الإمارات العربية المتحدة
وزارة التربية والتعليم

عام المجتمع
YEAR OF COMMUNITY
٢٠٢٤ UAE

نحن الإمارات
WE THE UAE 2031

2025-2026

الفيزياء

نسخة الإمارات العربية المتحدة

1

الصف
9
متقدّم

Mc Graw Hill

McGraw-Hill Education

الفيزياء

نسخة الإمارات العربية المتحدة

للصف 9 المتقدّم

Project: McGraw-Hill Education United Arab Emirates Edition Physics Grade 9 Advanced

FM. Front Matter, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

1. A Physics Toolkit, Chapter 1, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

2. Representing Motion, Chapter 2, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

3. Accelerated Motion, Chapter 3, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

4. Forces in One Dimension, Chapter 4, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

5. Vibrations and Waves, Chapter 14, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

6. Sound, Chapter 15, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

7. Fundamentals of Light, Chapter 16, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

EM. End Matter, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

mheducation.com/prek-12

جميع الحقوق محفوظة © للعام 2025 لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز إعادة إنتاج أي جزء من هذا المنشور أو توزيعه في أي صورة أو بأي وسيلة كانت أو تخزينه في قاعدة بيانات أو نظام استرداد من دون موافقة خطية مسبقة من McGraw-Hill Education، بما في ذلك، على سبيل المثال لا الحصر، التخزين على الشبكة أو الإرسال عبرها أو البث لأغراض التعليم عن بُعد.

الحقوق الحصرية للتصنيع والتصدير عائدة لمؤسسة McGraw-Hill Education. لا يمكن إعادة تصدير هذا الكتاب من البلد الذي باعته له McGraw-Hill Education. هذه النسخة الإقليمية غير متاحة خارج أوروبا والشرق الأوسط وإفريقيا.

طُبع في دولة الإمارات العربية المتحدة.

رقم النشر الدولي: 978-1-39-896278-1 (نسخة الطالب)
MHID: 1-39-896278-3 (نسخة الطالب)

النسخة الإلكترونية

رقم النشر الدولي: 978-1-39-896362-7 (نسخة الطالب)
MHID: 1-39-896362-3 (نسخة الطالب)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 XXX 22 21 20 19 18 17

موجز المحتويات

1 مدخل إلى علم الفيزياء
2 تمثيل الحركة
3 الحركة المتسارعة
4 القوى في بُعد واحد
5 الاهتزازات والموجات
6 الصوت
7 أساسيات الضوء

يتم تعريف المحتوى على تطبيق التعلم الذكي

Chapter Sourced From: FM. Front Matter, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017 McGraw-Hill Education
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

جدول المحتويات

تبدأ كل وحدة بتجربة استهلالية، وهي تحقيق مختبري تمهيدي مصمَّم لتقديم المفاهيم التي تشتمل عليها تلك الوحدة. التجارب المصغرة تحقيقات قصيرة يمكنها تحسين فهمك لمحتوى الفيزياء. وستجد أيضًا مختبر فيزياء أو أكثر في كل وحدة يوفر فرصًا للمزيد من التحقيقات المتعمقة.

الوحدة 1

مدخل إلى علم الفيزياء 2

القسم 1 المنهج العلمي 4
القسم 2 الرياضيات والفيزياء 10
القسم 3 القياس 14
القسم 4 تمثيل البيانات بيانيًّا 18
الفيزياء إنه شيء ممتع! الرسوم المتحركة 24

تجربة استهلالية الكتلة والأجسام الساقطة
تجارب مصغرة قياس التغيّر
إلى أي مدى تقريبًا؟
مختبرات الفيزياء الكتلة والحجم
الدليل في الدم
استكشاف الأجسام المتحركة

