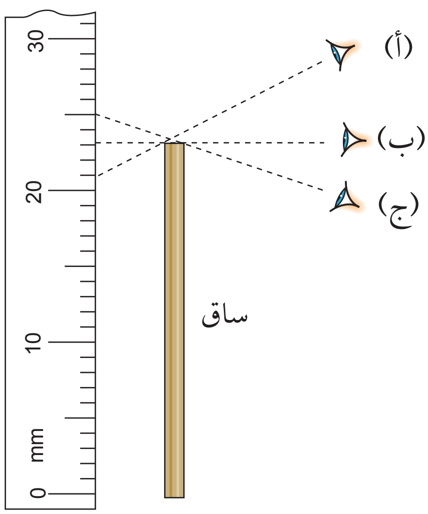
ستحتاج إلى معرفة استخدام أدوات وأجهزة قياس بسيطة مثل المساطر المترية، والموازين، والمناقل، وساعات الإيقاف، والأمّيترات والڤولتميترات، أو تلك الأدوات الأكثر تعقيدًا مثل الميكروميترات والقدمات ذوات الورنية.



الشكل ١-١ تأكّد عند قراءة تدريج ما من أنك تعرف ما يمثّله كل قسم من التّدريج.

عند استخدامك أدوات القياس هذه؛ فإنه يتوجّب عليك أن تكون على معرفة تامة بما يمثّله كل قسم على التدريج، فإذا نظرت إلى الشكل ١-١ فإنك سترى أن كل قسم من التدريج على المسطرة (أ) يمثّل (1 mm)، وكل قسم من التدريج على المسطرة (ب) يمثّل (2 mm).

ولكن إذا كنت تستخدم الأدوات بطريقة غير صحيحة؛ فاحتمال الوقوع في خطأ تقدير القياس يكون كبيرًا، على سبيل المثال: عند أخذ القراءة يجب أن يكون خطّ نظرك عموديًا على تدريج أداة أو جهاز القياس، وإلّا فستقع في خطأ اختلاف المنظر؛ وهذا الخطأ موضح في الشكل ١-٢. فعند النظر من النقطة (أ)، يبدو أن طول الساق (21 mm)، وعند النظر من النقطة (ج) فإن طوله يبدو (25 mm) في حين أن النظر من النقطة (ب)، وهو الموقع الصحيح، فيكون الطول (23 mm).



الشكل ١-٢ خطأ اختلاف المنظر.

تُعدّ المسطرة المترية، أو المسطرة العادية التي طولها (30 cm) الموضح جزء من طولها في الشكل ١-٢ أدوات قياس بسيطة، وأصغر قسم عليها هو (1 mm). تتميّز بعض الأدوات الأخرى بدقّة أكبر لأن أصغر قسم لها يكون أقل من (1 mm)، وسندرس أداتَين منها.

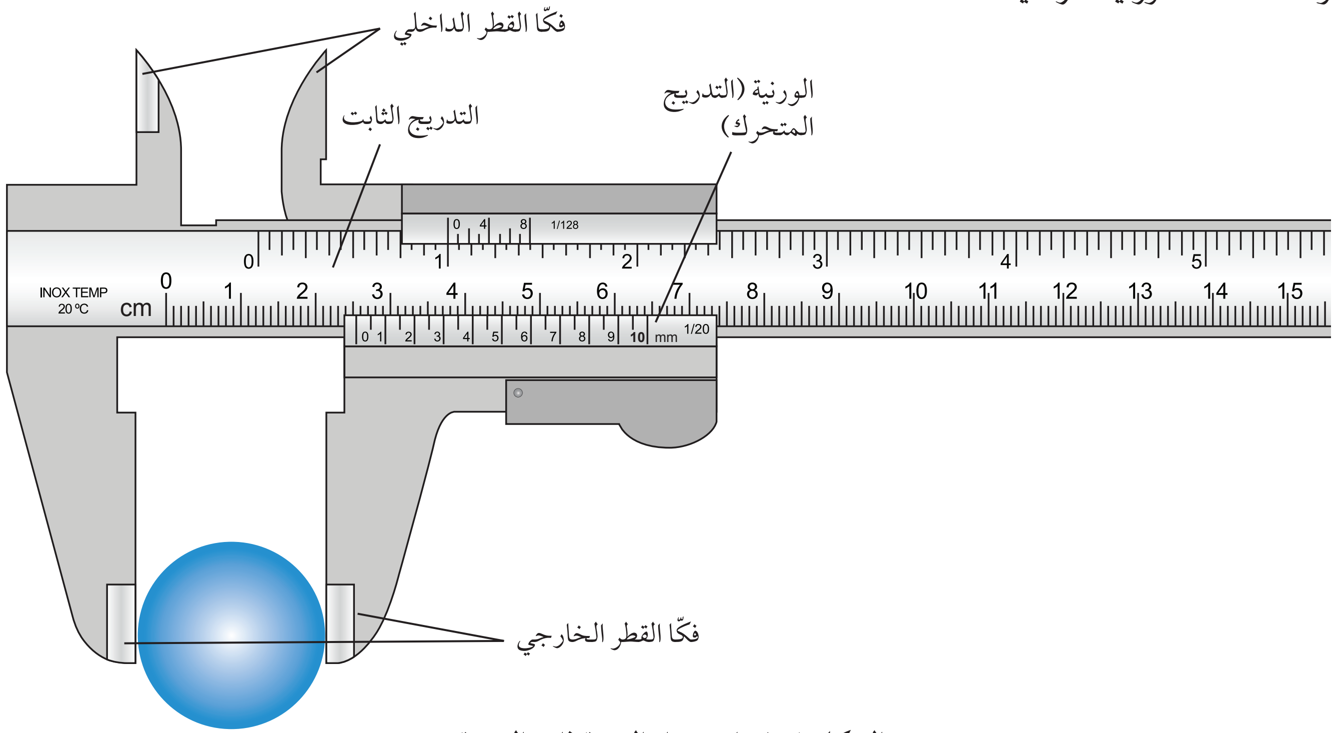
القدمة ذات الورنية

صُمّمت القدمة ذات الورنية بفكّين لإمساك الجسم المُراد قياسه، وفي الشكل ١-٣ اُستُخدمت القدمة ذات الورنية لقياس قطر جسم كروي، كما يمكن استخدامها لقياس العمق والقطر الداخلي لأنبوب أيضًا. فعلى سبيل المثال: إذا وُضع فكّا القطر الداخلي داخل الأنبوب وضُبط الجزء المتحرّك من القدمة بحيث يُمسك الفكّان الجزء الداخلي من الأنبوب، عندها يمكن قياس القطر الداخلي له.

القدمة ذات الورنية المُبيّنة في الشكل ١-٣ هي القدمة ذات الورنية العادية، تتم قراءة القدمة من خلال النظر أوّلًا في الورنية (التدريج المتحرك) وتحديد مكان وقوع الصفر على هذا التدريج بالنسبة إلى التدريج الثابت من القدمة

> **مهمّ**
>
> يختلف أصغر تدريج في التدريج المتحرك وفقًا للقدمة ذات الورنية. في الشكل ١-٣، أصغر تدريج على القدمة ذات الورنية هو (0.05 mm).

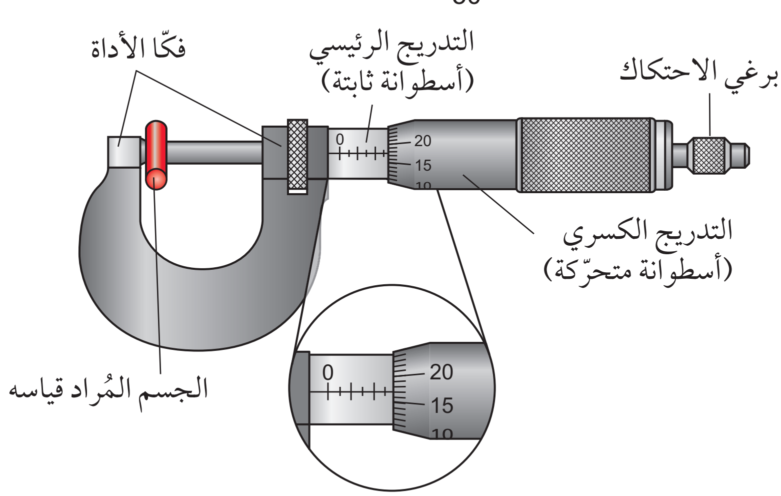
(بين 2.5 cm و 2.6 cm). بعد ذلك، يجب تحديد الخط على الورنية والذي يتطابق مع خطٍّ ما من التدريج الثابت -تدريج الورنية المقسم إلى 20 قسم يمثل (0.100 cm)، وهذا يعني أن كل قسم يمثل (0.005 cm) أو (0.05 mm)- الخط على تدريج الورنية الذي ينطبق مع التدريج الثابت هو عند (0.40 mm)، وهو يساوي (0.040 cm)، وأخيرًا يتم جمع القراءتَين للحصول على القياس المطلوب وهو (2.540 cm). تُستخدم في بعض الأحيان أنواع أخرى مثل القدمة ذات ورنية القرص والقدمة ذات الورنية الرقمية.



الشكل ١-٣ استخدام القدمة ذات الورنية.

الميكروميتر

الميكروميتر هو أداة القياس المُبيّنة في الشكل ١-٤، ولهذه الأداة تدريجان أيضًا. التدريج الرئيسي (أسطوانة ثابتة) مثبّت على محور الأداة والتدريج الكسري (أسطوانة متحركة) مثبّت على أسطوانة دوّارة. وفي كل دورة للأسطوانة الدوّارة يتحرّك طرف الأسطوانة على طول التدريج الرئيسي (0.50 mm). وبما أن التدريج الكسري على الأسطوانة يتكوّن من 50 قسمًا، فيمثّل كلّ قسم ($\frac{0.50}{50} = 0.01$ mm).



الشكل ١-٤ استخدام الميكروميتر.

يستخدم الميكروميتر بتحريك الأسطوانة المتحرّكة بحيث يضغط فكّا الأداة على الجسم المُراد قياسه. بعض الميكروميترات لها برغي احتكاك أو آلية انزلاق لمنع المُستخدِم من الضغط القوي ما يسبّب إتلاف الميكروميتر أو الجسم المُراد قياسه. اقرأ التدريج الرئيسي إلى أقرب (0.5 mm)، ثم اقرأ عدد الأقسام الموجودة على الأسطوانة المتحرّكة والتي سيكون كل واحد منها (0.01 mm)، وأخيرًا اجمع القراءتَين (التدريج الرئيسي + التدريج الكسري). ومن المهمّ أن تعرف أن أصغر قسم على الميكروميتر هو (0.01 mm). ولإيجاد سمك الساق في الشكل ١-٤ مثلًا، نجد أنه يساوي (2.5 + 0.17 = 2.67 mm).

قبل البدء باستخدام الميكروميتر أو القدمة ذات الورنية، فإنه من المعتاد التحقّق ممّا إذا كان هناك خطأ صفري، وهذا يُكشف بواسطة انطباق الفكّين من دون وجود أي جسم بينهما، وبالتأكيد يجب أن تكون القراءة عندئذٍ صفرًا، ولكن إذا كانت الأداة بالية أو مُستخدَمة بشكل سيّئ فربّما لا تكون القراءة صفرًا؛ بل يكون للقراءة مقدار معيّن، وعند قراءة قياس جسم ما باستخدام هذه الأداة؛ عليك أن تأخذ في الحسبان هذا المقدار للخطأ الصفري، وبالتالي عليك جمعه أو طرحه من كل قراءة أخرى تأخذها بواسطة هذه الأداة، فإذا كانت قراءة الخطأ الصفري سالبة، فيجب إضافة هذا الخطأ إلى كل قراءة يتم إجراؤها باستخدام الأداة؛ أما إذا كانت قراءة الخطأ الصفري موجبة، فيجب طرح هذا الخطأ من كل قراءة يتم أخذها بواسطة الأداة، والخطأ الصفري هو مثال على الخطأ النظامي الذي ستدرسه لاحقًا في هذه الوحدة.

١-٢ جمع الأدلة

يجب أن تأخذ في الحسبان عند جمع الأدلّة مدى النتائج التي ستحصل عليها، فإذا كنت تستقصي استطالة زنبرك معلّق به ثقل، (للأثقال ما بين 0 N و 20 N)، فيجب أن تأخذ قراءات موزّعة بعدالة على طول هذا المدى. على سبيل المثال، ستّ قراءات بين (12 N و 20 N) لن تكون منطقية لأنك لم تستقصِ ما يحدث للأثقال الصغيرة بين (0 N و 12 N). وبالمثل أخذ ثلاث قراءات بين (0 N و 5 N) وثلاث قراءات أخرى بين (15 N و 20 N) ليس منطقيًا لأنك لم تستقصِ القراءات التي في الوسط.

قد تكون القراءات عند الأثقال (0 N، 4 N، 8 N، 12 N، 16 N، 20 N) منطقية لأنها تغطي المدى كاملًا بفواصل متساوية.

سؤال

١ إذا كنت تستقصي كيفية اعتماد شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ عبر مقاومة على مقدار تلك المقاومة عند توصيلها في دائرة كهربائية، وأُعطيت مقاومات بالقيم الآتية:

50 Ω، 100 Ω، 150 Ω، 200 Ω، 250 Ω، 300 Ω، 350 Ω، 400 Ω، 450 Ω، 500 Ω

ثم طُلب إليك إجراء قياسات باستخدام ستّ من هذه المقاومات فقط، فأيّ ستّ مقاومات ستختار؟ وضّح إجابتك.

٣-١ الدقّة والضبط والأخطاء وعدم اليقين

عندما تُجري قياسات لكمّية ما، فأنت تحاول إيجاد القيمة الحقيقية للكمّية، وهذه القيمة ستجدها إذا كان قياسك مثاليًا، ولكن لا يمكن أن يكون أيّ قياس مثاليًا على الإطلاق؛ حيث يكون هناك دائمًا مقدار من **عدم اليقين Uncertainty**، فقد تكون أدواتك غير سليمة، أو قد تكون طريقتك تحتاج إلى التحسين. لذلك، عندما تجري عملًا تجريبيًا، فإنه يجب عليك التفكير في أمرَين:

- كيف يمكن تحسين الأدوات أو التقنية التي تستخدمها لإعطاء نتائج أفضل، مع قدر أقل من عدم اليقين؟
- كيف ستعبّر عن عدم اليقين في النتائج التي ستحصل عليها؟

يجب أن ينعكس هذان الأمران على الطريقة التي ستعرض بها نتائجك، كما سترى لاحقًا في هذه الوحدة.

أوّلًا **الدقّة Precision**: يكون مستوى الدقّة مرتفعًا إذا أجريت عدة قياسات لكمّية ما وكانت كلّها متقاربة جدًا، وسيكون القياس أقرب إلى الدقّة إذا حصلنا على القيمة نفسها أو على قيمة قريبة جدًا منها عند تكرار القياس؛ أمّا إذا كانت القياسات منتشرة على مدى واسع حول القيمة المتوسّطة، فإنها تكون أقلّ دقّة، وهذا قد يحدث بسبب الصعوبات العملية في إجراء القياسات.

تنعكس الدقّة على كيفية تسجيل النتائج؛ فإذا سجّلت المسافة هكذا «15 m» فهذا يعني أن المسافة قيست إلى أقرب متر فقط، بينما إذا سجّلت المسافة هكذا «15.0 m» فهذا يشير إلى أن المسافة قيست إلى أقرب (0.1 m).

احرص على عدم الخلط بين الدقّة **والضبط Accuracy**. يوصف القياس بأنه «مضبوط» إذا كانت القيمة المُقاسة قريبة من القيمة الحقيقية، ولنفترض أن القياس دقيق، وأعطى النتيجة نفسها؛ فهذا لا يعني أن القياس مضبوط، لأنّ كل قراءة قد يكون فيها الخطأ نفسه؛على سبيل المثال: يمكنك أن تجعل قياساتك دقيقة جدًا لقطر سلك باستخدام ميكروميتر إلى أقرب (0.01 mm)، ولكن قد تكون كل قراءة غير مضبوطة إذا كان للميكروميتر خطأ صفري.

عادة ما تكون مصادر عدم الضبط خطأ في الإجراء التجريبي؛ على سبيل المثال: إن توصيل أمّيتر في دائرة بطريقة غير صحيحة سيؤدي إلى قراءة غير مضبوطة لشدة التيار الكهربائي؛ كذلك يتسبب زمن رد فعل الإنسان في عدم ضبط قياسات الزمن؛ أو تكون مصادر عدم الضبط خطأ في أداء القياس مثل: ميزان الحرارة الذي يحتوي سائله على فقاعات هواء، يعطي قياسات غير مضبوطة لدرجة الحرارة.

يوضح الشكل ١-٥ محاولتَين لعمل ثقوب في مركز لوحة التصويب، تخيّل أن مواقع الثقوب

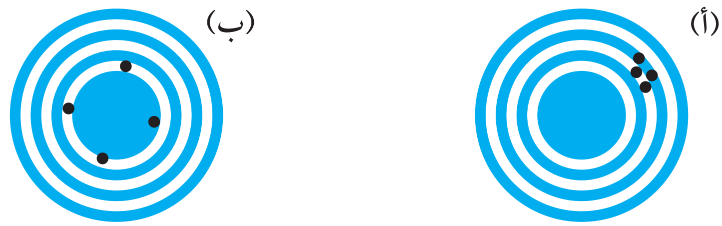
مصطلحات علمية

عدم اليقين Uncertainty: عدم اليقين في القراءة هو تقدير الفرق بين القراءة والقيمة الحقيقية للكمّية المقاسة.

الدقّة Precision: مدى تقارب نتائج القياس عند تكرار قياس الكمية نفسها عدة مرات. والقياس الدقيق هو القياس الذي يعطي القيمة نفسها عدّة مرّات، أو قد تكون متقاربة جدًا، مع فارق بسيط حول القيمة المتوسطة.

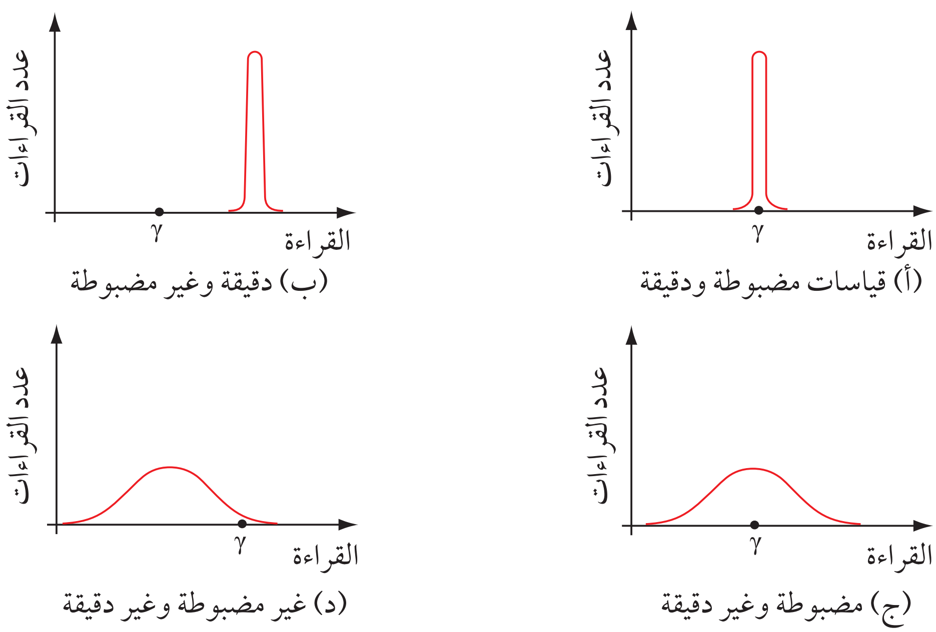
الضبط Accuracy: مدى قرب القيمة المُقاسه من القيمة الحقيقة.

تمثّل قراءات، وتكون القيمة الحقيقية في المركز، عندما تكون القراءات متقاربة كما في الشكل ١-٥ (أ) يمكننا القول إنها دقيقة. ومع ذلك، فهي ليست مضبوطة، لأن متوسّط موقع الثقوب بعيد عن المركز. وبالمقابل يمكن القول إن القياس في الشكل ١-٥ (ب) مضبوط، لأن متوسط موقع الثقوب قريب من المركز، ولكن القراءات ليست دقيقة إذ تنتشر الثقوب بعيدة بعضها عن بعض.



الشكل ١-٥ يمثل المخطّط (أ) قراءات دقيقة ولكنها غير مضبوطة؛ ويمثل المخطّط (ب) قراءات مضبوطة ولكنها ليست دقيقة.

كما يوضح الشكل ١-٦ متى يكون قياس ما مضبوطًا أو غير مضبوط ودقيقًا أو غير دقيق عندما تكون قيمة القراءة الحقيقية (γ).



الشكل ١-٦ الاختلاف بين الدقّة والضبط لقراءات متكرّرة.

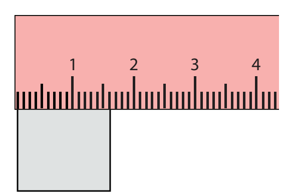
عندما تقوم بإجراء قياس، يجب أن تكون على معرفة بمقدار عدم اليقين في القياس؛ وغالبًا ما يُحدَّد مقدار عدم اليقين بواسطة التدريج الأصغر على أداة القياس. ويجب أن نكون قادرين على القراءة إلى أقرب نصف ملّيمتر على المسطرة المترية المدرّجة بالملّيمترات، ولكن إذا كنا نقيس طول ساق ما فهناك قراءتان يجب أخذهما في الحسبان لكل نهاية من نهايتَي الساق، ولكلّ من هاتَين القراءتَين عدم يقين مقداره (0.5 mm)، الأمر الذي يعطي عدم يقين إجماليٍ قدره (1 mm).

يعتمد عدم اليقين على دقّة معايرة الأدوات التي تستخدمها، وكذلك على قدرتك على الملاحظة أيضًا وعلى الأخطاء التي أُدخلت بواسطة الأدوات الأقلّ دقة أو التقنية السيّئة في أخذ الملاحظات. فيما يأتي بعض الأمثلة على المواضع التي يمكن أن يظهر فيها عدم اليقين:

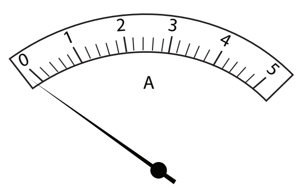
الخطأ النظامي Systematic error:

- فقاعة الهواء المحصورة في سائل ميزان الحرارة تجعل قراءة ميزان الحرارة أعلى من القيمة الحقيقية.
- المغناطيس في الأمّيتر قد يصبح أضعف مع مرور الزمن، وربّما لا تتحرّك الإبرة تمامًا حول التدريج كما هو متوقّع.
- قد تكون أخطاء اختلاف المنظر الموضحة سابقًا مثالًا آخر على الخطأ النظامي، كأن ينظر الشخص في كل مرة يكرّر فيها القياس من الزاوية غير العمودية نفسها على تدريج أداة القياس.
- **الخطأ الصفري Zero error**، إذا لم يكن الصفر موجودًا بالضبط في بداية تدريج الأداة، فسيؤدي ذلك إلى وجود خطأ ثابت في أية قراءة. وهذا نوع من الخطأ النظامي.

يبيّن الشكل ١–٧ أن ضلع المربع يساوي (1.6 cm)، ولكن في الحقيقة القياس هو (1.5 cm). كما نلاحظ في الشكل ١–٨ أن الأمّيتر يقيس (−0.2 A) دون أن يمرّ عبره تيار كهربائي، لذلك يجب إضافة (0.2 A) لكل قياس لشدة التيار الكهربائي بواسطة هذا الأمّيتر.



الشكل ١–٧ خطأ صفري مع مسطرة مترية. صفر المسطرة هو **+0.1 cm**



الشكل ١–٨ هذا الأمّيتر له خطأ صفري تقريبًا **−0.2 A**

من حيث المبدأ، يمكن تصحيح الأخطاء النظامية عبر إعادة معايرة أداة القياس أو عبر تصحيح التقنية المُستخدَمة في القياس.

الأخطاء العشوائية Random errors، تحدث عندما يقوم طالب بأخذ قياس أعلى أو أقل من القيمة الحقيقية. يمكن تقليل الأخطاء العشوائية عبر إجراء قياسات متعدّدة وأخذ متوسّط نتائجها.

إن استخدام الأدوات والتقنيات الجيدة سيعمل على تقليل مقدار عدم اليقين الموجود في القياس، ولكن وجود الصعوبات أثناء إجراء القياسات واتّخاذ القرار لتحديد القراءات يقلّلان من دقّة القياسات. فيما يأتي مثالان يُبيّنان كيف أن الصعوبات في الملاحظة سوف تحد من دقّة قياساتك.

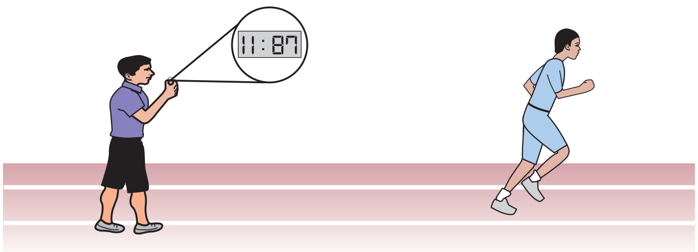
مصطلحات علمية

الخطأ النظامي Systematic error: يحدث بسبب اختلاف القراءات حول القيمة الحقيقية بمقدار ثابت في كلّ مرّة تتم فيها القراءة.

الخطأ الصفري Zero error: يحدث عندما تعطي الأداة قراءة غير صفرية (لها مقدار معيّن) وتكون القيمة الحقيقية للكمية صفرًا.

الخطأ العشوائي Random error: يحدث بسبب اختلاف القراءات حول متوسّط القيمة المقاسة بطريقة غير متوقّعة من قراءة إلى أخرى.

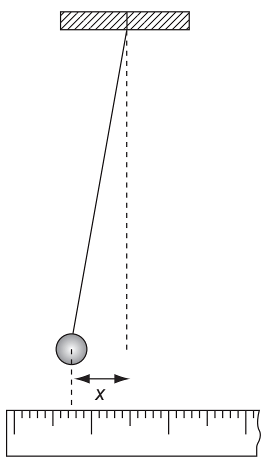
مثال ١: استخدام ساعة إيقاف



الشكل ١–٩ عدم اليقين في قياس الزمن باستخدام ساعة إيقاف

اشترك أحمد في سباق الـ (100 m) (الشكل ١–٩)؛ وقد استعان بأخيه خالد لقياس الزمن الذي يستغرقه باستخدام ساعة إيقاف رقمية تقيس إلى أقرب جزء من مئة من الثانية. فكانت قراءة ساعة الإيقاف (11.87 s)، في حين أن أحمد سجّل في دفتره أن الزمن المستغرق هو (11.9 s)، فشرح لأخيه أن الاختلاف في القراءة سببه عدم القدرة على القياس إلى أقرب جزء من مئة من الثانية، حيث يتعيّن عليه أن يأخذ في الاعتبار كلًا من اللحظتَين: لحظة إطلاق صفّارة البداية، واللحظة الصحيحة التي يعبر فيها المتسابق خطّ النهاية. فقياس الزمن إلى أقرب جزء من عُشر الثانية هو أمر مستحيل في هذه الحالة. بالإضافة إلى ذلك، فإنه في بعض الأحيان يتمّ الضغط على زر تشغيل الساعة مبكّرًا وأحيانًا متأخّرًا.

مثال ٢: قياس إزاحة بندول



الشكل ١–١٠ إزاحة كرة البندول.

طُلب إلى فاطمة قياس أقصى إزاحة لكرة البندول وهي تتأرجح، كما هو موضح في الشكل ١–١٠. تستخدم فاطمة مسطرة تدريجها مقسّم بالملّيمترات، وتقول إنها تستطيع قياس الإزاحة إلى أقرب ملّيمتر، لكنّ عائشة تجزم بأنها لا تستطيع قياسها إلّا إلى أقرب ملّيمترَين. وهذا صحيح، ليس بسبب وجود عدم يقين في نهايتَي المسطرة مقدار كل منهما (0.5 mm) فقط، بل لأن عليها أيضًا أن تحدّد بدقّة النقطة التي تكون عندها كرة البندول في أقصى إزاحة لها، الأمر الذي يجعلها تزيد ملّيمترًا إضافيًّا إلى قيمة عدم اليقين.

أسئلة

٢ انظر إلى الشكل ١–٥. ارسم مخططات مشابهة لتمثيل:

أ. لوحة تصويب بحيث تكون الثقوب مضبوطة ودقيقة.

ب. لوحة تصويب بحيث تكون الثقوب غير دقيقة وغير مضبوطة.

٣ يمثل موقع الثقوب في الشكل ١–٥ محاولات لقياس موقع مركز الدائرة. أيّ شكل يُظهر أكبر خطأ عشوائي؟ وأيّها يُظهر أكبر خطأ نظامي؟

١-٤ إيجاد قيمة عدم اليقين

لقد استخدمنا مصطلحَي عدم اليقين والخطأ؛ ومعناهما ليس واحدًا على الإطلاق. المتعارف عليه أن «الخطأ» هو مجرّد مشكلة تؤدّي إلى اختلاف القراءة عن القيمة الحقيقية. أما عدم اليقين فهو مدًى من القيم التي يتوقّع أن تكون من ضمنها القيمة الحقيقية للقياس. كما أن قيمة عدم اليقين هو رقم مع وحدة قياس. فإذا كانت القيمة الحقيقية تقع ضمن هذا المدى فإن القياس يُعدّ دقيقًا. لكن كيف ستقدر قيمة عدم اليقين في قراءتك؟

يجب أن يكون معلومًا لديك أن عدم اليقين هو فقط تقدير الفرق بين القراءة المقاسة والقيمة الحقيقية. ولأن مقدار عدم اليقين مجرد تقدير، فمن المحتمل أن يُعطى عدم اليقين رقمًا معنويًا واحدًا فقط. على سبيل المثال، فنحن نكتب عدم اليقين (0.5 cm) وليس (0.50 cm).

مهمّ

يمكنك إيجاد قيمة عدم اليقين من أيهما أكبر مما يأتي:

- أصغر تدريج على الأداة المستخدمة.
- نصف مدى عدد القراءات المقاسة.

مهمّ

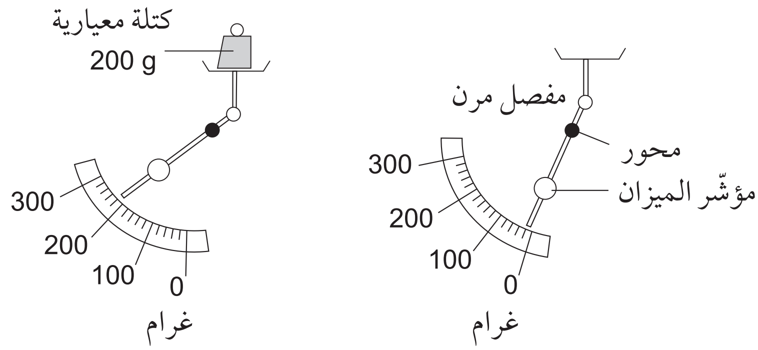
الأرقام المعنوية

- جميع الأرقام غير الصفرية هي ذات دلالة عددية؛ على سبيل المثال: يحتوي العدد 254 على ثلاثة أرقام معنوية (2 و 5 و 4).
- جميع الأصفار بين رقمَين غير صفريَّين هي ذات دلالة عددية؛ على سبيل المثال: في العدد 1208، الصفر (0) رقم معنوي لأنه يقع بين 2 و 8. وبالتالي يتم إعطاء هذا العدد لأربعة أرقام معنوية.
- الأرقام الصفرية التي تظهر بعد أرقام غير صفرية، وبعد الفاصلة العشرية تكون ذات دلالة؛ على سبيل المثال: يتم إعطاء العدد 0.0590 لثلاثة أرقام معنوية. الصفران (00) قبل الرقم 5 ليسا رقمَين معنويَّين، لكن الصفر (0) بعد الرقم 9 هو رقم معنوي.
- قد يكون الأمر محيّرًا في بعض الأحيان عندما يظهر الصفر في نهاية عدد ما؛ على سبيل المثال: هل العدد 5000 مكوّن من واحد أم اثنَين أم ثلاثة أم أربعة أرقام معنوية؟ يمكن أن يساعد استخدام النموذج القياسي (الترميز العلمي) في التغلب على هذا اللبس.
  - يوضح العدد 5×10^3 أنه مُكوّن من رقم معنوي واحد.
  - يوضح العدد 5.0×10^3 أنه مُكوّن من رقمَين معنويَّين.
  - يوضح العدد 5.00×10^3 أنه مُكوّن من ثلاثة أرقام معنوية.
  - يوضح العدد 5.000×10^3 أنه مُكوّن من أربعة أرقام معنوية.
- عند إجراء العمليات الحسابية في الفيزياء، فمن الممارسات الجيدة تقريب الإجابة النهائية إلى العدد نفسه من الأرقام المعنوية، مثل البيانات الواردة في السؤال. وإذا تمّ إعطاء البيانات بأعداد أرقام معنوية مختلفة، فيجب اختيار أقل عدد من هذه الأرقام.
- عند ضرب الأعداد أو قسمتها يكتب الناتج بعدد من الأرقام المعنوية مساويًا لعدد الأرقام المعنوية الأقل المتضمنة في العملية الحسابية. وعند جمع الأعداد أو طرحها يكتب الناتج بأقل عدد من المنازل العشرية الموجودة في الأعداد المتضمنة في العملية الحسابية.

يمكن تقدير عدم اليقين بطريقتَين:

- **استخدام التدريج على الجهاز:** انظر إلى التدريج الأصغر على الجهاز، بعد ذلك عليك أن تقرّر ما إذا كان يمكنك قراءة التدريج بطريقة أدق، على سبيل المثال: ما مقدار عدم اليقين في مستوى النقطة (ب) في الشكل ١-٢؟ إن أصغر تدريج هو (1 mm) ولكن هل من الممكن القياس إلى أقلّ من (1 mm)؟ هذا سيعتمد على الأداة المستخدمة وعلى ما إذا كان التدريج نفسه مضبوطًا. إن سُمك الخطّ في التدريج نفسه صغير جدًّا كما في الشكل ١-٢، ولكن قد يقودك خطأ اختلاف المنظر إلى الاعتقاد بأن (0.5 mm) أو (1 mm) هو عدم يقين معقول. وبشكل عام، يمكن أن يقاس موقع العلامة على المسطرة بمقدار عدم يقين (1 mm). إن أصغر تدريج على الجهاز الوارد في الشكل ١-١١ هو (20 g). هل يمكنك أن تقرأ بشكل أدق أكثر من هذا؟ في هذه الحالة، ليس أكيدًا؛ فالفراغات بين الخطوط على

التدريج لها حجم المؤشر نفسه، الأمر الذي يجعل من الصعب قراءة التدريج بدقة أكثر من ذلك، وبالتالي فإن (20 g) سيكون مقدارًا منطقيًا لعدم اليقين.



الشكل ١-١١ التدريج الموجود على ميزان ذي ذراع.

عليك أن تفكر مليًا في أصغر تدريج يمكنك أن تقرأه على أي مقياس، فإذا نظرنا إلى منقلة ما، فمن المحتمل أن يكون أصغر تدريج هو $1°$ ولكن من غير المحتمل أن تتمكّن من استخدام منقلة لقياس زاوية -بعينك- بقيمة عدم يقين أفضل من ($\pm0.5°$). فالشائع أنه لا يمكن أن تقل قيمة عدم اليقين عن أصغر تدريج، وهذا يعتمد على المسافات بين الخطوط في أصغر تدريج مثبت على الأداة أو الجهاز؛ فإذا كانت المسافات كبيرة يمكن اعتبار قيمة عدم اليقين على أنها نصف أصغر تدريج.

- **تكرار القراءات:** كرّر القراءة عدة مرات. يمكن بعد ذلك اعتبار قيمة عدم اليقين نصف مدى القيم التي تمّ الحصول عليها؛ بعبارة أخرى تُطرح أصغر قراءة من الأكبر قراءة وتُقسم النتيجة على (2).

$$\text{قيمة عدم اليقين} = \frac{1}{2}(\text{القراءة القصوى} - \text{القراءة الدنيا})$$

تستخدم هذه الطريقة مع الأخطاء العشوائية التي تحدث في القراءات، ولكنها لا تأخذ في الحسبان الأخطاء النظامية. يجب تجربة هذه الطريقة دائمًا، حيثما أمكن؛ لأنها قد تكشف عن الأخطاء العشوائية وتعطي طريقة سهلة لتقدير قيمة عدم اليقين. فإذا كانت القراءات المتكرّرة كلّها متشابهة، فلا تعتقد أن قيمة عدم اليقين تساوي صفرًا. لا يمكن أن تقلّ قيمة عدم اليقين أبدًا عن قيمة أصغر تدريج على المقياس أو نصفه.

ما الطريقة التي يجب أن تستخدمها بالفعل لتقدير قيمة عدم اليقين؟ يجب تكرار القراءات ما أمكن، أيّ استخدام الطريقة الثانية. لكن إذا كانت نتيجة كل القراءات واحدة، فعليك أن تجرب كلتا الطريقتَين!

تختلف حالة عدم اليقين في استخدام ساعة الإيقاف عن غيرها من الحالات، لصعوبة تكرار القياسات. وعادةً ما يكون أصغر تدريج في ساعة الإيقاف هو (0.01 s)، لذلك هل يمكنك قياس مدّة زمنية بهذا المقدار من عدم اليقين؟ قد يكون قياس زمن ردّ الفعل (الذي تستغرقه لتشغيل أو إيقاف أداة قياس الزمن) الخاص بك أطول، ومن المحتمل أن يكون (0.1 s) على الأقلّ. تُسجِّل ساعة الإيقاف الزمن عند الضغط على المفتاح، ولكن لا يتمّ الضغط على هذا المفتاح في اللحظة الصحيحة بالضبط. فإذا لم تكرّر القراءة فمن المتوقّع أن يكون عدم اليقين (0.1 s) على الأقلّ، كما هو موضح في الشكل ١-٩. إذا أخذ عدد من الأشخاص القراءة للزمن نفسه، فمن المحتمل أن ترى أن قيمة عدم اليقين أكبر بكثير من (0.01 s).

كما أنّ استخدام أجهزة القياس الرقمية لا يخلو من صعوبات. فعلى سبيل المثال، إذا كان أمّيتر رقمي يقرأ (0.35 A)، من دون مزيد من المعلومات، فإن قيمة عدم اليقين هي (±0.01 A)، وهو أصغر تدريج على الأمّيتر. ولكن إذا نظرت إلى كُتيّب استخدام الأمّيتر، فقد تتبيّن أن قيمة عدم اليقين هي (±0.02 A) أو (0.03 A) (على الرغم من أنه لا يُتوقّع منك معرفة هذا).

مثال

١. يقاس طول ساق خمس مرّات بمسطرة أصغر تدريج عليها هو (0.1 cm) وتمّ الحصول على القراءات بوحدة (cm) وهي: 22.9 ، 22.7 ، 22.9 ، 23.0 ، 23.1. ما طول الساق؟ وما مقدار عدم اليقين؟

الخطوة ١: جِد المتوسّط بجمع القيَم والقسمة على عدد القيَم:

$$\frac{22.9 + 22.7 + 22.9 + 23.0 + 23.1}{5} = 22.92 \text{ cm}$$

وهذه الإجابة مكتوبة باستخدام أربعة أرقام معنوية. وأنت في هذه المرحلة لست متأكّدًا من عدد الأرقام التي يجب أن تُكتب في الإجابة.

الخطوة ٢: القيمة القصوى هي (23.1) والقيمة الصغرى هي (22.7). استخدم هذه القيم لإيجاد نصف المدى.

نصف المدى: $\frac{23.1 - 22.7}{2} = 0.2 \text{ cm}$

الخطوة ٣: تحقّق من أن عدم اليقين المحسوب في الخطوة ٢ أكبر من أصغر تدريج يمكنك قراءته على المقياس.

الخطوة ٤: اكتب متوسّط القيمة، وعدم اليقين لعدد معقول من الأرقام المعنوية وكذلك وحدة القياس. من الواضح أن الرقم الأخير في 22.92 لا معنى له لأنه أصغر بكثير من عدم اليقين؛ لذلك يجب أن لا يُكتَب.

أي أن القيمة النهائية هي (22.9 ± 0.2) cm.

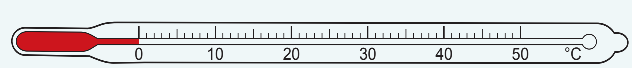
عادة لا تُكتَب القيمة النهائية من الإجابة بعدد من الكسور العشرية أكبر من عدم اليقين. وعادة ما يُقاس عدم اليقين بواحد أو ربّما اثنين من الأرقام المعنوية.

أسئلة

٤) يوضح الشكل ١-١١ ميزانًا ذا ذراع، يظهر في البداية بدون وجود كتلة في كفّته، ثم يظهر وفي كفّته كتلة معيارية مقدارها (200 g).
اشرح أنواع الأخطاء التي قد تظهر عند استخدام هذه الأداة.

٥) قدّر قيمة عدم اليقين في القياس عندما يقيس طالب طول غرفة باستخدام شريط قياس معاير بالملّيمترات.

٦) حدّد مقدار عدم اليقين عندما تقيس فتاة درجة حرارة ماء ساخن باستخدام ميزان الحرارة الموضح في الشكل ١-١٢.



الشكل ١-١٢ ميزان حرارة.

٧) يُطلب إلى أحد الطلبة قياس الطول الموجي لموجات في «حوض الموجات المائية» باستخدام مسطرة مترية مدرّجة بالملّيمترات. قدّر عدم اليقين في قياسه.

٨) قدّر قيمة عدم اليقين عندما يحاول أحد الطلبة قياس زمن تأرجح واحد كامل لبندول ما.

٩) ما القيمة المتوسّطة وعدم اليقين في مجموعات القراءات الآتية؟ رصدت جميع القراءات لتكون متّسقة مع أصغر تدريج مستخدَم في أداة القياس.

أ. 20.6، 20.8

ب. 20، 30، 36

ج. 0.6، 1.0، 0.8، 1.2

د. 20.5، 20.5

١-٥ النسبة المئوية لعدم اليقين

تسمّى حالات عدم اليقين التي وجدناها حتى الآن بعدم اليقين المُطلق، ولكن النسبة المئوية لعدم اليقين مفيدة جدًا أيضًا.

تُعبّر النسبة المئوية لعدم اليقين عن نسبة عدم اليقين المطلق من القيمة المقاسة، ويمكن الحصول عليها بقسمة قيمة عدم اليقين على القيمة المقاسة وضربها في 100%.

$$\text{النسبة المئوية لعدم اليقين} = \frac{\text{قيمة عدم اليقين}}{\text{القيمة المقاسة}} \times 100\,\%$$

على سبيل المثال، افترض أن طالبًا قام بقياس زمن تأرجح واحد كامل لبندول. وكان الزمن المُقاس (1.4 s) وتقدير قيمة عدم اليقين هو (0.2 s)، وبالتالي فإن:

$$\text{النسبة المئوية لعدم اليقين} = \frac{\text{قيمة عدم اليقين}}{\text{القيمة المقاسة}} \times 100\,\%$$

$$= \frac{0.2}{1.4} \times 100\% = 10\% \ (\text{مع رقم معنوي واحد})$$

وهذا يعطي النسبة المئوية لعدم اليقين التي مقدارها 10%. يمكننا عرض قياساتنا بطريقتَين:

- مع قيمة عدم اليقين المطلق: زمن التأرجح الواحد الكامل = (1.4 s ± 0.2 s).
- مع النسبة المئوية لعدم اليقين: زمن التأرجح الواحد الكامل = (1.4 s ± 10%).

(لاحظ أن قيمة عدم اليقين المُطلق له وحدة قياس، في حين أن النسبة المئوية لعدم اليقين هي نسبة مئوية (كسر)، وتُكتب مع علامة %).

النسبة المئوية لعدم اليقين 10% كبيرة جدًا. يمكن تقليل ذلك عبر قياس زمن 20 تأرجحًا كاملًا. وعند إجراء ذلك، فإن قيمة عدم اليقين المطلق تبقى (0.2 s) (فعدم اليقين هو في بدء تشغيل ساعة الإيقاف وفي إيقافها، وهنا تكمن الأهمّية، وليس في أن ساعة الإيقاف نفسها مضبوطة)، ولكن الزمن الكلّي المسجّل الآن قد يكون (28.4 s).

$$\text{النسبة المئوية لعدم اليقين:}\ \frac{0.2}{28.4} \times 100\%$$

$$= 0.7\%$$

لذلك فإن إجراء قياس زمن 20 تأرجحًا كاملًا بدلًا من قياس زمن تأرجح واحد كامل فقط يقلّل نسبة عدم اليقين إلى أقلّ من 1%. يُحسب زمن التأرجح الواحد الكامل بقسمة الزمن الكلّي على عدد التأرجحات الـ 20 ويساوي (1.42 s). لاحظ أنه مع عدم يقين أصغر، يمكننا إعطاء النتيجة إلى أقرب منزلتَين عشريّتَين. وتبقى النسبة المئوية لعدم اليقين عند 0.7%:

زمن التأرجح الواحد الكامل:

$$T = 1.42\ \text{s} \pm 0.7\%$$

أسئلة

(١٠) قيسَ ارتفاع الماء في قنينة فكان (24.3 cm)، مع قيمة عدم يقين (0.2 cm). (يمكن كتابة هذا كالآتي (24.3 ± 0.2) cm). احسب النسبة المئوية لعدم اليقين في هذا القياس.

(١١) قيسَت الزاوية في حركة بندول بين موضع الاتزان وأقصى ازاحة له فكانت $(35 \pm 2)°$.

أ. احسب النسبة المئوية لعدم اليقين في قياس هذه الزاوية.

ب. تمّت معايرة المنقلة المُستخدَمة في هذا القياس بالدرجات. اقترح سبب ثقة المستخدم في قراءته عند إعطاء القراءة بعدم يقين في حدود (2°).

(١٢) قام طالب بقياس فرق جهد كهربائي بين قطبَي بطارية فكانت النتيجة (12.4 V) وذكر أن النسبة المئوية لعدم اليقين في قياسه هي (2%). احسب قيمة عدم اليقين المطلق في قياسه.

١-٦ جمع قيَم عدم اليقين

عندما يتمّ إجراء العمليات الحسابية على الكمّيات، كالضرب أو القسمة، فما مقدار عدم اليقين في النتيجة النهائية؟

افترض أن الكمّية $(A = 1.0 \pm 0.1)$ وأن $(B = 2.0 \pm 0.2)$، لذلك تكون قيمة $A + B$ هي (3.0)، والقيمة القصوى المحتملة لـ $A + B$ مع مراعاة قيَم عدم اليقين هي (3.3)، أما القيمة الصغرى المحتملة لهما فهي (2.7). يمكنك أن ترى أن قيمة عدم اليقين مجتمعة هي (±0.3)، لذا فإن $(A + B = 3.0 \pm 0.3)$. وبالمثل فإن $(B - A = 1.0 \pm 0.3)$.

عند جمع الكمّيات أو طرحها، تجمع قيَم عدم اليقين المطلق لهما. ومثال بسيط آخر على ذلك هو قياس طول عصا باستخدام مقياس ملّيمتري. من المحتمل أن يكون هناك عدم يقين مقداره (0.5 mm) عند كل من طرفَيها، الأمر الذي يُعطي عدم يقين كلّي مقداره (1.0 mm).

عندما تُضرب الكمّيات أو تُقسم، فإن عدم اليقين المشترك يكون أكثر تعقيدًا من ذي قبل. فلإيجاد عدم اليقين المشترك في هذه الحالة نجد النسبة المئوية لعدم اليقين الكلّية، عن طريق جمع النسبتَين المئويّتَين لعدم اليقين للكمّيتَين.

بالتالي، حيث الكمّيات:

- تُجمع أو تُطرح، فإنّك بذلك تَجمع قيَم عدم اليقين المطلقة.
- تُضرب أو تُقسم، فإنّك بذلك تَجمع قيَم النسب المئوية لعدم اليقين.

مهمّ

إذا جُمعت كمّيات أو طُرحت، عليك جمع قيَم عدم اليقين المطلق.
إذا ضُربت كمّيات أو قُسّمت، عليك جمع النسب المئوية لعدم اليقين.

مهمّ

تذكّر أن تجمع قيَم عدم اليقين دائمًا؛ لا تطرحها أبدًا.

مثال

٢. قيسَ فرق الجهد الكهربائي عبر طرفَي مقاومة فكان (6.0 ± 0.2) V، بينما قيست شدّة التيار الكهربائي فكانت (2.4 ± 0.1) A. احسب قيمة المقاومة وعدم اليقين المطلق في قياسها.

الخطوة ١: جد النسبة المئوية لعدم اليقين في كلتا الكمّيتَين. النسبة المئوية لعدم اليقين في فرق الجهد الكهربائي:

$$= \frac{0.2}{6.0} \times 100\% = 3.3\%$$

النسبة المئوية لعدم اليقين في شدّة التيار الكهربائي:

$$= \frac{0.1}{2.4} \times 100\% = 4.2\%$$

تابع

الخطوة ٢: اجمع النسبتَين المئويتَين لعدم اليقين. مجموع نسبتَي عدم اليقين يكون:

$$(3.3 + 4.2)\% = 7.5\%$$

الخطوة ٣: احسب قيمة المقاومة وجِد عدم اليقين المطلق لها:

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

$$R = \frac{6.0}{2.4} = 2.5\ \Omega$$

عدم اليقين في قيمة المقاومة هو

$(2.5 \times 7.5\% = 0.1875 \approx 0.2\ \Omega)$

إذًا، قيمة المقاومة هي $(2.5 \pm 0.2)\ \Omega$.

أسئلة

١٣ قيست الكمّيات الآتية:

$A = (1.0 \pm 0.4)$ m　　$B = (2.0 \pm 0.2)$ m

$C = (2.0 \pm 0.5)$ m s^{-1}　　$D = (0.20 \pm 0.01)$ s

احسب العمليات الحسابية الآتية مع قيمة عدم اليقين الخاص بها. يمكنك التعبير عن قيمة عدم اليقين التي حصلت عليها، إما كقيمة مطلقة أو كنسبة مئوية.

أ. $A + B$

ب. $B - A$

ج. $C \times D$

د. $\frac{B}{D}$

هـ. $2 \times A$

١٤ صُوِّرت رصاصة بندقية أثناء اختراقها الجوّ باستخدام وميضَين ضوئيَّين (فلاشَين) بينهما فاصل زمني (1.00 ± 0.02) ms. ظهر الخيال الأول للرصاصة على الصورة الفوتوغرافية بحيث يبدو أنها في موقع (22.5 ± 0.5) cm على مقياس أسفل مسار الرصاصة؛ وظهر الخيال الثاني للرصاصة في موقع (37.5 ± 0.7) cm على المقياس نفسه. جِد سرعة الرصاصة وقيمة عدم اليقين المطلق لهذه السرعة.

١٥ إذا كانت $A = (2.0 \pm 0.2)$ cm، فجِد مقدار A^2 وقيمة عدم اليقين لهذه الكمية. كيف تحسب قيمة عدم اليقين لمربع كمّية ما؟

١-٧ تسجيل النتائج

من المهم أن تُطوِّر مهارة تسجيل النتائج بطريقة واضحة وموجزة. ستُسجِّل بشكل عام النتائج العددية في جدول. كما يجب أن يتضمّن كل عنوان في الجدول كلًّا من الكمّية التي يتمّ قياسها ووحدة القياس التي تُقاس بها.

يوضح الجدول ١-١ كيف يمكن تنظيم جدول تسجيل النتائج. فالكمّيات المقاسة هي طول السلك وشدّة التيار الكهربائي المار فيه، وقد ضُمّنت وحدة قياس كل منهما في الجدول. وبالمثل، ضُمّنت الكمّية المحسوبة، $\frac{1}{\text{شدّة التيّار الكهربائي}}$، وهذا أيضًا يتضمّن وحدة قياس A^{-1}.

عليك التفكير، عند تسجيل نتائجك مرّة أخرى، في الدقّة التي تُقاس بها الكمّيات. ففي المثال الوارد في الجدول ١-١، يمكن قياس طول السلك إلى أقرب ملّيمتر، ويمكن قياس شدّة التيار الكهربائي إلى أقرب ملّي أمبير.

مهمّ

يجب تسمية كل عمود في الجدول بالكمّية ووحدة القياس، وإذا أُعطيت القراءة بناءً على دقّة الأداة، فإنها تكتب بعدد المنازل العشرية الظاهرة على الأداة. وقد تحتوي الكمّيات المحسوبة على عدد من الأرقام المعنوية أكثر بواحد من القراءات المُقاسة بالأداة.

لاحظ كيف تمّ تضمين '0.' في النتيجة الثانية لطول السلك 19.0، لتوضيح أن القياس يكون إلى أقرب مليّمتر وليس إلى أقرب سنتيمتر. وكذلك يوضح الصفر بعد 0.35 في النتيجة الثانية أن شدّة التيار كذلك تقاس إلى أقرب ملّي أمبير أو $\frac{1}{1000}$ أمبير.

نتيجة حساب العمود الثالث تبيّن العدد نفسه من الأرقام المعنوية، أو أكثر بواحد من الكمّية (أو الكمّيات) المحسوبة منها. في هذا المثال، قيست شدّة التيّار الكهربائي بثلاثة أرقام معنوية لذلك حُسِب مقلوب شدّة التيار بثلاثة أرقام معنوية.

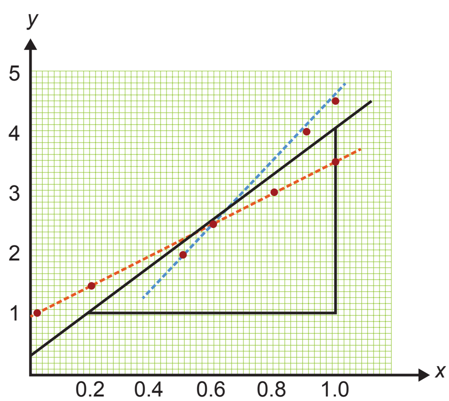
مهمّ

عند تمثيل (أو تقديم) البيانات في جدول تسجيل النتائج، من المهم أن يتم تمثيل (أو تقديم) جميع البيانات الموجودة في عمود واحد مع عدد المنازل العشرية نفسه. هذا يعكس أصغر قياس ممكن قياسه باستخدام أداة القياس.

طول السلك (cm)	شدّة التيّار الكهربائي (A)	$\frac{1}{\text{شدّة التيّار الكهربائي}}$ (A^{-1})
10.3	0.682	1.47
19.0	0.350	2.86

الجدول ١-١ جدول تسجيل نتائج نموذجي.

بعد إجراء القياسات والحصول على البيانات، وعند رسم منحنى التمثيل البياني، قد تضع نقاط البيانات في غير مواقع القيم الحقيقية للقياسات. فرسم الخط الأفضل ملاءمة على منحنى التمثيل البياني يؤدي إلى إعطاء فكرة أفضل عن المكان الذي يجب أن تكون فيه تلك القيم. والخط الأسود كما في الشكل ١-١٣ هو الخط المستقيم الأفضل ملاءمة، حيث يتم توزيع نقاط البيانات بالتساوي تقريبًا فوق الخط وتحته.



الشكل ١-١٣ رسم الخط الأفضل ملاءمة على منحنى التمثيل البياني حيث تتوزّع نقاط البيانات حول الخط.

من المفيد في معظم الأحيان تحديد ميل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة، وتحديد نقطة تقاطعه مع المحور الصادي (y). يتمّ تحديد ميل المنحنى برسم مثلث قائم الزاوية وكبير قدر الإمكان، وذلك باستخدام الخط المستقيم الأفضل ملاءمة كوتر للمثلث. يعطي الضلع الرأسي من هذا المثلث التغيّر (Δy) في المحور (y) ، بينما يعطي الضلع الأفقي التغيّر (Δx) في المحور (x). يتمّ حساب الميل بقسمة التغيّر في المحور (y) على التغيّر في المحور (x)، ويتمّ تحديد تقاطع الخط الأفضل ملاءمة مع المحور (y)، من خلال قراءة القيمة، حيث يلتقي الخط الأفضل ملاءمة مع المحور (y) (عندما $x = 0$).

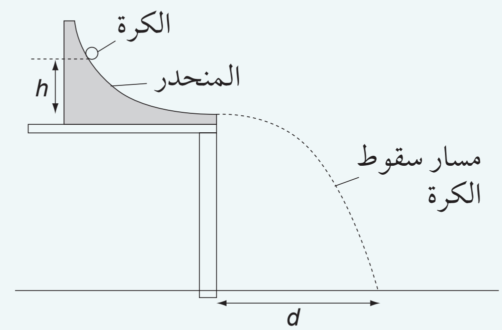
ميل الخط الأكثر ملاءمة في الشكل ١-١٣يساوي:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{(4.0-1.0)}{(1.0-0.2)} = 3.75$$

والتقاطع مع المحور (y) هو (0.3).

سؤال

(١٦) تركت كرة لتتدحرج على منحدر من نقاط بداية مختلفة. يبيّن الشكل ١-١٤ الأدوات المستخدمة. وُضع المنحدر على ارتفاع ثابت فوق الأرض. يُطلب إليك قياس الارتفاع الرأسي (*h*) لنقطة البداية، وكذلك المسافة الأفقية (*d*) التي تقطعها الكرة بعد أن تسقط من المنحدر.



الشكل ١-١٤ مسار كرة تدحرجت على منحدر.

يُطلب إليك أيضًا إيجاد مربع المسافة الأفقية التي تقطعها الكرة بعد أن تتخطّى المنحدر. يبيّن الجدول ١-٢ النتائج الأولية للتجربة. انسخ الجدول وأكمله.

الارتفاع *h* (cm)	المسافة *d* (cm)	مربع المسافة d^2 (cm²)
1.0	18.0	
2.5	28.4	
4.0	35.8	
5.5	41.6	
7.0	47.3	
9.0	53.6	

الجدول ١-٢ بيانات المسافة (*d*) والارتفاع (*h*).

١-٨ فهم الوحدات في النظام الدولي للوحدات (SI)

نحسب كمّيات كثيرة في مادّة الفيزياء ونقيسها ونستخدمها، ونعبّر عن هذه الكمّيات بقيم ووحدات، لكننا في أغلب الأحيان، نستخدم الوحدات في النظام الدولي للوحدات (SI). لقد عُرّفت هذه الوحدات جميعها بدقّة فائقة ولأسباب وجيهة، فجميع القياسات في العلوم والهندسة يجب أن تتمّ على قاعدة واحدة، بحيث يمكن مقارنة هذه القياسات التي يتمّ الحصول عليها من مختبرات مختلفة، وهذا ضروري لاعتبارات تجارية أيضًا؛ فلنفترض أنه تمّ سؤال شركة هندسية في الصين لإنتاج جزء صغير من محرّك سيارة يتمّ تجميعها في الدقم في سلطنة عُمان. لذا وجب إعطاء الأبعاد بالملّيمتر كما وجب أن تكون دقّة الجزء المصنوع مضبوطة إلى جزء صغير جدًا من الملّيمتر. وعلى جميع المعنيين معرفة أن هذا الجزء سيكون مطابقًا للمطلوب بشكل صحيح، ولن يكون مقبولًا استخدام مقياس ملّيمتري في الصين مختلفًا عمّا هو في الدقم في سلطنة عُمان.

مهمّ

جميع الكمّيات الفيزيائية لها مقدار عددي ووحدة قياس.

الوحدات الأساسية والوحدات المشتقّة

المتر والكيلوغرام والثانية هي ثلاث وحدات من **الوحدات الأساسية** **Base units** السبع في النظام الدولي للوحدات (SI). يتم تحديد هذه الوحدات الأساسية بدقة كبيرة بحيث يمكن لكل مختبر معياري (غير المكتب الدولي للأوزان والمقاييس (BIPM)) إعادة إنتاجها بشكل صحيح. ستتعرف في هذه الوحدة على خمس من الوحدات الأساسية السبع.

تُسمّى الوحدات الأخرى، كوحدات السرعة $m\,s^{-1}$ والتسارع $m\,s^{-2}$ **الوحدات المشتقّة** **Derived units**؛ لأنها تتكوّن من عدد من الوحدات الأساسية. بعض الوحدات المشتقّة،

مصطلحات علمية

الوحدة الأساسية Base unit: وحدة محدّدة في النظام الدولي للوحدات (SI) تُشتقّ منها جميع الوحدات الأخرى.

الوحدة المشتقّة Derived unit: الوحدة التي تتكوّن من عدد من الوحدات الأساسية المضمنة في النظام الدولي للوحدات (SI).

مثل نيوتن وجول لهما أسماء خاصة ملائمة للاستخدام أكثر من كتابتها بالوحدات الأساسية، فمثلًا يمكن كتابة وحدة النيوتن كالآتي:

$$1\ N = 1\ kg \times 1\ m\ s^{-2} \text{ أو } 1\ N = 1\ kg\ m\ s^{-2}$$

الوحدات الأساسية

في الميكانيكا (دراسة القوى والحركة)، نجد أنّ الوحدات التي نستخدمها تعتمد على الوحدات الأساسية الثلاث: المتر، والكيلوغرام، والثانية. وعندما ننتقل إلى دراسة الكهرباء، سنحتاج إلى إضافة وحدة أساسية أخرى، هي الأمبير. وتتطلّب الحرارة وحدة أساسية أخرى، هي الكلفن (وحدة قياس درجة الحرارة).

مهمّ

الطول والكتلة والزمن وشدّة التيار الكهربائي ودرجة الحرارة هي كمّيات أساسية في الميكانيكا.

يبيّن الجدول ١–٣ خمسًا من الوحدات الأساسية في النظام الدولي للوحدات (SI). تذكّر أنه يمكن اشتقاق كل الوحدات الأخرى من الوحدات الأساسية. والمعادلات التي تربط هذه الوحدات هي المعادلات التي ستتعلّمها أثناء تقدّمك في الدراسة (تمامًا كما ربطت المعادلة $F = ma$ وحدة النيوتن بوحدات الكيلوغرام والمتر والثانية).

الكمّية الأساسية	الرمز	الوحدة الأساسية
الطول	x، l، s، وغيرها	متر (m)
الكتلة	m	كيلوغرام (kg)
الزمن	t	ثانية (s)
شدّة التيار الكهربائي	I	أمبير (A)
درجة الحرارة المطلقة	T	كلفن (K)

الجدول ١–٣ خمس من الكميات والوحدات الأساسية في النظام الدولي للوحدات (SI).

سؤال

١٧ قوّة الجاذبية الأرضية المؤثرة على تفاحة (وزنها) تساوي (1 N) تقريبًا. يحاول شخص ابتكار نظام دولي جديد للوحدات بواسطة تعريف وحدة القوة على أنها وزن التفّاحة. اكتب أكبر عدد ممكن من الأسباب التي تجعل هذا التعريف غير مفيد البتّة.

البادئات والوحدات

يمكن أن يكون لكل وحدة في النظام الدولي للوحدات (SI) مضاعفات (multiples) وأجزاء (sub-multiples) وذلك لتجنّب استخدام الأعداد الكبيرة جدًا والصغيرة جدًا، على سبيل المثال: 1 مليّمتر mm يساوي واحدًا من ألف من المتر و 1 ميكرومتر μm يساوي واحدًا من مليون من المتر.

تأتي البادئة قبل الوحدة. ففي الوحدة mm، تكون أول m من جهة اليسار هي البادئة ملّي وثاني m هي وحدة القياس متر. سوف تتعرّف في هذا الكتاب على عدد من البادئات، كما يظهر في الجدول ١–٤، لذا عليك الانتباه عند استخدامها.

الأجزاء			المضاعفات		
الأسّ العشري	الرمز	البادئة	الأسّ العشري	الرمز	البادئة
10^{-1}	d	ديسي	10^{3}	k	كيلو
10^{-2}	c	سنتي	10^{6}	M	ميغا
10^{-3}	m	ملّي	10^{9}	G	جيجا
10^{-6}	µ	ميكرو	10^{12}	T	تيرا
10^{-9}	n	نانو			
10^{-12}	p	بيكو			

الجدول ١-٤ المضاعفات والأجزاء.

تربيع البادئات وتكعيبها

على سبيل المثال:

$$1\ cm = 10^{-2}\ m$$

إذًا $1\ cm^2 = (10^{-2}\ m)^2 = 10^{-4}\ m^2$

و $1\ cm^3 = (10^{-2}\ m)^3 = 10^{-6}\ m^3$

مثال

٣. تبلغ كثافة الماء $(1.0\ g\ cm^{-3})$. احسب هذه القيمة بوحدة $(kg\ m^{-3})$.

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

الخطوة ١: جِد تحويلات الوحدات.

$$1\ g = 1 \times 10^{-3}\ kg$$

$$1\ cm^3 = 1 \times 10^{-6}\ m^3$$

الخطوة ٢: استخدم هذه القيم لحساب كثافة الماء.

$$1.0\ g\ cm^{-3} = \frac{1.0 \times 1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-6}}$$

$$= 1.0 \times 10^{3}\ kg\ m^{-3}$$

كتابة الوحدات

يجب ترك مسافة صغيرة بين كل وحدة وأخرى، بحيث تكون كتابة وحدة السرعة مثلًا $(3\ m\ s^{-1})$، لأنه إذا كتبتها على هيئة $(3\ ms^{-1})$، فهذه تعني 3 ملّي ثانية$^{-1}$.

أسئلة

١٨ أ. جِد مساحة صفحة واحدة من هذا الكتاب بوحدة cm^2 ثم حوّل القيمة بوحدة m^2.

ب. إذا كانت قيمة عدم اليقين في قياس أحد جانبَي الصفحة $(0.1\ cm)$، فجِد قيمة عدم اليقين في قياس المساحة. يمكن إجراء ذلك إمّا عن طريق أخذ القيمة الكبرى لكل جانب عند ضربهما معًا ثم إيجاد فرق القيمة التي حسبتها في الجزئية (أ)، أو باستخدام النسبة المئوية المشتركة لعدم اليقين. جرّب كلا الطريقتَين.

١٩ اكتب قيم هذه الكمّيات باستخدام الأسّ العشري.

أ. $60\ pA$

ب. $500\ MW$

ج. $20\ 000\ mm$

ملخّص

القراءة الدقيقة هي القراءة التي يكون فيها مقدار عدم اليقين صغيرًا جدًا حول القيمة المتوسطة.
عدم اليقين في القراءة هو تقدير الفرق بين القراءة والقيمة الحقيقية للكمّية المقاسة.
ينتج الخطأ النظامي من الاختلاف في القراءات حول القيمة الحقيقية، بمقدار ثابت، في كل مرّة تتمّ فيها القراءة.
تنتج الأخطاء العشوائية من الاختلاف في القراءات حول متوسط القيمة المقاسة بطريقة غير مدروسة.
يحدث خطأ صفري عندما تعطي الأداة المستخدمة قراءة غير صفرية، بينما تكون القيمة الحقيقية للكمّية المقاسة صفرًا.
يمكن إيجاد قيمة عدم اليقين من أصغر تدريج على الأداة المستخدمة أو نصف مدى عدد من القراءات للقياس نفسه.
يجب تحديد الكمّية، مع وحدة قياسها، في كل عمود من جدول تسجيل النتائج. وإذا تمّت القراءة نسبةً إلى دقة الأداة، فغالبًا ما تُكتب بعدد المنازل العشرية نفسها. قد يكون للكمّيات المحسوبة أرقام معنوية أكثر بواحد من القراءات المستخدمة.
إذا تمّ جمع الكمّيات أو طرحها، يتوجّب جمع قيَم عدم اليقين المطلق. ولكن إذا تمّ ضرب الكمّيات أو قسمتها، فيجب جمع النسب المئوية لعدم اليقين.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أيّ ممّا يأتي يُعدّ وحدة أساسية في النظام الدولي للوحدات (SI)؟

أ. القوّة

ب. النيوتن

ج. الكتلة

د. الثانية

٢ يسجّل محمد أربع قيَم للزمن في تجربة معيّنة:

(0.61 s، 0.58 s، 0.63 s، 0.68 s). أيّ ممّا يأتي يجب أن يذكره محمد على أنه القيمة المتوسطة للزمن مع قيمة عدم اليقين فيه؟

أ. (0.61 ± 0.02) s

ب. (0.61 ± 0.05) s

ج. (0.63 ± 0.02) s

د. (0.63 ± 0.05) s

٣ أيّ من الأدوات الآتية ينبغي استخدامها لقياس القطر الداخلي لأنبوب يبلغ (20 mm) تقريبًا؟

أ. مسطرة مترية

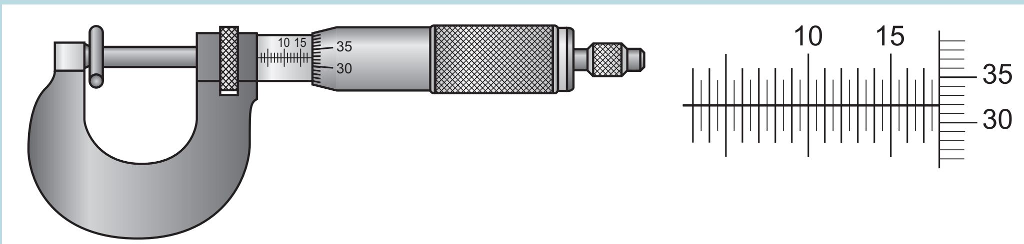
ب. ميكروميتر

ج. قدمة ذات الورنية

د. مسطرة قياس (30 cm)

تابع

٤ يوضح الرسم التخطيطي في الشكل ١-١٥ ميكروميترًا يستخدم لقياس قطر جسمٍ ما وصورة مقرّبة للمقياس. ما القراءة الصحيحة على مقياس الميكروميتر؟



الشكل ١-١٥

أ. 17.32 mm

ب. 17.82 mm

ج. 18.32 mm

د. 18.35 mm

٥ يقيس مصطفى كثافة شريحة زجاجية. يبلغ طول الشريحة نحو (12 cm) وعرضها نحو (20 mm) وسمكها نحو (4 mm). يتم قياس سمك الشريحة باستخدام ميكروميتر.

أ. جِد النسبة المئوية لعدم اليقين في قياس سمك الشريحة باستخدام الميكروميتر.

ب. صِف كيفية استخدام الميكروميتر لقياس سمك الشريحة.

ج. يوضح الجدول ١-٥ القراءات التي أخذها مصطفى.

الكمّية	القراءات	القيمة المتوسطة
الطول (cm)	12.1 ،12.5 ،12.4 ،12.2	12.3
العرض (mm)	22.4 ،22.1 ،22.2 ،22.0	22.2
السمك (mm)	3.96 ،3.94 ،3.98 ،3.96	

الجدول ١-٥

١. احسب القيمة المتوسطة لحجم الشريحة، مع العلم أن حجم الشريحة يُعطى بالعلاقة: الحجم (V) = الطول × العرض × السمك. أعطِ إجابتك بوحدة cm^3.

٢. احسب النسبة المئوية لعدم اليقين في القيمة المتوسطة للحجم الذي حصل عليه مصطفى.

د. قاس مصطفى كتلة الشريحة الزجاجية فوجدها (25.6 g) مع عدم يقين مُهمَل. احسب كلًا من:

١. كثافة الزجاج، إذا كانت الكثافة = $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$.

٢. قيمة عدم اليقين المطلق في كثافة الزجاج التي حصل عليها مصطفى.

أفعال إجرائية

صِف Describe: قدّم الخصائص والميزات الرئيسية.

احسب Calculate: استخلص، من الحقائق المعطاة، المعلومات أو الأرقام.

تابع

أفعال إجرائية

اقترح Explain: طبّق المعرفة والفهم على المواقف التي تتضمّن مجموعة من الإجابات الصحيحة من أجل تقديم المقترحات.

٦ تقيس مريم تسارع مركز ثقل كرة تتدحرج على منحدر، وتستخدم ساعة إيقاف لقياس الزمن (t) الذي تستغرقه الكرة لتتدحرج نحو الأسفل من السكون ($u = 0$) مسافة (s) على طول المنحدر، فإذا كانت القراءات التي حصلت عليها مريم للزمن هي: ($3.32\ s$، $3.28\ s$، $3.37\ s$، $3.30\ s$، $3.27\ s$). فاحسب، ما يأتي:

أ. ١. القيمة المتوسطة للزمن (t).

٢. النسبة المئوية لعدم اليقين في الزمن (t).

ب. قاست مريم المسافة (s) باستخدام مسطرة مترية ملاصقة للمنحدر، وسجّلت قيمة s ($0.800\ m \pm 0.002\ m$).

١. اقترح سبب اعتبار قيمة عدم اليقين التي قدمتها مريم قيمة معقولة.

٢. التسارع (a) لمركز ثقل الكرة مُعطى وفق المعادلة: $s = ut + \frac{1}{2}at^2$. احسب قيمة (a).

٣. احسب النسبة المئوية لعدم اليقين في قيمة (a).

٧ يقيس إياد كثافة عملة معدنية ليرى ما إذا كانت مصنوعة من الذهب، حيث يبلغ قطر العملة (d) نحو ($20\ mm$).

أ. استخدم إياد قدمة ذات ورنية كالموجودة في الشكل ١-٣ لقياس قطر العملة المعدنية واستخدم ميكرومیترًا لقياس سمكها.

١. حدّد النسبة المئوية لعدم اليقين في قياس القطر باستخدام القدمة ذات الورنية.

٢. كرّر إياد القراءات. اذكر إحدى الاحتياطات الأخرى التي يمكن لإياد اتخاذها لضمان دقة القياس قدر الإمكان.

٣. تأكّد إياد بعد أن فحص الميكرومیتر أنه لا وجود لخطأ صفري في هذه الأداة. صِف المقصود بـ «خطأ صفري».

٤. أجرى إياد قياس سمك العملة المعدنية (e) من مختلف جوانبها. اشرح السبب الذي أدّى إلى زيادة نسبة الدقّة لمتوسط سمك العملة في القيمة التي تمّ الحصول عليها، الأمر الذي يجعلها قريبة من القيمة الحقيقية.

أفعال إجرائية

حدّد Determine: أجب استنادًا إلى المعلومات المتاحة.

اشرح Explain: اعرض الأهداف أو الأسباب / اجعل العلاقات بين الأشياء واضحة / توقّع لماذا و/ أو كيف وادعم إجابتك بأدلّة ذات صلة.

ب. القياسات التي حصل عليها إياد للعملة هي:

السمك (e): mm (1.56، 1.58، 1.60).

القطر (d): mm (20.10، 20.10، 20.10).

١. احسب متوسط قيمة حجم العملة، مع العلم أن المساحة تعطى بالمعادلة: المساحة = $(\frac{\pi d^2}{4})$. أعط إجابتك بوحدة cm^3.

٢. احسب النسبة المئوية لعدم اليقين في حجم العملة.

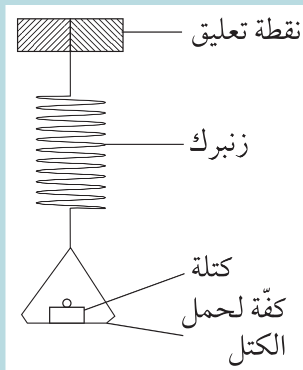
٣. تبلغ كتلة العملة المعدنية ($6.11\ g$) مع عدم يقين مهمل. احسب كثافة العملة المعدنية مستخدمًا المعادلة: الكثافة = $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$.

٤. احسب النسبة المئوية لعدم اليقين في كثافة العملة المعدنية.

تابع

٥. تبلغ كثافة الذهب ($19300\ kg/m^3$). احسب كثافة الذهب بوحدة قياس g/cm^3 واستخدم إجاباتك في (٣) و (٤) لتحديد ما إذا كانت العملة مصنوعة من الذهب أم لا.

٨ تُستقصى في تجربة ما العلاقة بين الزمن الدوري لاهتزاز زنبرك والكتلة (m) الموضوعة في كفّة الكتل. يُطلب إلى أحد الطلبة تركيب الأدوات كما هو مبيّن في الشكل ١-١٦، باستخدام كتلة ($200\ g$) تُوضع في الكفّة.



الشكل ١-١٦

يُطلب إليه بعد ذلك تحريك الكفّة إلى أسفل بمقدار ($1\ cm$) تقريبًا، وتحريرها بحيث تهتزّ باتجاه رأسيّ. ثم، يُطلب إليه تسجيل الزمن المستغرق لـ 20 اهتزازة كاملة للزنبرك، ثم يكرّر الخطوات، باستخدام كتل تتراوح مقاديرها ما بين ($20\ g$) و ($200\ g$) حتى يتكوّن لديه ستّ مجموعات من القراءات. يُزوّد الجدول بعمودَين للجذر التربيعي للكتلة ($\sqrt{m}$) والزمن الدوري للزنبرك (T).

يوضح الجدول ١-٦ القراءات التي أخذها الطالب للكتل المختلفة.

الكتلة (g)	زمن 20 اهتزازة (s)	$\sqrt{m}\ (g^{\frac{1}{2}})$	T (s)
20	12.2		
50	15.0		
100	18.7		
150	21.8		
190	24.0		
200	24.5		

الجدول ١-٦

أ. أكمل الجدول بوضع قيم ($\sqrt{m}$) و (T).

ب. مثّل بيانيًا الزمن الدوري (T) على المحور الصادي (y) مقابل ($\sqrt{m}$) على المحور السيني (x). ارسم الخط المستقيم الأكثر ملاءمة.

ج. جِد الميل والجزء المقطوع من المحور الصادي (y) بهذا الخط.

د. ترتبط الكميات (T) و (m) بالمعادلة: $T = C + k\sqrt{m}$

حيث (C) و (k) هما ثابتان. جِد قيَم الثابتيَن (C) و (k). ثمّ أعطِ وحدات قياس مناسبة.

أفعال إجرائية

أعطِ/قدّم Give: استخرِج إجابة من مصدر معيّن أو من الذاكرة.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدٍّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أقرأ الأطوال بمقياس الميكروميتر والقدمة ذات الورنية.	١-١			
أتعرّف على الأخطاء العشوائية، والنظامية، والصفرية.	١-٣			
أميّز بين الدقة والضبط.	١-٣			
أقدّر قيمة عدم اليقين المطلق.	١-٤			
أحسب النسبة المئوية لعدم اليقين.	١-٥			
أجمع بين قيم عدم اليقين.	١-٦			
أجري مجموعة متنوّعة من القياسات وأعرض البيانات في جدول مناسب، وأرسم الخط المستقيم الأكثر ملاءمة في التمثيلات البيانية وأستنتج الميل وتقاطع منحنى التمثيل البياني مع المحور الصادي.	١-٧			
أربط الوحدات المشتقة بالوحدات الأساسية في النظام الدولي للوحدات (SI).	١-٨			
أتذكّر مجموعة من البادئات وأستخدمها.	١-٨			

الوحدة الثانية

السرعة والسرعة المتّجهة

Speed and Velocity

أهداف التعلّم

١-٢ يعرّف السرعة المتوسطة ويستخدمها.

٢-٢ يصف الفرق بين الكميات العددية والمتجهة.

٣-٢ يعرّف المسافة، والإزاحة ويستخدمهما.

٤-٢ يعرّف السرعة والسرعة المتّجهة ويستخدمهما.

٥-٢ يرسم منحنيات التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن) ويحللها.

٦-٢ يجد مقدار السرعة المتّجهة باستخدام ميل خط التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن).

٧-٢ يجمع متّجهين في مستوى واحد ويطرحهما.

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

- هل تعرف كيف تُعيد ترتيب معادلة تتضمّن كسورًا؟ اختر معادلة تعرفها من كتب الفيزياء السابقة، مثل $v = \frac{d}{t}$ أعد ترتيبها لجعل (d) أو (t) أحد طرفَي المعادلة.
- هل يمكنك كتابة الاتّجاه باستخدام مؤشّر البوصلة، على سبيل المثال 14° شمال الشرق؟

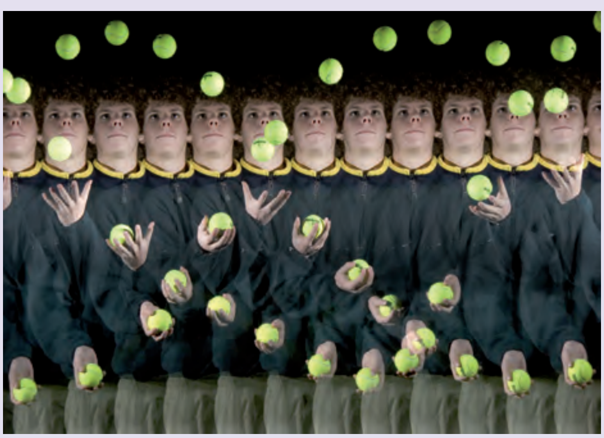
العلوم ضمن سياقها

وصف الحركة

من نعم الله تعالى علينا أن أعيننا تتمتع بقدرة جيدة على الإحساس بالحركة، إذ نلاحظ حتى الحركات الصغيرة جدًا خارج زاوية الرؤية. ومن المهمّ بالنسبة إلينا أن نكون قادرين على اتخاذ قرار القيام بحركة ما عند التفكير في عبور الطريق، أو ركوب الدرّاجة، أو قيادة المركبة، أو التقاط كرة.

تُبيّن الصورة ٢-١ طريقة يمكن من خلالها تسجيل الحركة على صورة فوتوغرافية. فهي، عبارة عن صورة التُقطت بجهاز الومّاض (الستربوسكوب) لولد يلعب بثلاث كرات. وأثناء لعبه، يومض مصباح ساطع عدّة مرّات في الثانية الواحدة بحيث تسجّل كاميرا مواقع الكرات في فترات زمنية متساوية.

كيف يمكن استخدام هذه الصورة الفوتوغرافية لحساب السرعة الأفقية للكرة العلوية وكذلك السرعة الرأسية لها أثناء حركتها في الهواء؟ ما الأجهزة الأخرى المطلوبة لذلك؟ يمكنك مناقشة هذا الأمر مع زميل لك.

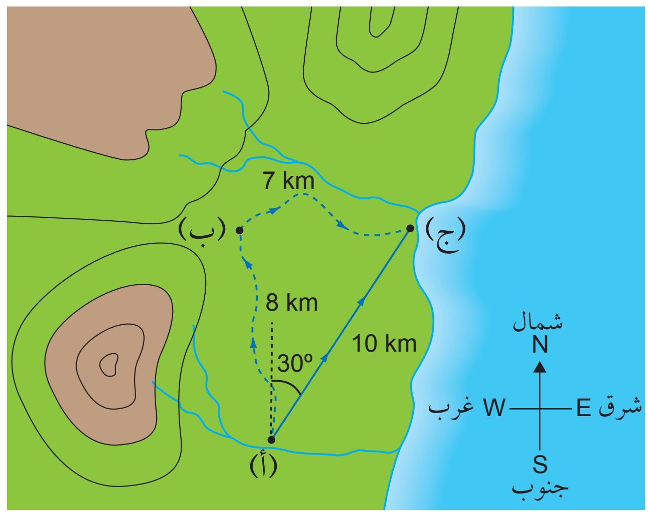


الصورة ٢-١ يلعب هذا الولد بثلاث كرات. فيومض مصباح ستروبوسكوبي على فترات زمنية منتظمة؛ وخلال ذلك تتحرّك الكاميرا باتّجاه جانب معيّن وبسرعة ثابتة لعرض صور منفصلة للولد وللكرات.

٢-١ المسافة والإزاحة

غالبًا ما نهتم في الفيزياء بالمسافة (s، d، x) التي يقطعها جسم ما باتّجاه معيّن. تعرف هذه الكمية **بالإزاحة** ($\vec{s}$) **Displacement**.

يوضح الشكل ٢-١ الفرق بين المسافة والإزاحة. حيث يُظهِر الطريق الذي يسلكه المشاة أثناء انتقالهم من البلدة (أ) إلى البلدة (ج).



الشكل ٢-١ إذا مشيت في رحلة لمسافة طويلة، فستكون المسافة التي تقطعها أكبر من مقدار إزاحتك. وهنا يقطع المشاة مثلًا مسافة (15 km)، لكن مقدار إزاحتهم لا تتجاوز (10 km)، لأن الإزاحة هي أقصر مسافة بين بداية سيرهم ونهايته في اتجاه معين.

إن أخذهم طريقهم المتعرّج عبر البلدة (ب)، يجعلهم يقطعون مسافة كلّية مقدارها (15 km). ومع ذلك مقدار إزاحتهم تكون أقلّ من ذلك بكثير؛ لأن موقعهم النهائي على بُعد (10 km) فقط من نقطة البداية. وللتعبير عن إزاحتهم نحتاج إلى معرفة كل من المسافة والاتّجاه:

الإزاحة = 10 km عند زاوية 30° أو 30° شرق الشمال

الإزاحة مثال على **الكمّية المتّجهة Vector quantity**. فالكمّية المتجهة لها مقدار واتّجاه. أما المسافة فهي **كمّية عددية Scalar quantity**، فالكميات العددية لها مقدار فقط.

> **مصطلحات علمية**
>
> **الإزاحة Displacement ($\vec{s}$)**: أقصر مسافة من نقطة البداية إلى نقطة النهاية في اتّجاه معيّن؛ وهي كمّية متّجهة.

> **مصطلحات علمية**
>
> **الكمّية المتّجهة Vector quantity**: كمّية تحدَّد بالمقدار والاتجاه.
>
> **الكمّية العددية Scalar quantity**: كمّية تحدَّد بالمقدار فقط.

٢-٢ السرعة والسرعة المتّجهة

يمكن أن تتغير سرعة الجسم أثناء حركته. فغالبًا ما يحسب الفيزيائيون السرعة المتوسطة لجسم ما، الأمر الذي يبسط دراسة حركته. لذا يمكن حساب السرعة المتوسطة لجسم معيّن باستخدام المعادلة الآتية:

$$\text{السرعة المتوسطة} = \frac{\text{المسافة الكلّية المقطوعة}}{\text{الزمن الكلّي المُستغرَق}}$$

في معظم الأحيان من المهم معرفة سرعة الجسم والاتّجاه الذي يتحرّك فيه.

يتم التعبير عن مقدار السرعة (v) والاتّجاه معًا في كمّية أخرى تسمّى **السرعة المتّجهة Velocity**. لذلك يمكن اعتبار السرعة المتّجهة لجسم ما على أنها سرعته في اتّجاه معيّن. فالسرعة المتّجهة مثل الإزاحة هي كمّية متّجهة؛ أما السرعة فهي الكمّية العددية المطابقة لها؛ لأنها لا تتضمّن اتّجاهًا. ونظرًا لأن السرعة المتجهة والإزاحة كمّيتان متجهتان، يتم توضيح ذلك بوضع سهم فوق الرمز المستخدَم. يمكن أن نرمز للسرعة المتجهة بالرمز ($\vec{v}$).

وبالتالي لتحديد السرعة المتّجهة لجسم ما، يجب علينا تحديد الاتّجاه الذي يتحرّك فيه. فمثلًا تطير طائرة بسرعة ($300\ m\ s^{-1}$) باتّجاه الشمال.

نظرًا لأن السرعة المتّجهة كمّية متّجهة، يمكن التعبير عنها بدلالة الإزاحة:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$$

يمكننا القول كذلك إن السرعة المتجهة هي معدّل تغيُّر إزاحة جسم ما:

السرعة المتّجهة = التغيّر في الإزاحة / الزمن المستغرَق

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

حيث الرمز (Δ) (الحرف اليوناني دلتا) يعني «التغيّر في»، ولا يمثّل كمّية ما (كما هي الحال في كلّ من ($\vec{s}$) و (t)). ثمّة طريقة أخرى لكتابة ($\Delta \vec{s}$) هي ($\vec{s_2} - \vec{s_1}$).

عليك أن تكون منتبهًا للتمييز بين السرعة والسرعة المتّجهة، وبين الإزاحة والمسافة. يوضح الجدول ٢-١ الرموز ووحدات القياس في النظام الدولي للوحدات (SI) لهذه الكمّيات.

الكمّية	رمز الكمّية	رمز الوحدة
المسافة	d، s، x	m
الإزاحة	$\vec{s}$	m
الزمن	t	s
السرعة	v	$m\ s^{-1}$
السرعة المتّجهة	$\vec{v}$	$m\ s^{-1}$

الجدول ٢-١ رموز ووحدات القياس لبعض الكمّيات.