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة

2

تمثيل الحركة 32

القسم 1 تصوير الحركة 34

القسم 2 الموقع والزمن 37

القسم 3 التمثيل البياني للحركة 41

القسم 4 السرعة 46

الترقية في الفيزياء هل لديك الزمن الكافي؟ 52

تجربة استهلالية سباق السيارات اللعبة

تجارب مصغرة نماذج متجهات

متجهات السرعة المتجهة

مختبرات الفيزياء مخططات الحركة

السرعة الثابتة

قياس السرعة المتجهة

الوحدة

3

الحركة المتسارعة 58

القسم 1 التسارع 60

القسم 2 الحركة بتسارع ثابت 68

القسم 3 السقوط الحُر 75

الفيزياء إنه شيء ممتع! ألعاب الإثارة بمدينة الملاهي 80

تجربة استهلالية الرسم البياني للحركة

تجارب مصغرة سباق الكرة الفولاذية

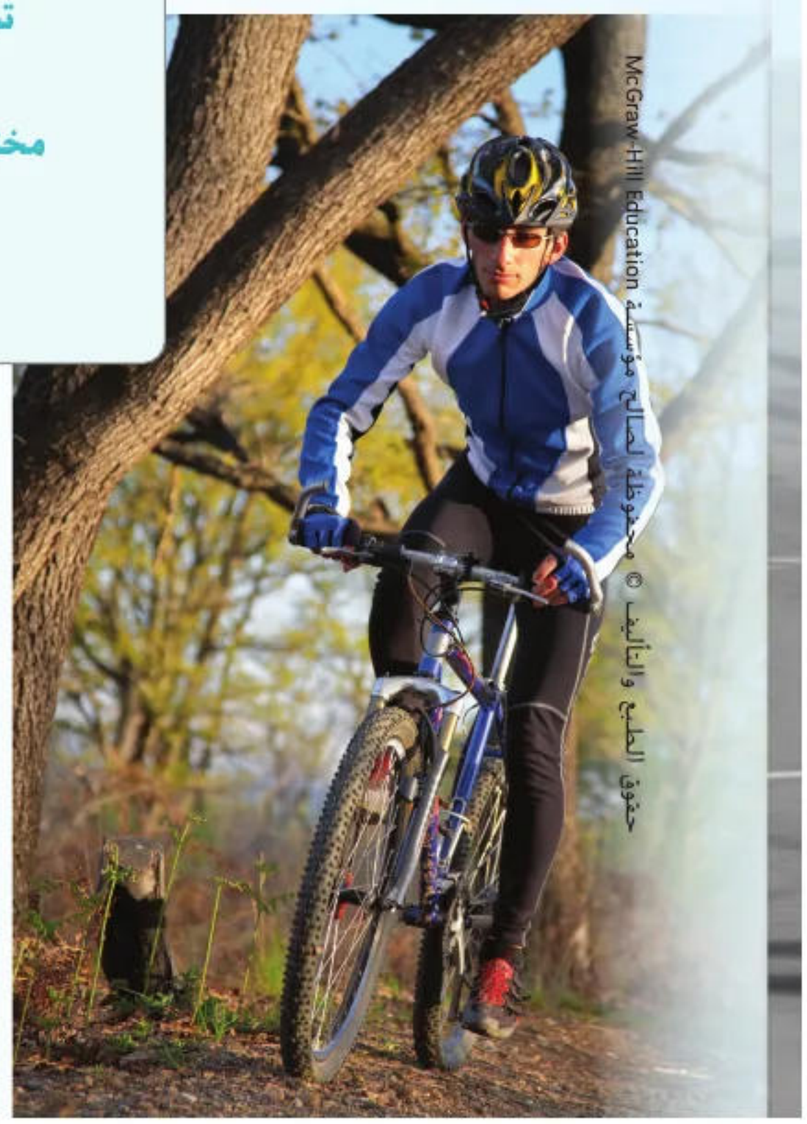
السقوط الحر

مختبرات الفيزياء التسارع

حركة الكرة المقذوفة

قياس التسارع

تسارع السقوط الحر



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

جدول المحتويات

الوحدة 4

القوى في بُعد واحد 88

القسم 1 القوة والحركة 90

القسم 2 الوزن والقوة المعيقة 100

القسم 3 قانون نيوتن الثالث 106

الحدود في **الفيزياء** أسرع من الصوت 112

تجربة استهلالية القوى في اتجاهين متعاكسين

تجارب مصغرة الكتلة والوزن

مظلة مقلوبة

مختبرات الفيزياء القوى في المصعد

السرعة الحدية

قانون نيوتن الثالث

الوحدة 5

الاهتزازات والموجات 120

القسم 1 الحركة الدورية 122

القسم 2 خصائص الموجات 128

القسم 3 سلوك الموجات 134

كيف تعمل؟ المباني المقاومة للزلازل 140

تجربة استهلالية تفاعل الموجات

تجارب مصغرة انعكاس الموجة

تفاعل الموجات

مختبرات الفيزياء اهتزازات البندول

التداخل والحيود

الانعكاس والانكسار

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 6

الصوت 148

القسم 1 خصائص الصوت والكشف عنه 150

القسم 2 الفيزياء والموسيقى 158

الترقية في الفيزياء الصوتيات في المسرح 168

تجربة استهلالية إنتاج النغمات الموسيقية

تجارب مصغرة خصائص الصوت

جودة الأصوات

مختبرات الفيزياء ينتقل الصوت عبر الفراغ

ما الديسبل؟

سرعة الصوت

ما سرعة انتقال الصوت؟

الوحدة 7

أساسيات الضوء 176

القسم 1 الاستضاءة 178

القسم 2 الطبيعة الموجية للضوء 187

الترقية في الفيزياء التعرف على البعد الثالث 197

تجربة استهلالية مسار الضوء

تجارب مصغرة سرعة الضوء

اللون عن طريق درجة الحرارة

استقطاب الضوء المنعكس

مختبرات الفيزياء قياس ضوء الأشعة فوق البنفسجية

شدة الضوء والمسافة؟

طيف كامل من الاحتمالات

الاستقطاب

تقليل الوهج

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 1

مدخل إلى علم الفيزياء

الفكرة الرئيسة يستخدم علماء الفيزياء المنهج العلمي لدراسة الطاقة والمادة.

الأقسام

1 المنهج العلمي

2 الرياضيات والفيزياء

3 القياس

4 تمثيل البيانات بيانيًّا

التجربة الاستهلالية

الكتلة والأجسام الساقطة

هل تؤثر كتلة الجسم في معدل سقوطه؟

From Glencoe Physics: Principles & Problems, Student Edition ©2017 McGraw-Hill Education

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة Education

القسم 1

المنهج العلمي

الفكرة الرئيسة

لا تتبع التحقيقات العلمية الخطوات نفسها على الدوام، لكنها تنطوي على طرق متشابهة.

الأسئلة الرئيسة

- ما خصائص المنهج العلمي؟
- لمَ يستخدم العلماء النماذج؟
- ما الفرق بين النظرية العلمية والقانون العلمي؟
- اذكر بعض قيود العِلم.

مراجعة المفردات

الضابط هو المعيار الذي تقارَن نتائج الاختبارات في التجربة وفقًا له.

مفردات جديدة

الفيزياء	physics
المنهج العلمي	scientific methods
الفرضية	hypothesis
النموذج	model
النظرية العلمية	scientific theory
القانون العلمي	scientific law

الفيزياء في حياتك

تخيل شكل العالم إذا كنا لا نزال نعتقد أن الأرض مسطحة أو إذا لم تكن بيوتنا تحتوي على أنابيب المياه والصرف أو الكهرباء. إن العِلم يساعدنا على اكتشاف العالم الطبيعي وتحسين حياتنا.

ما الفيزياء؟

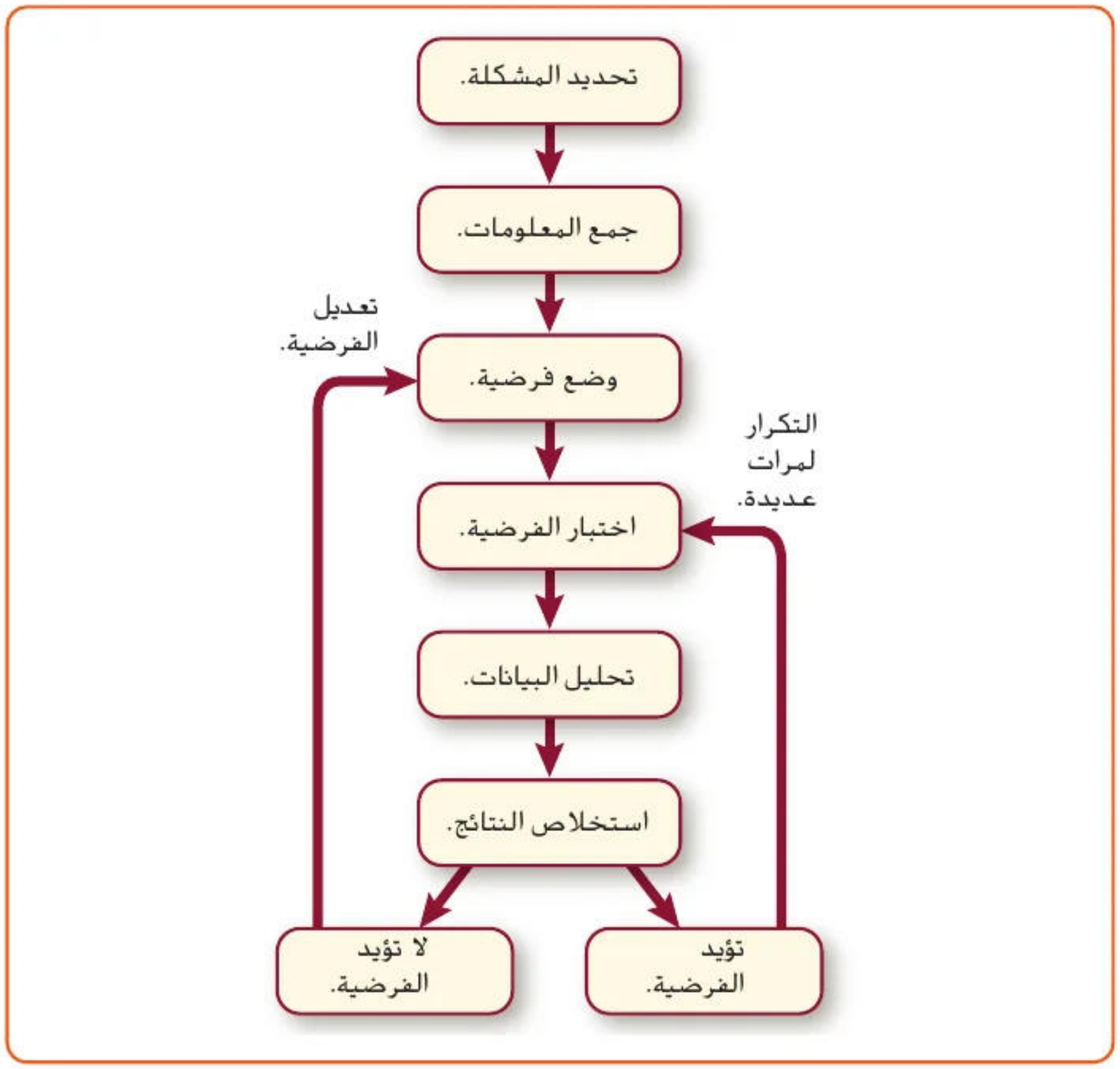
لا يقتصر العلم على كونه مادة ندرسها في المدرسة. بل هو طريقة لدراسة العالم الطبيعي. فكلمة science (العلم) مأخوذة من اللفظة اللاتينية scientia وتعني "المعرفة". والعلم عملية تقوم على الاستقصاء الذي يساعدنا على وضع تفسيرات للأحداث التي تجري في الطبيعية. **والفيزياء** فرع من فروع العلم يُعنى بدراسة العالم الطبيعي: الطاقة والمادة وطريقة ارتباطهما.

وعندما ترى كلمة فيزياء قد تتبادر إلى ذهنك شكل سبورة مليئة بالصيغ ومسائل الرياضيات من قبيل: $E = mc^2$, $I = \frac{V}{R}$, $x = \left(\frac{1}{2}\right)at^2 + v_0t + x_0$ وربما تتخيل بعض العلماء يرتدون معاطف المختبر البيضاء، أو تخطر ببالك صور بعض علماء الفيزياء المشهورين من أمثال ماري كوري أو ألبرت أينشتين. وقد تفكر في الكثير من وسائل التكنولوجيا الحديثة التي تم تطويرها باستخدام علم الفيزياء، مثل الأقمار الصناعية الخاصة باستطلاع الأحوال الجوية أو أجهزة الكمبيوتر المحمول أو الليزر. كما يدرس علماء الفيزياء حركة الإلكترونات والصواريخ، والطاقة في الموجات الصوتية وفي الدوائر الكهربائية، وكذلك تركيب المادة بدءًا بالبروتون وانتهاءً بالكون. والهدف من دراسة هذا الكتاب هو مساعدتك على فهم العالم الطبيعي من حولك.

يعمل دارسو الفيزياء في مهن عديدة ومختلفة. فبعضهم يعمل باحثًا في الجامعات والكليات أو في المصانع ومراكز الأبحاث. والبعض الآخر يعمل في المجالات الأخرى المرتبطة بعلم الفيزياء، ومنها الهندسة وعلوم الكمبيوتر والتدريس والطب وعلم الفلك، كما يظهر في **الشكل 1**. وهناك آخرون يستخدمون مهارات حل المشكلات الفيزيائية للعمل في القطاع المالي أو قطاع الإنشاءات أو في شتى المجالات الأخرى. وخلال السنوات الخمسين الأخيرة، أسفر البحث في الفيزياء عن ابتكار الكثير من الوسائل التكنولوجية الجديدة، مثل الاتصالات عبر الأقمار الصناعية والماسحات الدقيقة عالية السرعة المستخدمة في الكشف عن الأمراض.

الشكل 1 يعمل علماء الفيزياء في مهن متنوعة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 2 تمثل سلسلة الإجراءات الموضحة في هذا الشكل أحد أساليب استخدام المنهج العلمي لحل مشكلة ما.

المنهج العلمي

لا يتبع العلماء دائمًا مجموعة ثابتة من الخطوات، لكن غالبًا ما تتبع التحقيقات التي يقومون بها أنماطًا متشابهة. وتسمى هذه الأنماط المتبعة في إجراءات التحقيق **المنهج العلمي**. ويوضح **الشكل 2** الخطوات العامة المستخدمة في المنهج العلمي. وحسب كل تحقيق على حدة، يمكن للعالِم أن يضيف خطوات جديدة أو يكرر بعض الخطوات أو يستغني عن بعضها تمامًا.

تحديد المشكلة عندما تبدأ تحقيقًا، ينبغي أن تحدد ما ستحقق فيه. وتبدأ الكثير من التحقيقات عندما يلاحظ أحد الأشخاص حدثًا طبيعيًا ويتساءل لماذا يحدث أو كيف يحدث. إن السؤال "لماذا" أو "كيف" هو ما يحدد المشكلة.

وقديمًا طرح العلماء هذه الأسئلة: لماذا تسقط الأجسام إلى الأرض؟ وما السبب في حدوث الليل والنهار؟ وكيف نولّد الكهرباء لنستخدمها في أنشطتنا اليومية؟ وفي كثير من الأحيان يظهر تحديد المشكلة بعد أن ينتهي أحد التحقيقات وتثير نتائجه أسئلة جديدة. على سبيل المثال، بعد أن فهم العلماء السبب في حدوث الليل والنهار، أرادوا أن يعرفوا السبب في دوران الأرض حول محورها.

وفي بعض الأحيان يظهر سؤال جديد أثناء التحقيق. في أربعينيات القرن الماضي، كان الباحث بيرسي سبنسر يحاول الإجابة عن السؤال الذي يدور حول كيفية الإنتاج الضخم لأنابيب ماغنترون المستخدمة في أجهزة الرادار. وعندما وقف أمام أنابيب ماغنترون وهي قيد التشغيل، والتي تصدر موجات ميكروية، انصهرت قطعة حلوى كان يحتفظ بها في جيبه. وعندها ظهر سؤال جديد عن كيفية استخدام المغنترون في طهو الطعام.

البحث وجمع المعلومات قبل البدء في إجراء تحقيق، من المفيد أن نبحث في ما تم التوصل إليه بالفعل بشأن المشكلة. فإجراء الملاحظات والتفسيرات ودراستها من قِبل المصادر الموثوقة يساهم في ضبط السؤال وصياغته في شكل فرضية.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

وضع فرضية واختبارها **الفرضية** هي تفسير محتمل لمشكلة ما استنادًا إلى ما تعرفه وما لاحظته. ويمكن اختبار الفرضيات العلمية من خلال التجريب والملاحظة. وفي بعض الأحيان، ينتظر العلماء تطوير وسائل تكنولوجية جديدة حتى يتمكنوا من اختبار فرضية ما. على سبيل المثال، ظهرت أولى الفرضيات القائلة بوجود الذرات قبل أكثر من 2300 عام، لكن الوسائل التكنولوجية المطلوبة لاختبار هذه الفرضيات لم تكن متوفرة طوال هذه القرون.