مصطلحات علمية

السرعة المتّجهة Velocity: سرعة الجسم في اتّجاه معيّن أو معدّل تغيّر إزاحة الجسم، وهي كمّية متّجهة.

مهمّ

احرص على عدم الخلط بين رمز الإزاحة ($\vec{s}$) و s للثواني. لاحظ أيضًا أن الرمز (v) يُستخدم للسرعة والرمز ($\vec{v}$) للسرعة المتّجهة

سؤال

١ حدّد العبارات أدناه التي تعبّر عن كل من: السرعة، السرعة المتّجهة، المسافة، الإزاحة. (انظر إلى تعريفات هذه الكمّيات).

أ. أبحرت سفينة مسافة (200 km) إلى الجنوب الغربي.

ب. كان مقدار سرعتي المتوسّطة ($7\ km\ h^{-1}$) خلال سباق الماراثون.

ج. زحف حلزون بسرعة مقدارها ($2\ mm\ s^{-1}$) على طول الحافة المستقيمة للمقعد.

د. بلغت مسافة رحلة الذهاب والإياب لمندوب مبيعات (420 km).

حساب السرعة والسرعة المتّجهة

يمكن إعادة ترتيب معادلة السرعة $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$ اعتمادًا على الكمّية التي نريد تحديدها على الشكل الآتي:

التغيّر في الإزاحة: $\Delta \vec{s} = \vec{v} \times \Delta t$

التغيّر في الزمن: $\Delta t = \frac{\Delta \vec{s}}{\vec{v}}$

لاحظ أن كلًا من هذه المعادلات متجانسة من حيث الوحدات. لنأخذ على سبيل المثال معادلة مقدار الإزاحة، الوحدات الموجودة على الجانب الأيمن هي $m\ s^{-1} \times s$، وهي تمثّل m، الوحدة الصحيحة للإزاحة.

أمثلة

١. جِد الإزاحة من ولاية صلالة إلى ولاية مقشن في محافظة ظفار.

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

مقياس رسم الخريطة

الإزاحة بين صلالة ومقشن: $\vec{s} = ?$

الزاوية بين الإزاحة (صلالة – مقشن) واتّجاه الشرق: $\theta = ?$

مقياس الرسم الخطّي: يرسم على الخريطة على شكل خط مستقيم ذي تدريج (على سبيل المثال بالـ km أو بأي وحدة قياس أخرى)، وتمثّل كل وحدة قياس من المسافات الموجودة على المقياس الخطي ما يقابلها من مسافة على الطبيعة ولكي تعرف المسافة الصحيحة على الخريطة بين نقطتَين نقوم بقياس المسافة (L) بينهما، حيث نقارن الطول (L) مع المقياس الخطي فنحصل بهذا على المسافة الحقيقية بين النقطتَين.

الخطوة ٢: جِد المسافة باستخدام مقياس رسم الخريطة.

باستخدام مسطرة نجد أن المسافة بين صلالة ومقشن على الخريطة هي (6.0 cm).

وباستخدام المسطرة، نجد أن طول المقياس الموجود يمين الخريطة وأسفلها (100 km) هو (2.0 cm).

بالتالي الإزاحة بين صلالة ومقشن:

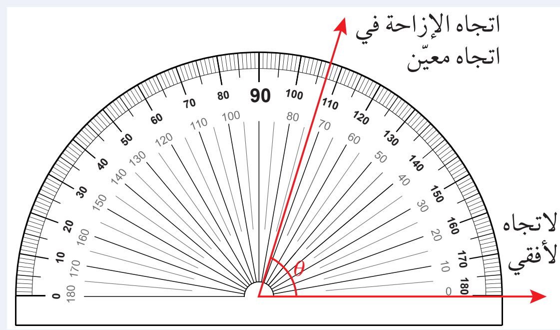
$$\vec{s} = \frac{6.0 \times 100}{2.0}$$

$$\vec{s} = 300\ km$$

تابع

الخطوة ٣: جِد الزاوية θ بين الإزاحة (صلالة – مقشن) واتّجاه الشرق، مستخدمًا منقلة.

لاستخدام المنقلة، قم بوضع مركز المنقلة على ذيل الإزاحة المراد قياس زاويتها مع الخط الأفقي. ثم اضبط المنقلة بحيث يكون الخط الأفقي متطابقًا مع قاعدتها، مع المحافظة على مركز المنقلة فوق ذيل الإزاحة. بعد ذلك، ابحث عن نقاط تقاطع للإزاحة مع مقياس المنقلة الدائري، وإذا لم تكن الإزاحة ممتدةً إلى مقياس المنقلة الدائري، فقم بمدّ خط على استقامته بحيث يصل إليها. التدريج الذي يمر الخط من خلاله مع مقياس المنقلة يكون هو قياس الزاوية (بالدرجات).



باستخدام المنقلة نجد أن الخطّ الذي يصل صلالة بمقشن يشكّل زاوية 73° شمال الشرق.

إذًا، الإزاحة ($\vec{s}$) (صلالة – مقشن) مقدارها (300 km) واتّجاهها بزاوية 73° شمال الشرق.

٢. تدور الأرض حول الشمس على بُعد (150 000 000 km). ما المدّة الزمنية التي يستغرقها ضوء الشمس للوصول إلى الأرض؟ (تبلغ سرعة الضوء في الفراغ $3.0 \times 10^{8}\ m\ s^{-1}$).

الخطوة ١: ابدأ بكتابة ما تعرفه. انتبه للوحدات؛ من الأفضل العمل بوحدة m و s. يجب أن تكون قادرًا على التعبير عن الأرقام بالتدوين العلمي (باستخدام الأس لـ 10) وكتابتها في الآلة الحاسبة.

السرعة المتّجهة: $\vec{v} = 3.0 \times 10^{8}\ m\ s^{-1}$

الإزاحة: $\vec{s} = 150\ 000\ 000\ km$

$= 150\ 000\ 000\ 000\ m$

$\vec{s} = 1.5 \times 10^{11}\ m$

الزمن: $t = ?$

الخطوة ٢: عوّض القيم في معادلة الزمن.

$$t = \frac{\vec{s}}{\vec{v}}$$

$$= \frac{1.5 \times 10^{11}}{3.0 \times 10^{8}}$$

$$t = 500\ s$$

يستغرق وصول ضوء الشمس إلى الأرض (500 s) (8.3 دقيقة تقريبًا). الإزاحة الفعلية للأرض إذا دارت دورة واحدة حول الشمس تساوي صفرًا، هذا لأنها تنتهي من حيث بدأت، على الرغم من أن المسافة التي تقطعها الأرض هي محيط المدار بالكامل.

ملاحظة: عند استخدام الآلة الحاسبة لحساب الزمن (t)، اضغط على الأزرار بالتسلسل الآتي:

[1.5] , [10ⁿ] , [11] , [÷] , [3] , [10ⁿ] , [8]

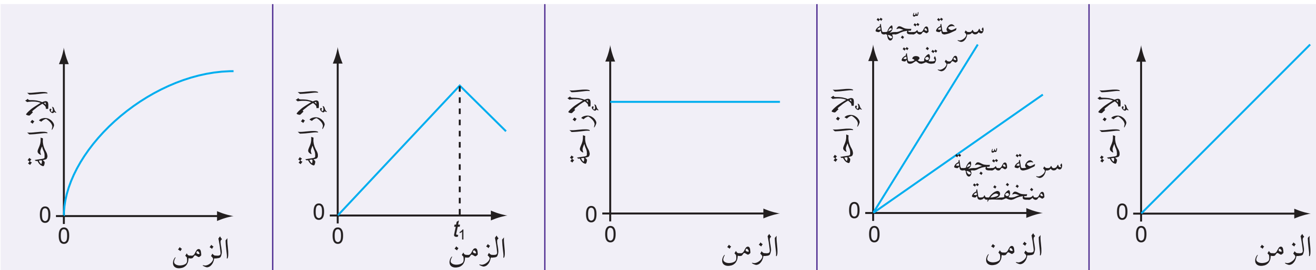
أسئلة

٢) تُستخدَم غواصة السونار لقياس عمق المياه تحتها. وقد التُقطَت الموجات الصوتية المنعكسة بعد (0.40 s) من إرسالها. ما عمق المياه؟ (تبلغ سرعة الصوت في الماء $1500\ m\ s^{-1}$).

٣) تستغرق الأرض سنة واحدة لتدور حول الشمس على مسافة (1.5×10^{11} m). احسب سرعتها. اشرح السبب في أن هذه السرعة هي السرعة المتوسّطة للأرض وليست سرعتها المتّجهة.

٢-٣ التمثيل البياني (الإزاحة-الزمن)

يمكننا تمثيل التغيّر في موقع جسم متحرّك من خلال رسم تمثيل بياني (الإزاحة–الزمن)، وميل منحنى التمثيل البياني يساوي سرعة الجسم كما هو موضح في الشكل ٢–٢ . وكلّما كان الميل أكثر انحدارًا، ازدادت السرعة، ويدلّ التمثيل البياني أيضًا على احتمال تحرّك الجسم إلى الأمام أو إلى الخلف؛ فإذا كان الميل سالبًا، فعند حساب السرعة للجسم نحصل على الإجابة بالسالب، أي أن الجسم يتحرك إلى الخلف.



يوضح الخط المستقيم أن السرعة للجسم ثابتة.	يوضح الميل أيّ الجسمَين يتحرك بشكل أسرع. فكلما كان الميل أكثر انحدارًا، ازدادت سرعة الجسم.	ميل منحنى هذا التمثيل البياني يساوي (0). الإزاحة $\vec{s}$ لا تتغير. وبالتالي فإن السرعة المتّجهة تساوي (0)، أي أنّ الجسم ساكن.	يصبح ميل منحنى هذا التمثيل البياني فجأة سالبًا. أيّ أنّ الجسم يتحرّك إلى الخلف بالسرعة نفسها التي أتى بها، فسرعته المتّجهة سالبة بعد زمن (t_1).	هذا التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن) مقوّس وميله متغيّر، ويعني ذلك أن سرعة الجسم تتغير. سوف يتمّ شرحه في الوحدة الثالثة.

الشكل ٢–٢ يدلّ ميل التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن) على سرعة تحرك جسم ما.

استنتاج السرعة من منحنى التمثيل البياني (الإزاحة-الزمن)

تتحرّك سيّارة لعبة على طول مسار مستقيم، ويبيّن الجدول ٢–٢ مقدار إزاحة السيّارة خلال فترات زمنية مختلفة. يمكن استخدام هذه البيانات لرسم منحنى التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن)، وكذلك يمكن استنتاج سرعة السيّارة.

الإزاحة $\vec{s}$ (m)	1.0	3.0	5.0	7.0	7.0	7.0
الزمن t (s)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

الجدول ٢–٢ بيانات الإزاحة ($\vec{s}$) والزمن (t) لسيارة لعبة.

من الجيّد إلقاء نظرة على البيانات أوّلًا، لمعرفة نمط حركة السيّارة، حيث يزداد مقدار الإزاحة في هذه الحالة بشكل منتظم في البداية، ولكن بعد (3.0 s) يصبح ثابتًا. بمعنى آخر تتحرَّك السيّارة في البداية بسرعة ثابتة، لكنها تتوقّف بعد ذلك.

يمكننا الآن رسم التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن) كما في الشكل ٢–٣.

نريد حساب سرعة السيّارة خلال أوّل (3.0 s)، ويمكن القيام بذلك من خلال حساب ميل منحنى التمثيل البياني، لأنّ:

السرعة = ميل منحنى التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن)

لإيجاد سرعة السيارة نرسم مثلّثًا قائم الزاوية كما هو موضّح في الشكل ٢-٣، ثمّ نقسم التغيّر في مقدار الإزاحة على التغيّر في الزمن. ويمكن الحصول عليهما من ضلعَي المثلّث (Δs) و (Δt).

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

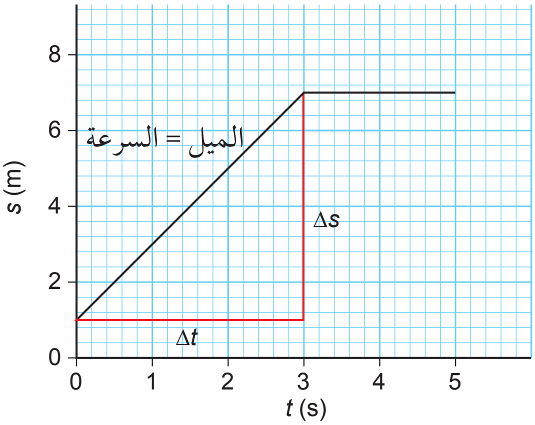
$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

$$= \frac{(7.0 - 1.0)}{(3.0 - 0)}$$

$$= \frac{6.0}{3.0}$$

$$= 2.0 \text{ m s}^{-1}$$

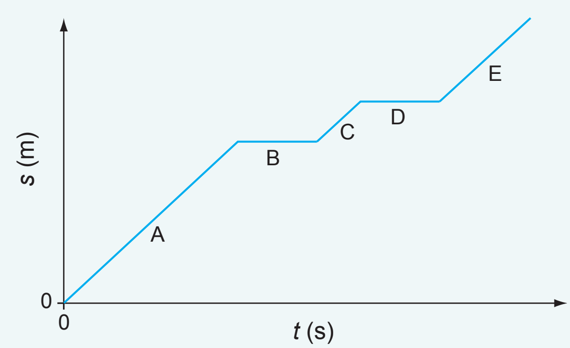
إذا كنت متعوّدًا على إيجاد ميل منحنى التمثيل البياني، فيمكنك تقليل عدد الخطوات السابقة والحساب مباشرة.



الشكل ٢-٣ التمثيل البياني (الإزاحة-الزمن) لسيارة لعبة؛ حسب البيانات الموضحة في الجدول ٢-٢.

أسئلة

٤) يمثل الشكل ٢-٤ منحنى التمثيل البياني (الإزاحة-الزمن) لرحلة حافلة. ماذا يخبرك التمثيل البياني عن الرحلة؟



الشكل ٢-٤ تمثيل بياني (الإزاحة-الزمن) لرحلة حافلة.

٥) ارسم تمثيلًا بيانيًا (الإزاحة-الزمن) لوصف حركتك في الحدث الآتي: أنت تمشي بسرعة ثابتة عبر حقل بعد تخطي البوابة. فجأة ترى حصانًا فتتوقّف. يقول زميلك إنّ الحصان لا يشكّل خطرًا، فتستمرّ في المشي بسرعة ثابتة ولكن أبطأ من ذي قبل. يصهل الحصان، فتجري عائدًا إلى البوابة بسرعة ثابتة. اشرح كيف يرتبط كل جزء من المسار بجزء من منحنى التمثيل البياني الذي ترسمه.

٦) يوضح الجدول ٢-٣ إزاحة سيارة سباق في مراحل زمنية مختلفة أثناء انتقالها على طول مسار مستقيم خلال اختبار السرعة (مرحلة تمهيدية في سباقات السيارات لتجربة المضمار).

أ. حدّد سرعة السيّارة من الجدول ٢-٣.

ب. ارسم منحنى التمثيل البياني (الإزاحة-الزمن) واستخدمه لإيجاد سرعة السيّارة.

الإزاحة $\vec{s}$ (m)	0	85	170	255	340
الزمن t (s)	0	1.0	2.0	3.0	4.0

الجدول ٢-٣ بيانات الإزاحة ($\vec{s}$) والزمن (t).

٧) تتحرّك سيّارة قديمة باتجاه الجنوب. يبيّن الجدول ٢-٤ المسافة التي تقطعها السيّارة خلال فترات زمنية معيّنة.

أ. ارسم منحنى التمثيل البياني (المسافة-الزمن) لرحلة السيارة.

ب. استنتج من التمثيل البياني سرعة السيّارة بوحدة km h^{-1} خلال الساعات الثلاث الأولى من الرحلة.

ج. ما السرعة المتوسطة للسيّارة بوحدة km h^{-1} خلال الرحلة بأكملها؟

الزمن t (h)	0	1	2	3	4
المسافة d (km)	0	23	46	69	84

الجدول ٢-٤ بيانات الزمن (t) والمسافة (d).

٢-٤ جمع الإزاحات

يعبر مشاة أرضًا صعبة التضاريس كما يظهر في الشكل ٢-٥. وينتقلون في سلسلة من الخطوط المستقيمة، من نقطة بارزة إلى أخرى، حيث يمكنهم باستخدام الخريطة حساب المسافة التي قطعوها، وكذلك إزاحتهم من نقطة البداية:

المسافة المقطوعة = (25 km)

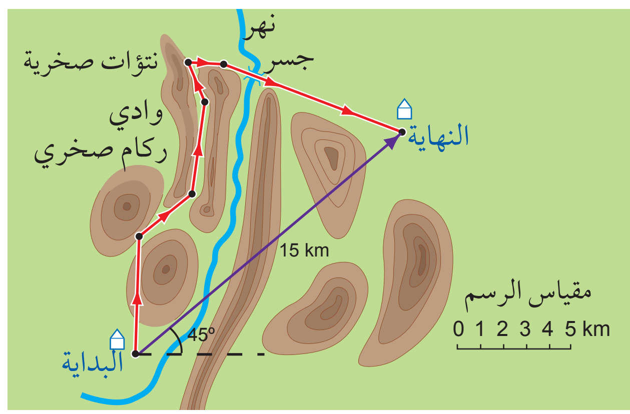
(ضع خيطًا على طول المسار الموضّح على الخريطة؛ قِس طول الخيط، ثم حدّد المسافة المقطوعة باستخدام مقياس رسم الخريطة).

الإزاحة = (15 km) باتّجاه °45 شمال الشرق

(صِل نقطتَي البداية والنهاية بخطّ مستقيم؛ قِس طول الخطّ، ثم حدّد الإزاحة المقطوعة باستخدام مقياس الرسم).

مهمّ

يجب دائمًا قراءة الاتجاهات باستخدام الزوايا مع تحديد اتجاه مرجعي بوضوح. في هذا المثال يتم تحديد الشرق كاتجاه مرجعي، بالتالي، تتم قراءة الاتجاه على أنه °45 شمال الشرق.



الشكل ٢-٥ يتجه المشاة مباشرة بخطّ مستقيم عبر التضاريس الوعرة إلى مَعلَم بارز (المسار باللون الأحمر).

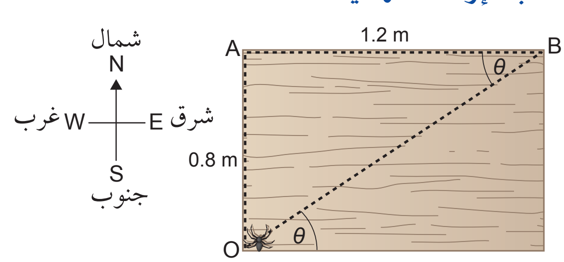
مهمّ

يتم عرض الكميات المتجهة عادةً باستخدام الأسهم على المخططات. حيث يمثل طول السهم مقدار الكمية المتجهة، واتجاه السهم يشير إلى اتجاه الكمية المتجهة.

تمكنّك الخريطة التي تُرسَم بمقياس معيّن من معرفة الإزاحة بواسطة المقياس المثبّت عليها. لكن كيف يمكنك حساب الإزاحة؟ تحتاج إلى استخدام أفكار من الهندسة وعلم المثلّثات. يبيّن المثالان ٣ و ٤ كيفية حساب الإزاحة.

أمثلة

٣. يتحرّك عنكبوت على طول جانبَي طاولة (الشكل ٢-٦). احسب الإزاحة النهائية له.



الشكل ٢-٦ يقطع العنكبوت مسافة **(2.0 m)**.

الخطوة ١: بما أنّ جزئَي مسار العنكبوت (OA و AB) متعامدان، يمكنّنا هذا من جمع الإزاحتَين باستخدام نظرية فيثاغورث:

$$(OB)^2 = (OA)^2 + (AB)^2$$

$$= 0.8^2 + 1.2^2 = 2.08$$

$$OB = \sqrt{2.08} = 1.44\ \text{m} \approx 1.4\ \text{m}$$

تابع

الخطوة ٢: الإزاحة كمّية متّجهة، ولقد وجدنا مقدار هذا المتّجه، ولكن علينا الآن إيجاد اتّجاهه، وتُعطى الزاوية θ من العلاقة:

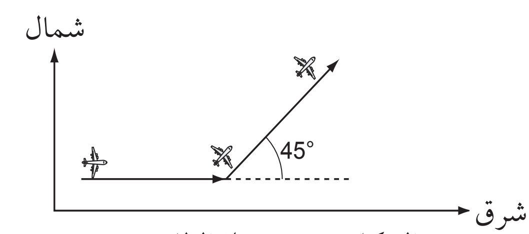
$$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = \frac{0.8}{1.2}$$
$$= 0.667$$

$$\theta = \tan^{-1}(0.667)$$

$$\theta = 33.7° \approx 34°$$

إذًا، إزاحة العنكبوت هي (1.4 m) بزاوية 34° شمال الشرق.

٤ . **تطير طائرة (30 km) شرقاً ثم (50 km) بزاوية 45° شمال الشرق (الشكل ٢–٧). احسب الإزاحة النهائية للطائرة.**



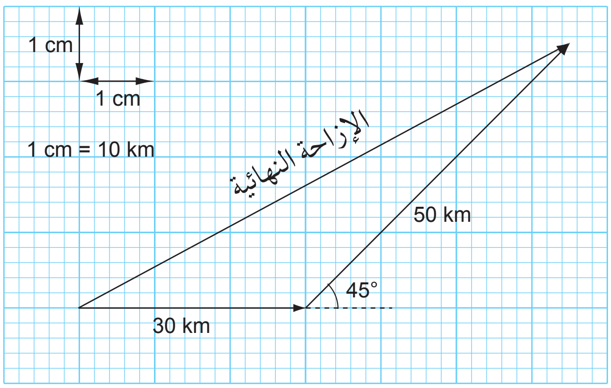
الشكل ٢–٧ رحلة الطائرة.

هنا الإزاحتان غير متعامدتَين، لذلك لا يمكننا استخدام نظرية فيثاغورث. يمكننا حلّ هذه المسألة بعمل مقياس رسم، وقياس الإزاحة النهائية للطائرة. (ومع ذلك، يمكنك حلّ السؤال نفسه باستخدام علم المثلّثات).

الخطوة ١: اختر مقياس رسم مناسبًا. يجب أن يكون الرسم التخطيطي كبيرًا بشكل معقول؛ في هذه الحالة يُعدّ مقياس الرسم (1 cm) لتمثيل (10 km) معقولاً.

الخطوة ٢: ارسم خطًا لتمثيل المتّجه الأوّل. باعتبار الشمال هو اتّجاه الجزء العلوي من الصفحة، فيكون طول الخطّ (3 cm) باتجاه الشرق (إلى اليمين).

الخطوة ٣: ارسم خطًا لتمثيل المتّجه الثاني، بدءًا من نهاية المتّجه الأوّل (تتصلان رأسًا بذيل). سيكون طول الخطّ (5 cm) وبزاوية 45° (الشكل ٢–٨).



الشكل ٢–٨ مقياس الرسم المُعتمَد لتمثيل الرسم. يمكن أن يساعدك استخدام ورق الرسم البياني في رسم المتّجهات بالزوايا الصحيحة.

الخطوة ٤: لإيجاد الإزاحة النهائية، صِل نقطة البداية مع نقطة النهاية، فتكون قد أنشأت **مثلث المتجهات** (مثلّث يُرسم لتحديد محصلة متجهَين) **Vector triangle**. قِس طول متّجه الإزاحة النهائية هذا، واستخدم مقياس الرسم للتحويل إلى كيلومترات:

طول المتّجه = 7.4 cm

مقدار الإزاحة النهائية: 7.4 × 10 = 74 km

الخطوة ٥: قِس زاوية متّجه الإزاحة النهائي:

الزاوية = 28° شمال الشرق

لذلك فإن الإزاحة النهائية للطائرة هي (74 km) وبزاوية 28° شمال الشرق.

تُعرف عملية جمع إزاحتَين معًا (أو اثنَين أو أكثر من أي نوع من أنواع المتّجهات) باسم جمع المتّجهات. فعندما يُجمع متّجهان أو أكثر معًا، يُعرف الناتج على أنه **المحصّلة Resultant** لمتّجهَين أو أكثر.

مصطلحات علمية

متّجه المحصّلة Resultant vector: متّجه واحد يتكوّن من خلال جمع متجهَين أو أكثر.

من الجدير بالذكر أنه يمكن أيضًا إيجاد متجه الإزاحة المحصلة في المثال ٤ باستخدام قاعدة جيب التمام. الزاوية المجاورة للزاوية 45° في الشكل ٢–٨ هي 135° لأن زاويتَين على طول الخط يجب أن يكون جمعهما مساويًا لـ 180°. تنصّ قاعدة جيب التمام على أن:

$$A + B = A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta$$

مربع الإزاحة النهائية هو $s^2 = 30^2 + 50^2 - (2 \times 30 \times 50 \times \cos 135°)$

يوضح حل هذه المعادلة أن الإزاحة النهائية هي $s = 74$ km.

أسئلة

٨ أنت تسير $(3.0\ km)$ باتّجاه الشمال، ثم $(4.0\ km)$ باتّجاه الشرق.

أ. احسب المسافة الكلّية التي قطعتها بالكيلومترات.

ب. اعمل مخطّطًا بمقياس رسم لمسار سيرك، واستخدمه لإيجاد إزاحتك النهائية. تذكّر أن تضمّن إجابتك كلًا من مقدار الإزاحة واتّجاهها.

ج. تحقّق من إجابتك في الجزء (ب) بحساب الإزاحة.

٩ يسير طالب مسافة $(8.0\ km)$ باتجاه $45°$ جنوب الشرق ثم $(12\ km)$ غربًا.

أ. ارسم مخطّطًا متّجهًا يوضح مساره. استخدم مخطّطًا بيانيًا خاصًا بك لإيجاد الإزاحة الكلّية.
تذكّر أن تعطي مقياس رسم لمخطّطك، وأن تضمّن إجابتك اتّجاه الإزاحة الكلّية ومقدارها.

ب. احسب الإزاحة المحصّلة باستخدام قاعدة جيب التمام. بيّن عملك بوضوح.

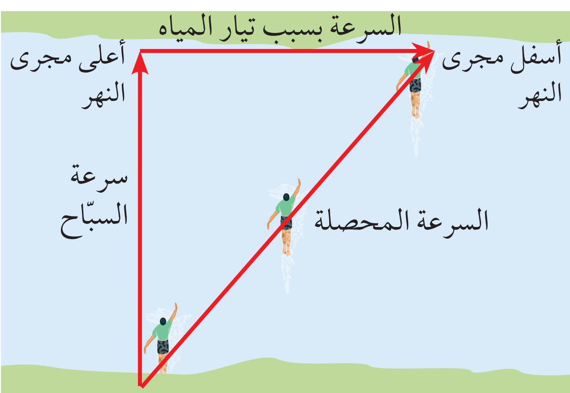
٢-٥ جمع السرعات المتّجهة

السرعة المتّجهة هي كمّية متّجهة وبذلك يمكن جمع سرعتَين متّجهتَين من خلال إضافة متّجه بالطريقة نفسها التي رأيناها في جمع إزاحتَين أو أكثر.

تخيّل أنك تريد السباحة عبر نهر. تريد أن تسبح مباشرة من ضفّة النهر إلى الضفّة المقابلة، لكن تيّار الماء يحرّكك بشكل جانبي في الوقت نفسه الذي تسبح فيه إلى الأمام. والنتيجة أنك ستصل إلى الضفة المقابلة، ولكن إلى أسفل نقطة الوصول المستهدفة مع اتّجاه مجرى النهر. في الواقع توجد سرعتان متّجهتان:

- السرعة المتّجهة التي تسبح بها عبر النهر والتي تتجه بها مباشرة إلى الضفّة المقابلة.
- السرعة المتّجهة الناتجة من تيّار مياه النهر والموجّهة باتّجاه مجرى النهر، بزاوية قائمة مع سرعتك المتّجهة للسباحة.

تتّحد هاتان السرعتان المتّجهتان لتُعطيا سرعة متّجهة محصّلة (أو نهائية)، والتي ستكون باتّجاه قطري مع مجرى النهر (الشكل ٢-٩). ولكي تصل إلى النقطة المقابلة لك تمامًا عبر النهر، عليك أن تتّجه نحو أعلى مجرى تيّار المياه، ليكون اتّجاه السرعة المتّجهة المحصّلة عبر النهر مباشرة إلى نقطة الوصول المستهدَفة.



الشكل ٢-٩ السرعة المحصلة لسبّاح يسبح عموديًا على ضفة نهر.

مثال

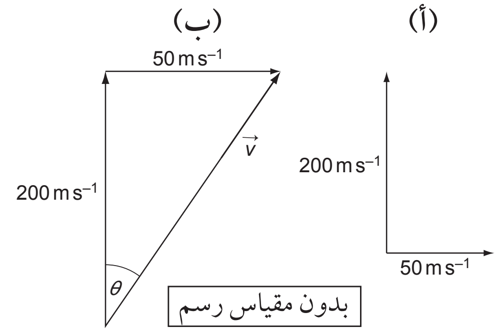
٥. تطير طائرة باتّجاه الشمال بسرعة متّجهة $(200\ m\ s^{-1})$ وتهبّ في الوقت نفسه رياح جانبية سرعتها $(50\ m\ s^{-1})$ باتّجاه الشرق. ما محصّلة السرعة المتّجهة للطائرة (أعطِ المقدار والاتّجاه)؟

السرعتان المتّجهتان متعامدتان. يكفي رسم مخطّط واستخدام نظرية فيثاغورث لحلّ السؤال.

الخطوة ١: ارسم مخطّطًا للحالة كما هو موضح في الشكل ٢-١٠ (أ).

الخطوة ٢: ارسم الآن مثلّث المتّجهات. تذكر أن المتّجه الثاني يبدأ من حيث ينتهي المتّجه الأوّل كما هو موضح في الشكل ٢-١٠ (ب).

تابع



الشكل ٢-١٠ إيجاد محصّلة سرعتَين متّجهتَين.

الخطوة ٣: صِل نقطتَي البداية والنهاية لإكمال المثلّث.

الخطوة ٤: احسب مقدار محصّلة المتّجه ($\vec{v}$) (يمثّل وتر المثلّث القائم الزاوية).

$$v^2 = 200^2 + 50^2$$
$$= 40\,000 + 2500 = 42\,500$$
$$\vec{v} = \sqrt{42\,500} \approx 206\ m\,s^{-1}$$

الخطوة ٥: احسب الزاوية θ:

$$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = \frac{50}{200}$$
$$= 0.25$$
$$\theta = \tan^{-1}(0.25) \approx 14°$$

لذلك تبلغ محصّلة السرعة المتّجهة للطائرة ($206\ m\,s^{-1}$) بزاوية $14°$ شرق الشمال.

أسئلة

١٠ يمكن لسبّاح أن يسبح بسرعة ($2.0\ m\,s^{-1}$) في المياه الراكدة. يهدف السبّاح إلى السباحة مباشرة عبر نهر تدفّق مياهه بسرعة ($0.80\ m\,s^{-1}$). احسب محصّلة السرعة المتّجهة له. (يجب أن تتضمّن الإجابة كلًا من المقدار والاتّجاه).

١١ يُرمى حجر من مرتفع صخري، فيضرب الحجر سطح البحر بسرعة متّجهة رأسية ($\vec{v_v}$) مقدارها ($18\ m\,s^{-1}$) وسرعة متّجهة أفقية ($\vec{v_h}$). تبلغ السرعة المحصّلة لهاتَين السرعتَين المتّجهتَين ($25\ m\,s^{-1}$).

أ. ارسم مخطّطًا متّجهًا للسرعتَين المتّجهتَين ومحصّلة السرعة المتّجهة. (استخدم مقياسًا معيّنًا، مسطرة ومنقلة).

ب. استخدم الرسم التخطيطي لإيجاد قيمة ($\vec{v_h}$).

ج. استخدم الرسم التخطيطي لإيجاد الزاوية بين اتّجاه محصلة السرعة المتجهة للحجر والاتّجاه الرأسي.

٢-٦ طرح المتّجهات

تحتاج في بعض الأحيان إلى طرح المتّجهات بدلًا من جمعها. فمثلًا إذا كنت في سيارة تتحرّك بسرعة ($5.0\ m\,s^{-1}$) وكانت أمامك سيّارة أخرى تتحرّك على الطريق نفسه وفي الاتّجاه نفسه بسرعة ($2.0\ m\,s^{-1}$)، فإنك تقترب من السيارة بسرعة ($5.0 - 2.0 = 3.0\ m\,s^{-1}$). أيّ أنك تطرح متّجهَي السرعة.

يمكن إجراء طرح المتّجهات باستخدام الصيغة:

$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$$

حيث $\vec{A}$ و $\vec{B}$ متجهان.

لذلك، لطرح متّجه ما، اجمع فقط المتّجه الآخر مع سالب هذا المتّجه.

مهمّ

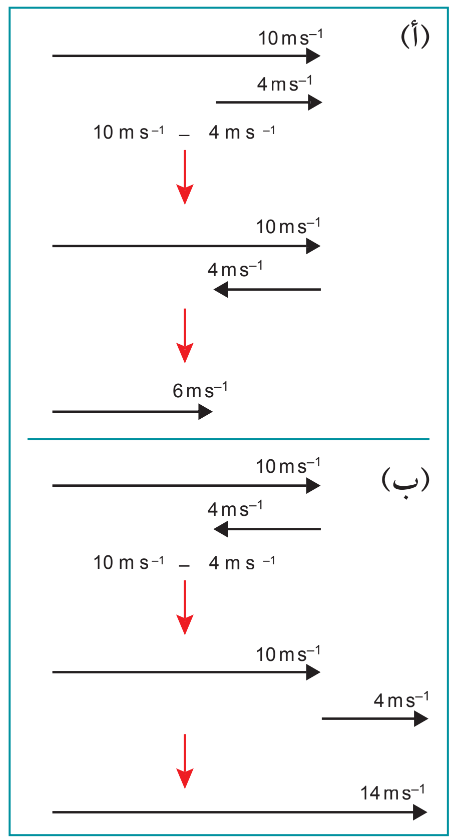
لطرح متّجه $\vec{B}$ من متّجه آخر $\vec{A}$، اجمع $\vec{A}$ بسالب المتجه $\vec{B}$.

لكن عليك أولًا أن تفهم ما يعنيه المتّجه السالب. فمثلًا المتّجه السالب $-\vec{B}$ هو متّجه آخر بنفس مقدار المتّجه $\vec{B}$ ولكن بالاتّجاه المعاكس.

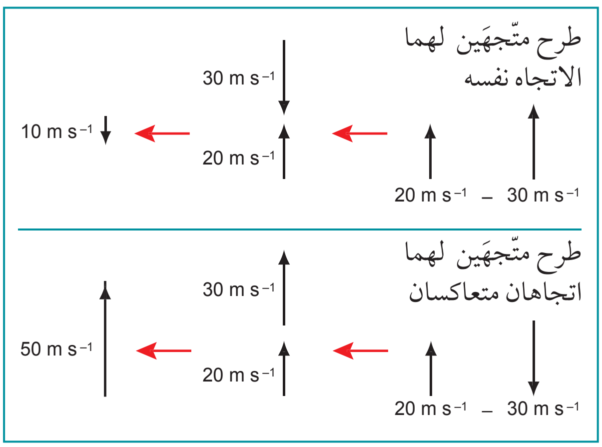
يبيّن الشكل ٢-١١ (أ)، طرح سرعتَين متجهتَين لهما الاتجاه نفسه. فمثلًا لطرح سرعة متّجهة $(4\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ شرقًا من سرعة متّجهة $(10\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ شرقًا، تبدأ برسم المتّجه $(10\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ شرقًا ثم تجمع معه متّجه $(4\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ غربًا فيكون ناتج طرح المتجهَين $(6\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ شرقًا.

بينما يبيّن الشكل ٢-١١ (ب)، طرح سرعتَين متعاكستَين في الاتجاه. فمثلًا لطرح سرعة متّجهة $(4\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ غربًا من سرعة متّجهة $(10\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ شرقًا، تبدأ برسم المتّجه $(10\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ شرقًا ثم تجمع معه متّجه $(4\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ شرقًا فيكون ناتج طرح المتجهَين $(14\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ شرقًا.

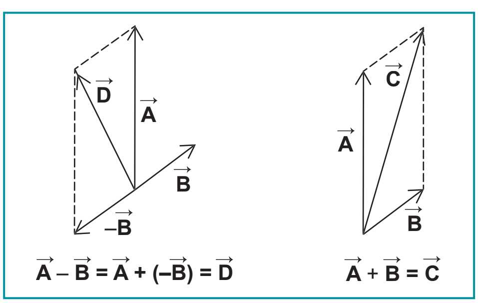
يوضح الشكلان ٢-١٢ و ٢-١٣ مثالَين آخرَين لتمثيل طرح أو جمع متّجهَين باتجاهات مختلفة عندما يكونان بالاتجاه الرأسي أو بينهما زاوية.



الشكل ٢-١١ طرح متجهَين لهما الاتجاه نفسه أو اتجاهان متعاكسان.



الشكل ٢-١٢ طرح متجهَين بالاتجاه الرأسي.



الشكل ٢-١٣ جمع وطرح متّجهَين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ بينهما زاوية.

سؤال

١٢ سرعة متّجهة مقدارها $(5.0\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ باتّجاه الشمال. اطرح من هذه السرعة المتّجهة سرعة متّجهة أخرى مقدارها:

أ. $(5.0\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ باتّجاه الجنوب.

ب. $(5.0\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ باتّجاه الشمال.

ج. $(5.0\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ باتّجاه الغرب.

د. $(5.0\ \mathrm{m\,s^{-1}})$ باتّجاه الشرق.

(يمكنك رسم مقياس أو إجراء عملية حسابية، ولكن تذكّر أن تضمّن إجابتك الاتّجاه والمقدار).

٢-٧ أمثلة أخرى للكمّيات العددية والكمّيات المتّجهة

يكون الاتّجاه مهمًا عند جمع المتّجهات. ويمكنك استخدامه لتحديد ما إذا كانت الكمّية متّجهة أم عددية. فمثلًا إذا مشيت لمدّة 3 دقائق شمالًا ثم 3 دقائق في اتّجاه آخر، فإنّ الزمن الكلّي المستغرق هو 6 دقائق بغضّ النظر عن الاتّجاه الذي تختاره. يمكن أن يكون للمتّجه المكوّن من 3 وحدات قياسية، الذي يجمع إلى متّجه آخر مكوّن من 3 وحدات قياسية، قيمة تتراوح بين 0 و 6 وحدات قياسية، ولكنّ جمع كمّيتَين عدديّتَين يتكوّن كلّ منهما من 3 وحدات قياسية يساوي دائمًا ستّ وحدات قياسية. لذلك، فإنّ الزمن هو كمّية عددية.

الكتلة والكثافة كمّيتان عدديتان أيضًا.

إن القوّة والتسارع، كما سترى في الوحدات اللاحقة، كمّيتان متجهتان؛ هذا لأنه إذا تمّ دفع جسم ما باتّجاهَين متعاكسَين بالقوّة نفسها، فإنّ كلًّا من القوّتَين تُلغي القوّة الأخرى.

الشغل والضغط كما درست سابقًا، يتضمّن كلّ منهما قوّة. ومع ذلك فإنّ الشغل والضغط كمّيتان عدديتان. فمثلًا إذا قمت بدفع صندوق ثقيل على الأرض شمالًا ثم جنوبًا بالمسافة نفسها، فمن الواضح أنّ الشغل المبذول الكلّي لا يساوي صفرًا. وهنا ما عليك سوى جمع كمّيات عددية حتى ولو كانت بالاتّجاه المعاكس.

ملخّص

الإزاحة هي أقصر مسافة من نقطة البداية إلى نقطة النهاية في اتّجاه معيّن؛ وهي كمّية متّجهة.
تُعرّف السرعة المتوسّطة من خلال المعادلة الآتية: $\text{السرعة المتوسطة} = \dfrac{\text{المسافة الكلّية المقطوعة}}{\text{الزمن الكلّي المُستغرَق}}$
تُعرّف السرعة المتّجهة من خلال المعادلة الآتية: $\text{السرعة المتّجهة} = \dfrac{\text{التغيّر في الإزاحة}}{\text{الزمن المُستغرَق}}$ $\vec{v} = \dfrac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$
ميل منحنى التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن) يساوي السرعة.
المسافة والسرعة والكتلة والزمن كمّيات عددية. الكمية العددية لها مقدار فقط.
الإزاحة والسرعة المتّجهة كميات متّجهة. الكمّية المتّجهة لها مقدار واتّجاه.
يمكن الجمع بين متّجهَين من خلال جمع أحدهما إلى المتّجه الآخر لإيجاد محصّلتهما. ويمكن طرح المتّجه الثاني من المتّجه الأول بجمع المتّجه الأول إلى سالب المتّجه الثاني، والمتّجه السالب هو الذي يكون بالمقدار نفسه، لكن بالاتّجاه المعاكس.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أيّ من الأزواج الآتية يتضمّن كمّية متجهة واحدة وكمّية عددية واحدة؟

أ. الإزاحة : الكتلة

ب. الإزاحة : السرعة المتّجهة

ج. المسافة : السرعة

د. السرعة : الزمن

٢ المتّجه $\vec{P}$ مقداره (3.0 N) يؤثّر باتّجاه اليمين والمتّجه $\vec{Q}$ مقداره (4.0 N) يؤثّر إلى الأعلى. ما مقدار واتّجاه المتّجه $(\vec{P} - \vec{Q})$؟

أ. 1.0 N بزاوية °53 مع اتّجاه $\vec{P}$ إلى الأسفل.

ب. 1.0 N بزاوية °53 مع اتّجاه $\vec{P}$ إلى الأعلى.

ج. 5.0 N بزاوية °53 مع اتّجاه $\vec{P}$ إلى الأسفل.

د. 5.0 N بزاوية °53 مع اتّجاه $\vec{P}$ إلى الأعلى.

٣ تتحرّك سيّارة في مسار دائري دورة واحدة كاملة بسرعة ثابتة مقدارها $(120\ km\ h^{-1})$.

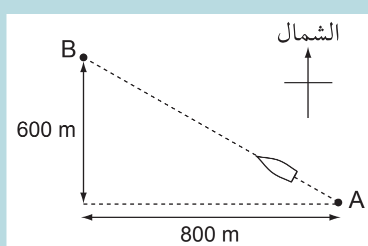
أ. إذا استغرقت الدورة الواحدة (2.0 min)، فبيّن أنّ طول المسار هو (4.0 km).

ب. اشرح سبب اختلاف قيم السرعة المتوسّطة والسرعة المتّجهة المتوسّطة للسيارة.

ج. احسب مقدار إزاحة السيّارة في زمن مقداره (1.0 min).

(يبلغ محيط الدائرة $(2\pi r)$، حيث (r) هو نصف قطر الدائرة).

٤ يوضح الشكل ٢–١٤ حركة قارب يغادر النقطة A متحرّكًا في خطّ مستقيم إلى النقطة B. وتستغرق رحلته (60 s).



الشكل ٢–١٤

احسب:

أ. المسافة التي يقطعها القارب.

ب. الإزاحة الكلّية للقارب.

ج. السرعة المتجهة المتوسّطة للقارب.

تذكّر أنه يجب تضمين كل كمّية متّجهة مقدارًا واتّجاهًا.

تابع

٥ يتحرّك قارب بسرعة ($2.0\ \mathrm{m\,s^{-1}}$) شرقًا باتّجاه ميناء على بُعد ($2.2\ \mathrm{km}$). وعندما يصل القارب إلى الميناء، ينطلق الركّاب في سيّارة متّجهة شمالًا لمدّة ($15\ \mathrm{min}$) وبسرعة ($60\ \mathrm{km\,h^{-1}}$). احسب:

أ. المسافة الكلّية التي يقطعها الركّاب.

ب. الإزاحة الكلّية (لا تنسى تضمين المقدار والاتجاه).

ج. الزمن الكلّي المُستغرَق.