بعض الفرضيات يمكن اختبارها بالملاحظات. وبعضها يمكن اختباره عن طريق بناء نماذج وربطها بمواقف من الحياة اليومية. ومن الطرق الشائعة لاختبار الفرضيات إجراء تجربة. فالتجربة تختبر تأثير شيء في آخر باستخدام ضابط. ولكن في بعض الأحيان يتعذر إجراء التجارب؛ وفي هذه الحالات، تصبح التحقيقات ذات طبيعة وصفية. على سبيل المثال، لا يستطيع علماء الفيزياء إجراء التجارب في الفضاء. لكنهم يستطيعون جمع بيانات قيّمة وتحليلها كي يساعدونا على معرفة المزيد عما يقع به من أحداث.

تحليل البيانات من الأجزاء المهمة في كل تحقيق تسجيل الملاحظات وتنظيم البيانات في جداول ورسومات بيانية تسهل قراءتها. وستدرس في أجزاء لاحقة من هذه الوحدة طرق عرض البيانات. وعند إجراء الملاحظات وتسجيلها، ينبغي تسجيل جميع النتائج، حتى النتائج غير المتوقعة. فقد أدت النتائج غير المتوقعة إلى الكثير من الاكتشافات المهمة.

تستند النتائج العلمية إلى الملاحظات العلمية. ولا بد من الأخذ في الاعتبار بجميع التفسيرات العلمية المحتملة. وإذا لم تُنظَّم البيانات بطريقة منطقية، فقد يتم استنتاج نتائج غير صحيحة. فعندما يشارك أحد العلماء بعض البيانات، يفحص غيره من العلماء تلك البيانات وطريقة تحليلها ويقارنون البيانات بالأعمال التي قام بها علماء آخرون. ويقوم العلماء، مثل عالم الفيزياء الذي يظهر في **الشكل 3**، بمشاركة البيانات والتحليلات التي توصلوا إليها من خلال التقارير والمؤتمرات.

الاستنتاج بناءً على تحليل البيانات، تكون الخطوة التالية تحديد ما إذا كانت البيانات تؤيد الفرضية أم لا تؤيدها. ولكي تُعد الفرضية صحيحة ومقبولة على نطاق واسع، يجب الحصول على النتائج نفسها في كل مرة يتكرر فيها إجراء التجربة. وإذا لم تكن نتائج التجربة مؤيدة للفرضية، فيجب إعادة النظر في الفرضية. فربما تكون الفرضية بحاجة إلى تنقيح، أو ربما تكون الإجراءات التي اتبعها القائم بالتجربة بحاجة إلى تحسين.

تجربة مصغرة

قياس التغيّر

كيف تؤثر زيادة الكتلة في طول الزنبرك؟

الشكل 3 من الأجزاء المهمة في المنهج العلمي مشاركة البيانات والنتائج مع العلماء الآخرين. وهذا الفيزيائي يقدم عرضًا في المهرجان العالمي للعلوم.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مراجعة النظراء قبل نشر المعلومات المستندة إلى المنهج العلمي، يراجعها مجموعة من نظراء العالِم؛ وهم علماء متخصصون في مجال الدراسة نفسه. ومراجعة النظراء عملية تقيّم الإجراءات والنتائج الخاصة بتجربة ما على يد مجموعة من نظراء العالِم الذي أجرى البحث. ومراجعة أعمال العلماء الآخرين هي مسؤولية يضطلع بها الكثير من العلماء.

الموضوعية ينبغي الحرص أيضًا على الحدّ من التحيز في التحقيقات العلمية. فقد يحدث التحيز عندما تؤثر توقعات العالِم في طريقة تحليل البيانات أو استنتاج النتائج. وقد يؤدي ذلك إلى أن يختار العالِم نتيجة تجربة معينة دون نتائج التجارب الأخرى. وقد يحدث التحيز أيضًا إذا كانت مزايا المنتج الخاضع للاختبار مستخدمة في الترويج للمنتج من دون ذكر عيوبه. لكن بإمكان العلماء تقليل التحيز عن طريق إجراء أكبر عدد ممكن من التجارب وتدوين ملحوظات دقيقة عن جميع الملاحظات التي يشاهدونها.

النماذج

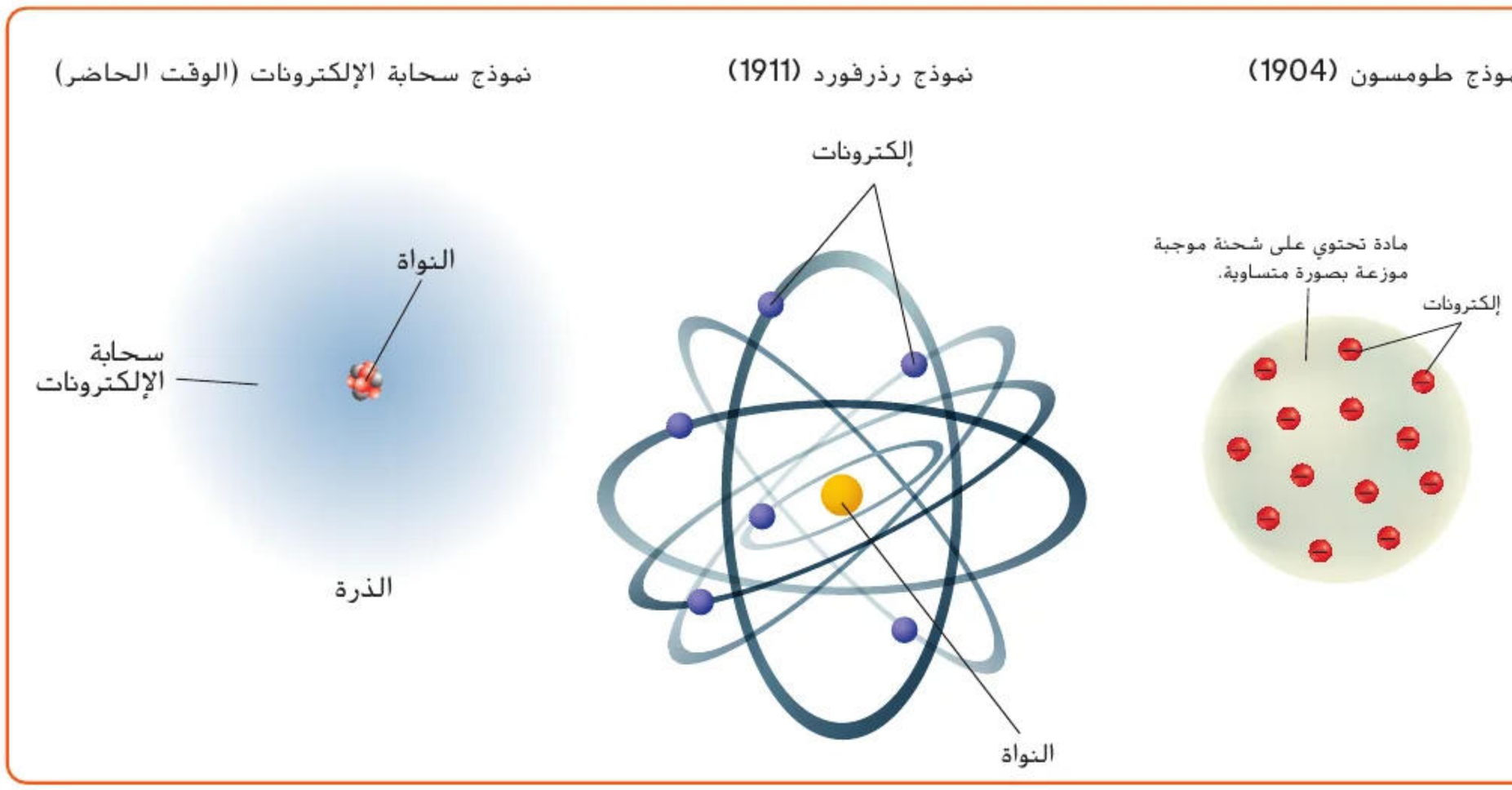
يتعذر على العلماء أحيانًا مشاهدة كل شيء يقومون باختباره. فقد تكون أجسامًا كبيرة أو صغيرة للغاية، أو قد تكون عملية تستغرق زمنًا طويلًا يحول دون المشاهدة الكاملة، أو قد تكون مادة خطرة. في هذه الحالات، يلجأ العلماء إلى استخدام النماذج.

النموذج تمثيل لفكرة أو حدث أو بنية أو جسم لمساعدتنا على فهمه بشكل أفضل.

تاريخ النماذج لقد استُخدمت النماذج على مدار التاريخ. ففي أوائل القرن العشرين، وضع الفيزيائي البريطاني جوزيف جون طومسون نموذجًا للذرة يتكون من إلكترونات داخل كرة من الشحنات الموجبة. وبعد عدة سنوات، وضع الفيزيائي إرنست رذرفورد نموذجًا للذرة على أساس الأبحاث الجديدة. في وقت لاحق من القرن العشرين، اكتشف العلماء أن النواة ليست كرة صلبة، وإنما تتكون من البروتونات والنيوترونات. أما النموذج الحالي للذرة فهو نواة من البروتونات والنيوترونات تحيط بها سحابة من الإلكترونات. وتظهر هذه النماذج الثلاثة في **الشكل 4**. كما أن العلماء يستخدمون نماذج الذرة لتمثيل ما يفهمونه عنها في الوقت الحالي بسبب صغر حجمها.

الشكل 4 على مر التاريخ، قام العلماء بعمل نماذج للذرة.

استدلّ لماذا تغيرت نماذج الذرة بمرور السنين؟



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 5 هذه محاكاة بالكمبيوتر لطائرة تهبط على مدرج طيران. ويحاكي الشكل المعروض على الشاشة أمام الطيار ما سيراه لو كان يهبط بطائرة حقيقية.

حدّد نماذج أخرى في أرجاء غرفة الفصل.

النماذج عالية التقنية النماذج العلمية ليست دومًا ملموسة. فهناك نوع آخر من النماذج وهو المحاكاة بالكمبيوتر. وفيها يُستخدم الكمبيوتر لاختبار عملية أو إجراء ما إلى جانب جمع البيانات. إذ تُصمّم بعض برامج الكمبيوتر لمحاكاة العمليات التي تجري دراستها. فمثلا، لا يمكن لعلماء الفلك ملاحظة الطريقة التي تكوّن بها نظامنا الشمسي، لكن عند تقديم نماذج لهذه العملية، يمكن اختبارها باستخدام أجهزة الكمبيوتر.

كما أن المحاكاة بالكمبيوتر تمكّن الطيارين، كما يظهر في **الشكل 5**، من ممارسة الطيران بجميع جوانبه دون الإقلاع عن الأرض بتاتًا. إضافة إلى ذلك، يمكن للمحاكاة بالكمبيوتر أن تحاكي الظروف الجوية السيئة أو غيرها من الصعوبات والمخاطر المحتملة التي قد يواجهها الطيارون أثناء الطيران.

☑ **تاكد من فهمك** حدّد ميزتين لاستخدام المحاكاة بالكمبيوتر.

النظريات والقوانين العلمية

النظرية العلمية تفسير أشياء أو أحداث بناءً على المعرفة المكتسبة من عدة ملاحظات وتحقيقات.

وهي ليست تخمينًا. فعندما يكرر العلماء تحقيقًا وتظهر النتائج دائمًا مؤيدة للفرضية، يمكننا أن نسمي الفرضية نظرية. ولكن وجود بيانات تؤيد نظرية علمية معينة لا يعني أن هذه النظرية لن تتغير أبدًا. فمع ظهور معلومات جديدة، يمكن تنقيح النظريات أو تعديلها، كما يتضح في **الشكل 6** في الصفحة التالية.

القانون العلمي عبارة تصف شيئًا يحدث في الطبيعة ويبدو أنه صحيح في جميع الأحوال. والقوانين العلمية تذكر ما سيحدث في ظروف معينة، لكنها لا تفسر سبب حدوثه أو كيفية حدوثه. وتعد الجاذبية مثالاً على القانون العلمي. إذ ينص قانون الجاذبية على أن الكتل تجذب بعضها البعض. وحتى يومنا هذا، لم تخرج تجارب تدحض قانون الجاذبية.

يمكن استخدام نظرية معينة لتفسير قانون معين، لكن النظريات لا تتحول إلى قوانين. على سبيل المثال، طُرحت الكثير من النظريات لشرح كيف يعمل قانون الجاذبية. ورغم ذلك، فالنظريات المقبولة في نطاق العلم قليلة، والقوانين أقل منها عددًا.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

اقترح فلاسفة اليونان أن الأجسام تسقط لتستقر في أماكنها الطبيعية. وكلما زادت كتلة الجسم، زادت سرعة سقوطه.

مراجعة

بيّن جاليليو أن سرعة سقوط الجسم تتوقف على مقدار الزمن الذي استغرقه الجسم في السقوط وليس على كتلة الجسم.

مراجعة

قدّم نيوتن تفسيرًا لسبب سقوط الأجسام. فاقترح أن الأجسام تسقط بسبب وجود قوة تجاذب بينها وبين الأرض. كما ذكر نيوتن أيضًا أنه توجد قوة تجاذب بين أي جسمين لهما كتلة.

مراجعة

اقترح أينشتين أن سبب وجود قوة التجاذب بين جسمين هو أن الكتلة تؤدي إلى انحناء المكان حولها.

الشكل 6 إذا أظهرت التجارب رؤى وأدلة جديدة عن نظرية ما، تُعدَّل النظرية وفقًا لذلك. وقد مرت النظرية التي تصف سلوك الأجسام عند سقوطها بمراجعات عديدة بناءً على الأدلة الجديدة.

حدود العِلم

يمكن أن يساعدنا العلم على تفسير الكثير من الأمور التي تحدث في العالم حولنا. غير أنه لا يستطيع تفسير كل شيء أو حل كافة المشكلات. وبالرغم من أن مهمة العلماء هي وضع الافتراضات، إلا أن عليهم أيضًا أن يتأكدوا من أن افتراضاتهم قابلة للاختبار والتحقق من صحتها.