د. السرعة المتوسّطة بوحدة $\mathrm{m\,s^{-1}}$.

هـ. السرعة المتجهة المتوسّطة.

٦ يتدفّق نهر من الغرب إلى الشرق بسرعة ثابتة ($1.0\ \mathrm{m\,s^{-1}}$). يغادر قارب الضفّة الجنوبية للنهر متّجهًا شمالًا بسرعة ($2.4\ \mathrm{m\,s^{-1}}$). جِد محصّلة السرعة المتّجهة للقارب.

أفعال إجرائية

عرّف Define: أعطِ معنًى دقيقًا.

٧ **أ.** عرّف الإزاحة.

ب. استخدم تعريف الإزاحة لشرح كيف يمكن لرياضي أن يركض حول مضمار سباق بحيث لا يكون له إزاحة.

٨ تقود فتاة درّاجة بسرعة متّجهة ثابتة مقدارها ($3.0\ \mathrm{m\,s^{-1}}$) على طول طريق مستقيم. عند الزمن ($t = 0\ \mathrm{s}$)، تجتاز أخاها الجالس على مقعد درّاجته غير المتحرّكة. وهكذا عند هذا الزمن ($t = 0\ \mathrm{s}$)، ينطلق الأخ للّحاق بأخته. فتزداد سرعته المتّجهة من الزمن ($t = 0\ \mathrm{s}$) حتى الزمن ($t = 5.0\ \mathrm{s}$)، حيث يجتاز مسافة ($10\ \mathrm{m}$). بعد ذلك يتابع بسرعة متّجهة ثابتة مقدارها ($4.0\ \mathrm{m\,s^{-1}}$).

أ. ارسم منحنى التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن) للفتاة من ($t = 0\ \mathrm{s}$) إلى ($t = 12\ \mathrm{s}$).

ب. ارسم على محاور التمثيل البياني السابق نفسه منحنى التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن) للأخ.

ج. باستخدام التمثيل البياني الذي رسمته، حدّد قيمة (t) عندما لحق الأخ بأخته.

٩ يُسقط طالب كرة سوداء صغيرة على طول مقياس رأسي مدرّج بالسنتيمتر. التُقِط عدد من الصور الستروبوسكوبية للكرة بفواصل زمنية ($t = 0.10\ \mathrm{s}$).

يظهر المخطّط (الشكل ٢–١٥) أول نقطة سوداء عند ($0\ \mathrm{cm}$) والنقطة التالية عند ($4\ \mathrm{cm}$).

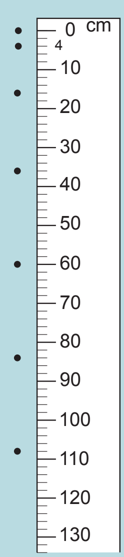
تم التقاط الصورة الأولى مع وجود الكرة في الأعلى في الزمن ($t = 0\ \mathrm{s}$).

أ. اشرح كيف يبيّن الشكل ٢–١٥ أنّ الكرة في النهاية تصل إلى سرعة ثابتة.

ب. جد السرعة النهائية التي تصل إليها الكرة.

ج. حدِّد المسافة التي سقطتها الكرة عند ($t = 0.80\ \mathrm{s}$).

د. تُظهر كلّ صورة ملتقَطة للكرة، في الصورة الفوتوغرافية الحقيقية، بعضًا من الضبابية، لأنّ كلّ وميض ظاهر فيها لم يكن لحظيًا، بل استغرق زمنًا مقداره ($0.0010\ \mathrm{s}$).
حدّد قيمة عدم اليقين المطلَق الذي تعطيه هذه الضبابية في الموقع لكلّ مواقع الكرة السوداء عندما تتحرّك بالسرعة النهائية الثابتة.
اقترح ما إذا كان يجب ملاحظة هذه الضبابية في المخطّط.



الشكل ٢–١٥

تابع

١٠ أ. اذكر اختلافًا واحدًا بين كمّية عددية وكمّية متّجهة، معطيًا مثالًا على كلّ منهما.

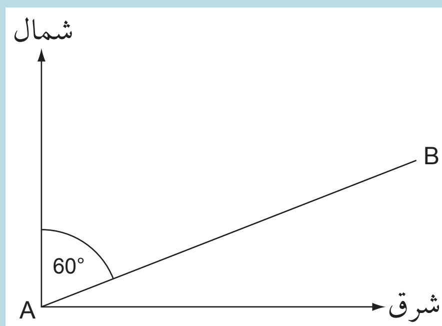
ب. تطير طائرة في الهواء بسرعة متّجهة مقدارها ($500\ km\ h^{-1}$) باتّجاه الشمال.
تهبّ رياح بسرعة مقدارها ($100\ km\ h^{-1}$) من الشرق إلى الغرب.
ارسم مخطّطًا لحساب محصّلة السرعة المتّجهة للطائرة. حدّد اتّجاه حركة الطائرة بالنسبة إلى الشمال.

ج. تطير الطائرة لمدّة ($15\ min$). احسب إزاحة الطائرة في هذا الزمن.

أفعال إجرائية

اذكر State: عبّر بكلمات واضحة.

١١ استُخدِمت طائرة صغيرة لشخص واحد في رحلة أفقية قصيرة. ففي رحلتها من A إلى B الموضحة في الشكل ٢–١٦، يكون مقدار محصّلة السرعة المتّجهة للطائرة ($15\ m\ s^{-1}$) في اتّجاه $60°$ شرق الشمال وكانت السرعة المتّجهة للرياح مقدارها ($7.5\ m\ s^{-1}$) باتّجاه الشمال.



الشكل ٢–١٦

أ. بيّن أنه لكي تسافر الطائرة من A إلى B، يجب أن تتّجه باتّجاه الشرق.

ب. بعد الطيران لمسافة ($5\ km$) من A إلى B، تعود الطائرة على طول المسار نفسه من B إلى A بمحصّلة سرعة متّجهة مقدارها ($13.5\ m\ s^{-1}$). بافتراض أنّ الزمن الذي تمضية في B مُهمل، احسب السرعة المتوسّطة للرحلة الكاملة من A إلى B والعودة إلى A.

أفعال إجرائية

بيّن أنّ Show (that): قدّم دليلًا منظّمًا يؤدّي إلى نتيجة معيّنة.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدٍّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أعرف الإزاحة والسرعة والسرعة المتّجهة واستخداماتها.	٢–١، ٢–٢			
أرسم منحنى التمثيل البياني (الإزاحة–الزمن) وأفسره.	٢–٣			
أفهم الاختلافات بين الكمّيات العددية والمتّجهة وأعطي أمثلة على كلّ منها.	٢–٧			
أجمع المتجهات في مستوى واحد وأطرحها.	٢–٤، ٢–٥، ٢–٦			

الوحدة الثالثة

الحركة المتسارعة

Accelerated Motion

أهداف التعلّم

٣-١ يعرّف التسارع ويستخدمه.

٣-٢ يستخدم المنحنيات البيانية لتمثيل المسافة، والإزاحة، والسرعة، والسرعة المتجهة، والتسارع.

٣-٣ يجد الإزاحة من مساحة المنطقة الواقعة أسفل منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن).

٣-٤ يجد التسارع باستخدام ميل منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن).

٣-٥ يطبق معادلات الحركة الخطية في حلّ مسائل باستخدام المعادلات التي تمثّل حركة ذات تسارع منتظم في خطّ مستقيم، بما في ذلك حركة الأجسام الساقطة في المجال المنتظم للجاذبية الأرضية بإهمال مقاومة الهواء.

٣-٦ يشتقّ، من تعريفات السرعة والتسارع، المعادلات التي تمثّل الحركة المتسارعة بشكل منتظم في خطّ مستقيم.

٣-٧ يشرح تجربة لتحديد تسارع السقوط الحرّ باستخدام جسم ساقط.

٣-٨ يصف الحركة الناتجة في حالة السرعة المنتظمة في الاتجاه الأفقي والتسارع المنتظم في الاتّجاه الرأسي (حركة المقذوفات) ويشرحها.

٣-٩ يمثل الكمية المتجهة على شكل مركّبتَين متعامدتَين.

٣-١٠ يحلل السرعة المتجهة لمقذوف إلى المركّبة الأفقية والرأسية.

٣-١١ يستخدم معادلات الحركة الخطية لحل مسائل تتضمّن حركة المقذوفات.

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

- اكتب تعريف كلٍّ من السرعة والسرعة المتجهة.
- لماذا تصنّف بعض الكمّيات ككمّيات متجهة؟ اكتب قائمة بجميع الكمّيات المتجهة التي تعرفها.

العلوم ضمن سياقها

الأسرع انطلاقًا

تبلغ سرعة الفهد القصوى (الصورة ٣-١) أكثر من ($30\ m\ s^{-1}$) أو ($108\ km/h$). ويمكن أن تصل سرعته في أول ثلاث أو أربع قفزات عند بدء انطلاقه من حالة الوقوف، إلى ($20\ m\ s^{-1}$) مستغرقًا ثانيتَين في ذلك فقط.

لا يمكن أن تتزايد سرعة السيارة كتزايد سرعة الفهد في بداية انطلاقه؛ ولكن على طول طريق مستقيم يمكنها أن تسبق الفهد.

برأيك كيف يمكن إجراء مثل هذه القياسات؟ وما الأدوات المطلوبة؟

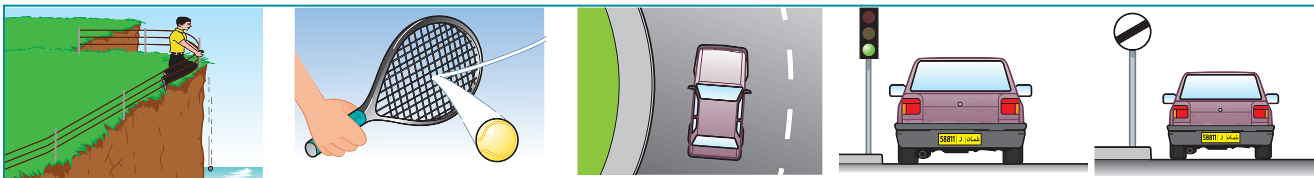
الصورة ٣-١ الفهد أسرع حيوان بري في العالم، وتسارعه مثير للإعجاب أيضًا.

٣-١ معنى التسارع

أي جسم تتغيّر سرعته أو يتغيّر اتجاه حركته يكون له **تسارع Acceleration**. ونظرًا لأن التسارع مرتبط بالسرعة المتّجهة لذلك فهو كمّية متجهة. والشكل ٣-١ يوضح بعض الأمثلة على الأجسام المتسارعة.

مصطلحات علمية

التسارع Acceleration: هو معدّل تغيّر السرعة المتجهة لجسم ما، ووحدته $m\ s^{-2}$.



تسارع السيارة أثناء حركتها؛ إذ تسرع السيارة عند مغادرتها البلدة، حيث يضغط السائق على دواسة الوقود لزيادة السرعة المتجهة.

تسارع السيارة من السكون؛ إذ تنطلق السيارة بعد توقّفها عند الإشارات الضوئية، حيث تكون سرعتها صفرًا ثم تتزايد بشكل كبير عند انطلاقها، وإلّا فإنها لن تبدأ بالحركة.

تسير السيارة حول منعطف بسرعة ثابتة، لكن سرعتها المتجهة تتغيّر مع تغيّر اتّجاه حركتها.

تُضرب الكرة بمضرب التنس، فيتغيّر كلّ من سرعتها واتّجاهها؛ أي أن السرعة المتجهة للكرة تتغيّر.

أُلقِي حجر من حافة جرف صخري، حيث تجعل الجاذبية الأرضية الحجر يتحرّك أسرع فأسرع؛ أي أن الحجر يتسارع أثناء سقوطه.

الشكل ٣-١ أمثلة على بعض الأجسام المتسارعة.

يُعرّف التسارع على النحو الآتي:

$$\text{التسارع} = \text{معدّل تغيُّر السرعة المتّجهة}$$

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

إذًا لحساب التسارع ($\vec{a}$)، يجب علينا معرفة كمّيتَين هما التغيّر في السرعة المتّجهة ($\Delta \vec{v}$) والزمن المستغرق (Δt):

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

تُكتب هذه المعادلة في بعض الأحيان بشكل مختلف؛ حيث نكتب ($\vec{u}$) للسرعة المتّجهة الابتدائية و ($\vec{v}$) للسرعة المتّجهة النهائية (لأن (u) تأتي قبل (v) في الأبجدية الإنجليزية)، ويتسارع الجسم المتحرّك من ($\vec{u}$) إلى ($\vec{v}$) في زمن (t) (هذا هو الزمن نفسه الذي يمثله (Δt) في المعادلة)، لذلك يُعطى التسارع من خلال المعادلة الآتية:

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

عندما تكون الحركة على خط مستقيم تصبح معادلة التسارع: $a = \frac{(v - u)}{t}$ حيث (u) السرعة الابتدائية، و (v) السرعة النهائية.

٣-٢ وحدات قياس التسارع

وحدة قياس التسارع هي $m\,s^{-2}$، وعندما نقول إنّ تسارع العدّاء $(5\,m\,s^{-2})$؛ فهذا يعني أن سرعته المتجهة تزداد بمقدار $(5\,m\,s^{-1})$ في الثانية الواحدة. ويمكنك التعبير عن التسارع بوحدات أخرى؛ على سبيل المثال: قد يدّعي إعلان ما أنّ سيارةً تتسارع من (0) إلى $(60\,km\,h^{-1})$ في $(10\,s)$، سيكون تسارعها عندئذٍ $(6\,km\,h^{-1}\,s^{-1})$ (6 كيلومتر في الساعة في الثانية الواحدة)، إلّا أن دمج الساعات والثواني معًا ليست فكرة جيدة، وبالتالي فإن التسارع يُعطى دائمًا بالوحدة القياسية في النظام الدولي للوحدات (SI) أي بوحدة $m\,s^{-2}$.

مثال

١. يتباطأ قطار من $(60\,m\,s^{-1})$ إلى $(20\,m\,s^{-1})$ خلال $(50\,s)$. احسب مقدار تباطؤ القطار.

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

السرعة الابتدائية: $u = 60\,m\,s^{-1}$

السرعة النهائية: $v = 20\,m\,s^{-1}$

الزمن: $t = 50\,s$

تباطؤ القطار: $a = ?$

الخطوة ٢: انتبه! ستكون السرعة النهائية للقطار أقلّ من سرعته الابتدائية، ولضمان وصولك إلى الإجابة الصحيحة استخدم المعادلة الآتية لحساب (a):

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

$$= \frac{20-60}{50} = \frac{-40}{50}$$

$$a = -0.80\,m\,s^{-2}$$

تدلّ الإشارة السالبة (تسارع سالب) على أن سرعة القطار تتناقص أي أنه يتباطأ، ومقدار التباطؤ يساوي $(0.80\,m\,s^{-2})$.

أسئلة

١) تتسارع سيارة ابتداءً من السكون، فتصل سرعتها المتجهة إلى $(18\,m\,s^{-1})$ بعد مضي $(6.0\,s)$. احسب تسارعها.

٢) يضغط محمود برفق على فرامل سيارته، فتتباطأ سرعتها من $(23\,m\,s^{-1})$ إلى $(11\,m\,s^{-1})$ خلال $(20\,s)$. احسب تباطؤ السيارة. (لاحظ أن السيارة تتباطأ، لذلك يكون تسارعها سالبًا).

٣) أُسقط حجر من أعلى جرف صخري، فتسارع بمقدار $(9.81\,m\,s^{-2})$، فما مقدار سرعته:

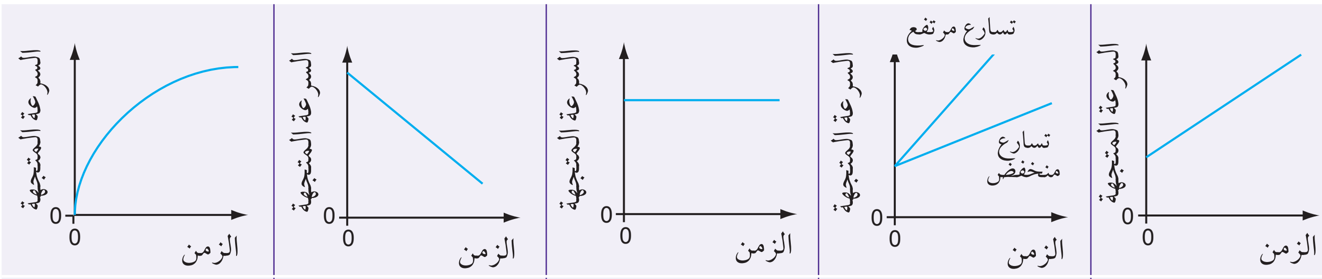
أ. بعد $(1.0\,s)$؟

ب. بعد $(3.0\,s)$؟

٣-٣ استنتاج التسارع

يوضح مَيل منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة–الزمن) ما إذا كانت السرعة المتجهة لجسم ما تتغيّر بمعدل مرتفع أو منخفض، أو بدون تغيّر على الإطلاق (الشكل ٣-٢)، ويمكننا أن نستنتج مقدار التسارع من ميل منحنى التمثيل البياني كالآتي:

التسارع = ميل منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة–الزمن)



يبيّن الخطّ المستقيم والميل الموجب أن التسارع ثابت وموجب.

كلما ازداد الميل، ازداد التسارع.

عندما تكون السرعة ثابتة، فإن التسارع يكون صفرًا ($a = 0$).

تتناقص سرعة الجسم ويبيّن الميل السالب تباطؤًا (a سالب).

تغيّر الميل يعني أن التسارع يتغير.

الشكل ٣-٢ ميل منحنيات التمثيل البياني (السرعة المتجهة–الزمن) يمثل التسارع.

يبيّن منحنى التمثيل البياني (الشكل ٣-٣) كيف تتغيّر السرعة المتجهة لدراجة أثناء بدء السباق، حيث يمكننا إيجاد تسارع الدراجة خلال الجزء الأول من التمثيل البياني (عندما يكون الخطّ مستقيمًا) باستخدام المثلّث المرسوم باللون الأحمر كما هو مبيّن.

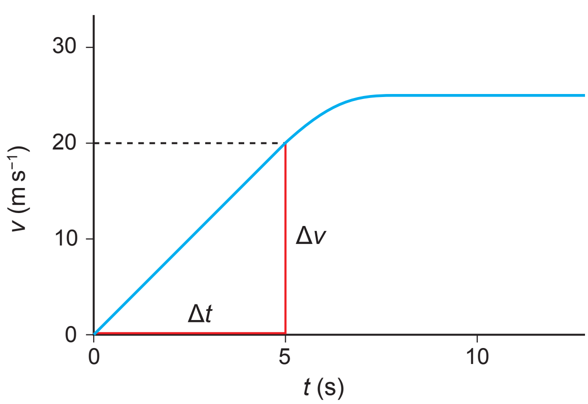
يُعطى التغيّر في السرعة المتجهة (Δv) من خلال الضلع الرأسي للمثلّث؛ ويُعطى الزمن المستغرق (Δt) من خلال الضلع الأفقي.

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

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$= \frac{20 - 0}{5 - 0}$$

$$a = 4.0 \text{ m s}^{-2}$$



الشكل ٣-٣ استنتاج التسارع من التمثيل البياني (السرعة المتجهة–الزمن).

٣-٤ استنتاج الإزاحة

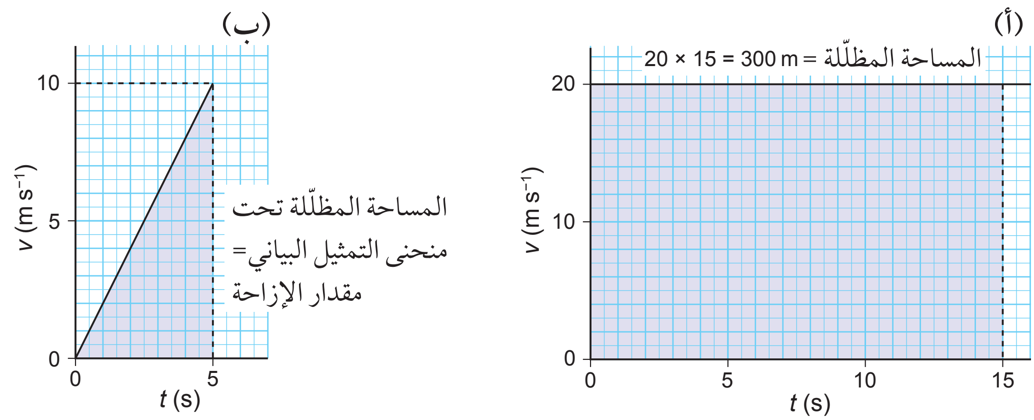
يمكننا أيضًا إيجاد مقدار إزاحة جسم متحرّك من منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة–الزمن)، وهذا يُعطى من المساحة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني كالآتي:

> مقدار الإزاحة = المساحة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة–الزمن)

لاحظ أنه إذا بدأت المساحة ابتداءً من الزمن ($t = 0$)، فستكون المساحة مساوية لإزاحة الجسم المتحرك؛ أما إذا بدأت المساحة بعد الزمن ($t = 0$)، فستكون المساحة مساوية للتغير في إزاحة الجسم المتحرك.

من السهل معرفة كيف يكون ذلك بالنسبة إلى جسم ما يتحرّك بسرعة متجهة ثابتة، حيث مقدار الإزاحة ببساطة يساوي السرعة المتجهة × الزمن، وتمثّل مساحة المستطيل المظلّل كما في الشكل ٣-٤ (أ).

وكذلك الحال بالنسبة إلى سرعة متغيّرة، فإن مساحة المنطقة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني تُعطي مقدار الإزاحة أيضًا كما في الشكل ٣-٤ (ب).



الشكل ٣-٤ المساحة المظلّلة تحت منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن) تساوي مقدار إزاحة الجسم.

إذًا في الحالة التي تكون المنطقة المظلّلة تحت منحنى التمثيل البياني مثلّثًا يكون لدينا:

$$\text{مقدار الإزاحة} = \frac{1}{2} \times \text{القاعدة} \times \text{الارتفاع}$$

$$s = \frac{1}{2} \times 5.0 \times 10$$

$$s = 25\ \text{m}$$

من الضروري أن تميّز بين التمثيل البياني (الإزاحة-الزمن) والتمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن). يمكن التحقق من ذلك من خلال الكمّية الموضّحة على المحور الرأسي.

عند التعامل مع التمثيلات البيانية الأكثر تعقيدًا قد تضطر إلى استخدام طرائق أخرى مثل عدّ المربّعات لاستنتاج المساحة، ولكن هذه المساحة تبقى مساوية لمقدار الإزاحة.

مهمّ

انتبه عند عدّ المربّعات، حيث يكون من السهل عدّها عندما تكون أطوال أضلاعها وحدة قياسية واحدة. لذا تَحقّق من المحاور فقد تُمثّل أضلاع المربعات بوحدتَين قياسيتَين، أو 5 وحدات قياسية، أو بأيّ عدد من الوحدات القياسية الأخرى.

أسئلة

٤ يقود محمد شاحنته بأقصى سرعة مسموح بها على طريق سريع، وبعد فترة من الزمن لفت انتباهه من بعيد وميض ضوء ينذر بخطر، فأبطأ سرعته تدريجيًا بتباطؤ منتظم حيث أدرك أن حادثًا قد وقع، الأمر الذي أجبره على التوقّف مع تباطؤ منتظم أكبر من التباطؤ السابق. ارسم منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن) لحركة هذه الشاحنة.

٥ يبيّن الجدول ٣-١ كيفية تغيّر السرعة المتجهة لسائق درّاجة نارية أثناء تجربة السرعة على طول طريق مستقيم.

السرعة المتجهة $(m\ s^{-1})$	0	15	30	30	20	10	0
الزمن (s)	0	5	10	15	20	25	30

الجدول ٣-١ بيانات السرعة المتجهة لسائق درّاجة نارية.

أ. ارسم منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن) لسائق الدرّاجة.

ب. استنتج من الجدول تسارع سائق الدرّاجة النارية خلال أوّل (10 s).

ج. تحقّق من إجابتك بإيجاد ميل خطّ التمثيل البياني خلال أول (10 s).

د. احسب تسارع سائق الدرّاجة النارية خلال آخر (15 s).

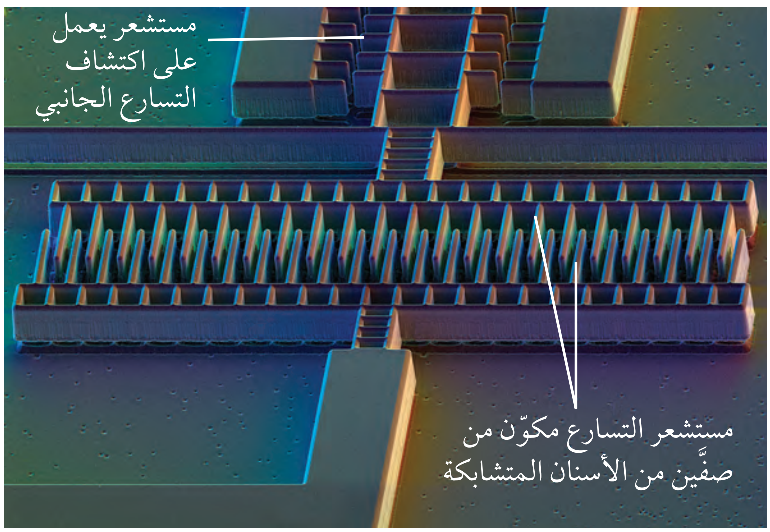
هـ. استخدم التمثيل البياني لإيجاد مقدار الإزاحة الكلّية المقطوعة خلال تجربة السرعة.

٣-٥ تطبيقات عملية للتسارع

يتعرّض الركّاب إلى تباطؤ مفاجئ قد يتسبّب لهم بإصابات خطرة في حال وقوع حادث سيارة، ولكن يمكن تجنّب هذه الإصابات إذا انتفخت الوسائد الهوائية في غضون جزء من الثانية، وتبيّن الصورة ٣-٢ مقياس تسارع صغير جدًا (ميكروي micro scale) موجود داخل نظام السيارة، والذي يكشف التسارع والتباطؤ الكبيرَين.

يتكوّن مستشعر التسارع من صفَّين من الأسنان المتشابكة، وعند وقوع الحادث، فإن هذه الأسنان تتحرّك لتتداخل فيما بينها، الأمر الذي يولّد فرق جهد كهربائي يؤدّي إلى انتفاخ الوسادة الهوائية.

في الجزء العلوي من الصورة ٣-٢، يمكنك رؤية مستشعر ثانٍ يعمل على اكتشاف التسارع الجانبي، وهذا المستشعر مهمّ في حال حصول اصطدام جانبي.



الصورة ٣-٢ يُستخدم مستشعر تسارع ميكانيكي ميكروي للكشف عن التسارع والتباطؤ المفاجئ أثناء تحرّك السيارة على طول الطريق. حيث يمكن للأسنان الموجودة في منتصف المستشعر أن يتحرك بعضها باتجاه بعضها الآخر، فينتج عن ذلك تغيّرًا في الدائرة الكهربائية. تُظهر صورة المجهر الإلكتروني مستشعرًا مكبّرًا نحو 1000 مرّة.

يمكن استخدام هذه المستشعرات أيضًا في الكشف عن حالة السيّارة عندما تنحرف عن مسارها أو تنزلق عن الطريق؛ وربما يحصل ذلك على الطرق الجليدية، حيث يُنشّط مستشعر مانع الانزلاق في السيارات الحديثة أنظمة التحكّم بالمكابح، وهو مكوّن من عدة حسّاسات للسرعة مُثبّتة بشكل منفصل عند كل إطار من إطارات السيارة، ومتّصلة جميعها بوحدة تحكّم تتلقى معلومات حول سرعة كل إطار لتعمل على تنشيط نظام التحكّم في المكابح إذا تم رصد إشارات باختلاف سرعة الإطارات.

٣-٦ تحديد السرعة المتّجهة والتسارع في المختبر

توضح المهارة العملية ٣-١ كيف يمكن توسيع التقنيات التي استخدمت في الوحدة الثانية للحصول على نتائج أفضل في قياس التسارع حيث تم قياس سرعة عربة متحرّكة في المختبر باستخدام مسطرة وساعة إيقاف، ومن ثم باستخدام تقنيات أكثر دقة كالبوابات الضوئية والنابض الزمني ومجسّ الحركة.

مهارة عملية ٣-١: قياسات مخبرية للتسارع

القياس باستخدام البوّابات الضوئية

يسجّل الحاسوب زمن عبور الجزء الأول من بطاقة القطع عبر الحزمة الضوئية من البوابة الضوئية (الشكل ٣-٥)، وبمعرفة طول هذا الجزء من بطاقة القطع، يمكننا الحصول على السرعة المتجهة الابتدائية للعربة (u)، وبتكرار هذه الطريقة للجزء الثاني من بطاقة القطع يمكن الحصول على السرعة المتجهة النهائية للعربة (v). يسجل الحاسوب أيضًا الفاصل الزمني ($t_3 - t_1$) بين هذَين القياسَين للسرعة المتجهة.

الآن يمكن حساب التسارع (a) كما هو مبيّن:

$$u = \frac{l_1}{t_2 - t_1}$$

(l_1 طول الجزء الأول من بطاقة القطع)، وكذلك:

$$v = \frac{l_2}{t_4 - t_3}$$

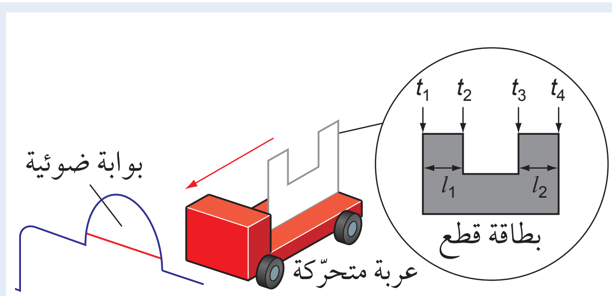
(l_2 طول الجزء الثاني من بطاقة القطع)، وعليه فإن:

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

$$a = \frac{v - u}{t_3 - t_1}$$

(لاحظ أن هذا الحساب يعطي القيمة التقريبية للتسارع (a)، وهذا لأن كلًا من (u) و (v) تمثّلان سرعتَين متوسّطتَين خلال فترة زمنية معيّنة، وليس السرعة اللحظية عندما تقطع بطاقة القطع لأول مرة الحزمة الضوئية، وللحصول على إجابة أكثر دقة، نحتاج إلى معرفة السرعة اللحظية عند الزمنَين t_1 و t_3).

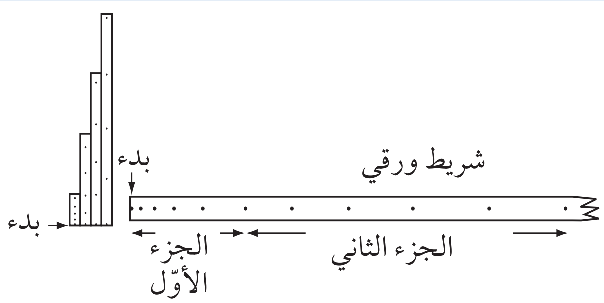
تُستخدم في بعض الأحيان بوّابتان ضوئيّتان مع بطاقة قطع واحدة طولها (l)، ويبقى بإمكان الحاسوب تسجيل الأزمنة وحساب التس ارع بالطريقة نفسها باستخدام ($l_1 = l_2 = l$).



الشكل ٣-٥ تحديد التسارع باستخدام بوابة ضوئية واحدة.

القياس باستخدام شريط النابض الزمني

إعداد التجربة هو نفسه كما في حال قياس السرعة المتّجهة، والآن علينا التفكير في كيفية تفسير النقاط على الشريط الذي تنتجه العربة المتسارعة (الشكل ٣-٦).



الشكل ٣-٦ شريط النابض الزمني لقياس تسارع عربة.

الشريط مقسّم إلى أجزاء، كلّ جزء يتكوّن من 6 نقاط (أي من 5 فترات زمنية) كما كان من قبل. تذكّر أن الفاصل الزمني بين النقاط المتجاورة هو (0.02 s)، وكلّ جزء من الشريط يمثّل مدّة زمنية مقدارها (5 x 0.02 s = 0.10 s).

يمكنك تصوّر منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة–الزمن) عبر وضع أجزاء الشريط جنبًا إلى جنب بعد تقطيعه إلى أجزاء.

يعطي طول كل جزء من الشريط إزاحة العربة في (0.10 s)، والتي يمكن الحصول منها على السرعة المتّجهة المتوسّطة خلال هذه المدّة من الزمن، وبالتالي يجب تكرار ذلك لكلّ جزء من الشريط، ومنه يمكن رسم منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة–الزمن)، حيث ميل منحنى التمثيل البياني يساوي التسارع. يبيّن الجدول ٣-٢ والشكل ٣-٧ بعض النتائج النموذجية، ويُحسَب التسارع هكذا:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

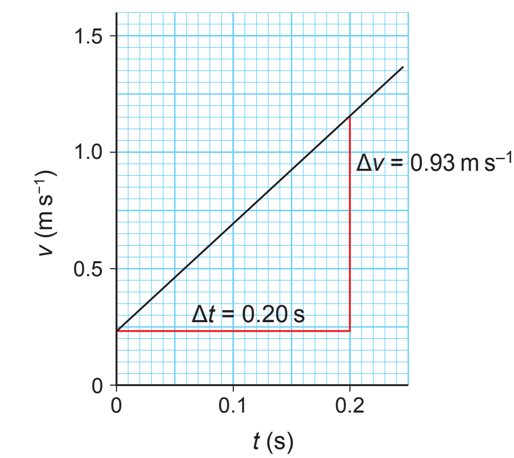
$$= \frac{0.93}{0.20}$$

$$a \approx 4.7\ \mathrm{m\ s^{-2}}$$

جزء الشريط	الزمن عند البداية (s)	الفترة الزمنية (s)	طول جزء الشريط (cm)	السرعة المتّجهة ($\mathrm{m\ s^{-1}}$)
1	0.0	0.10	2.3	0.23
2	0.10	0.10	7.0	0.70
3	0.20	0.10	11.6	1.16

الجدول ٣-٢ بيانات الشكل ٣-٧.

تابع



الشكل ٣-٧ استنتاج التسارع من قياسات شريط النابض الزمني.

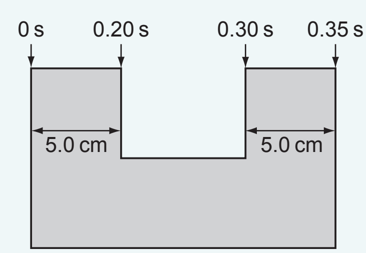
القياس باستخدام مجسّ الحركة

يمكن لبرنامج الحاسوب أن يتعامل مع البيانات التي يزوده بها مجسّ الحركة، كأن يحسب تسارع عربة؛ لكن دقّته ضعيفة نسبيًا، لأنه يستنتج السرعة المتجهة من قياسات الموقع، ثم يحسب التسارع من قيم السرعة المتجهة.

أسئلة

٦ ارسم مقطعًا من شريط النابض الزمني لعربة تنتقل بسرعة متجهة ثابتة ثم تتباطأ.

٧ يبيّن الشكل ٣-٨ أبعاد بطاقة قطع مع الأزمنة المسجّلة أثناء مرورها من خلال بوابة ضوئية. استخدم هذه القياسات لحساب تسارع البطاقة (اتبع الخطوات الموضحة في المهارة العملية ٣-١).



الشكل ٣-٨ أبعاد بطاقة قطع.

٨ جزءان متجاوران سداسيّا النقاط (5 فترات زمنية) من شريط النابض يقيسان مسافة (10 cm) و (16 cm) على التوالي، والفاصل الزمني بين النقاط المتتالية هو (0.02 s). استنتج تسارع العربة التي أنتجت هذا الشريط.

٣-٧ معادلات الحركة الخطّية

عندما يرتفع صاروخ فضائي عن الأرض، فإن سرعته المتّجهة تزداد باطّراد، ولذلك نراه يتسارع باستمرار (الصورة ٣-٣). سيصل الصاروخ في النهاية إلى سرعة عدّة كيلومترات في الثانية، وبالتالي سيندفع رواد الفضاء الذين على متن الصاروخ إلى الخلف نحو مقاعدهم أثناء تسارعه.

الصورة ٣-٣ يتسارع الصاروخ بعد انطلاقه من منصّة الإطلاق على الأرض.

من المفترض أن يكون المهندسون الذين خطّطوا للمهمّة قادرين على حساب السرعة التي سينتقل بها الصاروخ، وعلى معرفة بالزمن الذي يستغرقه للوصول إلى كل موقع في رحلته، فهم يملكون حواسيب متطوّرة للقيام بذلك، مستخدمين صيغًا أكثر تفصيلًا من معادلات الحركة الخطّية الأربع وهي مجموعة من المعادلات يمكن من خلالها حساب الكمّيات المعنيّة بالحركة عندما يكون للجسم المتحرّك تسارع ثابت Constant acceleration.

مصطلحات علمية

التسارع الثابت Constant acceleration: هو التسارع عندما تتغير السرعة المتجهة بمقادير متساوية في أزمنة متساوية، ويسمى أيضًا التسارع المنتظم.

الكمّيات المعنيّة هي:

مقدار الإزاحة (s)	التسارع (a)
السرعة المتجهة الابتدائية (u)	الزمن المُستغرَق (t)
السرعة المتجهة النهائية (v)	

تُعرف معادلات الحركة الخطّية الأربع أحيانًا باسم معادلات «سوفات» (suvat equations).

انتبه عند استخدام هذه المعادلات، فهي لا تُستخدم إلّا في حالتَين:

- حركة جسم في خطّ مستقيم.
- حركة جسم بتسارع ثابت.

معادلات الحركة الخطية الأربع:

المعادلة ١: $v = u + at$

المعادلة ٢: $s = \frac{(u + v)}{2} \times t$

المعادلة ٣: $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

المعادلة ٤: $v^2 = u^2 + 2as$

للتعرّف على كيفية استخدام هذه المعادلات، سنقوم بعرض بعض الأمثلة، وسوف نتّبع الخطوات نفسها في كل مثال:

الخطوة ١: نكتب الكميات التي نعرفها والكمية التي نريد إيجادها.

الخطوة ٢: نختار بعد ذلك المعادلة التي تربط هذه الكميات بعضها ببعض، ونعوّض القيَم فيها.

الخطوة ٣: أخيرًا، نحسب الكمّية غير المعروفة.

سنتعلّم من أين أتت هذه المعادلات في الموضوع التالي «اشتقاق معادلات الحركة الخطية».

أمثلة

٢. ينطلق الصاروخ الموضح في الصورة ٣-٣ من السكون بتسارع ($20\ m\ s^{-2}$). احسب سرعته المتّجهة بعد مرور ($50\ s$).

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

السرعة الابتدائية: $u = 0\ m\ s^{-1}$

التسارع: $a = 20\ m\ s^{-2}$

الزمن: $t = 50\ s$

السرعة النهائية: $v = ?$

الخطوة ٢: المعادلة المناسبة التي تربط بين (u، a و t و v) هي المعادلة ١:

$$v = u + at$$

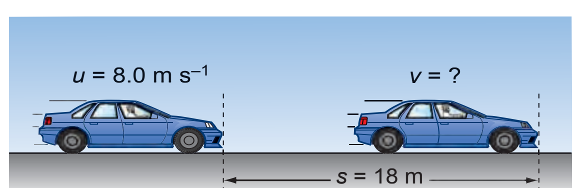
$$= 0 + (20 \times 50)$$

$$v = 1000\ m\ s^{-1}$$

لذلك فالصاروخ سيتحرك بسرعة متجهة مقدارها ($1000\ m\ s^{-1}$) بعد مرور ($50\ s$). وهذا يبدو منطقيًا، لأن سرعته المتجهة تزيد بمقدار ($20\ m\ s^{-1}$) كل ثانية لمدة ($50\ s$).

يمكنك استخدام المعادلة نفسها لحساب الزمن الذي سيستغرقه الصاروخ ليصل إلى سرعة ($2000\ m\ s^{-1}$)، أو التسارع الذي يجب أن يصل به إلى سرعة ($1000\ m\ s^{-1}$) خلال ($40\ s$) وهكذا.

٣. تسير السيارة المبيّنة في الشكل ٣-٩ على طول طريق مستقيم ابتداءً من سرعة ($8.0\ m\ s^{-1}$)، وبتسارع ($1.0\ m\ s^{-2}$) لمسافة ($18\ m$). ما السرعة التي ستسير بها السيارة بعد ذلك؟



الشكل ٣-٩ تتسارع هذه السيارة مسافة قصيرة أثناء حركتها.

يجب علينا في هذه الحالة استخدام معادلة مختلفة، لأننا نعرف تسارع السيارة أثناء اجتيازها المسافة وليس الزمن.

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

السرعة الابتدائية: $u = 8.0\ m\ s^{-1}$

التسارع: $a = 1.0\ m\ s^{-2}$

مقدار الإزاحة: $s = 18\ m$

السرعة النهائية: $v = ?$

الخطوة ٢: المعادلة المناسبة التي نحتاج إليها هي المعادلة ٤:

$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$= 8.0^2 + (2 \times 1.0 \times 18)$$

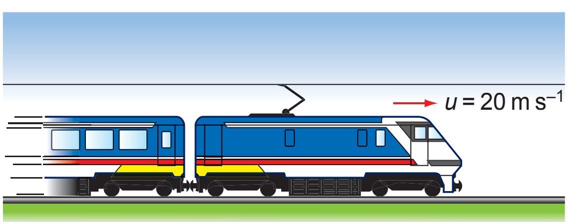
$$v^2 = 64 + 36 = 100\ m^2\ s^{-2}$$

بأخذ الجذر التربيعي، نحصل على:

$$v = 10\ m\ s^{-1}$$

لذلك، ستتحرّك السيارة بسرعة ثابتة ($10\ m\ s^{-1}$) عندما تتوقف عن التسارع.

٤. يسير قطار (الشكل ٣-١٠) بسرعة ابتدائية ($20\ m\ s^{-1}$)، ثم يتسارع بمقدار ($0.50\ m\ s^{-2}$) لمدة ($30\ s$). احسب المسافة التي سيقطعها القطار في هذا الزمن.



الشكل ٣-١٠ يتسارع هذا القطار لمدّة ($30\ s$).

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

السرعة الابتدائية: $u = 20\ m\ s^{-1}$

التسارع: $a = 0.50\ m\ s^{-2}$

الزمن: $t = 30\ s$

المسافة: $s = ?$

الخطوة ٢: المعادلة المناسبة التي نحتاج إليها هي المعادلة ٣:

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

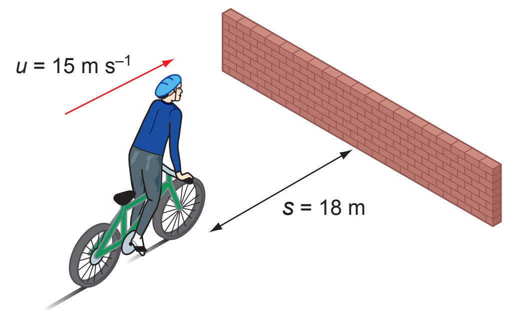
$$= (20 \times 30) + \frac{1}{2} \times 0.5 \times (30)^2$$

$$s = 600 + 225 = 825\ m$$

لذلك فإن القطار سيقطع مسافة ($825\ m$) خلال تسارعه.

تابع

٥. يتحرك سائق الدراجة في الشكل ٣-١١ بسرعة ($15\ m\ s^{-1}$)، ثم يضغط على المكابح حتى لا يصطدم بجدار. احسب مقدار تباطئه.



الشكل ٣-١١ يقوم سائق الدراجة بالضغط على المكابح لتفادي الاصطدام بالجدار.

يوضح هذا المثال أنه من الضروري في بعض الأحيان إعادة ترتيب المعادلة، كي نحدّد الكمّية المجهولة، ومن الأسهل إجراء ذلك قبل تعويض القيم.

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

السرعة الابتدائية: $u = 15\ m\ s^{-1}$

السرعة النهائية: $v = 0\ m\ s^{-1}$

المسافة: $s = 18\ m$

التسارع: $a = ?$

الخطوة ٢: المعادلة المناسبة التي نحتاج إليها هي المعادلة ٤:

$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2s}$$

$$= \frac{0^2 - 15^2}{2 \times 18}$$

$$a = \frac{-225}{36}$$

$$a = -6.25\ m\ s^{-2} \approx -6.3\ m\ s^{-2}$$

لذلك يجب على سائق الدراجة أن يضغط على المكابح بقوّة لتحقيق تباطؤ مقداره ($6.3\ m\ s^{-2}$)، وتُبيِّن الإشارة السالبة أن تسارع الدرّاجة سالب؛ بمعنى آخر أن الدراجة تتباطأ.

أسئلة

٩ بدأت سيارة حركتها من السكون بتسارع ثابت ($2.0\ m\ s^{-2}$):

أ. احسب سرعة السيارة بعد مرور ($10\ s$).

ب. احسب المسافة التي ستقطعها السيارة خلال ($10\ s$).

ج. احسب الزمن الذي تستغرقه السيارة للوصول إلى سرعة ($24\ m\ s^{-1}$).

١٠ يتسارع قطار باطّراد من ($4.0\ m\ s^{-1}$) إلى ($20\ m\ s^{-1}$) خلال ($100\ s$):

أ. احسب تسارع القطار.

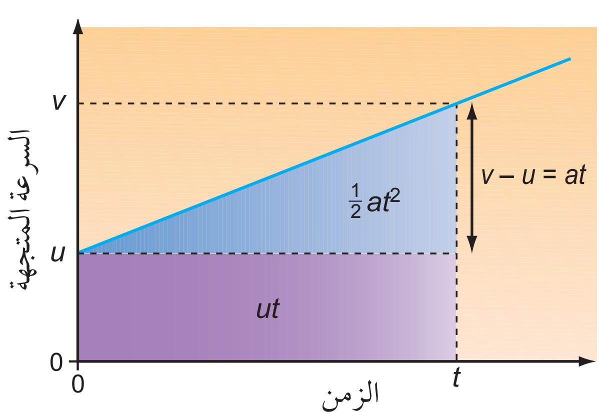
ب. احسب السرعة المتوسطة للقطار من سرعته الابتدائية والنهائية.

ج. احسب المسافة التي سيقطعها القطار خلال ($100\ s$).

٣-٨ اشتقاق معادلات الحركة الخطّية

لقد تعلّمنا كيفية استخدام معادلات الحركة الخطية في الحسابات؛ فهذه المعادلات اشتقّت من تعريفات السرعة المتجهة والتسارع.

يمكننا إيجاد المعادلتَين الأوليّتَين من التمثيل البياني (السرعة المتجهة–الزمن) المبيّن في الشكل ٣-١٢، ويوضح التمثيل البياني حركة جسم ما تكون سرعته المتجهة الابتدائية (u)، وبعد زمن (t)، تصبح سرعته المتجهة النهائية (v).



الشكل ٣-١٢ يبيّن هذا التمثيل البياني تغيّر السرعة المتجهة لجسم ما يتحرّك بتسارع ثابت مع مرور الزمن.

المعادلة ١

منحنى التمثيل البياني في الشكل ٣-١٢ هو خطّ مستقيم؛ لذلك، فإن تسارع الجسم (a) ثابت، وبالتالي فإنّ ميل منحنى التمثيل البياني يساوي التسارع.

المعادلة الآتية تمثّل ميل منحنى التمثيل البياني:

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

وبإعادة ترتيب هذه المعادلة نحصل على المعادلة الأولى للحركة الخطّية:

$$v = u + at \qquad \text{(المعادلة ١)}$$

المعادلة ٢

يُعطى مقدار الإزاحة من خلال المساحة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة-الزمن)، ويبيّن الشكل ٣-١٣ أن السرعة المتّجهة المتوسطة للجسم تقع في منتصف المسافة بين (u) و (v)؛ لذلك، فإن السرعة المتّجهة المتوسطة للجسم تحسب من متوسط سرعتَيه الابتدائية والنهائية، وتُعطى من خلال العلاقة:

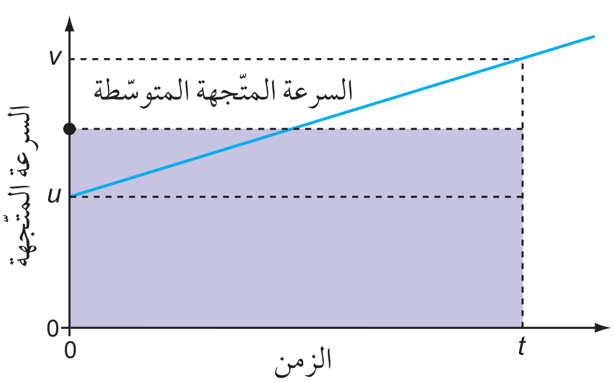
$$\text{السرعة المتّجهة المتوسطة} = \frac{(u + v)}{2}$$

مقدار إزاحة الجسم هي المساحة المظلّلة في الشكل ٣-١٣، وهذه المساحة عبارة عن مستطيل، فيكون لدينا:

مقدار الإزاحة = السرعة المتّجهة المتوسطة × الزمن المستغرق

وبالتالي:

$$s = \frac{(u + v)}{2} \times t \qquad \text{(المعادلة ٢)}$$



الشكل ٣-١٣ السرعة المتّجهة المتوسطة في المنتصف بين (u) و (v).

المعادلة ٣

يمكننا اشتقاق المعادلة ٣ من المعادلتَين ١ و ٢:

$$v = u + at \qquad \text{(المعادلة ١)}$$

$$s = \frac{(u + v)}{2} \times t \qquad \text{(المعادلة ٢)}$$

تعويض قيمة (v) من المعادلة ١ في المعادلة ٢ يؤدّي إلى:

$$s = \frac{(u + u + at)}{2} \times t$$
$$= \frac{2ut}{2} + \frac{at^2}{2}$$

وبالتالي فإن الإزاحة:

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2 \qquad \text{(المعادلة ٣)}$$

عند النظر إلى الشكل ٣-١٢ يمكنك أن ترى أن الكمّيتَين (ut) و $(\frac{1}{2}at^2)$ على يمين المعادلة ٣ تتوافقان مع مساحتَي المستطيل والمثلّث اللذَين يشكّلان المساحة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني، وهذه هي مساحة المستطيل نفسها في الشكل ٣-١٣.

المعادلة ٤

يمكننا اشتقاق المعادلة ٤ أيضًا من المعادلتَين ١ و ٢:

$$v = u + at \quad \text{(المعادلة ١)}$$

$$s = \frac{(u+v)}{2} \times t \quad \text{(المعادلة ٢)}$$

تعويض قيمة (t) من المعادلة ١ في المعادلة ٢ يؤدّي إلى:

$$s = \frac{(u+v)}{2} \times \frac{(v-u)}{a}$$

وبإعادة ترتيب المعادلة نحصل على:

$$2as = (u+v)(v-u)$$

$$= v^2 - u^2$$

وبإعادة ترتيب المعادلة نحصل على:

$$v^2 = u^2 + 2as \quad \text{(المعادلة ٤)}$$

التحقيق في حوادث المرور على الطرق

تضطر الشرطة في كثير من الأحيان إلى البحث والتحقيق في حوادث المرور على الطرق، فهم يستفيدون من العديد من جوانب الفيزياء في هذا المجال -بما في ذلك معادلات الحركة الخطية- سيساعدك السؤالان الآتيان على تطبيق ما تعلّمته على المواقف التي استخدم فيها محقّقو الشرطة أدلّة من علامات الانزلاق على الطريق.

أسئلة

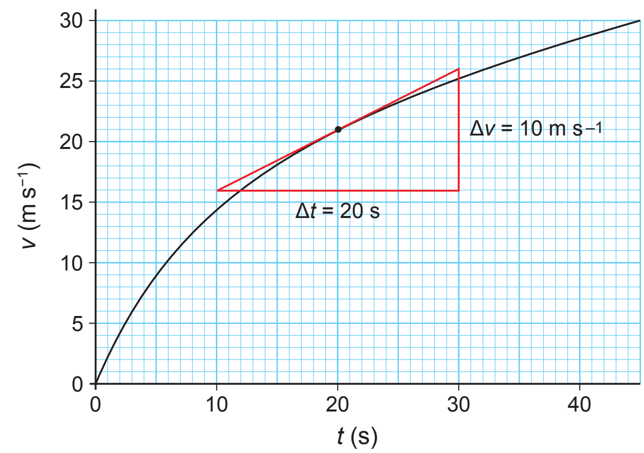
١١ تُظهر تجارب على سطح طريق جديد أنه عندما تنزلق سيارة ثمّ تتوقف، فإن تسارعها يكون $(-7.0\ \text{m s}^{-2})$. حدّد مقدار مسافة الانزلاق حتى التوقف لسيارة تسير بالحد الأقصى للسرعة وهو $(30\ \text{m s}^{-1})$ (تقريبًا $(110\ \text{km h}^{-1})$ أو (70 mph) 70 ميل لكل ساعة).

١٢ وجدت الشرطة في مكان وقوع حادث على طريق ريفي علامات ناجمة عن إطارات سيارة منزلقة تمتدّ مسافة (50 m)، وبيّنت الاختبارات على سطح الطريق أن السيارة المنزلقة تباطأت بمقدار $(6.5\ \text{m s}^{-2})$. هل تجاوزت السيارة المنزلقة الحد الأقصى للسرعة وهو $(25\ \text{m s}^{-1})$ -ما يعادل $(90\ \text{km h}^{-1})$- على ذلك الطريق؟

٣-٩ التسارع المنتظم وغير المنتظم

من المهمّ أن نلاحظ أن معادلات الحركة الخطّية تنطبق فقط على حركة جسم بتسارع ثابت وعلى خط مستقيم. فإذا كان التسارع (a) يتغيّر، فلن نعرف قيمة (a) التي يجب وضعها في المعادلات، ويشار غالبًا إلى أن التسارع الثابت هو تسارع منتظم Uniform acceleration.

يوضح التمثيل البياني (السرعة المتّجهة-الزمن) في الشكل ٣-١٤ **تسارع غير منتظم Non-uniform acceleration**؛ حيث إن المنحنى ليس خطًا مستقيمًا، ولذلك فإن ميله يتغيّر (في هذه الحالة يتناقص).



الشكل ٣-١٤ لا يمكن تفسير منحنى التمثيل البياني المقوّس (السرعة المتّجهة-الزمن) باستخدام معادلات الحركة الخطية.

يُعطى التسارع في أية لحظة عبر ميل منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة-الزمن) عند تلك اللحظة، ويبيّن المثلّث في الشكل ٣-١٤ كيفية إيجاد التسارع عند الزمن (t = 20 s):

- ضع نقطة على منحنى التمثيل البياني مقابلة للزمن المطلوب عنده إيجاد التسارع.
- ارسم **مماسًا Tangent** للمنحنى عند تلك النقطة.
- أكمل -مع جزء من المماسّ- مثلثًا كبيرًا قائم الزاوية واستخدمه في إيجاد الميل.

يمكنك إيجاد التغيّر في إزاحة الجسم المتسارع عبر تحديد المساحة الواقعة تحت خطّ منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة-الزمن).

لإيجاد مقدار إزاحة الجسم في الشكل ٣-١٤ بين (t = 0 s) و (t = 20 s)؛ الطريقة الأكثر وضوحًا -على الرغم من طولها- هي حساب عدد المربّعات الصغيرة الموجودة فقط تحت منحنى التمثيل البياني.

في هذه الحال يوجد ما يقارب 250 مربّعًا صغيرًا حتى الزمن (t = 20 s)، إن عدّ المربّعات أمر شاقّ، لكن بإمكانك توفير المزيد من الوقت برسم خطّ من نقطة الأصل إلى نقطة المنحنى التي تقابل (20 s)، فيصبح من السهل إيجاد مساحة المثلث (200 مربع صغير) وبعد ذلك ما عليك سوى عدّ المربّعات الصغيرة بين الخطّ الذي رسمته والمنحنى على التمثيل البياني (ما يقارب 50 مربعًا صغيرًا).

في هذه الحال يكون أحد ضلعَي كل مربّع صغير يعادل (1 m s^{-1}) على المحور الصادي (y)

مصطلحات علمية

التسارع غير المنتظم Non-uniform acceleration: يحدث عندما يكون التغير في السرعة المتجهة مختلفًا خلال فترات زمنية متساوية.

المماسّ Tangent: خطّ مستقيم يلامس منحنى التمثيل البياني في نقطة ما، من دون أن يتقاطع مع المنحنى.

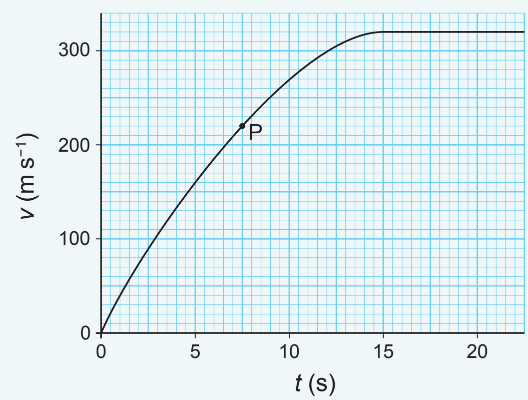
والضلع الآخر (1 s) على المحور السيني (x)، وعليه، فإن مساحة كل مربّع هي ($1 \times 1 = 1$ m)، أي أن مقدار الإزاحة هو (250 m)، ولكن في حالات أخرى انتبه لقيمة كل ضلع من أضلاع المربّع الذي اخترته بعناية.

أسئلة

١٣) يوضح منحنى التمثيل البياني في الشكل ٣-١٥ حركة جسم ما بتسارع متغيّر. ضع المسطرة بمحاذاة منحنى التمثيل البياني بحيث تكون مماسّية للمنحنى عند النقطة P.

أ. ما قيمة كل من الزمن والسرعة المتجهة عند تلك النقطة؟

ب. احسب مقدار تسارع الجسم عند تلك النقطة.



الشكل ٣-١٥ حركة جسم ما بتسارع متغيّر.

١٤) يوضح منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة-الزمن) (الشكل ٣-١٦) حركة سيارة على طول طريق مستقيم خلال مدّة زمنية مقدارها (30 s).

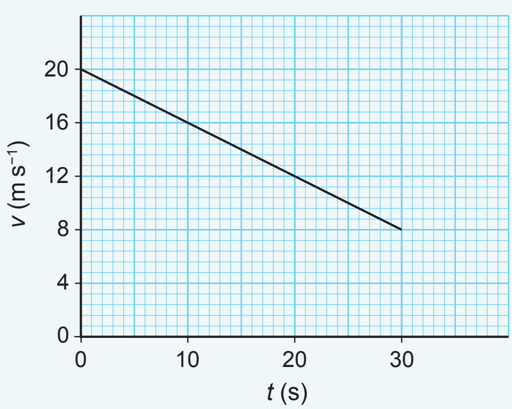
أ. صِف حركة السيارة.

ب. حدّد من التمثيل البياني كلًا من السرعة المتجهة الابتدائية للسيارة، وسرعتها المتجهة النهائية خلال المدّة (30 s).

ج. احسب تسارع السيارة.

د. جِد مقدار إزاحة السيارة بحساب المساحة تحت منحنى التمثيل البياني.

هـ. تحقّق من إجابتك عن الجزئية (د) بحساب مقدار إزاحة السيّارة باستخدام المعادلة: $s = ut + \frac{1}{2}at^2$.

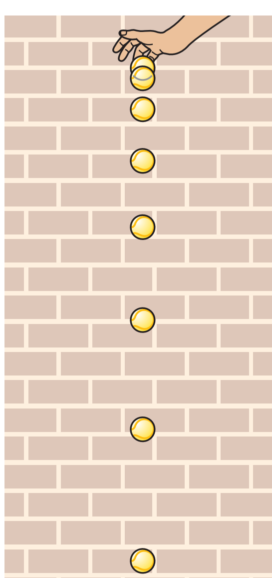


الشكل ٣-١٦ حركة سيّارة على طريق مستقيم.

٣-١٠ التسارع بسبب الجاذبية الأرضية

إذا رميت كرة أو حجرًا، فإنه يسقط نحو الأرض. يبيّن الشكل ٣-١٧ كرة تسقط خلال فترات زمنية متساوية استنادًا إلى صورة ستروبوسكوبية (أي باستخدام جهاز ومّاض)، ويمكنك أن ترى أن سرعة الكرة تزداد؛ وكلّما اقتربت من سطح الأرض فإن المسافة بين الصور المتتالية للكرة تزداد باطّراد؛ أي أن الكرة تتسارع.

الصورة الستروبوسكوبية مفيدة، إذ تبيّن أن الكرة تتسارع عند سقوطها، وتسقط الأشياء عادة بسرعة كبيرة بحيث يتعذّر على أعيننا ملاحظة التزايد في سرعتها، فمن السهل تصوّر أن الكرة تتحرّك بسرعة ثابتة بمجرّد أن نتركها تسقط نحو الأرض، ولكن الشكل ٣-١٧ يبيّن عكس ذلك.



الشكل ٣-١٧ مخطّط لصورة ستروبوسكوبية لكرة ساقطة يُظهر أن سرعة الكرة تزداد مع سقوطها.

إذا قمنا بقياس تسارع السقوط الحرّ لجسم يسقط نحو الأرض مع إهمال مقاومة الهواء، نجد أن قيمته تساوي ($9.81\ m\ s^{-2}$)، وهذا التسارع يُسمى تسارع **السقوط الحرّ Free fall**، ويرمز إليه بالرمز (g)، فإن تسارع السقوط الحرّ هو:

$$g = 9.81\ m\ s^{-2}$$

تختلف قيمة (g) باختلاف الارتفاع عن سطح الأرض لكن قيمتها تكون متقاربة بالقرب من سطح الأرض، لذلك هي قيمة ثابتة تساوي:

$$(g = 9.81\ m\ s^{-2})$$

إذا أسقطنا جسمًا ما، فإن سرعته المتجهة الابتدائية ($u = 0$). ما الإزاحة التي سيسقطها هذا الجسم خلال الزمن (t)؟

بالتعويض في المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$، ومع الأخذ في الاعتبار الاتجاه الموجب نحو الأسفل، ستكون الإزاحة (s):

$$s = (0 \times t) + (\frac{1}{2} \times 9.81 \times t^2)$$

$$s = \frac{1}{2} \times 9.81 \times t^2$$

$$s = 4.9 \times t^2$$

كذلك يمكننا تحديد قيمة (g) عن طريق إسقاط جسم ما من ارتفاع معيّن معلوم من خلال معرفة زمن سقوط الجسم.

مصطلحات علمية

السقوط الحرّ Free fall: عندما يتسارع جسم ما بسبب الجاذبية الأرضية في حال عدم وجود أيّة قوى أخرى مثل مقاومة الهواء.

مهمّ

تحديد الإشارات (السالبة والموجبة)

عند تحديد الإشارات (السالبة والموجبة) للكمّيات الفيزيائية يوجد خياران:

- **الخيار الأول:** هو افتراض أن الاتجاه إلى الأعلى هو الموجب والاتجاه إلى الأسفل هو السالب وفي هذه الحالة:
  - إذا كان الجسم صاعدًا تكون السرعة موجبة والتسارع سالبًا.
  - إذا كان الجسم ساقطًا تكون السرعة والتسارع كلاهما سالبَين.
- **الخيار الثاني:** هو افتراض أن الاتجاه إلى الأعلى هو السالب والاتجاه إلى الأسفل هو الموجب وفي هذه الحالة:
  - إذا كان الجسم صاعدًا تكون السرعة سالبة والتسارع موجبًا.
  - إذا كان الجسم ساقطًا تكون السرعة والتسارع كلاهما موجبَين.

أسئلة

(١٥) إذا أسقطت حجرًا من حافة جرف صخري بسرعة ابتدائية ($u = 0$)، فإنه سيسقط بتسارع ($g = 9.81\ m\ s^{-2}$). يمكنك حساب المسافة (s) التي سيقطعها الحجر في زمن معيّن (t) باستخدام معادلات الحركة الخطّية.

أ. أكمل الجدول ٣-٣، الذي يبيّن كيف تعتمد (s) على (t).

الزمن (s)	0	1.0	2.0	3.0	4.0
المسافة (m)	0	4.9			

الجدول ٣-٣ بيانات الزمن (t) والمسافة (s).

ب. ارسم منحنى التمثيل البياني (المسافة-الزمن).

ج. استخدم منحنى التمثيل البياني لإيجاد مسافة السقوط التي قطعها الحجر خلال (2.5 s).

د. استخدم منحنى التمثيل البياني لمعرفة الزمن الذي سيستغرقه الحجر حتى يسقط مسافة (40 m) إلى قاع الجرف. تحقق من إجابتك باستخدام المعادلات.

(١٦) سقطت حبة رُطَب من نخلة عن ارتفاع (8.0 m) من سطح الأرض:

أ. احسب الزمن المستغرق لوصول حبة الرطب إلى الأرض.

ب. احسب سرعة اصطدام حبة الرطب بالأرض.

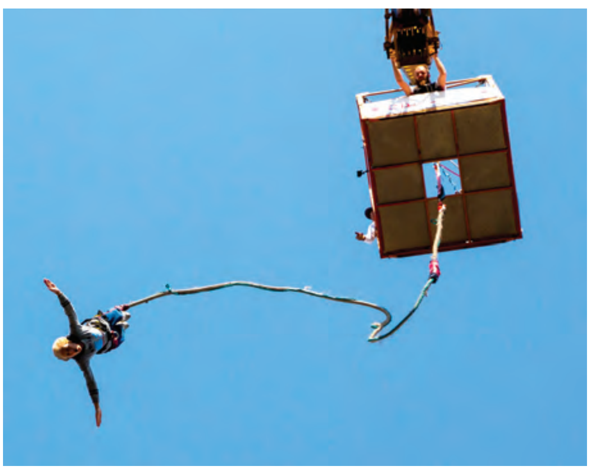
٣-١١ تحديد تسارع السقوط الحرّ (g)

إحدى الطرائق لقياس تسارع السقوط الحر (g)، هي القفز بحبل مرن (الصورة ٣-٤)، ويكون القافز بحاجة إلى حمل ساعة إيقاف لقياس الزمن (t) بين لحظة القفز من المنصّة واللحظة التي يبدأ فيها الحبل المرن في إبطاء سقوطه، وبمعرفة طول الحبل غير المشدود (L) يمكن حساب (g).

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$L = (0 \times t) + (\frac{1}{2} \times g \times t^2)$$

$$g = \frac{2L}{t^2}$$



الصورة ٣-٤ يسقط القافز بالحبل المرن بتسارع (g).

مهارة عملية ٣-٢: قياس تسارع الجاذبية الأرضية (g) في المختبر

قياس (g) باستخدام مؤقّت إلكتروني

في هذه الطريقة، تُحمل كرة فولاذية عبر مغناطيس كهربائي (الشكل ٣-١٨). عندما يُفصل التيار الكهربائي يتوقّف عمل المغناطيس الكهربائي، حينها تبدأ الكرة بالسقوط ويبدأ المؤقّت الإلكتروني بالعمل في الوقت نفسه، وخلال سقوط الكرة من ارتفاع (h) تصطدم بباب قلّاب صغير، وهذا الباب يقطع الدائرة الكهربائية، فيتوقّف المؤقّت عن العمل.

إليك كيفية استخدام إحدى معادلات الحركة الخطّية لإيجاد (g):

مقدار الإزاحة: $s = h$

الزمن المستغرق: t

السرعة المتجهة الابتدائية: $u = 0$

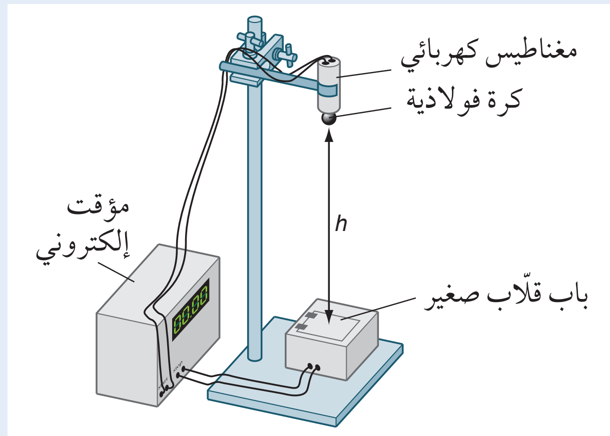
التسارع: $a = g$

التعويض في المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ يُعطي:

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

وبمعرفة قيمتَي (h) و (t) يمكننا حساب قيمة (g).

مهارة عملية ٣-٢: قياس تسارع الجاذبية الأرضية (g) في المختبر



الشكل ٣-١٨ يسجّل المؤقّت الإلكتروني زمن سقوط الكرة من الارتفاع (h).

توجد طريقة تعطي نتائج أفضل، وهي أن تأخذ قياسات مختلفة لـ (t) لعدة قيم مختلفة من (h)، وذلك بتغيير ارتفاع الكرة فوق الباب القلّاب بشكل منتظم، وقياس زمن سقوط الكرة المقابل لكل ارتفاع عدّة مرّات لحساب متوسط زمن السقوط لكل ارتفاع. يبيّن الجدول ٣-٤ والشكل ٣-١٩ بعض النتائج النموذجية. يمكننا استنتاج (g) من ميل منحنى التمثيل البياني (h) بدلالة (t^2).

معادلة الخطّ المستقيم المارّ بنقطة الأصل هي:

$$y = mx$$

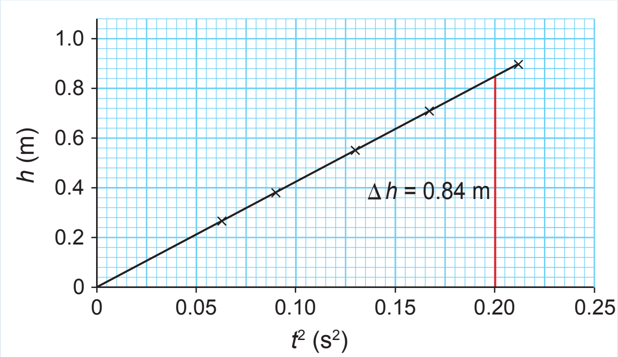
في ما يخصّ تجربتنا، وجدنا:

$$\underset{y}{h} = \underset{m}{\left(\tfrac{1}{2}g\right)}\ \underset{x}{t^2}$$

h (m)	t (s)	t^2 (s^2)
0.27	0.25	0.063
0.39	0.30	0.090
0.56	0.36	0.130
0.70	0.41	0.168
0.90	0.46	0.212

الجدول ٣-٤ هذه الأرقام تمثل متوسط القيم المقاسة.

ميل الخط المستقيم في التمثيل البياني (h) بدلالة (t^2) يساوي $\frac{g}{2}$.



الشكل ٣-١٩ يمكن أن يُحدَّد تسارع السقوط الحرّ من ميل منحنى التمثيل البياني.

لذلك، فالمَيل = $\frac{g}{2}$:

$$\frac{g}{2} = \frac{0.84}{0.20}$$

$$\frac{g}{2} = 4.2$$

$$g = 4.2 \times 2 = 8.4\ \text{m s}^{-2}$$

مصادر عدم اليقين

قد يحتفظ المغناطيس الكهربائي ببعض المغناطيسية عندما يتوقّف تشغيله، وهذا قد يؤدّي إلى تأخير سقوط الكرة. وبالتالي، فإن الزمن (t) المسجّل عبر المؤقّت قد يكون أطول ممّا لو سقطت الكرة بحرّية تامة، ويترتّب على ذلك من المعادلة $h = \frac{1}{2}gt^2$ أنه إذا كانت (t) أكبر من اللازم فإن القيمة التجريبية لـ (g) ستكون أصغر من قيمتها الحقيقية.

هذا مثال على خطأ نظامي، فكل النتائج ستكون مشوّهة بشكل متكرّر بحيث تكون أكبر (أو أصغر) من القيمة الحقيقية بسبب تصميم هذه التجربة.

قياس الارتفاع (h) أمر يحتمل الخطأ أيضًا؛ فربما تخطئ في إيجاد قيمة (h) بحدود (±1 mm) في أحسن الأحوال، وبالتالي ثمّة خطأ عشوائي في قيمة (h)، سينتج منه تشتّت طفيف للنقاط على التمثيل البياني، ودرجة من عدم اليقين في القيمة النهائية لـ (g).

إذا كان لديك قيمة واحدة (h) وقيمة مقابلة لها (t)، يمكنك استخدام قيمة عدم اليقين في كل من (h) و (t) لإيجاد قيمة عدم اليقين في (g).

النسبة المئوية لعدم اليقين في (g) تساوي مجموع النسبة

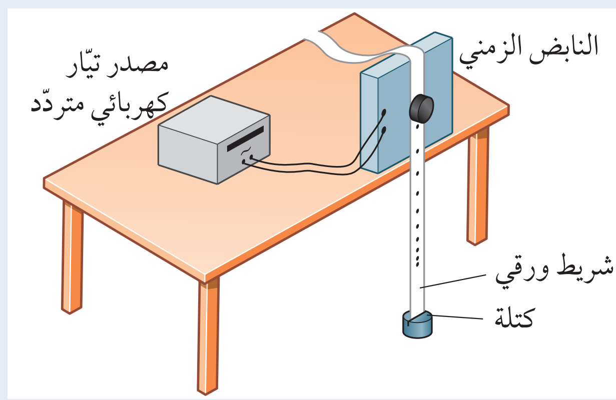
تابع

المئوية لعدم اليقين في (h) وضعف النسبة المئوية لعدم اليقين في (t).

لمزيد من المعلومات حول الأخطاء والجمع بين قيَم عدم اليقين انظر الوحدة الأولى.

قياس g باستخدام النابض الزمني

يبيّن الشكل ٣-٢٠ سقوط كتلة، وخلال سقوطها تسحب شريطًا عبر النابض الزمني، وبالتالي فإنّ التباعد بين النقاط على الشريط يزداد باطّراد، الأمر الذي يدل على أن الكتلة تتسارع. يمكنك تحليل الشريط كما تمّت مناقشته في المهارة العملية ٣-١ لإيجاد التسارع.



الشكل ٣-٢٠ تسحب الكتلة الساقطة الشريط عبر النابض الزمني.

هذه الطريقة ليست مقنعة جدًا لقياس (g)، إذ تنشأ مشكلة رئيسية هنا من الاحتكاك بين الشريط والنابض الزمني. بحيث يبطئ هذا الاحتكاك سقوط الكتلة، وبالتالي سيكون تسارعها أقلّ من القيمة الصحيحة لـ (g) (وهذا مثال آخر على الخطأ النظامي).

إن تأثير الاحتكاك لا يسبّب مشكلة بالنسبة إلى الكتلة الكبيرة، حيث تسقط بسهولة أكبر؛ فإذا أجريت قياسات مع أوزان كبيرة فإن قيمة التسارع تصبح أقرب إلى القيمة الصحيحة لـ (g).

مثال

٦. للحصول على قيمة تقريبية لـ (g)؛ أسقط طالب حجرًا من قمّة جرف صخري، ورصد طالب ثانٍ زمن سقوط الحجر باستخدام ساعة إيقاف، وكانت نتائجهما:

الارتفاع المقدّر للجرف = (30 m)

الزمن المقدّر للسقوط = (2.6 s)

استخدم النتائج لتقدير قيمة (g).

الخطوة ١: احسب السرعة المتوسطة للحجر.

السرعة المتوسطة للحجر أثناء سقوطه:

$$= \frac{30}{2.6} = 11.5\ \mathrm{m\,s^{-1}}$$

الخطوة ٢: جِد قيمتَي (v) و (u):

السرعة الابتدائية: $u = 0\ \mathrm{m\,s^{-1}}$

باستخدام السرعة المتوسطة $= \frac{u + v}{2}$ مع $u = 0$ لأن الحجر قد سقط من السكون.

السرعة النهائية: $v = 2 \times 11.5$

$= 23.0\ \mathrm{m\,s^{-1}}$

الخطوة ٣: عوّض بهذه القيَم في معادلة التسارع:

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

$$= \frac{23.0}{2.6}$$

$$a = 8.8\ \mathrm{m\,s^{-2}}$$

تابع

لاحظ أنه يمكنك الوصول إلى النتيجة نفسها مباشرة باستخدام $s = ut + \frac{1}{2}at^2$، ويجب علينا أن نفكّر في سبب كون الإجابة هنا أقلّ من القيمة المتوقّعة لـ ($g = 9.81\ m\ s^{-2}$)، إذ قد يكون هذا الجرف أكثر ارتفاعًا من تقدير الطالب، وربّما لم يكن تشغيل ساعة الإيقاف أو إيقافها دقيقًا، فضلًا عن وجود مقاومة للهواء والتي تبطئ سقوط الحجر.

أسئلة

١٧ أُسقطت كرة فولاذية من السكون من ارتفاع (2.10 m)، وسجّل مؤقت إلكتروني زمن سقوطها فكان (0.67 s):

أ. احسب تسارع الكرة أثناء سقوطها.

ب. اقترح أسباب عدم الوصول إلى القيمة المتوقّعة في الجزئية (أ) لـ ($9.81\ m\ s^{-2}$).

ج. افترض أن الارتفاع قيسَ بدقّة، لكن الزمن قيس بقيمة عدم يقين يساوي (±0.02 s). احسب النسبة المئوية لعدم اليقين في الزمن والنسبة المئوية لعدم اليقين في التسارع. يمكنك القيام بذلك بتكرار حساب (g) باستخدام الزمنين (0.65 s , 0.69 s). (كما يمكنك معرفة المزيد عن عدم اليقين من الوحدة الأولى).

١٨ في تجربة لتحديد التسارع بسبب الجاذبية، قيسَ زمن سقوط كُرة من السكون من ارتفاع (h) إلكترونيًا، وبالتالي تمّ الحصول على الأزمنة (t) التي تظهر في الجدول ٣–٥:

أ. ارسم التمثيل البياني (h) بدلالة (t^2).

ب. جِد تسارع السقوط الحر (g) من التمثيل البياني.

ج. قيّم إجابتك.

الارتفاع h(m)	0.70	1.03	1.25	1.60	1.99
الزمن t (s)	0.99	1.13	1.28	1.42	1.60

الجدول ٣–٥ بيانات الارتفاع (h) والزمن (t).

٣-١٢ الحركة في بُعدَين: المقذوفات

يمكن أن تكشف الصور الستروبوسكوبية تفاصيل مسار جسم مقذوف. تبيّن الصورة ٣–٥ مقذوفًا، وهو عبارة عن كرة مرتدّة، فما إن تفلت الكرة وتتحرّك في الهواء، حتّى تكون القوّة الوحيدة المؤثّرة فيها هي وزنها.

عند رمي الكرة بزاوية مع الاتجاه الأفقي، لوحظ أنها تتسارع عندما تسقط، كما يمكن ملاحظة أن صور الكرة تصبح متباعدة أكثر فأكثر خلال سقوطها، وبالتزامن مع هذه الحركة الرأسية، تتحرّك الكرة أفقيًا إلى اليمين بانتظام، ويؤكّد ذلك التباعد المتساوي للصور الستروبوسكوبية للكرة في الاتجاه الأفقي؛ حيث تكون المسافة الأفقية بين الكرات المتجاورة متساوية في جميع النقاط.

الصورة ٣–٥ الكرة المرتدّة هي مثال للمقذوف. تُبيّن هذه الصورة الستروبوسكوبية تفاصيل حركتها التي لا يلاحظها الراصد.

مسار الكرة يتّخذ شكلًا يسمّى رياضيًا القطع المكافئ (المنحنى التربيعي)، فبعد أن ترتدّ الكرة تقلّ سرعتها تدريجيًا، أي أنها تتباطأ عندما ترتفع، ولذلك تقترب الصور الستروبوسكوبية للكرة بعضها من بعض أكثر فأكثر في الاتجاه الرأسي.

نفسّر هذه الصورة على النحو الآتي: تتأثّر الحركة الرأسية للكرة

بقوّة الجاذبية الأرضية، وهي وزن الكرة، فعندما ترتفع يكون لها تباطؤ رأسي مقداره (g)، يبطئ حركتها، وعندما تسقط يكون لها تسارع (g)، يزيد من سرعتها.

لا تتأثّر الحركة الأفقية للكرة بقوة الجاذبية الأرضية، وعند انعدام مقاومة الهواء فإن سرعة الكرة في الاتّجاه الأفقي تبقى ثابتة، ولذلك يمكننا التعامل مع الحركتَين الرأسية والأفقية للكرة على نحوٍ مستقلّ، لأن كلًا منها مستقلّة عن الأخرى.

تحليل المتجه إلى مركّبتَين

من أجل فهم كيفية التعامل مع السرعة المتّجهة في البُعدَين الرأسي والأفقي كل على حِدة، سنبدأ بدراسة السرعة المتّجهة الثابتة.

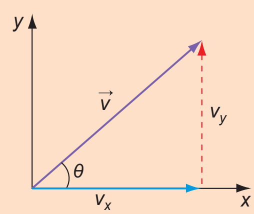
فإذا كانت لطائرة ما سرعة متّجهة ثابتة ($\vec{v}$) وبزاوية θ كما هو مبيّن في الشكل ٣-٢١، فإننا نقول إن لهذه السرعة المتّجهة تأثيرَين أو **مركّبتَين Components**، ($\vec{v}_N$) في الاتّجاه الشمالي و ($\vec{v}_E$) في الاتّجاه الشرقي، وعند جمع مركّبتَي السرعة المتّجهة المذكورتَين تنتج محصلة السرعة المتّجهة ($\vec{v}$).

هذه العملية التي تتطلّب تحديد تأثير السرعة المتجهة في اتّجاه معيّن، تُعرف باسم تحليل (Resolving) السرعة المتّجهة في ذلك الاتجاه، وفصل السرعة المتّجهة إلى مركّبتَين متعامدتَين هو عكس جمع المتّجهَين، فالتحليل هو فصل متّجه واحد إلى متّجهَين على طول اتّجاهَين ملائمَين.

مركّبتا السرعة المتّجهة ($\vec{v}$) وبزاوية θ مع المحور السيني (x) هما:

المركّبة الأفقية في الاتجاه السيني (x): $v_x = v\cos\theta$

المركّبة الرأسية في الاتجاه الصادي (y): $v_y = v\sin\theta$



مصطلحات علمية

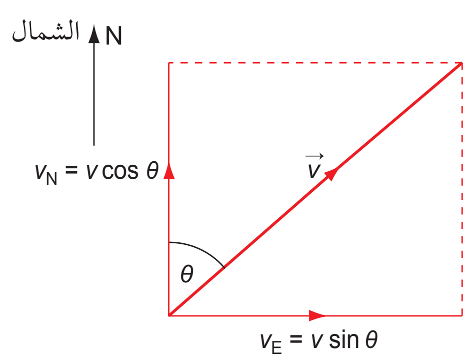
المركّبة Component: تأثير متّجه ما على طول اتّجاه معيّن.

لإيجاد المركّبة لأيّ متّجه (على سبيل المثال: الإزاحة والسرعة المتّجهة والتسارع والقوة) في اتّجاه معيّن، يمكننا استخدام الطريقة الآتية:

الخطوة ١: جِد الزاوية θ بين المتّجَه والاتّجاه المطلوب.

الخطوة ٢: اضرب المتّجَه في جيب تمام الزاوية θ.

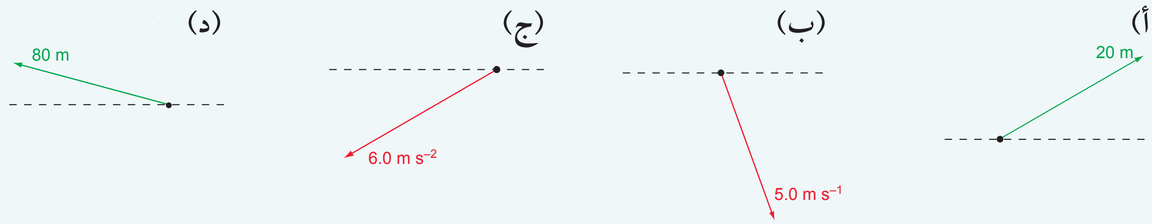
إذًا، مركّبة السرعة المتّجهة ($\vec{v}$) لحركة جسم باتّجاه معيّن وبزاوية θ مع ($\vec{v}$) تساوي $v\cos\theta$ (الشكل ٣-٢١).



الشكل ٣-٢١ مركّبتا السرعة المتّجهة لطائرة ما. المركّبة على المحور الشمالي هي $v_N = v\cos\theta$ والمركّبة على المحور الشرقي هي $v_E = v\sin\theta$.

سؤال

١٩ جد المُركّبتَين (x) و (y) لكل من المتّجهات المبيّنة في الشكل ٣-٢٢. (ستحتاج إلى استخدام منقلة قياس الزوايا في المخطّط).



الشكل ٣-٢٢ متّجهات مختلفة.

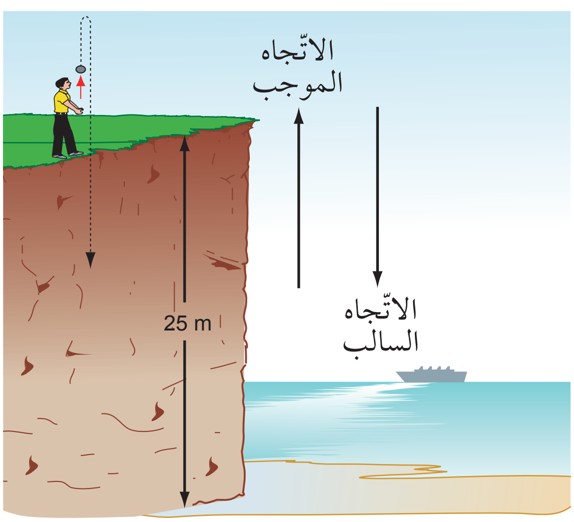
٣-١٣ فهم المقذوفات

سنبدأ من أبسط أنواع المقذوفات التي تُقذف رأسيًا في الهواء إلى الأعلى، ثم ننتقل إلى المقذوفات التي تتحرّك أفقيًا ورأسيًا في الزمن نفسه.

إلى الأعلى وإلى الأسفل

يوضح الشكل ٣-٢٣ رجلًا يقذف حجرًا إلى الأعلى بسرعة متجهة ابتدائية ($20\ m\ s^{-1}$).

إن استخدام إشارة مناسبة (موجبة أو سالبة) أمر ضروري حيث إن بعض الكميات المتجهة تكون إلى الأعلى وبعضها الآخر إلى الأسفل. سنعتبر هنا الاتجاه إلى الأعلى هو الموجب، والاتجاه إلى الأسفل هو السالب، لذلك فإن السرعة المتجهة الابتدائية للحجر ستكون موجبة، إنما تسارعه (g) سيكون سالبًا، ولحلّ الأسئلة المختلفة حول حركة الحجر يمكننا استخدام معادلات الحركة الخطية (معادلات سوفات suvat equations) التي رأيناها سابقًا. لاحظ أنه ليس من الضروري استخدام القيم الموجبة والسالبة إذا كانت جميع الكميات المتجهة في مسألة ما في الاتجاه نفسه. إذ من الأسهل استخدام القيم الموجبة فقط.



الشكل ٣-٢٣ قذف الحجر رأسيًّا إلى الأعلى عند الوقوف على حافة جرف ارتفاعه (25 m).

كم سيرتفع؟

كم سيرتفع الحجر فوق مستوى سطح الجرف الصخري؟

عندما يرتفع الحجر إلى الأعلى فإنه يتحرّك ببطء أكثر فأكثر؛ فالحجر يتباطأ بسبب قوّة الجاذبية الأرضية التي تجذبه إلى الأسفل، لكن عندما يصل الحجر إلى أعلى نقطة فإن سرعته ستكون صفرًا. الكمّيات التي نعرفها في هذه الحالة هي:

السرعة المتجهة الابتدائية: $u = 20\ \text{m s}^{-1}$

السرعة المتجهة النهائية: $v = 0\ \text{m s}^{-1}$

التسارع: $a = -9.81\ \text{m s}^{-2}$

مقدار الإزاحة: $s = ?$

معادلة الحركة الخطية ذات العلاقة هي $v^2 = u^2 + 2as$.