أما المسائل التي تتعلق بالآراء أو القيم أو العواطف فلا تدخل في نطاق العلم، لأنها لا يمكن أن تخضع للاختبار. على سبيل المثال، قد يكون رأي البعض في عمل فني أنه جميل في حين لا يراه الآخرون كذلك. وقد يجد بعض الأشخاص أن أطعمة مثل البيتزا لذيذة المذاق، في حين لا يجدها الآخرون كذلك. أو قد يرى بعض الأشخاص أن الأزرق هو أفضل الألوان، لكن يرى آخرون أن الأخضر هو أفضلها. وقد تجري استطلاعًا لجمع الآراء عن هذه الأسئلة، لكن ذلك لن يثبت أن هذه الآراء صحيحة بالنسبة إلى الجميع.

القسم 1 مراجعة

1. **الفكرة الرئيسة** لخّص الخطوات التي قد تتبعها لإجراء تحقيق باستخدام المنهج العلمي.
2. **عرّف** المصطلح فرضية وحدّد ثلاث طرائق لاختبار إحدى الفرضيات.
3. **صِف** أهمية أن يتجنب العلماء التحيز.
4. **اشرح** سبب استخدام العلماء للنماذج. اضرب مثالًا على نموذج علمي لم يُذكر في هذا القسم.
5. **اشرح** السبب في أن النظرية العلمية لا يمكن أن تتحول إلى قانون علمي.
6. **حلّل** يجري صديقك استطلاعًا يسأل فيه الطلاب في المدرسة عن وجبات الغداء التي تقدمها الكافيتريا. ووجد أن 90 بالمئة من الطلاب الذين شملهم الاستطلاع يحبون البيتزا. فاستنتج أن هذا يثبت علميًا أن الجميع يحبون البيتزا. ما تعليقك على استنتاج صديقك؟
7. **التفكير الناقد** القيمة المقبولة لتسارع السقوط الحر هي $9.8\ m/s^2$. وفي تجربة باستخدام البندول، كان حسابك لهذه القيمة $9.4\ m/s^2$. اشرح سبب اختلاف القيمة التجريبية عن القيمة المقبولة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 2

الرياضيات والفيزياء

الفيزياء في حياتك

إذا ألقيت كرة تنس إلى أعلى في الهواء، فكيف يمكنك تحديد المسافة التي ستبلغها الكرة والمدة التي ستبقى فيها في الهواء؟ كيف يمكنك تحديد السرعة المتجهة للاعب القفز الحر في هذا الشكل؟ يستخدم علماء الفيزياء الرياضيات لمساعدتهم على التوصل إلى إجابات عن هذه الأسئلة وغيرها بشأن الحركة والقوى والطاقة والمادة.

الفكرة الرئيسة

تُستخدم الرياضيات للتعبير عن مفاهيم الفيزياء.

الأسئلة الرئيسة

- لماذا يستخدم العلماء النظام المتري؟
- كيف يمكن للتحليل البُعدي أن يساعد على تقييم الإجابات؟
- ما الأرقام المعنوية؟

مفردات للمراجعة

النظام الدولي للوحدات (SI) هو النسخة المُحسّنة والمقبولة عالميًا من النظام المتري وتستند إلى مضاعفات العدد عشرة.

مفردات جديدة

التحليل البعدي
dimensional analysis

الأرقام المعنوية
significant figures

الرياضيات في الفيزياء

غالبًا ما يستخدم علماء الفيزياء لغة الرياضيات. فالمعادلات من الأدوات المهمة التي تُستخدم في نمذجة الملاحظات وعمل التوقعات في الفيزياء. وهي إحدى الطرق التي تُستخدم في تمثيل العلاقات بين القياسات. كما يعتمد علماء الفيزياء على النظريات والتجارب ذات النتائج العددية لدعم النتائج التي يتوصلون إليها. فعلى سبيل المثال، يمكنك أن تتوقع أنك إذا أوقعت قطعة نقدية فإنها ستسقط. لكن هل يمكنك أن تتوقع سرعتها عندما تصل إلى الأرض؟ هناك نماذج مختلفة لسقوط الأجسام تعطينا إجابات مختلفة بشأن التغير في سرعة الأجسام عند سقوطها أو العوامل التي تتوقف عليها السرعة. وعن طريق قياس سرعة سقوط جسم ما، يمكنك مقارنة البيانات التجريبية بالنتائج المتوقعة حسب النماذج المختلفة. ويُعد هذا بمثابة اختبار للنماذج، مما يتيح اختيار النموذج الأنسب أو وضع نموذج جديد.

وحدات النظام الدولي

لمشاركة النتائج، من المفيد أن نستخدم وحدات يفهمها الجميع. وفي الوقت الحالي، يستخدم المجتمع العلمي في جميع أنحاء العالم نسخة مأخوذة من النظام المتري للقياسات. ويوضح **الجدول 1** أن النظام الدولي للوحدات (SI) يتضمن سبع كميات أساسية. أما الوحدات الأخرى، التي يُطلق عليها الوحدات المشتقة، فتتكون عن طريق الجمع بين وحدات أساسية بطرق متعددة. فمثلًا تُقاس السرعة المتجهة بالمتر في الثانية (m/s). وفي الغالب، تسمى الوحدات المشتقة بأسماء مميزة. على سبيل المثال، تُقاس الشحنة الكهربائية بوحدة (أمبير .ثانية) (A·s). وتسمى أيضًا كولومًا (C).

وقد جرى تعريف الكميات الأساسية في البداية بالقياسات المباشرة. وأنشئت مؤسسات علمية منذ ذلك الحين لتعريف القياسات وتنظيمها. فمثلًا، ينظّم المكتب الدولي للأوزان والمقاييس في مدينة سيفر بفرنسا النظام الدولي للوحدات.

الجدول 1 الكميات الأساسية ووحداتها في النظام الدولي للوحدات

الكمية الأساسية	الوحدة الأساسية	الرمز
الطول	المتر	m
الكتلة	كيلوجرام	kg
الزمن	ثانية	s
درجة الحرارة	كلفن	K
كمية المادة	مول	mol
التيار الكهربائي	أمبير	A
شدة الإضاءة	شمعة	cd

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

يشترك هذا المكتب مع المعهد الوطني للعلوم والتكنولوجيا (NIST) في غايثرسبيرج بماريلاند، في وضع معايير الطول والزمن والكتلة التي تُعاير على أساسها العصي المترية والساعات والموازين. ويظهر الكيلوجرام القياسي في **الشكل 7**.

لعلك تعلمت في حصة الرياضيات أن تحويل الأمتار إلى كيلومترات أسهل بكثير من تحويل الأقدام إلى أميال. إن سهولة التحويل بين الوحدات هي ميزة من ميزات النظام الدولي للوحدات. وللتحويل بين الوحدات، نضرب في قوة العدد 10 المناسبة أو نقسم عليها. وتُستخدم البادئات لتغيير الوحدات الأساسية في النظام الدولي للوحدات باستخدام قوى العدد عشرة، كما هو موضح في **الجدول 2**. وسترى هذه البادئات كثيرًا في الحياة اليومية، مثل المليجرام والنانوثانية والسنتيمتر.

الجدول 2 البادئات المستخدمة في النظام الدولي

البادئة	الرمز	المضروب فيه	الترميز العلمي	مثال
femto -	f	0.000000000000001	10^{-15}	فيمتو ثانية (fs)
pico -	p	0.000000000001	10^{-12}	بيكو متر (pm)
nano -	n	0.000000001	10^{-9}	نانومتر (nm)
micro -	μ	0.000001	10^{-6}	ميكرو جرام (μg)
milli -	m	0.001	10^{-3}	ميللي أمبير (mA)
centi -	c	0.01	10^{-2}	سنتيمتر (cm)
deci -	d	0.1	10^{-1}	ديسيليتر (dL)
kilo -	k	1000	10^{3}	كيلو متر (km)
mega -	M	1,000,000	10^{6}	ميجا جرام (Mg)
giga -	G	1,000,000,000	10^{9}	جيجا متر (Gm)
tera -	T	1,000,000,000,000	10^{12}	تيرا هرتز (THz)

☑ **تاكد من فهمك** حدّد البادئة التي ستستخدم في التعبير عن 2,000,000,000 بايت من ذاكرة الكمبيوتر.

الشكل 7 النموذج الأول الدولي للكيلوجرام، هو المعيار لكتلة الكيلو جرام ويتكون من خليط من البلاتينيوم والأريديوم، محفوظ في فراغ كي لا يفقد كتلته. ويعمل العلماء على إعادة تعريف الكيلوجرام المعياري باستخدام كرة تامة الاستدارة مصنوعة من السيليكون.

صِف ما وجه الأهمية في وجود معايير للقياسات؟

التحليل البُعدي

يمكنك استخدام الوحدات للتحقق من صحة إجابتك. وستحتاج عادة إلى استخدام صيغة أو سلسلة من الصيغ لحل مسألة فيزيائية. وللتحقق من حل المسألة بشكل صحيح، اكتب المعادلة أو مجموعة المعادلات التي تخطط لاستخدامها في الحل. وقبل إجراء الحسابات، تحقق من أن الإجابة بالوحدات المتوقعة. فمثلًا، إذا كنت تحسب سرعة سيارة ووجدت أن إجابتك ستكون بوحدة s/m أو m/s^2، فاعلم أن هناك خطأ في حل المسألة. وتُسمى هذه الطريقة في التعامل مع الوحدات باعتبارها كميات جبرية يمكن شطبها **التحليل البُعدي**. ومع ذلك، فكونك تعرف أنّ إجابتك ستكون بالوحدة الصحيحة لا يضمن أنّ الإجابة نفسها ستكون صحيحة. لكن إذا عرفت أن إجابتك ستكون بالوحدات الخاطئة، فمن المؤكد أنك وقعت في خطأ ما. كما يُستخدم التحليل البعدي في اختيار معاملات التحويل. ومعامل التحويل هو معامل ضرب يساوي واحدًا صحيحًا (1).

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

على سبيل المثال، نظرًا لأن $1\ kg = 1000\ g$ يمكنك إنشاء معاملات التحويل التالية:

$$1 = \frac{1\ kg}{1000\ g} \qquad 1 = \frac{1000\ g}{1\ kg}$$

اختر معامل التحويل الذي يؤدي إلى شطب الوحدات الأولية، بحيث نحصل على الإجابة بالوحدات المطلوبة. على سبيل المثال، لتحويل $1.34\ kg$ من الحديد الخام إلى الجرام، قم بما يلي.

$$1.34\ \cancel{kg}\left(\frac{1000\ g}{1\ \cancel{kg}}\right) = 1340\ g$$

وقد تحتاج أيضًا إلى عمل سلسلة من التحويلات. لتحويل $43\ km/h$ إلى m/s. قم بما يلي:

$$\left(\frac{43\ \cancel{km}}{1\ \cancel{h}}\right)\left(\frac{1000\ m}{1\ \cancel{km}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{h}}{60\ \cancel{min}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{min}}{60\ s}\right) = 12\ m/s$$

الأرقام المعنوية

افترض أنك تستخدم مسطرة مترية لقياس قلم ووجدت أن طرف القلم يتخطى قليلًا علامة 138 على المسطرة، كما هو موضح في **الشكل 8**. ومن ثم تقدّر أن القلم يتخطى آخر علامة على المسطرة بمقدار جزء عشري من المليمتر. وتسجل طول القلم على أنه $138.1\ mm$. يتضمن هذا القياس أربعة أرقام صحيحة: الثلاثة الأولى منها أرقام مؤكدة والرقم الأخير غير مؤكد. يُطلق على الأرقام الصحيحة في القياس اسم **الأرقام المعنوية**. والرقم الأخير في القياس هو الرقم غير المؤكد. وجميع الأرقام غير الصفرية في القياس هي أرقام معنوية.

هل جميع الأصفار أرقام معنوية؟ لا. ففي القياس $0.0860\ m$ مثلًا، يُستخدم أول صفرين لتحديد مكان الفاصلة العشرية فقط وهما ليسا رقمين معنويين. أما الصفر الأخير فهو الرقم المُقدَّر وهو رقم معنوي. وقد يحتوي القياس $172{,}000\ m$ على 3 أو 4 أو 5 أو 6 أرقام معنوية. ومنعًا لهذا اللبس، يُستخدم الترميز العلمي. من الواضح أن القياس $1.7200 \times 10^5\ m$ يحتوي على خمسة أرقام معنوية.

العمليات الحسابية بالأرقام المعنوية عند إجراء أي عملية حسابية، من المهم أن تتذكر أن النتيجة لا يمكن أن تكون أكثر ضبطًا من القياس الأقل ضبطًا.

لجمع القياسات أو طرحها، نفّذ العملية الحسابية أولًا ثم قرّب النتيجة بحيث تتوافق مع القيمة الأقل ضبطًا. فمثلًا، $3.86\ m + 2.4\ m = 6.3\ m$ لأن القياس الأقل ضبطًا مقرّب إلى جزء عشري من المتر.

لضرب القياسات أو قسمتها، نفّذ العملية الحسابية ثم قرّب الناتج بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيه مساويًا لتلك الموجودة في القياس الأقل ضبطًا. فمثلًا،

$$\frac{409.2\ km}{11.4\ L} = 35.9\ km/L$$

لأن القياس الأقل ضبطًا يتضمن ثلاثة أرقام معنوية. تعرض بعض الآلات الحاسبة العديد من الأرقام الإضافية، في حين يقوم البعض الآخر بالتقريب إلى نقاط معينة. تأكد من تسجيل إجاباتك بالعدد الصحيح من الأرقام.

حل المسائل

مع مواصلة الدراسة في هذا الكتاب، ستكمل بعض المسائل التدريبية. وستجد أن معظمها مسائل معقدة وتحتاج إلى استراتيجية لحلها. يتضمن هذا الكتاب العديد من أمثلة المسائل التي يحتاج حلها إلى عملية من ثلاث خطوات. اقرأ المثال 1 واتبع الخطوات لحساب متوسط سرعة سيارة مستخدمًا المسافة والزمن.

الشكل 8 سجّل الطالب الذي قاس طول هذا القلم أن طوله $138.1\ mm$.