عند تعويض القيم فيها:

$$0^2 = 20^2 + 2 \times (-9.81) \times s$$

$$0 = 400 - 19.62s$$

$$s = \frac{400}{19.62}$$

$$= 20.4\ \text{m} \approx 20\ \text{m}$$

يرتفع الحجر (20 m) إلى الأعلى قبل أن يبدأ بالسقوط مرّة أخرى.

كم يستغرق؟

كم من الزمن سيستغرق الحجر من بداية قذفه بيَد الشخص إلى أعلى حتى يعود إلى قمة الجرف (نقطة البداية)؟

عندما يعود الحجر إلى النقطة التي رُمي منها، فإن إزاحته (s) ستساوي صفرًا. لذلك:

السرعة المتجهة الابتدائية: $u = 20\ \text{m s}^{-1}$

مقدار الإزاحة: $s = 0\ \text{m}$

التسارع: $a = -9.81\ \text{m s}^{-2}$

الزمن: $t = ?$

عوّض في المعادلة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$:

$$0 = 20t + \frac{1}{2}(-9.81) \times t^2$$

$$= 20t - 4.905\,t^2$$

$$= (20 - 4.905\,t) \times t$$

يوجد حلّان رياضيان لهذه المسألة:

- $t = 0\ \text{s}$؛ بعبارة أخرى، إن إزاحة الحجر تساوي صفرًا في اللحظة التي قُذف فيها.
- $20 - 4.905t = 0$ حيث تعطي $t = 4.1\ \text{s}$؛ بعبارة أخرى، عاد الحجر إلى نقطة الانطلاق بعد (4.1 s)، وهذا هو الحلّ الذي يهمّنا.

مزيد من السقوط

إذا كان ارتفاع الجرف (25 m)، فكم من الزمن سيستغرق الحجر للوصول إلى قعر الجرف؟

هذا المثال مشابه لما سبقه، إنما مع فارق أن إزاحة الحجر النهائية أقلّ بمقدار (25 m) عن نقطة البداية. فبناءً على اتجاه الحركة، تُعدّ هذه إزاحة سالبة، ($s = -25\ \text{m}$). من المهم الإشارة إلى أن الإزاحة تقاس غالبًا نسبة إلى نقطة

انطلاق الحركة. لذلك، تكون الإزاحة دائمًا موجبة عندما يكون الحجر أعلى يد الشخص. وعندما يكون الحجر أسفل يد الشخص، تكون إزاحته سالبة.

أسئلة

٢٠) في مثال «مزيد من السقوط»، السابق احسب الزمن الذي سيستغرقه الحجر للوصول إلى قعر الجرف.

٢١) قُذفت كرة رأسيًا إلى الأعلى بسرعة متجهة ابتدائية مقدارها ($30\ m\ s^{-1}$). يبيّن الجدول ٣-٦ كيف يتغير مقدار السرعة المتجهة للكرة. (افترض $g = 9.81\ m\ s^{-2}$).

السرعة المتجهة ($m\ s^{-1}$)	30	20.19				
الزمن (s)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

الجدول ٣-٦

أ. أكمل الجدول.

ب. ارسم تمثيلًا بيانيًا لبيانات الجدول.

ج. استخدم التمثيل البياني لاستنتاج الزمن الذي استغرقته الكرة للوصول إلى أعلى نقطة.

رأسي وأفقي في الزمن نفسه

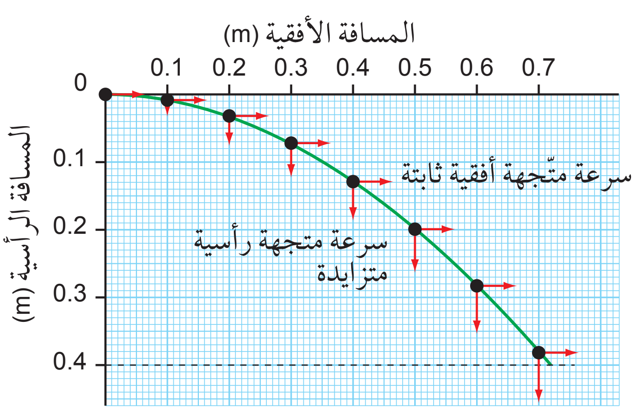
في ما يأتي مثال لتوضيح ما يحدث عندما يتحرك جسم ما رأسيًا وأفقيًا في الزمن نفسه.

قُذفت كرة صغيرة أفقيًا من نقطة على ارتفاع (0.4 m) فوق سطح الأرض بسرعة متجهة ابتدائية مقدارها ($2.5\ m\ s^{-1}$). وقد حُسبت مواقعها في فترات زمنية متساوية كما هو مبيّن في الجدول ٣-٧، وفي الشكل ٣-٢٤. ادرس الجدول والتمثيل البياني، ملاحظًا ما يأتي:

- تزداد المسافة الأفقية بانتظام؛ لأن الحركة الأفقية للكرة لم تتأثّر بقوّة الجاذبية الأرضية، بل تتحرك بسرعة متجهة أفقية ثابتة.
- تظهر المسافات الرأسية نمطًا مختلفًا، حيث تتسارع الكرة إلى الأسفل، لذلك يجب علينا أن نستخدم معادلات الحركة الخطّية (حُسبت هذه القيَم باستخدام $g = 9.81\ m\ s^{-2}$).

الزمن (s)	المسافة الأفقية (m)	المسافة الرأسية (m)
0.00	0.00	0.000
0.04	0.10	0.008
0.08	0.20	0.031
0.12	0.30	0.071
0.16	0.40	0.126
0.20	0.50	0.196
0.24	0.60	0.283
0.28	0.70	0.385

الجدول ٣-٧ بيانات مثال الكرة المتحرّكة، كما هو مبيّن في الشكل ٣-٢٤.



الشكل ٣-٢٤ يبيّن هذا المخطّط البياني مسار كرة قُذفت أفقيًا. تمثّل الأسهم مركّبتَي السرعة المتّجهة الأفقية والرأسية للكرة.

يمكنك حساب المسافة s التي سقطتها الكرة باستخدام معادلة الحركة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$.

تُحسب المسافة الأفقية باستخدام: $s = ut$

المسافة الأفقية: $s = 2.5 \times t$

تُحسب المسافة الرأسية باستخدام: $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

(السرعة المتجهة الرأسية الابتدائية $u = 0$)

المسافة الرأسية: $s = \frac{1}{2} \times 9.81 \times t^2$

مهمّ

في حال عدم وجود مقاومة الهواء، يمتلك الجسم سرعة أفقية متجهة ثابتة وتسارعًا رأسيًا ثابتًا.

أمثلة

٧. يُرمى حجر أفقيًا بسرعة متجهة مقدارها $(12\ m\ s^{-1})$ من قمّة جرف رأسي ارتفاعه $(40\ m)$. احسب الزمن الذي يستغرقه الحجر للوصول إلى قاع الجرف، ثم جِد البُعد الأفقي بين مكان سقوط الحجر وقاع الجرف.

تلميح: قد تجد أنه من الأسهل تلخيص المعلومات كالآتي:

رأسيًا: $s = 40\ m$، $u = 0$، $a = g = 9.81$،
$t = ?$، $v = ?$

أفقيًا: $u = 12\ m\ s^{-1}$، $v = 12\ m\ s^{-1}$، $a = 0$،
$t = ?$، $s = ?$

الخطوة ١: حركة الكرة في الاتجاه الرأسي: يكون لها مركّبة رأسية ابتدائية للسرعة المتجهة تساوي صفرًا، وتتحرك رأسيًا إلى الأسفل مسافة $(40\ m)$ بتسارع مقداره $(9.81\ m\ s^{-2})$ في الاتجاه نفسه:

$$s = ut + \frac{1}{2}gt^2$$

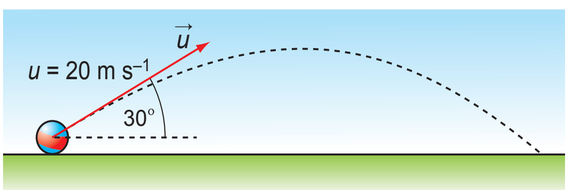
$$40 = 0 + \frac{1}{2} \times 9.81 \times t^2$$

$$t = 2.86\ s$$

الخطوة ٢: حركة الكرة في الاتجاه الأفقي: تتحرّك أفقيًا بسرعة متجهة ثابتة مقدارها $(12\ m\ s^{-1})$ بإهمال مقاومة الهواء:

المسافة المقطوعة: $u \times t = 12 \times 2.86$
$= 34.3\ m$

٨. تُقذف كرة بسرعة متّجهة ابتدائية مقدارها $(20\ m\ s^{-1})$ وبزاوية $30°$ مع الاتجاه الأفقي (الشكل ٣-٢٥). احسب المسافة الأفقية التي ستقطعها الكرة.



الشكل ٣-٢٥ رمي كرة.

الخطوة ١: حلّل السرعة المتجهة الابتدائية للكرة إلى مركّبتَين أفقية ورأسية.

السرعة المتجهة الابتدائية: $u = 20\ m\ s^{-1}$

المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة الابتدائية:
$v = u \cos\theta = 20 \times \cos 30° = 17.3\ m\ s^{-1}$

المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة الابتدائية:
$v = u \sin\theta = 20 \times \sin 30° = 10\ m\ s^{-1}$

الخطوة ٢: حركة الكرة في الاتجاه الرأسي: كم ستستغرق الكرة من الزمن للعودة إلى الأرض؟ أو بعبارة أخرى، متى ستعود إزاحتها الرأسية إلى الصفر؟

السرعة المتجهة الابتدائية: $u = 10\ m\ s^{-1}$

التسارع: $a = g = -9.81\ m\ s^{-2}$

الإزاحة: $s = 0$

الزمن: $t = ?$

وباستخدام معادلة الحركة يكون لدينا:

$$s = ut + \frac{1}{2}gt^2$$

$$0 = 10t - 4.905t^2$$

$t = 0\ s$ أو $t = 2.04\ s$

إذًا، تبقى الكرة في الهواء لمدّة $(2.04\ s)$.

تابع

الخطوة ٣: حركة الكرة في الاتجاه الأفقي: ما البُعد الذي ستصل إليه الكرة أفقيًا في زمن (2.04 s) قبل أن تسقط إلى الأرض؟ من السهل حساب هذا البُعد، لأن الكرة تتحرّك بسرعة متجهة أفقية ثابتة قيمتها ($17.3\ m\ s^{-1}$).

الإزاحة الأفقية:

$s = 17.3 \times 2.04$

$= 35.3\ m$

وبالتالي، تكون الكرة قد قطعت مسافة أفقية (مدى) تقارب (35 m).

أسئلة

٢٢ يُقذف حجر أفقيًا من قمة جرف صخري فيستغرق سقوطه إلى الأرض (4.0 s) ويقع على بُعد (12.0 m). بإهمال مقاومة الهواء:

أ. احسب السرعة الأفقية للحجر.

ب. احسب ارتفاع الجرف.

٢٣ يُقذف حجر في الهواء بسرعة متجهة مقدارها ($8.0\ m\ s^{-1}$) وبزاوية $40°$ مع الاتجاه الأفقي:

أ. احسب المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة.

ب. اذكر قيمة المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة عندما يصل الحجر إلى أعلى نقطة في مساره (تجاهل مقاومة الهواء).

ج. استخدم إجاباتك في الجزئية (أ) والجزئية (ب) لحساب الزمن الذي يستغرقه الحجر للوصول إلى أعلى نقطة في مساره.

د. احسب المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة.

هـ. استخدم إجاباتك في الجزئية (ج) والجزئية (د) لإيجاد المسافة الأفقية التي سيقطعها الحجر عندما يصل إلى أعلى نقطة في مساره.

٢٤ مدى المقذوف هو المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف عندما يصل إلى الأرض. ويتحقّق أقصى مدى إذا رُمي المقذوف بزاوية $45°$ مع الاتجاه الأفقي.

رُميت كرة بسرعة متجهة ابتدائية مقدارها ($40\ m\ s^{-1}$). احسب أكبر مدًى يمكن أن تصل إليه هذه الكرة (أهمل مقاومة الهواء).

ملخّص

التسارع كمّية متّجهة ويساوي معدّل تغيّر السرعة المتّجهة، ووحدة قياسه $m\ s^{-2}$، ويمكن حسابه من ميل منحنى التمثيل البياني (السرعة المتّجهة–الزمن). والمساحة الواقعة تحت منحنى هذا التمثيل البياني هي التغيّر في مقدار الإزاحة.
يرتبط التسارع والسرعة المتّجهة والإزاحة والزمن في حالة التسارع المنتظم بمعادلات الحركة الخطية، التي يجب أن تعرف كيفية اشتقاقها واستخدامها.
مقدار تسارع السقوط الحرّ (g) ($9.81\ m\ s^{-2}$)، ويمكن التحقق من هذا المقدار من خلال التجارب العملية.
يمكن تحليل الكمّيات المتّجهة إلى مركّبتَين، كما يمكن معالجة كلّ من المركّبتَين بشكل مستقل عن الأخرى إذا كانت الزاوية بينهما قائمة؛ أمّا بالنسبة إلى السرعة المتّجهة ($\vec{v}$) وبزاوية θ مع المحور السيني (x)، فتكون المركّبتان كما يأتي: المركّبة الأفقية في الاتّجاه السيني (x): $v \cos \theta$ المركّبة الرأسية في الاتّجاه الصادي (y): $v \sin \theta$
بإهمال مقاومة الهواء، فإن للمقذوفات تسارعًا رأسيًا ثابتًا وسرعة متجهة أفقية ثابتة، ويمكن التعامل مع هاتَين الحركتَين (الرأسية والأفقية) بشكل مستقل.

أسئلة نهاية الوحدة

١ تبدأ طائرة الحركة من السكون على طول مدرج مستقيم، وتتسارع بانتظام. فتصل سرعتها إلى $(200\ \text{km h}^{-1})$، بعد أن تقطع مسافة $(1.4\ \text{km})$. ما تسارع الطائرة على طول المدرج؟

أ. $1.1\ \text{m s}^{-2}$

ب. $2.2\ \text{m s}^{-2}$

ج. $3.0\ \text{m s}^{-2}$

د. $6.0\ \text{m s}^{-2}$

٢ قُذفت كرة بسرعة متّجهة مقدارها $(10\ \text{m s}^{-1})$ وبزاوية $25°$ مع الاتجاه الأفقي كما في الشكل ٣-٢٦. إذا كان تأثير مقاومة الهواء معدومًا على حركة الكرة،

الشكل ٣-٢٦

فما قيمة السرعة المتجهة للكرة عند أعلى نقطة في مسارها؟

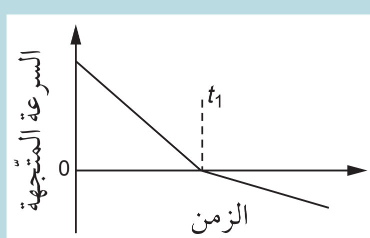
أ. 0

ب. $4.2\ \text{m s}^{-1}$

ج. $9.1\ \text{m s}^{-1}$

د. $8.4\ \text{m s}^{-1}$

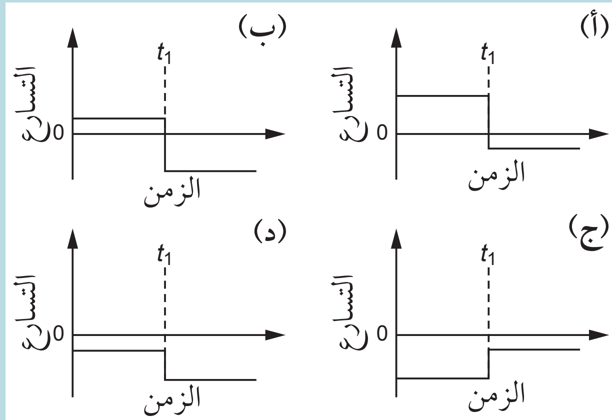
٣ تتحرك عربة على طول مسار مستقيم. يوضح الشكل ٣-٢٧ تغيّر السرعة المتّجهة $(\vec{v})$ للعربة مع الزمن (t).



الشكل ٣-٢٧

أيّ تمثيل بياني في الشكل ٣-٢٨ يبيّن تغيّر التسارع (a) مع الزمن للعربة؟

تابع



الشكل ٣-٢٨

٤ يفترض مصمم طريق سريع أن السيارات عند اقترابها من الطريق السريع تدخل في طريق جانبي بسرعة متّجهة مقدارها ($10\ m\ s^{-1}$)، ويصل مقدار سرعتها المتّجهة إلى ($30\ m\ s^{-1}$) قبل دخولها إلى الطريق السريع. احسب الحدّ الأدنى لطول الطريق الجانبي، مفترضًا أن تسارع المركبات هو ($4.0\ m\ s^{-2}$).

٥ يتحرك قطار بسرعة ($50\ m\ s^{-1}$)، وعندما يضغط السائق على المكابح يعطي القطار تباطؤًا ثابتًا مقداره ($0.50\ m\ s^{-2}$) لمدّة ($100\ s$). صِف ما يحدث للقطار واحسب المسافة التي سيقطعها في ($100\ s$).

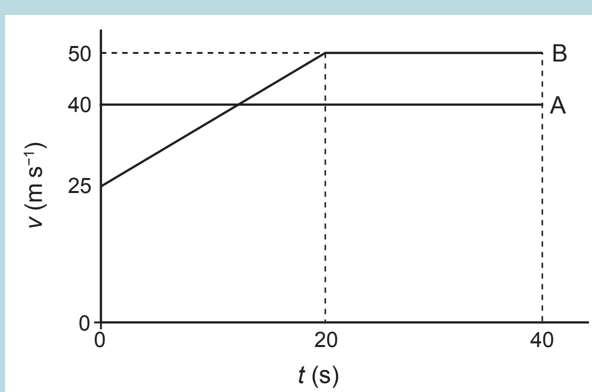
٦ يقف مازن على حافة جرف صخري ليقذف حجرًا رأسيًا إلى الأعلى في الزمن ($t = 0\ s$) بسرعة ($20\ m\ s^{-1}$). باعتبار أن مقدار تسارع الحجر ($9.81\ m\ s^{-2}$):

أ. أثبت أن معادلة مقدار إزاحة الحجر هي: $s = 20t - 4.9t^2$

ب. احسب الارتفاع الذي سيصل إليه الحجر بعد ($2.0\ s$) من قذفه، وبعد ($6.0\ s$).

ج. احسب الزمن الذي يستغرقه الحجر ليعود إلى مستوى يد مازن. افترض أن يد مازن لا تتحرّك رأسيًا بعد قذف الحجر.

٧ يبيّن التمثيل البياني (السرعه المتجهة-الزمن) في الشكل ٣-٢٩ حركة سيارتَين A و B، تسيران في الاتّجاه نفسه خلال مدّة زمنية مقدارها ($40\ s$).



الشكل ٣-٢٩

تابع

تتحرك السيارتان من الموضع نفسه عند الزمن ($t = 0$ s)، حيث تتحرك السيارة **A** بسرعة ثابتة مقدارها (40 m s^{-1})، وهي أسرع من السرعة الابتدائية للسيارة **B** التي تسير بسرعه مقدارها (25 m s^{-1}). من أجل اللحاق بالسيارة **A**، تتسارع السيارة **B** على الفور تسارعًا منتظمًا لمدّة (20 s) للوصول إلى سرعة متجهة ثابتة مقدارها (50 m s^{-1}). احسب:

أ. المسافة التي قطعتها السيارة **A** خلال أول (20 s).

ب. التسارع والمسافة للسيارة **B** خلال أول (20 s).

ج. الزمن الإضافي الذي تستغرقه السيارة **B** لتلحق بالسيارة **A**.

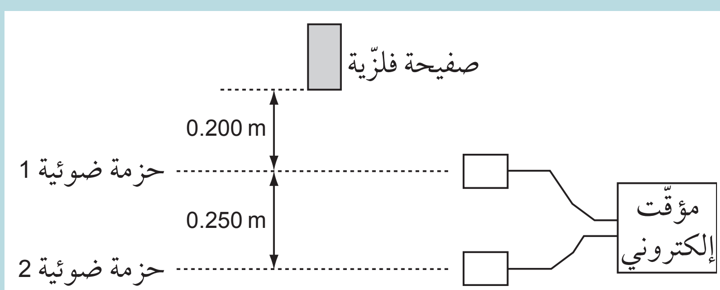
د. المسافة التي قطعتها كلّ سيارة منذ الزمن ($t = 0$ s) إلى أن تلحق السيارة **B** بالسيارة **A**.

٨ يترك اللاعب في الوثب الطويل الأرض بسرعة متجهة مقدارها (5.6 m s^{-1}) وبزاوية $30°$ مع الاتّجاه الأفقي.

أ. جِد المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة، واستخدم هذه القيمة لإيجاد الزمن المستغرق بين ترك سطح الأرض والعودة إلى سطح الأرض (زمن التحليق).

ب. جِد المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة، واستخدم هذه القيمة لإيجاد المسافة الأفقية التي قطعها اللاعب (المدى).

٩ يبيّن مخطّط الشكل ٣-٣٠ الطريقة المتبعة لقياس تسارع صفيحة فلزّية عند سقوطها رأسيًا.



الشكل ٣-٣٠

تُترك الصفيحة الفلزّية لتسقط من السكون مسافة (0.200 m) قبل اجتياز الحزمة الضوئية 1. ثم تسقط بعد ذلك مسافة (0.250 m) أخرى قبل اجتياز الحزمة الضوئية 2.

أ. احسب الزمن المستغرق لسقوط الصفيحة مسافة (0.200 m) من السكون. (افترض أن الصفيحة الفلزية تسقط بتسارع يساوي تسارع السقوط الحرّ).

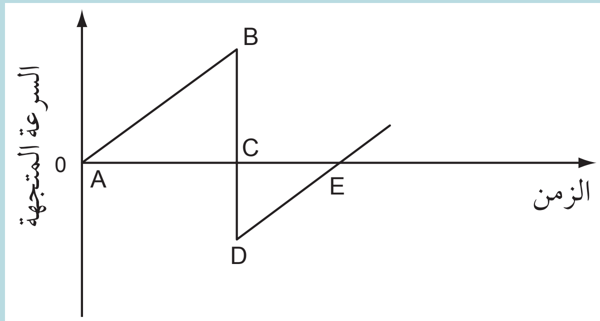
ب. يقيس المؤقّت الإلكتروني سرعة الصفيحة الفلزية أثناء سقوطها عبر كل من الحزمتَين الضوئيتَين، فيجد أن سرعة سقوطها خلال الحزمة الضوئية 1 (1.92 m s^{-1})، وسرعة سقوطها خلال الحزمة الضوئية 2 (2.91 m s^{-1}).

١. احسب تسارع الصفيحة بين الحزمتَين الضوئيّتَين.

٢. اذكر مع الشرح سببًا واحدًا يجعل تسارع الصفيحة لا يساوي تسارع السقوط الحرّ.

تابع

١٠ يوضح الشكل ٣-٣١ التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن) لكرة مرتدّة رأسيًا.



الشكل ٣-٣١

تُركت الكرة لتسقط عند **A** واصطدمت بسطح الأرض عند **B**، ثمّ تترك الكرة الأرض عند **D** وتصل إلى أقصى ارتفاع لها عند **E** (يمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء).

أ. اذكر:

١. لماذا تكون السرعة المتجهة من **D** إلى **E** سالبة؟

٢. لماذا يكون ميل الخط **AB** مساويًا لميل الخط **DE**؟

٣. ماذا تمثّل المساحة المحصورة بين الخط **AB** ومحور الزمن؟

٤. لماذا تكون مساحة المثلث **ABC** أكبر من مساحة المثلث **CDE**؟

ب. تسقط الكرة من السكون من ارتفاع ابتدائي (1.2 m)، ثم تصطدم بسطح الأرض بين B و D وتبقى متصلة بسطحها لمدة (0.02 s) ثم ترتد إلى ارتفاع (0.80 m).

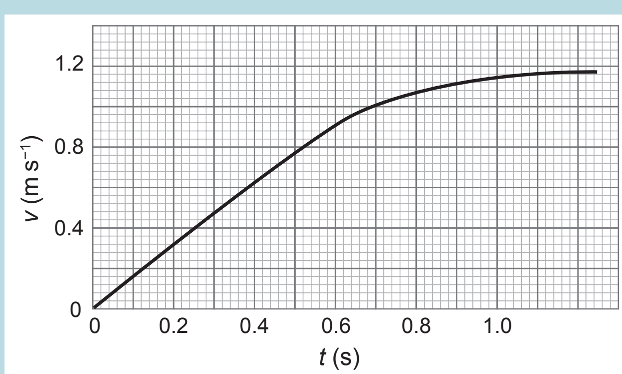
باستخدام تسارع السقوط الحر، احسب:

١. سرعة الكرة قبل اصطدامها بالأرض مباشرة.

٢. سرعة الكرة بعد اصطدامها بالأرض مباشرة.

٣. تسارع الكرة أثناء ملامستها الأرض، محدّدًا اتّجاه هذا التسارع.

١١ يقيس طالب السرعة (v) لعربة أثناء تحرّكها نزولًا على منحدر. يوضح الشكل ٣-٣٢ التمثيل البياني لتغيّر السرعة المتجهة ($\vec{v}$) بدلالة الزمن (t).



الشكل ٣-٣٢

تابع

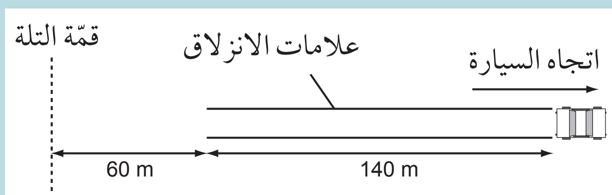
أ. استخدم التمثيل البياني لإيجاد تسارع العربة عندما يكون الزمن ($t = 0.70$ s).

ب. بالرجوع إلى التمثيل البياني اشرح كيف يتغيّر تسارع العربة بين ($t = 0$ s) و ($t = 1.0$ s).

ج. جِد المسافة التي تقطعها العربة بين ($t = 0.60$ s) و ($t = 0.80$ s). اشرح إجابتك.

د. حصل الطالب على قراءات (v) باستخدام مجسّ حركة، وقد تحتوي هذه القراءات على أخطاء عشوائية وأخطاء نظامية. اشرح كيف يؤثّر هذان النوعان من الأخطاء على التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن).

١٢ يقود سائق سيارة بسرعة (u) على طريق مستقيم، وعند وصوله إلى قمة تلّ منبسطة يفاجأ بوجود شجرة على مسافة ما أمامه ساقطة على الطريق، فيسارع إلى الضغط بقوة على المكابح، إلّا أن السيارة تكون قد قطعت مسافة (60 m) بالسرعة الثابتة (u) قبل أن يضغط على المكابح. يوضح الشكل ٣-٣٣ آثار الانزلاق التي خلفتها عجلات السيارة على الطريق بطول (140 m).



الشكل ٣-٣٣

حقّقت الشرطة في ما إذا كان السائق مسرعًا، ووجدت أن السيارة تباطأت بمقدار ($2.0\ m\ s^{-2}$) أثناء الانزلاق:

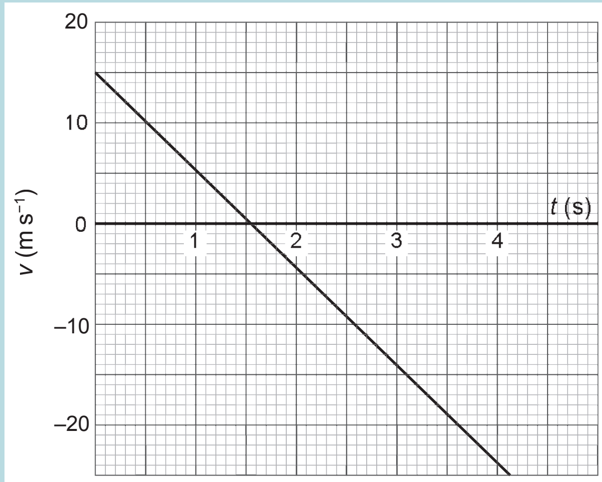
أ. جِد السرعة الابتدائية (u) للسيارة قبل استخدام المكابح.

ب. جِد الزمن المستغرق بين وصول السائق إلى قمّة التل والضغط على المكابح. هل يعني هذا أن السائق كان متيقّظًا للخطر؟ اشرح إجابتك.

ج. الحدّ الأقصى للسرعة على هذا الطريق (100 km/h). حدّد ما إذا كان السائق قد تجاوز الحد الأقصى للسرعة.

١٣ يرتفع منطاد الهواء الساخن رأسيًا. وفي الزمن ($t = 0$ s)، أُطلقت كرة من المنطاد إلى أعلى، واصطدمت بالأرض عند الزمن ($t = 4.1$ s). يبيّن التمثيل البياني في الشكل ٣-٣٤ تغيّر السرعة المتجهة ($\vec{v}$) للكرة مع الزمن (t).

تابع



الشكل ٣-٣٤

أ. اشرح كيف يبيّن التمثيل البياني أنّ تسارع الكرة ثابت.

ب. باستخدام التمثيل البياني:

١. ما الزمن الذي تصل فيه الكرة إلى أعلى نقطة في مسارها؟

٢. بيّن أن الكرة ترتفع مسافة (12 m) بين نقطة إطلاقها وأعلى نقطة في مسارها.

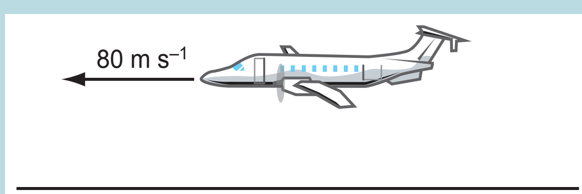
٣. ما المسافة بين أعلى نقطة تصل إليها الكرة وسطح الأرض؟

ج. المعادلة التي تربط بين (v) و (t) هي $v = 15 - 9.81t$. اذكر دلالة ما يأتي في المعادلة:

١. العدد 15

٢. الإشارة السالبة

١٤ تطير طائرة أفقيًّا بسرعة (80 m s^{-1}) كما في الشكل ٣-٣٥، وتُسقط صندوق إمدادات طوارئ.



الشكل ٣-٣٥

لتجنُّب الضرر، فإن أقصى سرعة رأسية للصندوق لحظة وصوله إلى الأرض تساوي (20 m s^{-1}). افترض أن مقاومة الهواء مهملة:

أ. احسب أقصى ارتفاع للطائرة عندما أُسقط الصندوق.

ب. احسب الزمن الذي يستغرقه الصندوق للوصول إلى سطح الأرض من هذا الارتفاع.

ج. تطير الطائرة بأقصى ارتفاع مسموح به. احسب المسافة الأفقية التي يقطعها الصندوق بعد إسقاطه من الطائرة (المدى).

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدٍ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أعرّف التسارع.	٣-١			
أحسب التسارع باستخدام ميل منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن).	٣-٣			
أحسب مقدار الإزاحة من المساحة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني (السرعة المتجهة-الزمن).	٣-٤			
أشتقّ معادلات الحركة الخطية بتسارع منتظم وأستخدمها.	٣-٧، ٣-٨، ٣-٩			
أصف تجربة لقياس تسارع السقوط الحرّ (g).	٣-١٠، ٣-١١			
أستخدم المركّبات المتعامدة لتمثيل متّجه.	٣-١٢			
أشرح حركة المقذوفات مستخدمًا سرعة متجهة منتظمة في بُعد واحد (أفقي) وتسارع منتظم في اتجاه رأسي، وأقوم بإجراء عمليات حسابية لهذه الحركة.	٣-١٣			

الوحدة الرابعة

القوى Forces

أهداف التعلّم

٤-١ يذكر نص قانون نيوتن الثاني للحركة ويطبقه مستخدمًا العلاقة $\vec{F} = m\vec{a}$ في حلّ المسائل، ومدركًا أنّ التسارع ومحصّلة القوى لهما دائمًا نفس الاتّجاه.

٤-٢ يحدّد الأنواع المختلفة من القوى ويصفها، بما في ذلك الوزن وقوة الطفو وقوة التلامس العمودية وقوة الشد.

٤-٣ يمثل أنواعًا مختلفة من القوى في مخططات القوة للجسم الحر ويفسرها.

٤-٤ يدرك أنّ الكتلة هي خاصّية مقاومة الجسم لإحداث التغيير في حالته الحركية.

٤-٥ يذكر نص قانون نيوتن الأول للحركة ويطبقه.

٤-٦ يظهر فهمًا نوعيًا لقوى الاحتكاك ولقوى المقاومة بما في ذلك مقاومة الهواء.

٤-٧ يذكر نص قانون نيوتن الثالث للحركة وتطبيقاته.

٤-٨ يفهم أن المعادلات الفيزيائية يجب أن تكون متجانسة ويستخدم الوحدات الأساسية للنظام الدولي للوحدات للتحقّق من تجانس المعادلات الفيزيائية المتعلقة بالحركة والقوى.

٤-٩ يستخدم مثلّث المتّجهات لتمثيل قوى في مستوى واحد في حالة الاتّزان.

٤-١٠ يحلل القوى إلى مركّبات متعامدة ويستخدمها في العمليات الحسابية.

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

- اكتب قائمة بجميع أنواع القوى المختلفة التي تعرفها، ثم قارن قائمتك بقائمة زميلك، وتناقشا في الاختلافات إن وجدت، ثم تبادلا وصف أنواع القوى.

العلوم ضمن سياقها

الطائرات

توضح الصورة ٤-١ طائرة حديثة. يجب أن تقلّل مثل هذه الطائرة من تأثير مقاومة الهواء ومن تأثير وزنها، من أجل تقليل التكلفة والتأثير في البيئة، في الوقت نفسه تستخدم مقاومة الهواء وقوى أخرى للتوقف عند الهبوط، فإذا سبق لك أن ركبت طائرة، فلا شكّ أنك شعرت كيف يدفعك الجزء الخلفي من المقعد إلى الأمام عندما تتباطأ الطائرة على المدرج، وعلى الطيار هنا أن يسيطر على العديد من القوى المؤثرة على الطائرة في حالات الإقلاع والطيران والهبوط.

تعلّمنا في الوحدات السابقة كيف يمكن وصف الحركة بدلالة الإزاحة والسرعة المتجهة، والتسارع وغيرها، أمّا الآن فسنتعلّم كيفية تأثّر حركة جسم ما بالقوى.

وبعيدًا عن فكرة مقاومة الهواء، اكتب ما يمكنك اكتشافه من قوى أخرى تؤثر على الطائرة، ثمّ قارن قائمتك بقائمة أيٍّ زميل لك، لتكتشف سبب كل هذه القوى.

الصورة ٤-١ طائرة حديثة تحلق فوق المحيط.

٤-١ قانون نيوتن الثاني للحركة

سبق أن درست المعادلة $\vec{F} = m\vec{a}$ في الصف العاشر وهي صورة مُبسّطة من **قانون نيوتن الثاني للحركة Newton's second law of motion**: يتناسب التسارع لجسم ثابت الكتلة طرديًّا مع القوة المحصّلة المؤثرة عليه.

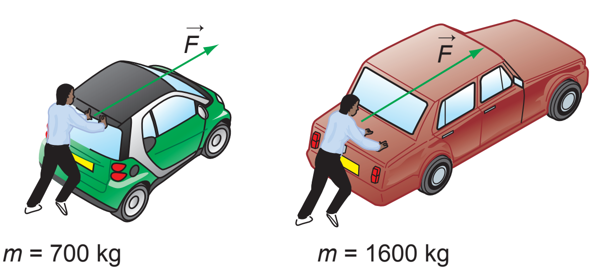
وبما أن قانون نيوتن الثاني ينطبق على الأجسام التي لها كتلة ثابتة، فيمكن تطبيق هذه المعادلة على القطار الذي تبقى كتلته ثابتة خلال رحلته.

تربط المعادلة $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ كلًّا من التسارع والقوة المحصّلة والكتلة، وتبيّن على وجه الخصوص أنه كلما ازدادت القوة، ازداد التسارع الذي يكتسبه الجسم عند ثبات الكتلة. وهذه النتيجة متوقّعة؛ لأن التسارع بالنسبة إلى جسم معيّن، يتناسب طرديًّا مع القوة المحصّلة، وله الاتّجاه نفسه:

$$\vec{a} \propto \vec{F}$$

تبيّن المعادلة أن التسارع الناتج من القوة يعتمد على كتلة الجسم أيضًا، فكتلة جسم ما هي مقياس **القصور الذاتي Inertia** للجسم، أو قدرته على مقاومة أي تغيّر في حركته؛ وكلّما ازدادت الكتلة قلّ التسارع الناتج عند التأثير بالقوة نفسها، فإذا دفعت بقوة سيارة خفيفة (ذات كتلة صغيرة)، فإنه سيكون لتلك القوة تأثير أكبر ممّا لو دفعت بالقوة نفسها سيارة أثقل (الشكل ٤-١)، لذلك، فإن التسارع يتناسب عكسيًّا مع الكتلة في حالة ثبات القوة:

$$\vec{a} \propto \frac{1}{m}$$



الشكل ٤-١ من الأسهل أن تجعل كتلة صغيرة تتسارع أكثر من كتلة كبيرة.

يعرف سائق القطار أنه عندما يكون القطار مزدحمًا بالركاب، فإن تسارعه يكون أقل؛ وذلك لأن كتلته تكون أكبر، وبالمثل، يصعب إيقاف هذا القطار عندما يكون متحركًا؛ لذلك يجب استخدام المكابح في وقت مبكّر لتجنّب تجاوز القطار رصيف المحطة.

مهمّ

قانون نيوتن الثاني للحركة Newton's second law of motion: يتناسب تسارع جسم ما طرديًّا مع القوة المحصلة المؤثرة عليه وعكسيًّا مع كتلته.

مصطلحات علمية

القصور الذاتي Inertia: مقياس لمدى صعوبة تغيّر السرعة المتجهة لجسم ما (تغيير مقدار سرعته أو اتجاهه أو كلاهما). ويُعدّ القصور الذاتي مقياسًا لكتلة جسم ما؛ فللجسم الثقيل قصور ذاتي كبير.

مثال

١. سائق دراجة كتلته (60 kg) يقود دراجة كتلتها (20 kg). عند الانطلاق، تؤثر على الدراجة قوة دفع مقدارها (200 N). احسب تسارع الدراجة.

الخطوة ١: في هذا المثال، يجب أن نحسب أولًا الكتلة الكلّية للدرّاجة وسائقها:

$m = 20 + 60 = 80$ kg

مقدار القوة $\vec{F}$ مُعطى.

القوة التي تسبب التسارع مقدارها:

$F = 200$ N

الخطوة ٢: استخدم المعادلة $\vec{F} = m\vec{a}$ لحساب تسارع الدراجة:

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

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

$$a = \frac{200}{80}$$

$a = 2.5$ m s^{-2}

إذًا، فإن تسارع الدراجة يساوي (2.5 m s^{-2}).

٢. تتحرّك سيارة كتلتها (500 kg) بسرعة (20 m s^{-1}). يرى السائق إشارة مرور حمراء أمامه، فيتباطأ حتى يتوقّف تمامًا خلال (10 s). احسب قوة مكابح السيارة.

الخطوة ١: في هذا المثال، يجب أن نحسب أولًا التسارع المطلوب لإيقاف السيارة. السرعة المتجهة النهائية للسيارة هي (0 m s^{-1})، لذلك التغيّر في السرعة المتجهة سيكون: ($\Delta v = 0 - 20 = -20$ m s^{-1}).

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

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

$$a = \frac{-20}{10}$$

$a = -2$ m s^{-2}

الخطوة ٢: لحساب القوة نستخدم:

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

$F = 500 \times -2$

$F = -1000$ N

لذلك يجب أن تزوّد المكابح قوة مقدارها (1000 N) (تُظهر الإشارة السالبة أن القوة تُقلّل السرعة المتجهة للسيارة).

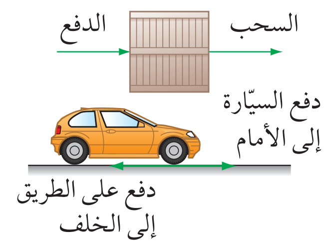
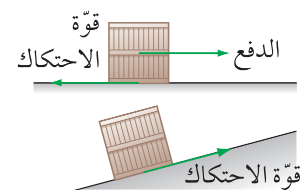
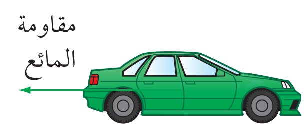
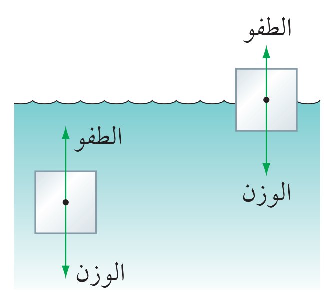
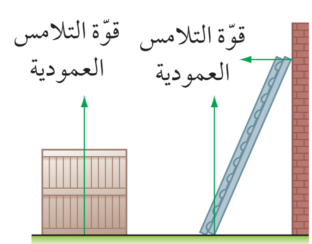
أسئلة

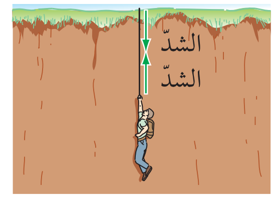
(١) صاروخ كتلته (5000 kg). مقدار القوة المحصّلة المؤثرة عليه في لحظة معيّنة يساوي (200 000 N). احسب تسارعه.

(٢) مسعود كتلته (60 kg)، يقود درّاجة نارية كتلتها (40 kg). عندما أصبحت الإشارة الضوئية خضراء، كان مقدار القوة التي انطلقت بها الدراجة إلى الأمام (200 N). على افتراض أن القوة المحصّلة المؤثرة على الدراجة تبقى ثابتة، احسب سرعة الدراجة بعد مرور (5.0 s). (هذا السؤال، يتطلّب الاستفادة من معادلات الحركة الخطّية التي درستها في الوحدة الثالثة).

٤-٢ التعرّف على أنواع القوى

من المهمّ أن تكون قادرًا على التعرّف على القوى التي تؤثر على جسم ما، فعندما تعرف القوى المؤثرة، يمكنك التنبّؤ بكيفية تحرك الجسم. يبيّن الجدول ٤-١ بعض أنواع القوى المهمّة، وكيف تنشأ، وكيف يمكن أن نمثّلها بمُخطّطات.

الرسم التخطيطي	القوّة	أمثلة
	**الدفع والسحب:** يمكنك جعل جسم ما يتسارع بدفعه أو سحبه. تمثل القوة التي تبذلها بسهم يدفع أو يسحب الجسم. يؤثّر محرّك السيارة بقوة دفع تنتقل إلى الإطارات فتؤثر على الطريق إلى الخلف، وتدفع قوى الاحتكاك مع الطريق إطارات السيارة إلى الأمام.	• الدفع والسحب. • الرفع. • قوّة محرّك السيارة. • التجاذب والتنافر بين أقطاب المغناطيس والشحنات الكهربائية.
	**الوزن:** هو قوة الجاذبية المؤثرة على الجسم، ويُمثّل عادةً بسهم يتّجه رأسيًا إلى الأسفل من مركز كتلة الجسم.	• أي جسم في مجال الجاذبية الأرضية ويكون وزنه أقل على القمر.
	**الاحتكاك:** هي القوة التي تنشأ عندما يحتكّ سطحان متلامسان، فإذا كان جسم ما ينزلق على سطح ما، فإن قوة الاحتكاك تؤثر بالاتجاه المعاكس لحركته؛ أما إذا كان الجسم ساكنًا –ولكنه على وشك الانزلاق– فإن قوة الاحتكاك تؤثر باتجاه أعلى المنحدر لمنعه من الانزلاق إلى الأسفل، فقوّة الاحتكاك تؤثر دائمًا على طول السطح لا بزاوية مع السطح.	• سحب جسم على الأرض. • انعطاف السيارات أو انزلاقها. • الانزلاق إلى الأسفل على منحدر.
	**مقاومة المائع:** هذه القوة تشبه قوة الاحتكاك، فعندما يتحرك جسم ما خلال الهواء، تنشأ قوة احتكاك بينه وبين الهواء، لذلك على الجسم أن يدفع الهواء جانبًا ما دام يتحرك خلاله أيضًا. إن هذه التأثيرات مجتمعة تشكّل قوة مقاومة المائع. وبالمثل، فإنه عندما يتحرّك جسم ما عبر سائل، فإنه يتعرض لمقاومة، وتؤثّر قوة مقاومة المائع باتّجاه معاكس لحركة الجسم؛ وتؤثّر كذلك بالاتجاه المعاكس للسرعة المتجهة للجسم، إلّا أنه يمكن تقليل تأثير هذه القوة بإعطاء الجسم شكلًا انسيابيًا.	• حركة المركبات. • طيران الطائرات. • القفز بالمظلة. • الأجسام الساقطة في الهواء أو سائل ما. • إبحار السفن.
	**الطفو:** أي جسم يوضع في مائع مثل الماء أو الهواء يتعرّض لقوة طفو، وهذا يتيح لبعض الأجسام أن تطفو على سطح الماء. تنشأ قوة الطفو من فرق الضغط بين السطحَين العلوي والسفلي لجسم مغمور، ويزداد الضغط في السائل مع زيادة العمق، حيث إن الضغط على السطح السفلي أكبر من الضغط على السطح العلوي، وهذا يؤدي إلى دفع الجسم إلى أعلى بقوة طفو، فإذا كانت قوة الطفو أقل من وزن الجسم (الشكل الأيمن) فإنه سيغرق، وإذا كانت قوة الطفو أكبر من وزن الجسم فإنه يطفو، وإذا تساوت القوّتان يظل الجسم معلّقًا بالماء (الشكل الأيسر).	• طفو القوارب والجبال الجليدية. • السباحة. • صعود الغوّاصين للسطح. • ارتفاع منطاد الهواء الساخن.
	**قوّة التلامس العمودية:** عندما تقف على أرضية أو تجلس على كرسي، فعادة ما تكون هناك قوة دفع إلى الأعلى في عكس اتجاه قوة وزنك، وهي التي تدعمك حتى لا تسقط إلى الأسفل. تؤثّر قوة التلامس العمودية دائمًا بزوايا قائمة على السطح الذي يولّدها، فتدفعك الأرض باستقامة إلى الأعلى؛ في حين إذا كنت تستند إلى جدار، فإنه يدفعك باتجاه أفقيّ.	• الوقوف على أرضية. • وضع جسم فوق جسم آخر. • الاستناد إلى جدار. • جسم يرتد عن جسم آخر.

الرسم التخطيطي	القوّة	أمثلة
	**الشدّ**: هي القوة التي تؤثر على حبل أو سلك عند شدّه، فإذا سحبت أحد طرفَي السلك، فإن ذلك يؤدي إلى إطالته، وتعمل قوة الشدّ في السلك على سحبه إلى الخلف باتجاه معاكس لقوة شدّك، محاولةً تقصير طوله. يمكن أن يؤثر الشدّ على الزنبرك أيضًا؛ فإذا شددت زنبركًا، فإن قوة الشدّ تسحب الزنبرك إلى الخلف محاولةً تقصير طوله، في حين أنك إذا ضغطت زنبركًا فإن قوة الشدّ تعمل على إطالته.	• السحب بحبل. • شدّ زنبرك أو ضغطه.

الجدول ٤-١ بعض أنواع القوى المهمّة.

٤-٣ الكتلة والقصور الذاتي

إن جُهد علماء المسلمين حول القوى والحركة وقوانينها جاء في النصوص الموثَّقة في مخطوطاتهم، والتي ألَّفوها قبل مجيء نيوتن بسبعة قرون، ومن أهم العلماء العرب المسلمين في هذا المجال ابن سينا في كتابه «الإشارات والتنبيهات»، والإمام فخر الدين الرازي في كتابه «المباحث المشرقية في علم الإلهيات والطبيعيات» وابن الهيثم في كتابه «المناظر». لقد استغرق الأمر زمنًا طويلًا حتى توصّل العلماء إلى أفكار صحيحة حول القوى والحركة. سنستعرض بعض الأفكار الخاطئة، ثم نذكر السبب الذي دفع غاليليو Galileo ونيوتن Newton وآخرين إلى البحث عن أفكار جديدة.

الملاحظات والأفكار

في ما يلي بعض الملاحظات للتفكّر:

- يُسحب جذع الشجرة الكبير المبيّن في الصورة ٤-٢ من غابة، حيث يبذل الفيل القوة اللازمة لسحبه، فإذا توقّف الفيل عن السحب فسيتوقّف الجذع عن الحركة.
- يسحب الحصان العربة، فإذا توقّف الحصان عن السحب، فإن العربة ستتوقف.
- تقود درّاجة هوائية، فإذا توقّفت عن الضغط على الدواسة، فإن الدراجة ستتوقّف.
- تقود سيارة على طول طريق، لذلك يجب أن تستمر في الضغط على دوّاسة الوقود، وإلّا فإن السيارة لن تستمر في الحركة.
- تركل كرة قدم، فتتدحرج الكرة على الأرضية، وتتوقف تدريجيًا.

الصورة ٤-٢ يتمتّع الفيل بالقوة اللازمة لسحب جذع الشجرة من الغابة.

في كل حالة من الحالات السابقة، ثمّة قوة تجعل الشيء يتحرّك: إنها قوة سحب الفيل أو الحصان، والضغط بقوة على دوّاسة الدرّاجة، والضغط بقوة على دوّاسة وقود السيارة، وقوة ركل الكرة. إذًا، من دون قوة، يتوقّف الجسم المتحرّك، والاستنتاج الذي يمكن أن نتوصّل إليه، هو أن الجسم المتحرّك يحتاج إلى قوة لإبقائه متحرّكًا.

قد يبدو هذا استنتاجًا معقولًا، ولكنه خاطئ، لأننا لم نفكّر في جميع القوى المتضمّنة؛ فالقوة المفقودة هي قوة الاحتكاك.

في كل مثال من الأمثلة السابقة، يجعل الاحتكاك (أو مقاومة الهواء) الجسم يبطئ، ويتوقّف عند عدم وجود قوة تدفعه أو تسحبه إلى الأمام، فعلى سبيل المثال: إذا توقّفت عن الضغط على دوّاسة درّاجتك، فإن مقاومة الهواء ستبطئك. وكذلك قوة الاحتكاك في محاور عجلات الدرّاجة ستبطئك أيضًا، ولكن إذا تمكّنت من تشحيم محاور عجلات درّاجتك وقدتها في الفراغ (انعدام وجود هواء)، فإنه يمكنك السير على طول الطريق بسرعة ثابتة ومن دون استخدام الدوّاسة!

بدأ علماء الفلك في القرن السابع عشر باستخدام التلسكوبات لمراقبة السماء في الليل، فلاحظوا أن أجسامًا مثل الكواكب يمكنها أن تتحرّك بحرّية عبر الفضاء، وهي ببساطة تستمرّ في حركتها بدون وجود قوة لدفعها، وتوصّل غاليليو Galileo إلى استنتاج أن هذه هي الحركة الطبيعية للأجسام.

- سيبقى الجسم الساكن في حالة سكون ما لم تكن هناك قوة تجعله يبدأ في الحركة.
- سيستمر الجسم المتحرّك في حركته بسرعة ثابتة وفي خطّ مستقيم ما لم تؤثّر عليه قوة.

لذلك تتحرّك الأجسام بسرعة متجهة ثابتة، ما لم تؤثّر عليها قوة (أن يكون الجسم ساكنًا هو ببساطة حالة خاصّة عندما تكون سرعته المتّجهة صفرًا). أصبح من السهل جدًا في الوقت الحاضر فهم قانون الحركة هذا، لأننا شهدنا أجسامًا تتحرّك أو أسطحًا باحتكاك قليل جدًا بحيث يمكن تجاهله، كزلّاجات ذات عجلات منخفضة الاحتكاك، والزلّاجات على الجليد، والمركبات الفضائية في الفضاء (الفراغ). كان الناس في أيام غاليليو يقومون بجرّ الأشياء على سطح الأرض، أو سحبها بعربات ذات محاور عالية الاحتكاك، وكانت النظرية العلمية السائدة قبل غاليليو –والتي أرسى دعائمها الفيلسوف اليوناني القديم أرسطو Aristotle– تقول بأن القوة يجب أن تؤثّر طوال الوقت للإبقاء على الجسم متحرّكًا، لذلك كان إنجازًا عظيمًا عندما تمكن العلماء من تطوير صورة لعالم خالٍ من الاحتكاك.

مهمّ

يعمل حزام الأمان على مبدأ القصور الذاتي، حيث يؤدي التعرّض لأيّة صدمة إلى إغلاق حزام الأمان بقوة على الراكب ويعمل على الحفاظ على ثباته في مقعده ويمنعه من الاندفاع إلى الأمام أو التحرك داخل السيارة بسبب السرعة التي كان عليها قبل الاصطدام.

فكرة القصور الذاتي

يُعرف مَيل الجسم إلى البقاء على حالته الحركية باسم القصور الذاتي Inertia.

- من الصعب إيقاف جسم متحرّك كتلته كبيرة؛ فكّر مثلًا في التقاط كرة قدم مقارنة بالتقاط كرة تنس أقل كتلة تتحرّك كل منهما بالسرعة نفسها.
- وبالمقابل فإنه من الصعب البدء بتحريك جسم ساكن كتلته كبيرة؛ فكّر في دفع السيارة لتبدأ بالحركة.
- من الصعب أيضًا جعل جسم كتلته كبيرة يغيّر اتجاه حركته؛ تخيّل صعوبة الالتفاف بعربة تسوّق ممتلئة؛ ستلاحظ أنها تميل إلى أن تسير في الخط المستقيم نفسه.

هذه الأمثلة تشير إلى البحث عن طريقة أخرى للتفكير في كتلة جسم ما، فهي مقياس القصور

الذاتي للجسم، أي الصعوبة في تغيير حركته، **فالحركة المنتظمة Uniform motion** هي الحالة الطبيعية لحركة جسم ما، وتعني الحركة المنتظمة هنا «حركة جسم بسرعة متّجهة ثابتة»، أو «حركة جسم بسرعة ثابتة في خطّ مستقيم».

مصطلحات علمية

الحركة المنتظمة Uniform motion: الحالة الطبيعية لحركة جسم بسرعة متّجهة منتظمة أو بسرعة وباتّجاه ثابتَين.

قانون نيوتن الأوّل للحركة

يمكن تلخيص النتائج المتعلّقة بالقصور الذاتي والحركة المنتظمة باسم **قانون نيوتن الأوّل للحركة Newton's first law of motion**:

مهمّ

قانون نيوتن الأوّل للحركة Newton's first law of motion:
سيبقى جسم ما في حالة سكون أو في حالة حركة منتظمة ما لم تؤثّر عليه محصّلة قوى لا تساوي صفرًا.

هذا متضمّن بالفعل، في المعادلة البسيطة التي كنا نستخدمها لحساب التسارع، $\vec{F} = m\vec{a}$، فإذا لم تؤثّر أية **قوة محصّلة Resultant force** على الجسم ($\vec{F} = 0$)، فإنه لن يتسارع ($\vec{a} = 0$)، فالجسم عندئذٍ إمّا أن يبقى ساكنًا أو يستمرّ في الحركة بسرعة متّجهة ثابتة.

مصطلحات علمية

القوة المحصلة Resultant force: القوة المفردة التي لها التأثير نفسه لمجموع كل القوى المؤثرة على جسم ما.

إذا كان جسم ما يخضع لقوّتَين أو أكثر فعلينا أن نفكر في ما إذا كانت هذه القوى متزنة أم لا، ويمكننا القول أنّ القوى المؤثرة على الجسم متزنة عندما يكون مقدار القوة المحصلة على الجسم يساوي صفرًا، عندها سيبقى الجسم إما في حالة سكون أو يكون له سرعة متجهة ثابتة.

يمكننا حساب القوة المحصلة عن طريق جمع قوّتَين (أو أكثر) تعملان على الخط المستقيم نفسه، ولكن يجب أن نأخذ في الاعتبار اتجاه كل قوة؛ حيث، نقول مثلًا إن القوى باتجاه اليمين موجبة والقوى باتجاه اليسار سالبة.

أسئلة

٣ استخدم فكرة القصور الذاتي لشرح سبب وجود مكابح إضافية في بعض السيارات الكبيرة.

٤ اصطدمت سيارة مباشرة بجدار من الطوب. استخدم فكرة القصور الذاتي لشرح سبب احتمال خروج السائق من الزجاج الأمامي إذا لم يكن واضعًا حزام الأمان.

السرعة المتجهة الحدّية

القفز بالمظلات (الصورة ٤-٣) يشبه إلى حدّ ما حركة السيارات التي تتسارع بحرّية في البداية، حيث يكون وزن المظلّي أو وزن المظلّة هو القوة المؤثرة عليه في بداية الهبوط، لذلك يجب أن يكون تسارع المظلّي في البداية هو ($\vec{g}$)، ثم مع تزايد مقاومة الهواء المعاكسة لاتجاه هبوطه يقلّ تسارع المظلّي، وتزداد قوة مقاومة الهواء مع ازدياد سرعة

المظلّي، حتى يصل في النهاية إلى سرعة متجهة قصوى، وهي المعروفة باسم **السرعة المتّجهة الحدّية Terminal velocity**.

الصورة ٤–٣ يهبط المظلّي بحرّية.

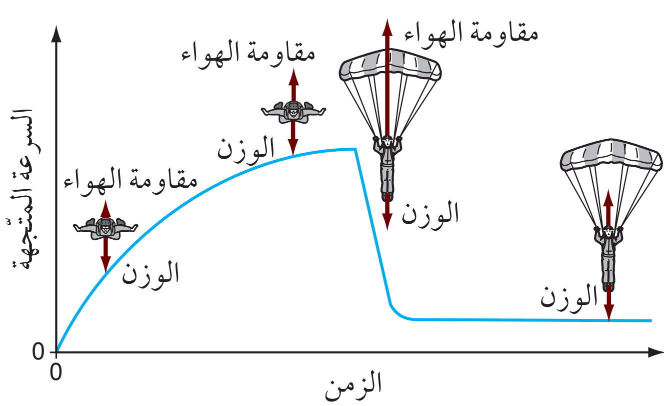
مصطلحات علمية

السرعة المتّجهة الحدّية

Terminal velocity: السرعة المتجهة القصوى التي يصل إليها جسم ما يتحرك في مائع ما (كالهواء أو الماء) تحت تأثير قوة دافعة إلى الأمام وقوة مقاومة المائع إلى الخلف حيث محصّلة القوّتَين تساوي صفرًا.

عند الوصول إلى السرعة المتجهة الحدّية، فإن مقاومة الهواء تساوي وزن المظلّي، ومقدار السرعة المتجهة الحدّية يساوي تقريبًا $50\ m\,s^{-1}$، ولكن ذلك يعتمد على وزن المظلّي ومساحة سطح جسمه، إذ عندما يكون الرأس موجّهًا إلى الأسفل تكون حركة المظلّي أسرع.

فكرة المظلة اعتُمدت لزيادة مقاومة الهواء بشكل كبير، بحيث تقلّل من السرعة المتّجهة الحدّية، وبالتالي يتمكّن المظلّي من الهبوط بسلام. يبيّن الشكل ٤–٢ كيف يمكن أن تتغيّر سرعة المظلّي أثناء الهبوط، إذ تعتمد السرعة المتجهة الحدّية على وزن الجسم الهابط ومساحة سطحه، فمقاومة الهواء للحشرات أكبر بكثير من وزنها مقارنة بوزن الإنسان، وبالتالي فإن السرعة المتّجهة الحدّية للحشرات تكون منخفضة جدًا، ويمكن أن تتقاذفها تيارات الهواء الصاعدة عدة كيلومترات في الغلاف الجوي، لتعود في وقت لاحق إلى الأرض غير مصابة بأيّ أذى.



الشكل ٤–٢ تختلف السرعة المتجهة للمظلي خلال هبوطه.
تظهر أسهم قوة الوزن (إلى أسفل) ومقاومة الهواء (إلى أعلى).

٤-٤ الحركة في الموائع

مقاومة الهواء هي مجرد مثال واحد على **القوة المقاومة** **Resistive force** التي تتعرّض لها الأجسام عندما تتحرّك في مائع، سواء أكان سائلًا أم غازًا، فإذا سبق لك الجري في مياه الشاطئ أو في البحر، أو حاولت اجتياز مياه حمام السباحة بسرعة، فستكون قد جرّبت قوة **مقاومة المائع** **Drag**، وكلما ازداد عمق الماء، ازداد مقدار مقاومته لحركتك (الجري في الماء)، وبالتالي وجدت صعوبة في التقدم، لذلك تكون السباحة في المياه العميقة أسهل من الجري في الماء.

يمكنك ملاحظة تأثير مقاومة الماء على جسم ساقط؛ فإذا أسقطت مفتاحًا أو عملة معدنية في حوض السباحة، فإنك تلاحظ أن سرعتها تزداد في السنتيمترات القليلة الأولى، ثم تثبت ليستمرّ السقوط بسرعة ثابتة.

أمّا إذا أسقطت المفتاح خلال المسافة نفسها في الهواء، فسيتسارع طوال مسافة السقوط، فمقاومة الماء تعني أن الجسم الساقط يصل إلى سرعته المتجهة الحدّية بعد وقت قصير جدًا من تحرّره. قارن هذا مع المظلّي، والذي يجب أن يسقط مئات الأمتار قبل أن يصل إلى السرعة المتّجهة الحدّية.

مصطلحات علمية

القوّة المقاومة **Resistive force**: قوة تعمل في الاتجاه المعاكس للحركة، وتنتج من الاحتكاك أو من بعض قوى المقاومة الأخرى.

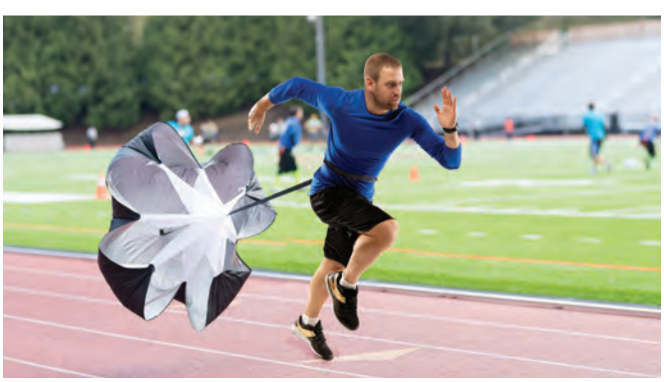
مقاومة المائع **Drag**: قوة تقاوم حركة الجسم خلال مائع.

الحركة خلال الهواء

نادرًا ما نشعر بمقاومة الهواء، ذلك لأن كثافته أقل بكثير من كثافة الماء، حيث تعادل $\frac{1}{800}$ من كثافة الماء، فعند سرعة المشي المعتادة لا نلاحظ آثارًا للمقاومة، لكن إذا أردنا التحرك بوتيرة أسرع فإنّ المقاومة تكون أكثر تأثيرًا، من أجل ذلك يرتدي المتسابقون في سباقات الدراجات ملابس ضيقة وخوذات انسيابية تسمح لهم بالتحرك خلال الهواء بمقاومة أقل؛ الأمر الذي يقلل من قوة مقاومة الهواء كما هو مبيّن في الصورة ٤-٤.

قد يستفيد الرياضيون الآخرون من مقاومة الهواء؛ فالعداء في الصورة ٤-٥ يخضع للتدريب على المقاومة، حيث توفّر المظلة قوة شدّ معاكسة لعمل العضلات، الأمر الذي يساعده على تقوية عضلاته.

الصورة ٤-٤ يتخذ راكب درّاجة في السباق وضعية تساعده على تقليل المقاومة، بحيث صُمّمت الملابس والخوذة وحتى الدرّاجة نفسها للسماح له بالسير بانسيابية بأسرع ما يمكن.



الصورة ٤-٥ يستفيد العدّاء من مقاومة الهواء لتقوية عضلاته.

أمثلة

٣. تسير سيارة كتلتها (500 kg) على طريقٍ مستوٍ، فإذا علمت أن القوة الأمامية بين إطارات السيارة والطريق تساوي (300 N) ومقاومة الهواء (200 N) كما في الشكل ٤–٣، فاحسب مقدار تسارع السيارة.

الخطوة ١: ابدأ برسم مخطّط للسيارة، مبيّنًا عليه القوّتَين المذكورتَين في السؤال، ثمّ احسب القوة المحصّلة على السيارة، باعتبار القوة إلى اليمين موجبة.

القوة المحصّلة: $\vec{F} = 300 - 200 = 100\ \text{N}$

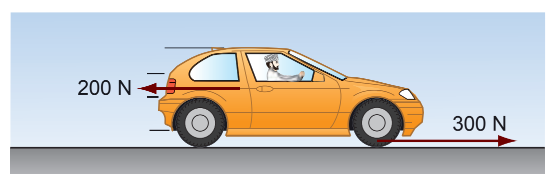
الخطوة ٢: الآن استخدم المعادلة $\vec{F} = m\,\vec{a}$ لحساب تسارع السيارة:

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

$$= \frac{100}{500}$$

$$a = 0.20\ \text{m s}^{-2}$$

إذًا تسارع السيارة يساوي ($0.20\ \text{m s}^{-2}$).



الشكل ٤–٣ القوى المؤثّرة على حركة سيارة متسارعة.

٤. أقصى قوة دفع أمامية يمكن أن تحقّقها سيارة ما هي (500 N)، ومقدار (F) لمقاومة الهواء التي تتعرّض لها السيارة يعتمد على سرعتها وفقًا للمعادلة ($F = 0.2v^2$)، حيث (v) هي السرعة بوحدة m s^{-1} . جِد السرعة القصوى للسيارة.

الخطوة ١: من المعادلة $F = 0.2v^2$ يمكنك أن ترى أن مقاومة الهواء تزداد كلما كانت السيارة أسرع، وتصل السيارة إلى السرعة القصوى عندما تكون قوة الدفع الأمامية مساوية لمقاومة الهواء، إذًا، عند أقصى سرعة،

$$500 = 0.2v^2$$

الخطوة ٢: إعادة ترتيب المعادلة يُعطي:

$$v^2 = \frac{500}{0.2}$$

$$= 2500\ \text{m}^2\ \text{s}^{-2}$$

$$v = \sqrt{2500}$$

$$v = 50\ \text{m s}^{-1}$$

لذلك فإن السرعة القصوى للسيارة تساوي ($50\ \text{m s}^{-1}$).

(وهذه السرعة تكافئ $180\ \text{km h}^{-1}$).

أسئلة

٥ إذا أسقطت حجرًا كبيرًا وحجرًا صغيرًا من قمة مبنى مرتفع، فأيّ منهما سيصل إلى الأرض أوّلًا؟ وضّح إجابتك.

٦ يريد متزلّجون، في سباق التزلّج على منحدر، أن يتحرّكوا بأسرع ما يمكن، لذلك يبحثون دائمًا عن الوسائل التي تزيد سرعاتهم القصوى. اشرح كيف يمكن أن يفعلوا ذلك. فكّر في:

أ. زلّاجاتهم.

ب. ملابسهم.

ج. عضلاتهم.

د. ميل المنحدر.

٧ يقفز مظلّيون من طائرة بفاصل زمني بسيط لا يتعدى بضع ثوانٍ، فإذا رغب اثنان منهم التشابك معًا عند هبوطهما فإنه يتوجّب على الثاني اللحاق بالأوّل.

أ. إذا كان أحد المظليَّين أثقل من الآخر، فأيّ منهما يجب أن يقفز أوّلًا؟ استخدم فكرة القوى والسرعة المتّجهة الحدّية لشرح إجابتك.

ب. إذا كان كلا المظليَّين متساويَين في الكتلة، فاقترح ما يجب أن يفعله الثاني للّحاق بالأوّل.

٤-٥ قوى التلامس العمودية والطفو

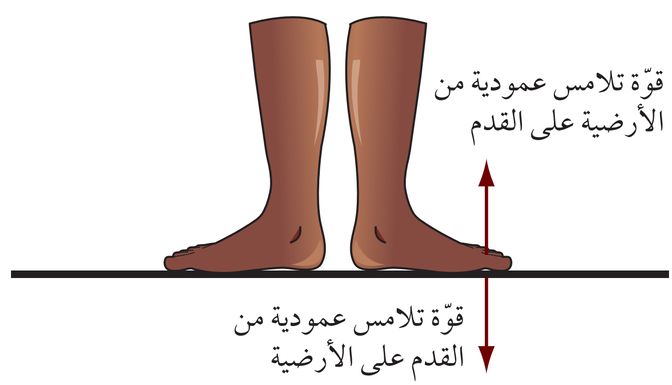
سنفكّر الآن في القوى التي تعمل عندما يكون جسمان في حالة تلامس أحدهما مع الآخر، فعندما يلمس أحد الجسمَين الآخر فإن كلًّا منهما يؤثّر بقوة على الآخر، وهذه القوة تسمّى **قوة التلامس العمودية Contact force**. على سبيل المثال عندما تقف على الأرضية (الشكل ٤-٤)، فإن قدمَيك تدفعان الأرضية إلى الأسفل، والأرضية بدورها تدفع قدمَيك إلى الأعلى، وهذه قوة ضرورية، فدفع الأرضية إلى الأعلى يمنعك من السقوط تحت تأثير سحب وزنك إلى الأسفل.

من أين تأتي قوى التلامس العمودية هذه؟ عندما تقف على الأرضية، تصبح الأرضية مضغوطة قليلًا، فتندفع ذرّاتها لتتقارب بعضها من بعض، وبالتالي تندفع القوى الذرّية الداخلية إلى الخلف باتّجاه معاكس لقوة الضغط، وفي الوقت نفسه أيضًا تندفع الذرّات الموجودة في قدمَيك لتتقارب إحداهما من الأخرى، حيث تندفع إلى الخلف بالاتّجاه المعاكس. (من الصعب رؤية الأرضية المضغوطة عند الوقوف عليها، ولكن إذا وقفت على مادة ليّنة كالمطاط الإسفنجي، فستتمكن من رؤية الضغط بوضوح).

نرى من الشكل ٤-٤ أن قوّتَي التلامس العموديتَين تعملان باتجاهَين متعاكسَين، وهما متساويتان في المقدار أيضًا، وهذا ما يعبّر عنه قانون نيوتن الثالث للحركة، والذي سوف تدرسه لاحقًا في هذه الوحدة.

مصطلحات علمية

قوّة التلامس العمودية Contact force: القوة التي تصنع زاوية قائمة مع السطح عندما يكون جسمان (سطحان) على تلامس.



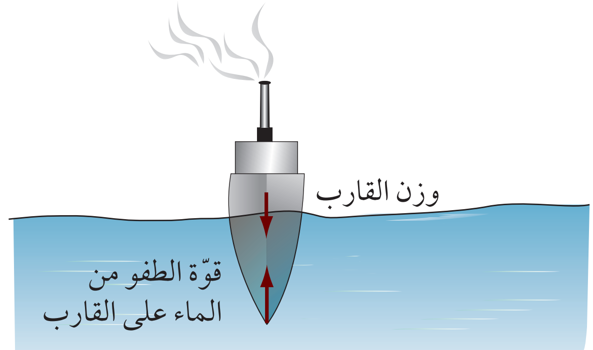
الشكل ٤-٤ قوّتا تلامس عموديتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان تعملان عندما تقف على أرضية ما.

عندما يُغمر جسم ما في مائع (سائل أو غاز)، فإنه يواجه قوة إلى أعلى تسمّى **الطفو Upthrust**، فقوة الطفو للماء هي التي تحافظ على القوارب طافية (الشكل ٤-٥)، وقوة الطفو للهواء هي التي ترفع منطاد الهواء الساخن إلى الأعلى.

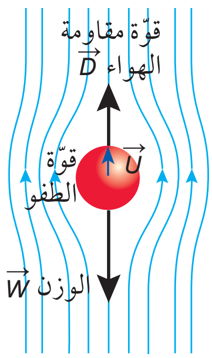
يمكن اعتبار قوة طفو الماء للقارب مشابهة لقوة تلامس القارب للماء، ويحدث هذا بسبب ضغط الماء الذي يدفع القارب إلى الأعلى، وينشأ الضغط من حركة جزيئات الماء التي تصطدم بالقارب، ويكون التأثير المحصّل لكل هذه التصادمات هو القوة إلى الأعلى.

مصطلحات علمية

الطفو Upthrust: قوة تتّجه إلى الأعلى تؤثّر على الجسم المغمور في السائل أو الغاز وتحدث بسبب فرق الضغط في الغاز أو السائل على سطحَي الجسم المغمور.



الشكل ٤-٥ بدون قوّة طفو كافية من الماء، فإن القارب سيغرق.



الشكل ٤-٦ تأثير قوّتَي الطفو ومقاومة الهواء على كرة تسقط في الهواء.

تؤثّر قوة طفو صغيرة جدًا على الجسم كالكرة مثلًا، في الهواء (الشكل ٤-٦)؛ لأن كثافة الهواء حولها تكون قليلة نسبيًا، حيث تتصادم جزيئات الهواء بالسطح العلوي للكرة، فتدفعها إلى الأسفل، في حين يدفع أكثر بقليل من الجزيئات أسفل الكرة إلى الأعلى، وبالتالي فإن القوة المحصّلة لقوّتَي الدفع هاتَين، سوف تكون قوة تدفع إلى الأعلى، أي قوة الطفو ستكون صغيرة، فإذا كانت الكرة في حالة سقوط، فإن مقاومة الهواء عليها تكون أكبر من قوة الطفو الصغيرة هذه، ولكنّ كِلا القوّتَين (الطفو ومقاومة الهواء) تعملان لدفع الكرة إلى الأعلى.

أسئلة

٨ سمِّ هذه القوى:

أ. دفع الماء للجسم المغمور فيه إلى أعلى.

ب. القوة التي تجعل سطحَين يتآكلان أثناء تحرك أحدهما فوق الآخر.

ج. القوة التي أدّت إلى سقوط التفاحة من الشجرة بالقرب من إسحق نيوتن.

د. القوة التي تمنعك من اختراق الأرضية.

هـ. القوة التي تحافظ على بقاء التفاحة معلّقة بسلك.

و. القوة التي تجعل الجري في المياه الضحلة صعبًا.

٩ ارسم مخطّطًا لتبيّن القوى المؤثّرة على سيارة وهي تتحرك على طول طريق مستوٍ بأقصى سرعة لها.

١٠ تخيّل رمي كرة الريشة في الهواء رأسيًا إلى الأعلى، حيث تكون مقاومة الهواء أكثر أهمّية لكرة الريشة ممّا هي لكرة التنس. تعمل مقاومة الهواء دائمًا بالاتّجاه المعاكس للسرعة المتّجهة للجسم.

ارسم مخطّطَين تبيّن فيهما القوتَين (الوزن ومقاومة الهواء) اللتَين تؤثّران على كرة الريشة في الحالتَين الآتيتَين:

أ. عندما تتحرك إلى الأعلى.

ب. عندما تسقط إلى الأسفل.

٤-٦ قانون نيوتن الثالث للحركة

يجب أن ننظر الآن في **قانون نيوتن الثالث للحركة Newton's third law of motion** للتأكّد من اكتمال قوانين نيوتن، فعندما يتأثر جسمان أحدهما بالآخر، فإن كلًا منهما يؤثر على الآخر بقوة مساوية له في المقدار ومعاكسة له في الاتجاه.

(توصف هاتان القوّتان أحيانًا بالفعل وردّ الفعل، لكن هذا مضلِّل؛ لأنه يبدو كما لو أن إحداهما تنشأ نتيجة للأخرى

بدلًا من ظهور كلتا القوّتَين في وقت واحد. في الواقع تظهر القوّتان في الوقت نفسه، ولا نستطيع القول إن إحداهما تسبّب الأخرى).

القوّتان اللتان تشكّلان «زوج قانون نيوتن الثالث» لهما الخصائص الآتية:

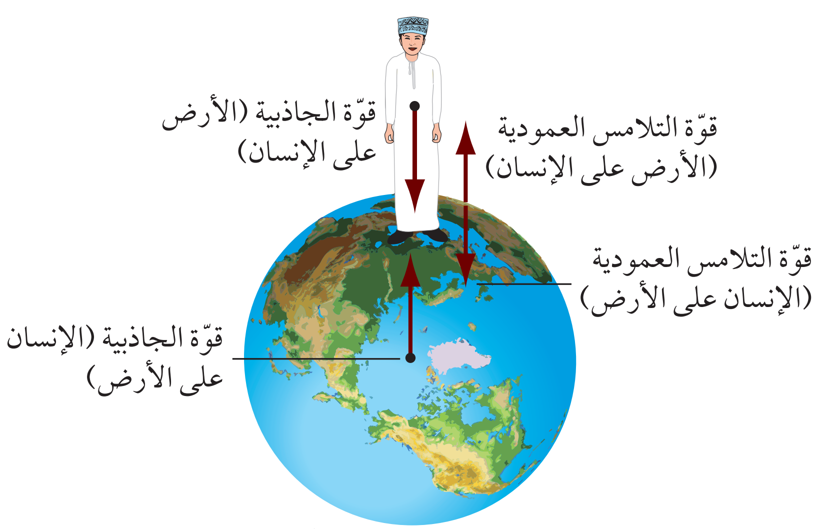
- تؤثّران على جسمَين مختلفَين.
- متساويتان في المقدار.
- متعاكستان في الاتّجاه.
- هما قوّتان من النوع نفسه.

قانون نيوتن الثالث للحركة Newton's third law of motion:
عندما يتأثر جسمان أحدهما بالآخر، فإن القوى التي يؤثر بها كل منهما على الآخر تكون متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه.

ماذا يعني القول إن القوّتَين «من النوع نفسه»؟ نحن في حاجة إلى التفكير في سبب ظهور هاتَين القوّتَين.

- قد يجذب جسمان أحدهما الآخر بفعل جاذبية كتلة كل منهما: إنها قوى جاذبية.
- قد يتجاذب جسمان أو يتنافران بفعل شحنة كل منهما الكهربائية: إنها قوى كهربائية.
- قد يتلامس جسمان: إنها قوى تلامس عمودية.
- يمكن ربط جسمَين عبر سلك وسحب أحدهما نحو الآخر: إنها قوى شدّ.
- قد يتجاذب جسمان أو يتنافران بفعل مجالَيهما المغناطيسيَّين: إنها قوى مغناطيسية.

يبيّن الشكل ٤-٦ شخصًا يقف على سطح الأرض، حيث قوّتا الجاذبية (قوة جاذبية الأرض على الإنسان وقوة جاذبية الإنسان على الأرض) هما زوج قانون نيوتن الثالث، وكذلك قوّتا التلامس العموديتان، فلا يخدعنَّك تفكيرك في أن وزن الشخص وقوة التلامس العمودية على سطح الأرض هما قوّتان تمثّلان زوج قانون نيوتن الثالث، فعلى الرغم من أنهما «متساويتان ومتعاكسان» إلّا أنهما لا تؤثران في جسمَين مختلفَين، وكذلك هما ليستا من النوع نفسه.



الشكل ٤-٦ لكل قوّة من القوى التي تؤثّر بها الأرض عليك، قوّة مساوية لها، ومعاكسة تؤثّر بها أنت على الأرض.

سؤال

١١ صِف إحدى قوّتَي «زوج قانون نيوتن الثالث» من القوّتَين المتضمّنتَين في المواقف الآتية، وفي كل حالة اذكر الجسم الذي تؤثّر عليه كل قوة ونوع القوة واتّجاهها:

أ. تدوس على إصبع قدم شخص ما.

ب. اصطدمت سيارة بجدار من الطوب فتوقفت.

ج. تبطئ السيارة باستخدام المكابح.

د. ترمي كرة في الهواء.

٤-٧ الوحدات الأساسية والنيوتن

أدّى إسحق نيوتن Isaac Newton (1642 – 1727 م) دورًا مهمًا في تطوير الفكرة العلمية للقوّة استنادًا إلى نظرية غاليليو Galileo السابقة؛ حيث فسّر العلاقة بين القوة والكتلة والتسارع، والتي نكتبها الآن على الشكل $\vec{F} = m\vec{a}$، لهذا السبب فإن وحدة القوة في النظام الدولي للوحدات (SI) سُمّيت باسمه.

يمكننا استخدام المعادلة $\vec{F} = m\vec{a}$ لتعريف وحدة **النيوتن** Newton (N).

النيوتن الواحد هو القوة التي تُعطي كتلة مقدارها 1 kg تسارعًا مقداره $1\ \mathrm{m\,s^{-2}}$ باتجاه القوة.

$$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg} \times 1\ \mathrm{m\,s^{-2}} \quad \text{أو} \quad 1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg\,m\,s^{-2}}$$

مصطلحات علمية

النيوتن Newton (N): النيوتن الواحد هو القوة التي تُعطي كتلة مقدارها (1 kg) تسارعًا مقداره ($1\ \mathrm{m\,s^{-2}}$) باتّجاه القوّة.

المعادلة المتجانسة Homogeneous equation: هي التي تحتوي على الوحدات الأساسية نفسها في كل طرف من طرفَيها.

الوحدات الدولية (SI) والمعادلات المتجانسة

يمكن اشتقاق جميع الوحدات الأخرى من الوحدات الأساسية، حيث يتمّ ذلك باستخدام تعريف الكمّية، فعلى سبيل المثال تُعرّف السرعة على أنها $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$ وكذلك الوحدات الأساسية للسرعة في النظام الدولي للوحدات (SI) هي $\mathrm{m\,s^{-1}}$.

يجب أن تحتوي المعادلات التي تتعلّق بكمّيات مختلفة على الوحدات الأساسية نفسها في كلّ طرف من طرفَي المعادلة، وإذا لم يتحقق ذلك فإن المعادلة تكون خاطئة.

عندما يكون لكلّ من طرفَي المعادلة الوحدات الأساسية نفسها يقال عندئذٍ إنّ **المعادلة متجانسة** Homogeneous equation.

مثال

٥. يُعطى زمن تأرجح واحد كامل (T) لبندول بالمعادلة $T^2 = 4\pi^2(\frac{l}{g})$ حيث (l) هو طول خيط البندول و (g) هو تسارع الجاذبية الأرضية. بيّن أن هذه المعادلة متجانسة.

لكي تكون المعادلة متجانسة، يجب أن يكون للكمّية الموجودة في الطرف الأيسر للمعادلة الوحدات الأساسية نفسها لجميع الكميات الموجودة في الطرف الأيمن.

الخطوة ١: الوحدة الأساسية للزمن الدوري (T) هي الثانية s. أيّ أن الوحدة الأساسية للطرف الأيسر من المعادلة هي مربّع الثانية s^2.

تابع

الخطوة ٢: الوحدة الأساسية لطول البندول (l) هي m. والوحدات الأساسية لتسارع الجاذبية (g) هي $m\,s^{-2}$. لذلك، فإن الوحدة الأساسية للطرف الأيمن هي $\frac{m}{m\,s^{-2}} = s^2$. (لاحظ أن الثابت $4\pi^2$ ليس له وحدات).

وبما أن الوحدات الأساسية في الطرف الأيسر من المعادلة هي نفسها الموجودة في الطرف الأيمن، لذا فإن المعادلة متجانسة.

أسئلة

١٢ حدّد الوحدات الأساسية لكلّ من:

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

ب. الطاقة = القوّة × المسافة

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

١٣ استخدم الوحدات الأساسية لإثبات أن المعادلات الآتية متجانسة:

أ. الضغط = الكثافة × تسارع الجاذبية × العمق

ب. المسافة المقطوعة (s) = السرعة الابتدائية (u) × الزمن (t) + $\frac{1}{2}$ التسارع (a) × مربع الزمن (t^2) ($s = ut + \frac{1}{2}at^2$).

٤-٨ جمع القوى

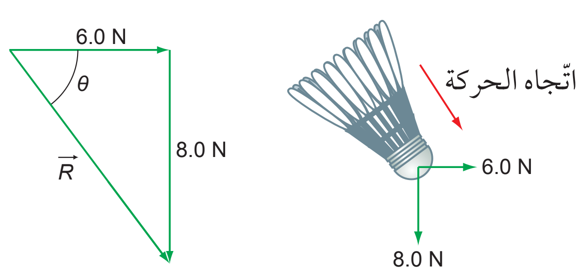
نظرا لأن القوة كمية متجهة فإننا نتبع قواعد جمع المتجهات لإيجاد محصلتها. لقد درست في الوحدة الثانية كيفية جمع وطرح متجهَين إذا كانا في الاتجاه نفسه أو في اتجاهَين متعاكسَين.

قوّتان متعامدتان

يبيّن الشكل ٤-٧ سقوط كرة ريشة مع وجود رياح. حيث هناك قوّتان تؤثّران على كرة الريشة: وزنها رأسيًا إلى الأسفل، وقوة دفع الرياح الأفقية. (من المفيد أن ترسم أسهم القوى بأطوال مختلفة لتوضّح مقدار القوة). يجب أن نجمع هاتَين القوّتَين معًا لإيجاد القوة المحصّلة المؤثّرة على كرة الريشة.

نجمع القوّتَين برسم سهمَين، يتّصلان رأسًا بذيل، كما هو مبيّن إلى يسار الشكل ٤-٧، ولإيجاد القوة المحصلة اتبع الخطوات الآتية:

- أوّلًا، ارسم سهمًا أفقيًا باتجاه اليمين لتمثيل قوة دفع الرياح التي مقدارها (6.0 N).
- بعد ذلك، ارسم سهمًا ثانيًا بدءًا من رأس السهم الأوّل باتّجاه الأسفل، ليمثّل الوزن الذي مقداره (8.0 N).



الشكل ٤-٧ قوّتان تؤثّران على كرة ريشة أثناء حركتها في الهواء؛ يوضّح مثلّث المتّجهات كيفية إيجاد القوّة المحصّلة ($\vec{R}$).

- الآن، ارسم سهمًا من ذيل السهم الأوّل (قوة دفع الرياح) إلى رأس السهم الثاني (وزن كرة الريشة). يمثّل هذا السهم القوة المحصّلة ($\vec{R}$)، من حيث المقدار والاتّجاه.

بعد رسم الأسهم متصلة رأسًا بذيل، بحيث يكون رأس السهم الأوّل هو ذيل السهم الثاني، يمكننا إيجاد القوة المحصّلة إما باستخدام مقياس رسم أو حسابها باستخدام نظرية فيثاغورث، حيث في هذه الحالة، يكون لدينا مثلّث قائم الزاوية، لذا فإن الحساب سيكون بسيطًا:

$$R^2 = 6.0^2 + 8.0^2 = 36 + 64$$
$$= 100$$
$$R = \sqrt{100}$$
$$= 10\ \text{N}$$
$$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = \frac{8.0}{6.0} = \frac{4}{3}$$
$$\theta = \tan^{-1}\frac{4}{3} \approx 53°$$

إذًا، القوة المحصّلة هي (10 N)، وتميل بزاوية 53° باتجاه جنوب الشرق، وهذه الإجابة معقولة؛ فالوزن يسحب الريشة إلى الأسفل، في حين تدفعها الرياح إلى اليمين. والزاوية مع الأفقي أكبر من 45°؛ لأن القوة إلى الأسفل أكبر من القوة الأفقية.

مهمّ

عند الرسم بمقياس رسم، يجب أن:
- تذكُر مقياس الرسم المستخدم.
- ترسم مُخطّطًا كبيرًا للتقليل من قيمة عدم اليقين.

ثلاث قوى

يتعلّق العنكبوت المبيّن في الشكل ٤–٨ بخيط، وتدفعه الرياح في الوقت نفسه جانبًا، ويُبيّن المُخطّط القوى الثلاث التي تؤثّر عليه:

- وزنه المتّجه إلى الأسفل.
- قوة الشدّ في الخيط.
- قوة دفع الرياح.