استدلّ لماذا يُعد الرقم الأخير في هذا القياس غير مؤكد؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

مثال 1

استخدم المسافة والزمن لإيجاد السرعة إذا كانت السيارة تقطع 434 km في 4.5 h. فما متوسط سرعة السيارة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

سرعة السيارة مجهولة. القيم المعلومة هي المسافة التي قطعتها السيارة والزمن الذي قطعتها فيه. استخدم العلاقة بين السرعة والمسافة والزمن لإيجاد سرعة السيارة.

المعطيات

المسافة = 434 km

الزمن = 4.5 h

المجهول

السرعة = ؟ km/h

2 إيجاد المجهول

اذكر العلاقة في شكل معادلة.

المسافة = **السرعة** × الزمن

أوجد معادلة السرعة.

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

عوّض عن المسافة 434 km والزمن = 4.5 h

$$\text{السرعة} = \frac{434\ \text{km}}{4.5\ \text{h}} = 96.4\ \text{km/h}$$

اقسم الوحدات واحسبها.

السرعة = 96 km/h

3 تقييم الإجابة

تحقق من صحة إجابتك باستخدامها في حساب المسافة التي قطعتها السيارة.

المسافة = السرعة × الزمن = $96.4\ \text{km/}\cancel{\text{h}} \times 4.5\ \cancel{\text{h}} = 434\ \text{km}$

المسافة المحسوبة تطابق المسافة المذكورة في المسألة.
وهذا يعني أن متوسط السرعة صحيح.

المسألة

1. اقرأ المسألة بعناية.
2. تأكد من أنك تفهم المطلوب في المسألة.

تحليل المسألة ورسمها

1. اقرأ المسألة مرة ثانية.
2. حدد المعطيات ودوّن البيانات المعلومة. اجمع المعلومات من الرسومات البيانية أو الجداول أو الصور، عند الحاجة.
3. حدد القيم المجهولة ودوّنها.
4. حدد ما إذا كنت تحتاج إلى رسم المسألة للمساعدة في حلها.
5. خطط الخطوات التي ستتبعها لإيجاد الحل.

إيجاد المجهول

1. إذا كان الحل بصيغة رياضية، فاكتب المعادلة مع عزل العامل المجهول.
2. عوّض عن الكميات المعلومة في المعادلة.
3. حل المعادلة.
4. تابع عملية الحل حتى تحل المسألة.

تقييم الإجابة

1. أعِد قراءة المسألة. هل الإجابة مقبولة؟
2. تحقق من صحة العمليات الرياضية. هل الوحدات والأرقام المعنوية صحيحة؟

القسم 2 مراجعة

8. الفكرة الرئيسة لماذا يُعبر عن مفاهيم الفيزياء باستخدام الصيغ؟

9. النظام الدولي للوحدات اذكر إحدى مزايا استخدام النظام الدولي للوحدات في العلوم.

10. التحليل البُعدي كم كيلو هرتز في 750 ميجا هرتز؟

11. التحليل البُعدي كم ثانية في السنة الكبيسة؟ السنة الكبيسة 366 يوم.

12. الأرقام المعنوية حل المسائل التالية باستخدام عدد الأرقام المعنوية الصحيح في كل مرة.

a. 10.8 g − 8.264 g

b. 4.75 m - 0.4168 m

c. 139 cm x 2.3 cm

d. 13.78 g / 11.3 mL

e. 6.201 cm + 7.4 cm + 0.68 m + 12.0 cm

f. 1.6 km + 1.62 m + 1200 cm

13. حل المسائل أعِد كتابة $F = Bqv$ لإيجاد v بدلالة F و q و B.

14. التفكير الناقد باستخدام القيم المعطاة في المثال ومعادلة المسافة = السرعة × الزمن، حسبت سرعة السيارة بأنها 290km/h. هل الإجابة مقبولة؟ لمَ أو لمَ لا؟ ما الظروف التي يمكن أن تكون فيها هذه الإجابة مقبولة؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 3 القياس

الفكرة الرئيسة

أخذ القياسات الدقيقة يتيح للعلماء تكرار التجارب ومقارنة النتائج.

الأسئلة الرئيسة

- لماذا تُسجل نتائج القياسات في الغالب بهامش خطأ؟
- ما الفرق بين الضبط والدقة؟
- اذكر أحد مصادر الخطأ الشائعة عند أخذ القياسات.

مفردات للمراجعة

اختلاف زاوية النظر التغير الظاهري في موقع الجسم عند النظر إليه من زوايا مختلفة

مفردات جديدة

القياس	measurement
الضبط	precision
الدقة	accuracy

الفيزياء في حياتك

هناك العديد من الأدوات التي تستخدمها كثيرًا لأخذ القياسات؛ فالساعات تقيس الزمن والمساطر تقيس المسافة وعدادات السرعة تقيس السرعة. ما أدوات القياس الأخرى التي استخدمتها من قبل؟

ما القياس؟

عندما تزور الطبيب لإجراء فحص طبي، فإنه يجري عدة قياسات، منها الطول والوزن وضغط الدم ومعدل ضربات القلب لديك. وحتى النظر يُقاس ويُعبر عنه بأرقام. كما تؤخذ عينة دم وتُجرى عليها بعض القياسات لمعرفة أعداد خلايا الدم أو مستويات الكوليسترول في الدم. فالقياسات تحول ملاحظاتنا إلى مقادير كمية، فلا يُقال إن ضغط الدم لدى الشخص "جيد نوعًا ما"، بل يُقال إن ضغط دمه $\frac{110}{60}$ مثلًا، وهو الحد الأدنى المقبول لضغط الدم لدى الإنسان.

القياس : مقارنة كمية مجهولة بأخرى معيارية. على سبيل المثال، إذا قِستَ كتلة عربة صغيرة في تجربة، فإن الكمية المجهولة هي كتلة العربة والكمية المعيارية هي الجرام. وتُقاس بالميزان ذي الكفتين أو الميزان الزنبركي. وفي التجربة المصغرة الواردة في القسم 1. يمثل طول الزنبرك الكمية المجهولة والسنتيمتر الكمية المعيارية.

مقارنة النتائج

كما تعلمت في القسم 1. يتشارك العلماء النتائج التي يتوصلون إليها. قبل أن تُقبل البيانات الجديدة تمامًا، يقوم علماء آخرون بدراسة التجربة والبحث عن المصادر المحتملة للخطأ ومحاولة إعادة إنتاج النتائج. وتُسجل النتائج في الغالب بهامش خطأ. وإذا كان القياس الجديد في حدود هامش الخطأ، فإنه يتطابق مع القياس القديم.

على سبيل المثال، يستخدم علماء الآثار التأريخ بالكربون المشع لتحديد عمر الرسومات الموجودة في الكهوف، كتلك الموجودة في كهف لاسكو الموضح في **الشكل 9** وكهف شوفيه. وتُسجل جميع التواريخ المقيسة بالكربون المشع بهامش خطأ. هناك ثلاثة أعمار مقيسة بالكربون المشع تم تحديدها من لوحة في كهف شوفيه وهي

30,230 ± 530, سنة 30,790 ± 600, سنة 30,940 ± 610.

في حين أن هذه القياسات لا تتطابق تمامًا، تتقاطع هوامش الخطأ في القياسات الثلاثة، ومن ثم يمكن القول بأن القياسات متوافقة مع بعضها.