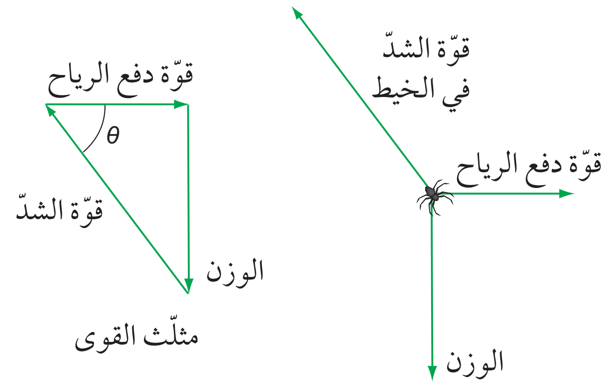
يبيّن المُخطّط أيضًا كيف يمكن جمع القوى معًا، وسنصل إلى نتيجة مثيرة للاهتمام في هذه الحالة، بحيث تُرسم الأسهم لتمثيل كل من القوى الثلاث متصلة رأسًا بذيل كما في الجزء الأيسر من الشكل ٤–٨، فيتّصل رأس السهم الثالث بذيل السهم الأول، وبذلك تُشكّل الأسهم الثلاثة مثلّثًا مغلقًا؛ هذا الأمر يخبرنا أن القوة المحصّلة ($\vec{R}$) التي تؤثّر على العنكبوت تساوي صفرًا، أي أن ($R = 0$)، فالمثلّث المُغلق في الشكل ٤–٨ يسمّى **مثلّث القوى Triangle of forces**.

لذلك لا توجد عليه قوة محصّلة، حيث تكون القوى المؤثّرة على العنكبوت في حالة توازن، وعندئذ يمكننا القول إنّ العنكبوت في حالة **اتّزان Equilibrium**، فإذا اشتدّت قوة الرياح قليلًا، فسيكون هناك قوى غير متزنة تؤثر على العنكبوت وسيتحرّك إلى اليمين.

مصطلحات علمية

مثلّث القوى Triangle of forces: مثلّث مغلق يُرسم لتمثيل ثلاث قوى في حالة اتزان. تُمثّل أضلاع المثلث القوى من حيث المقدار والاتجاه.

الاتّزان Equilibrium: يكون جسم ما في حالة اتزان عندما يكون في حالة سكون، أو يتحرك بسرعة متجهة ثابتة؛ لأن القوة المحصّلة المؤثرة عليه تساوي صفرًا.



الشكل ٤-٨ عنكبوت تحت تأثير ثلاث قوى في حالة اتزان.

يمكننا استخدام فكرة مثلّث القوى هذه بطريقتَين:

- إذا وجدنا أن القوة المحصّلة المؤثّرة على جسم ما تساوي صفرًا، فهذا يعني أن الجسم في حالة اتّزان.
- إذا عرفنا أن جسمًا ما في حالة اتّزان، فنحن نعرف عندئذٍ أن مجموع القوى المؤثّرة عليه يجب أن يكون صفرًا، وهذا يمكّننا من استخدام مثلّث القوى لإيجاد قيمة واحدة من القوى غير المعروفة أو أكثر.

أسئلة

١٤ تُبحر السفينة المبيّنة في الشكل ٤-٩ بسرعة متّجهة ثابتة.

أ. هل السفينة في حالة اتّزان (بمعنى آخر، هل القوة المحصّلة على السفينة تساوي صفرًا)؟ وكيف عرفت ذلك؟

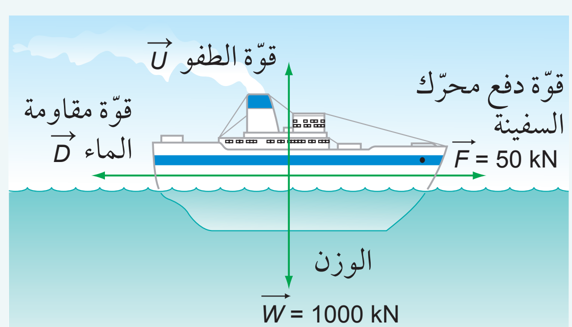
ب. ما مقدار قوة الطفو ($\vec{U}$) للماء؟

ج. ما مقدار قوة مقاومة الماء ($\vec{D}$)؟

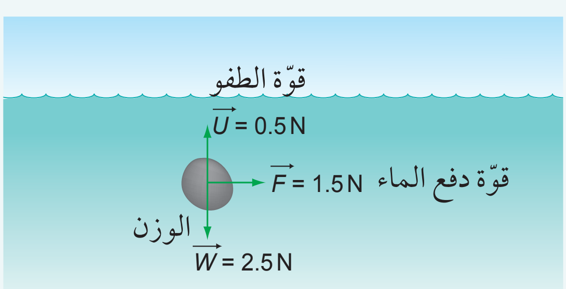
١٥ يسقط حجر في مجرى مائي سريع الجريان، ولكنه لا يسقط رأسيًا بسبب الدفع الجانبي للماء عليه (الشكل ٤-١٠).

أ. احسب القوة المحصّلة المؤثّرة على الحجر.

ب. هل الحجر في حالة اتّزان؟



الشكل ٤-٩ القوة ($\vec{D}$) هي قوة مقاومة الماء لحركة القارب. على غرار مقاومة الهواء، تكون قوة مقاومة الماء دائمًا في الاتجاه المعاكس لحركة الجسم.



الشكل ٤-١٠ رسم تخطيطي للقوى المؤثّرة على الحجر.

٤-٩ مركّبات المتّجهات

بالعودة إلى الشكل ٤-٨: العنكبوت في حالة اتّزان، فعلى الرغم من تأثير ثلاث قوى عليه، إلّا أنه إذا فكّرنا في قوة الشدّ في الخيط يتبيّن أنّ لها تأثيرَين هما:

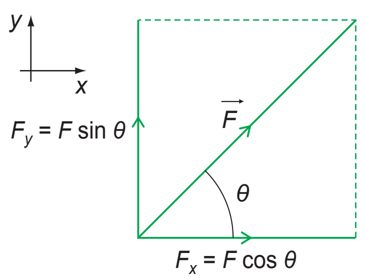
- قوة الشدّ إلى الأعلى لمواجهة تأثير الجاذبية إلى الأسفل.
- قوة الشدّ إلى اليسار لمواجهة تأثير الرياح.

يمكننا القول إن لهذه القوة تأثيرَين أو مركّبتَين Components: مركّبة إلى الأعلى (رأسية) ومركّبة جانبية (أفقية). من المفيد تحليل الكمية المتجهة إلى مركّبتين بهذه الطريقة، تمامًا كما فعلنا بالسرعة المتّجهة في الوحدة الثالثة، بحيث تكون المركّبتان باتّجاهَين يحصران بينهما زاوية قائمة، وغالبًا ما تكون المركّبتان إحداهما أفقية والأخرى رأسية. هذه العملية تسمّى تحليل Resolving المتّجه.

يمكننا بعد ذلك التفكير في تأثيرات كل مركّبة بمفردها، فنقول إن تأثير المركّبة الرأسية مستقلّ عن تأثير المركّبة الأفقية. ونظرًا لأن المركّبتَين تحصران بينهما زاوية 90°، فلن يكون للتغيير في إحداهما أيّ تأثير على الأخرى. يبيّن الشكل ٤-١١ كيف تُحلّل قوة إلى مركّبتَيها الأفقية والرأسية، فالمركّبتان هما:

المركّبة الأفقية للقوة $\vec{F}$: $F_x = F\cos\theta$

المركّبة الرأسية للقوة $\vec{F}$: $F_y = F\sin\theta$



الشكل ٤-١١ تحليل المتّجه (القوة $\vec{F}$) إلى مركّبتَين متعامدتَين.

عند تحليل القوى المؤثرة على العنكبوت في الشكل ٤-٨ إلى مركّباتها الأفقية والرأسية، ثم جمع جميع المركّبات الرأسية ستكون محصلتها تساوي صفرًا، وعند جمع جميع المركّبات الأفقية فإن محصلتها تساوي صفرًا أيضًا، أي أن العنكبوت في حالة اتزان.

الاستفادة من المركّبات

عندما تنطلق العربة المبيّنة في الصورة ٤-٦، فإنها تتسارع إلى أسفل المنحدر، ويحدث هذا بسبب وزن العربة، حيث يؤثر وزنها رأسيًا نحو الأسفل، إلّا أن الوزن بحدّ ذاته ليس هو المسؤول وحده عن الحركة، إنما مركّبته الموازية للمنحدر هي التي تشد العربة إلى أسفله، وبحساب مركّبة وزن العربة الموازية للمنحدر يمكننا تحديد تسارعها.

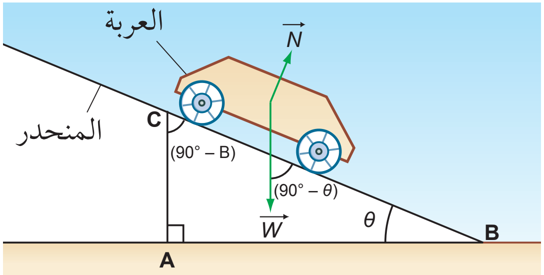
يبيّن الشكل ٤-١٢ القوى المؤثّرة على العربة، ولتبسيط الفكرة، سنفترض عدم وجود قوة احتكاك، عندئذٍ تكون القوى المؤثّرة على العربة هي:

- وزن العربة ($\vec{W}$) تؤثّر رأسيًا إلى الأسفل.
- قوة تلامس المنحدر على العربة ($\vec{N}$)، والتي تؤثّر بزاوية قائمة على المنحدر.

تستنتج من الشكل ٤-١٢ أن القوى لا يمكن أن تكون متزنة؛ لأنها لا تؤثر على الخط المستقيم نفسه.

الصورة ٤-٦ يستقصي الطالب تسارع عربة تتحرك إلى أسفل منحدر مائل.

لإيجاد مركّبة ($\vec{W}$) إلى أسفل المنحدر، علينا معرفة الزاوية المحصورة بين ($\vec{W}$) والمنحدر، حيث يصنع المنحدر مع الاتّجاه الأفقي زاوية θ، ومن خلال المخطّط يمكننا ملاحظة أن الزاوية بين الوزن ($\vec{W}$) والمنحدر هي $(90° - \theta)$ إذا رسمتَ مثلث ABC القائم الزاوية عند A، يكون مجموع قياس الزاويتين B و C يساوي °90، أي أنهما زاويتان متكاملتان، بالتالي قياس الزاوية C يساوي $(90° - B)$. باستخدام قاعدة حساب مركّبتَي المتّجه المذكورة سابقًا، يكون لدينا:



الشكل ٤-١٢ مخطط القوى التي تؤثّر على العربة.

مركّبة ($\vec{W}$) الموازية للمنحدر باتجاه أسفل المنحدر:

$$W \cos (90° - \theta) = W \sin \theta$$

(من المفيد أن نتذكّر أن: $\cos (90° - \theta) = \sin \theta$؛ يمكنك معرفة ذلك من الشكل ٤-١٢).

هل تساعد قوة التلامس العمودية ($\vec{N}$) على جعل العربة تتسارع إلى أسفل المنحدر؟ للإجابة عن هذا السؤال، يجب أن نحسب مركّبتها باتجاه أسفل المنحدر. الزاوية بين ($\vec{N}$) والمنحدر °90. لذلك:

مركّبة ($\vec{N}$) باتجاه أسفل المنحدر:

$$N \cos 90° = 0$$

جيب تمام الزاوية °90 يساوي صفرًا، وبالتالي ليس لقوة التلامس العمودية ($\vec{N}$) أيّة مركّبة باتجاه أسفل المنحدر. هذا يبيّن الفائدة من التفكير في مركّبتَي كل من القوى المؤثرة؛ نحن لا نعرف قيمة ($\vec{N}$)، ولكن نظرًا إلى عدم تأثيرها على العربة إلى أسفل المنحدر، يمكننا تجاهلها. (وهذا منطقي فالعربة تتحرك على المنحدر بسبب تأثير وزنها، وليس لأنها مدفوعة بقوة التلامس العمودية $\vec{N}$).

تغيير الميل

إذا زاد الطالب في الصورة ٤-٦ ميل المنحدر، فستتحرك العربة إلى أسفل المنحدر بتسارع أكبر، وذلك لأنه زاد مقدار الزاوية θ، فلذلك ستزداد قيمة مركّبة ($\vec{W}$) الموازية باتجاه أسفل المنحدر.

الآن يمكننا حساب تسارع العربة. إذا كانت كتلة العربة (m)، فإن وزنها هو ($m\vec{g}$). إذًا، القوة ($\vec{F}$) التي تجعلها تتسارع إلى أسفل المنحدر مقدارها:

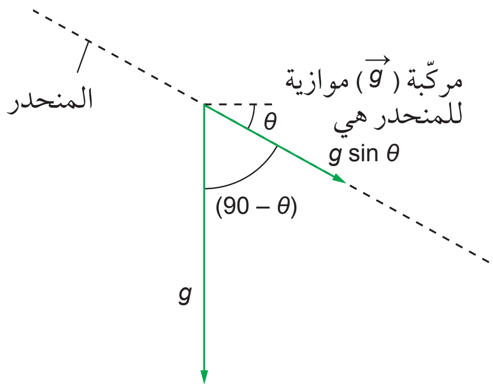
$$F = m\,g \sin \theta$$

ولأن لدينا من قانون نيوتن الثاني للكتلة الثابتة أن $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$، فإنه يمكن الحصول على مقدار تسارع العربة ($\vec{a}$) من خلال العلاقة:

$$F = m\,a = m\,g \sin \theta$$

$$a = \frac{m\,g \sin \theta}{m} = g \sin \theta$$

بإمكاننا أن نتوصّل ببساطة إلى هذه النتيجة: إن تسارع العربة سيكون مركّبة ($\vec{g}$) الموازية للمنحدر (الشكل ٤-١٣)، فكلما كان المنحدر أكثر ميلًا، زادت قيمة $\sin\theta$، وبالتالي فإن تسارع العربة يزداد.



الشكل ٤-١٣ تحليل ($\vec{g}$) في اتجاه أسفل المنحدر.

مهمّ

مخطّط قوى الجسم الحرّ

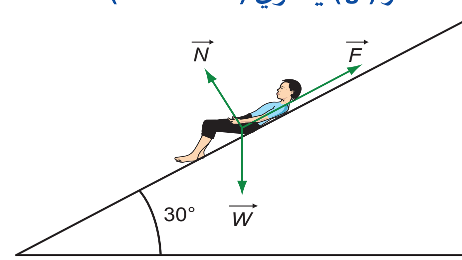
Free-body force diagram: مُخطّط يبيّن جميع القوى المؤثرة على جسم ما (ولكن ليس القوى التي يؤثر بها هذا الجسم على الأجسام الأخرى).

حلّ أسئلة بطريقة تحليل القوى

يمكن تحليل أيّة قوة إلى مركّبتَين متعامدتَين؛ ويمكن بعد ذلك معالجة كل مركّبة بشكل منفصل إحداهما عن الأخرى. ويمكن أيضًا استخدام هذه الفكرة لحلّ الأسئلة، كما هو موضّح في المثال رقم ٦.

مثال

٦. عبدالله كتلته (40 kg)، يستلقي على منزلق مائي يميل بزاوية 30° مع المحور الأفقي، فإذا كان مقدار قوة الاحتكاك باتّجاه أعلى المنحدر (120 N)، فاحسب تسارع عبدالله إلى أسفل المنحدر. اعتبر أن تسارع السقوط الحرّ ($\vec{g}$) يساوي ($9.81\ m\ s^{-2}$).



الشكل ٤-١٤ مخطّط القوى المؤثّرة على عبدالله.

الخطوة ١: ارسم مخطّط قوى الجسم الحرّ Free-body force diagram توضّح عليه جميع القوى التي تؤثر على الجسم (الشكل ٤-١٤). والقوى هي:

وزن عبدالله: $W = 40 \times 9.81$

$= 392\ N$

قوة الاحتكاك إلى أعلى المنحدر: $F = 120\ N$

قوة التلامس العمودية ($\vec{N}$) بزاوية 90° مع المنحدر.

الخطوة ٢: نحاول أن نجد القوة المحصّلة المؤثرة على عبدالله التي تجعله يتسارع إلى أسفل المنحدر. نحلّل القوى إلى أسفل المنحدر، أي نجد المركّبات في هذا الاتّجاه.

مركّبة ($\vec{W}$) الموازية إلى أسفل المنحدر:

$= 392 \times \sin 30°$

$= 196\ N$

مركّبة ($\vec{F}$) الموازية إلى أسفل المنحدر:

$F = -120\ N$

(إشارة السالب، لأن ($\vec{F}$) تتّجه إلى أعلى المنحدر وهو عكس اتجاه الحركة).

مركّبة ($\vec{N}$) الموازية إلى أسفل المنحدر:

$N = 0$

(لأنها تصنع زاوية 90° مع المنحدر).

تابع

الخطوة ٣: احسب مقدار القوة المحصّلة ($\vec{F}$) المؤثّرة على عبدالله:

القوة المحصّلة:

$F = 196 - 120 = 76\ \text{N}$

الخطوة ٤: احسب تسارع عبدالله:

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

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

$$= \frac{76}{40}$$

$a = 1.9\ \text{m s}^{-2}$

إذًا، فإن تسارع عبدالله إلى أسفل المنحدر يساوي ($1.9\ \text{m s}^{-2}$). كان بإمكاننا التوصّل إلى النتيجة نفسها عبر تحليل القوى رأسيًّا وأفقيًّا، ولكن هذا التحليل يؤدي إلى حلّ معادلتَين آنيّتَين، علينا من خلالهما التخلّص من القوة المجهولة ($\vec{N}$)، وغالبًا ما يؤدّي تحليل القوى المجهولة إلى مركّبتَين متعامدتَين (أي بينها زاوية 90°) إلى حذف تأثير قوة غير معروفة.

أسئلة

١٦ ينزلق صندوق على منحدر. وزن الصندوق (500 N). ويصنع المنحدر زاوية (30°) مع الأفقي.

أ. ارسم مخطط قوى الجسم الحر لتوضيح القوى المؤثّرة. ضمّن المخطّط أسهمًا لتمثيل وزن الصندوق وقوة التلامس العمودية للمنحدر التي تؤثّر على الصندوق.

ب. احسب مركّبة الوزن الموازية لأسفل المنحدر.

ج. اشرح سبب عدم وجود مركّبة لقوة تلامس المنحدر موازية لأسفل المنحدر.

د. ما القوة الثالثة التي قد تعمل بعكس حركة الصندوق؟ وفي أيّ اتجاه يجب أن تؤثّر؟

١٧ وُضعت سيارة لعبة كتلتها (0.6 kg) على حافة منحدر. يميل المنحدر إلى الأسفل بزاوية 25° مع الأفقي. إذا علمت أن تسارع السقوط الحرّ ($9.81\ \text{m s}^{-2}$)، فاحسب تسارع السيارة إلى أسفل المنحدر في الحالتَين الآتيتَين:

أ. عندما لا يكون هناك احتكاك، والقوة الوحيدة التي تؤثّر على حركة السيارة هي وزنها.

ب. إذا أثّرت قوة احتكاك مقدارها (1.2 N) على السيارة باتجاه أعلى المنحدر.

ملخّص

يتناسب التسارع ($\vec{a}$) بالنسبة إلى جسم ذي كتلة ثابتة (m) طرديًا مع محصّلة القوى ($\vec{F}$) المؤثّرة عليه. ترتبط محصّلة القوى ($\vec{F}$) والكتلة (m) والتسارع ($\vec{a}$) في المعادلة: محصّلة القوى = الكتلة × التسارع $\vec{F} = m\vec{a}$ وهذا شكل من أشكال قانون نيوتن الثاني للحركة.
يكون التسارع الناتج من قوة ما باتّجاه القوة نفسها؛ وعندما يكون هناك قوّتان أو أكثر، فإنه يجب علينا أن نحدّد محصّلة القوى.
وزن الجسم هو نتيجة جذب قوة الجاذبية الأرضية له: الوزن = الكتلة × تسارع السقوط الحرّ $\vec{W} = m\vec{g}$
سيبقى الجسم في حالة سكون أو في حالة حركة منتظمة ما لم تؤثّر عليه محصّلة قوى لا تساوي صفرًا. هذا هو قانون نيوتن الأول للحركة.
يتمّ الوصول إلى السرعة المتجهة الحدّية للجسم الساقط عندما تكون مقاومة المائع مساوية لوزن الجسم وبالاتّجاه المعاكس.
عندما يتأثر جسمان أحدهما بالآخر، فإن القوى التي يؤثّر بها كلّ منهما على الآخر تكون متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتّجاه. وهذا هو قانون نيوتن الثالث للحركة.
كلما ازدادت كتلة جسم ما، ازدادت مقاومته للتغيّرات في حركته. فالكتلة هي مقياس القصور الذاتي للجسم.
تكون المعادلات الفيزيائية متجانسة، وتتضمّن الوحدات الأساسية نفسها في كل من طرفَيها. الوحدات الأساسية الرئيسية هي m و kg و s و A و K (الكلفن هو وحدة درجة الحرارة).
القوى هي كمّيات متّجهة يمكن جمعها عبر مثلّث المتّجهات، كما يمكن تحديد المحصّلة باستخدام علم المثلّثات أو الرسم بمقياس معيّن.
يمكن تحليل القوى إلى مركّبات. ويمكن التطرّق إلى المركّبات المتعامدة بشكل مستقلّ بعضها عن بعض. (على سبيل المثال، القوة في الاتجاه الرأسي ليس لها تأثير على الحركة في الاتجاه الأفقي). إذا كانت القوة ($\vec{F}$) تصنع مع المحور السيني زاوية θ، تكون مركبتاها كما يأتي: المركّبة باتّجاه المحور السيني (x): $F \cos \theta$ المركّبة باتّجاه المحور الصادي (y): $F \sin \theta$

أسئلة نهاية الوحدة

١ تُعطي المعادلة أدناه السرعة (v) لموجة تنتقل عبر سلك.

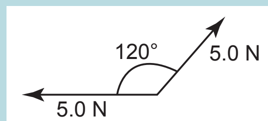
$$v = \left(\frac{T\,l}{m}\right)^n$$

حيث (T) قوة الشدّ في السلك الذي كتلته (m) وطوله (l). ما قيمة (n) التي تجعل المعادلة متجانسة؟

أ. $\frac{1}{2}$ ب. 1

ج. 2 د. 4

٢ يوضح الشكل ٤-١٥ قوّتَين مقدار كل منهما (5.0 N)، والزاوية بينهما (120°).



الشكل ٤-١٥

ما مقدار القوة المحصّلة لهاتَين القوّتَين؟

أ. 1.7 N ب. 5.0 N

ج. 8.5 N د. 10 N

٣ كتلة مركبة فضائية (70 kg)، عندما تقلع من سطح القمر تكون قوة الدفع إلى الأعلى المؤثرة على المركبة بسبب المحرّكات (500 N). فإذا علمت أن تسارع السقوط الحرّ على سطح القمر هو ($1.6\ N\ kg^{-1}$). جِد:

أ. وزن المركبة الفضائية على سطح القمر.

ب. محصّلة القوى المؤثّرة على المركبة الفضائية.

ج. تسارع المركبة الفضائية.

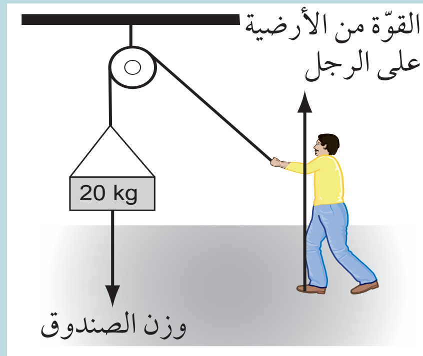
٤ أُسقطت كرة فلزّية في أسطوانة طويلة مملوءة بالزيت. فتسارعت الكرة في البداية، ولكنها سرعان ما وصلت إلى السرعة المتّجهة الحدّية.

أ. اشرح سبب تسارعها أوّلًا، ثم وصولها إلى السرعة المتّجهة الحدّية، آخذًا في الاعتبار القوى المؤثرة على الكرة الفلزية.

ب. كيف تعرف أن الكرة الفلزّية وصلت إلى السرعة المتّجهة الحدّية. اذكر سببًا واحدًا للأخطاء العشوائية في قراءاتك.

٥ يُبيّن الشكل ٤-١٦ رجلًا يشدّ صندوقًا فيُثبّته على ارتفاع معيّن. وتظهر في الشكل اثنتَين من القوى المؤثّرة على الصندوق. ووفقًا لقانون نيوتن الثالث، تقترن كل قوة من هذه القوى بقوة أخرى.

تابع

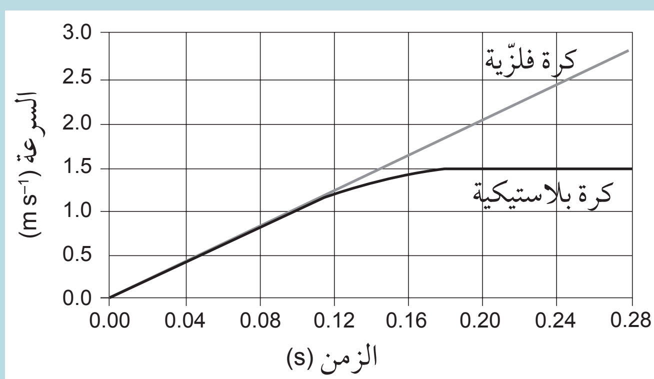


الشكل ٤-١٦ رجل يشدّ صندوقًا فيثبّته.

لكلٍّ من (أ) وزن الصندوق، و (ب) القوة من الأرضية على الرجل، اذكر:

١. الجسم الذي تؤثّر عليه القوة الأخرى لكلٍّ منهما.
٢. اتّجاه القوة الأخرى لكلّ منهما.
٣. نوع القوة المتضمنة.

٦ يوضح الشكل ٤-١٧ منحنى التمثيل البياني (السرعة-الزمن) لكرتَين ساقطتَين في الهواء:



الشكل ٤-١٧

أ. ما مقدار السرعة المتّجهة الحدّية للكرة البلاستيكية؟
ب. الكُرتان بحجم واحد وشكل واحد، لكن للكرة الفلزّية كتلة أكبر. اشرح بدلالة قوانين نيوتن للحركة والقوى المؤثّرة، سبب وصول الكرة البلاستيكية إلى سرعة متّجهة ثابتة؛ في حين أن الكرة الفلزّية لا تصل إلى سرعة متّجهة ثابتة.
ج. اشرح السبب في أن لكلّ من الكُرتَين التسارع الابتدائي نفسه.

٧ تتسارع سيارة كتلتها (1200 kg)، من السكون إلى سرعة ($8.0\ m\ s^{-1}$) في زمن قدره (2.0 s).

أ. احسب قوة الدفع الأمامية المؤثّرة على السيارة أثناء تسارعها. افترض أن جميع قوى الاحتكاك عند السرعات المنخفضة تكون مهملة.

تابع

ب. في السرعات العالية تُعطى قوة المقاومة ($\vec{F}$) الناتجة من الهواء والمؤثّرة على جسم يتحرّك بسرعة متّجهة ($\vec{v}$) بالمعادلة: ($F = bv^2$)، حيث b مقدار ثابت.

١. اشتقّ الوحدات الأساسية للقوة في النظام الدولي للوحدات (SI).

٢. جِد الوحدات الأساسية لـ b في النظام الدولي للوحدات (SI).

٣. تستمرّ السيارة بقوة الدفع الأمامية والتسارع نفسَيهما، حتى تصل إلى سرعة قصوى مقدارها ($50\ \text{m s}^{-1}$). عند هذه السرعة تُعطى قوة المقاومة بالمعادلة: ($F = bv^2$). جِد قيمة b للسيارة.

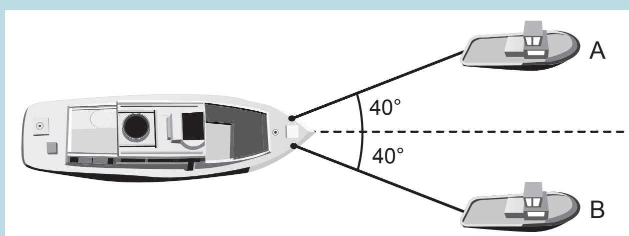
٤. استخدم قيمة b التي حسبتها في الجزئية (٣) وقوة الدفع التي حسبتها في الجزئية (أ) لحساب تسارع السيارة عندما تكون السرعة ($30\ \text{m s}^{-1}$).

٥. **ارسم** تمثيلًا بيانيًا يُبيّن كيف تختلف قيمة (F) مع (v) في المدى (من 0 إلى $50\ \text{m s}^{-1}$). استخدم التمثيل البياني الذي رسمته لوصف ما يحدث لتسارع السيارة أثناء هذه المدّة الزمنية.

أفعال إجرائية

ارسم Sketch: أنشئ رسمًا بسيطًا يوضح الميزات الرئيسية.

٨ يقوم زورقان صغيران **A** و **B** بسحب سفينة بسرعة ثابتة، كما هو مبيّن في الشكل ٤–١٨. (لا يُنتِج محرّك السفينة أيّة قوة).



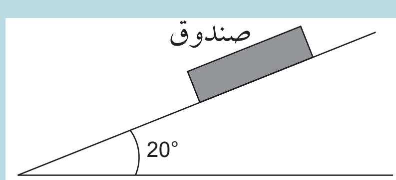
الشكل ٤–١٨

قوة الشدّ في كل حبل بين كلٍّ من **A** و **B** والسفينة تساوي (4000 N).

أ. ارسم مُخطّط قوى الجسم الحرّ لتبيّن القوى الأفقية الثلاث المؤثّرة على السفينة.

ب. ارسم مخطط المتجهات بمقياس رسم لتُبيّن القوى الثلاث هذه، واستخدم المُخطّط الذي رسمته لإيجاد قيمة قوة مقاومة الماء على السفينة.

٩ صندوق كتلته (1.5 kg)، في حالة سكون على سطح خشن يميل مع الاتّجاه الأفقي بزاوية (20°) كما هو مبيّن في الشكل أدناه.

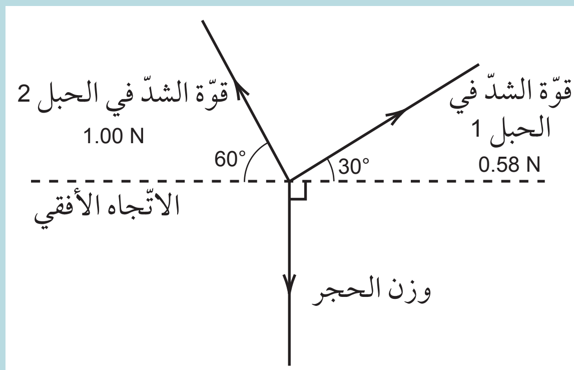


الشكل ٤–١٩

تابع

أ. ارسم مُخطّط قوى الجسم الحرّ لتُبيّن القوى الثلاث المؤثّرة على الصندوق.
ب. احسب مركّبة الوزن الموازية للسطح المائل.
ج. استخدم إجابتك في الجزئية (ب) لتحديد قوة الاحتكاك التي تؤثّر على الصندوق.
د. إذا قمت بقياس زاوية السطح فعليًا ووجدت أنها (°19) ثم (°21)، فحدّد قيمة عدم اليقين المُطلق لهذه الزاوية، وقيمة عدم اليقين الذي يَنتُج من عدم اليقين هذا في قيمة الجزئية (ب).
هـ. جِد قوة التلامس العمودية بين الصندوق والسطح المائل.

١٠ يُبيّن مخطّط قوى الجسم الحرّ في الشكل ٤-٢٠ ثلاث قوى تؤثّر على حجر معلّق بحبلَين في حالة اتزان.



الشكل ٤-٢٠

أ. احسب المركّبة الأفقية لقوة الشدّ في كلّ حبل، اذكر سبب تَساوي هاتَين المركّبتَين في المقدار.
ب. احسب المركّبة الرأسية لقوة الشدّ في كل حبل.
ج. استخدم إجابتك في الجزئية (ب) لحساب وزن الحجر.
د. ارسم مخطّط المتجهات للقوى المؤثّرة على الحجر. (يجب أن يكون هذا المُخطّط مثلّث قوى).
هـ. استخدم المُخطّط في الجزئية (د) لحساب وزن الحجر.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدٍّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أذكر أنه بالنسبة إلى جسم ذي كتلة ثابتة، يتناسب تسارعه طرديًا مع محصلة القوى المؤثرة عليه، وأستخدم العلاقة الرياضية في حل المسائل.	٤-١			
أحدّد القوى المؤثّرة على جسم ما في مواقف مختلفة.	٤-٢، ٤-٣			
أعرف الكتله بأنها خاصية الجسم التي تقاوم التغيّر في حركته.	٤-٣			
أذكر نص قانونَي نيوتن الأول والثالث للحركة وأستخدمهما في تطبيقات مختلفة.	٤-٣، ٤-٦			
أستخدم الوحدات الأساسية للتحقّق من تجانس طرفَي معادلة ما.	٤-٧			
أجمع القوى باستخدام مثلّث المتّجهات.	٤-٨			
أحلّل القوى إلى مركّبات متعامدة.	٤-٨			

قائمة المصطلحات

الأفعال الإجرائية

في ما يلي تعريفات المنهج للأفعال الإجرائية المعتمدة ويمكن استخدامها في الاختبارات.

المعلومات الواردة في هذا القسم مأخوذة من منهج كامبريدج الدولي للاختبارات اعتبارًا من عام 2022. لذا عليك دائمًا الرجوع إلى وثيقة المنهج المناسبة لسنة الاختبار لتأكيد التفاصيل وللحصول على مزيد من المعلومات. وثيقة المنهج متاحة على موقع كامبردج الدولي على شبكة الإنترنت: www.cambridgeinternational.org

احسب **Calculate**: استخلص، من الحقائق المعطاة، المعلومات أو الأرقام.

اذكر **State**: عبّر بكلمات واضحة.

ارسم **Sketch**: أنشئ رسمًا بسيطًا يوضح الميزات الرئيسية.

استنتج **Deduce**: استنتج من المعلومات المتاحة.

اشرح **Explain**: اعرض الأهداف أو الأسباب / اجعل العلاقات بين الأشياء واضحة / توقّع لماذا و/ أو كيف وادعم إجابتك بأدلّة ذات صلة.

أعطِ/قدّم **Give**: استخرج إجابة من مصدر معيّن أو من الذاكرة.

اقترح **Suggest**: طبّق المعرفة والفهم على المواقف التي تتضمّن مجموعة من الإجابات الصحيحة من أجل تقديم المقترحات.

برّر **Justify**: ادعم الموضوع بالأدلة والحجة.

بيّن أن **Show (that)**: قدّم دليلًا منظّمًا يؤدّي إلى نتيجة معيّنة.

توقّع/ تنبّأ **Predict**: اقترح ما قد يحدث بناءً على المعلومات المتاحة.

حدّد **Determine**: أجب استنادًا إلى المعلومات المتاحة.

حدّد **Identify**: سمِّ، اختر، تعرّف.

صِف **Describe**: قدّم الخصائص والميزات الرئيسية.

عرّف **Define**: أعطِ معنًى دقيقًا.

علّق **Comment**: أعطِ رأيًا مستنيرًا حول الموضوع.

قارن **Compare**: حدّد أوجه التشابه و/ أو الاختلاف معلّقًا عليها.

المصطلحات العلمية

الاتّزان **Equilibrium**: يكون جسم ما في حالة اتزان عندما يكون في حالة سكون، أو يتحرك بسرعة متجهة ثابتة؛ لأن القوة المحصّلة المؤثرة عليه تساوي صفرًا. (ص ١٠٨)

الإزاحة ($\vec{s}$) **Displacement**: أقصر مسافة من نقطة البداية إلى نقطة النهاية في اتّجاه معيّن؛ وهي كمّية متّجهة. (ص ٤٣)

التسارع **Acceleration**: هو معدّل تغيّر السرعة المتجهة لجسم ما، ووحدته $m\ s^{-2}$. (ص ٦٠)

التسارع الثابت **Constant acceleration**: هو التسارع عندما تتغير السرعة المتجهة بمقادير متساوية في أزمنة متساوية، ويسمى أيضًا التسارع المنتظم. (ص ٦٧)

التسارع غير المنتظم Non-uniform acceleration: يحدث عندما يكون التغيّر في السرعة المتجهة مختلفًا خلال فترات زمنية متساوية. (ص ٧٢)

الحركة المنتظمة Uniform motion: الحالة الطبيعية لحركة جسم بسرعة متّجهة منتظمة أو بسرعة وباتّجاه ثابتَين. (ص ٩٩)

الخطأ الصفري Zero error: يحدث عندما تعطي الأداة قراءة غير صفرية (لها مقدار معيّن) وتكون القيمة الحقيقية للكمية صفرًا. (ص ٢٤)

الخطأ العشوائي Random error: يحدث بسبب اختلاف القراءات حول متوسّط القيمة المقاسة بطريقة غير متوقّعة من قراءة إلى أخرى. (ص ٢٤)

الخطأ النظامي Systematic error: يحدث بسبب اختلاف القراءات حول القيمة الحقيقية بمقدار ثابت في كلّ مرّة تتم فيها القراءة. (ص ٢٤)

الدقّة Precision: مدى تقارب نتائج القياس عند تكرار قياس الكمية نفسها عدة مرات. والقياس الدقيق هو القياس الذي يعطي القيمة نفسها عدّة مرّات، أو قد تكون متقاربة جدًا، مع فارق بسيط حول القيمة المتوسطة. (ص ٢٢)

السرعة المتّجهة Velocity: سرعة الجسم في اتّجاه معيّن أو معدّل تغيّر إزاحة الجسم، وهي كمّية متّجهة. (ص ٤٤)

السرعة المتّجهة الحدّية Terminal velocity: السرعة المتجهة القصوى التي يصل إليها جسم ما يتحرك في مائعٍ ما (كالهواء أو الماء) تحت تأثير قوة دافعة للأمام وقوة مقاومة المائع للخلف حيث محصّلة القوّتَين تساوي صفرًا. (ص ١٠٠)

السقوط الحرّ Free fall: عندما يتسارع جسم ما بسبب الجاذبية الأرضية في حال عدم وجود أيّة قوى أخرى مثل مقاومة الهواء. (ص ٧٤)

الضبط Accuracy: مدى قرب القيمة المُقاسه من القيمة الحقيقة. (ص ٢٢)

الطفو Upthrust: قوة تتّجه إلى الأعلى تؤثّر على الجسم المغمور في السائل أو الغاز وتحدث بسبب فرق الضغط في الغاز أو السائل على سطحَي الجسم المغمور. (ص ١٠٣)

عدم اليقين Uncertainty: عدم اليقين في القراءة هو تقدير الفرق بين القراءة والقيمة الحقيقية للكمّية المقاسة. (ص ٢٢)

قانون نيوتن الأوّل للحركة Newton's first law of motion: سيبقى جسم ما في حالة سكون أو في حالة حركة منتظمة ما لم تؤثّر عليه محصّلة قوى لا تساوي صفرًا. (ص ٩٩)

قانون نيوتن الثالث للحركة Newton's third law of motion: عندما يتأثر جسمان أحدهما بالآخر، فإن القوى التي يؤثر بها كل منهما على الآخر تكون متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه. (ص ١٠٥)

قانون نيوتن الثاني للحركة Newton's second law of motion: يتناسب تسارع جسم ما طرديًا مع القوة المحصلة المؤثرة عليه وعكسيًا مع كتلته. (ص ٩٤)

القصور الذاتي Inertia: مقياس لمدى صعوبة تغيّر السرعة المتجهة لجسم ما (تغيير مقدار سرعته أو اتجاهه أو كلاهما). ويُعدّ القصور الذاتي مقياسًا لكتلة جسم ما؛ فللجسم الثقيل قصور ذاتي كبير. (ص ٩٤)

قوّة التلامس العمودية Contact force: القوة التي تصنع زاوية قائمة مع السطح عندما يكون جسمان (سطحان) على تلامس. (ص ١٠٣)

القوّة المحصلة Resultant force: القوة المفردة التي لها التأثير نفسه لمجموع كل القوى المؤثرة على جسم ما. (ص ٩٩)

القوّة المقاومة Resistive force: قوة تعمل في الاتجاه المعاكس للحركة، وتنتج من الاحتكاك أو من بعض قوى المقاومة الأخرى. (ص ١٠١)

الكمّية العددية Scalar quantity: كمّية تحدَّد بالمقدار فقط. (ص ٤٣)

الكمّية المتّجهة Vetor quantity: كمّية تحدَّد بالمقدار والاتجاه. (ص ٤٣)

متّجه المحصّلة Resultant vector: متّجه واحد يتكوّن من خلال جمع متجهَين أو أكثر. (ص ٥٠)

مثلّث القوى Triangle of forces: مثلث مغلق يُرسم لتمثيل ثلاث قوى في حالة اتزان. تُمثّل أضلاع المثلث القوى من حيث المقدار والاتجاه. (ص ١٠٨)

مخطّط قوى الجسم الحرّ Free-body force diagram: مُخطّط يبيّن جميع القوى المؤثرة على جسم ما (ولكن ليس القوى التي يؤثر بها هذا الجسم على الأجسام الأخرى). (ص ١١٢)

المركّبة Component: تأثير متّجه ما على طول اتّجاه معيّن. (ص ٧٩)

المعادلة المتجانسة Homogeneous equation: هي التي تحتوي على الوحدات الأساسية نفسها في كل طرف من طرفَيها. (ص ١٠٦)

مقاومة المائع Drag: قوة تقاوم حركة الجسم خلال مائع. (ص ١٠١)

المماسّ Tangent: خطّ مستقيم يلامس منحنى التمثيل البياني في نقطة ما، من دون أن يتقاطع مع المنحنى. (ص ٧٢)

النيوتن Newton (N): النيوتن الواحد هو القوة التي تُعطي كتلة مقدارها (1 kg) تسارعًا مقداره ($1\ m\ s^{-2}$) باتّجاه القوّة. (ص ١٠٦)

الوحدة الأساسية Base unit: وحدة محدّدة في النظام الدولي للوحدات (SI) تُشتقّ منها جميع الوحدات الأخرى. (ص ٣٣)

الوحدة المشتقّة Derived unit: الوحدة التي تتكوّن من عدد من الوحدات الأساسية المضمنة في النظام الدولي للوحدات (SI). (ص ٣٣)

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.

Unknown source; Dreamstime; Dario Belingheri/Getty Images; EDWARD KINSMAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY; Unknown source; IuchschenF/Shutterstock; Getanov/Dreamstime.com; Dario Belingheri/Getty Images; EDWARD KINSMAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY; Vladru/GI; Valery Sharifulin/GI; DAVID SCHARF/ SCIENCE PHOTO LIBRARY; SCIENCE SOURCE/GI; Cylonphoto/GI; LOREN WINTERS, VISUALS UNLIMITED/SCIENCE PHOTO LIBRARY; Comstock Images/GI; Erik Simonsen/GI; Tim Hughes/GI; Dzphotovideo/GI; ODD ANDERSEN/GI; FatCamera/GI; Ministry of Education, Oman

تم بحمد الله

رقم الإيداع : ٦٣٦٣ / ٢٠٢٣

طبع بمطبعة عمان ومكتبتها المحدودة ش.م.م   هاتف : ٢٤٤٤٦١٦٠ (٩٦٨)

الفيزياء - كتاب الطالب

يساعد البحث المكثف على تلبية الاحتياجات الحقيقة للطلبة الذين يدرسون مادة الفيزياء. حيث تضمن الأسئلة الواردة في نهاية كل وحدة الشعور بالثقة أثناء عملية التقييم، وفرصًا أكثر للتفكير، و تساعد قوائم المراجعة الخاصة بالتقييم الذاتي؛ على أن تصبح مسؤولاً عن عملية التعلم.

يؤمّن كتاب الطالب مجموعة من أسئلة الاستقصاء، مثل الأنشطة العملية وأسئلة المناقشة، والتي تساعدك على تطوير مهارات القرن الحادي والعشرين.

- بعض الميزات مثل «قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة»، والملخصات، وكيفية التعلم النشط، وبناء المهارات، تمنح فرصًا للتفكير.
- ميزات «العلوم ضمن سياقها»، من تفسير الأفكار ضمن سياق العالم الواقعي، إضافة إلى مناقشة المفاهيم مع الطلبة الآخرين.
- تعمل الأسئلة ذات الجزئيات المتعددة الموجودة في نهاية كل وحدة على التحضير لخوض الامتحانات بثقة.
- تساعد أسئلة الاستقصاء، مثل الأنشطة العملية والعمل ضمن مجموعات، وأسئلة المناقشة، على تطوير مهارات القرن الحادي والعشرين.

يشمل منهج الفيزياء للصف الحادي عشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب التجارب العملية والأنشطة
- دليل المعلّم

www.moe.gov.om

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS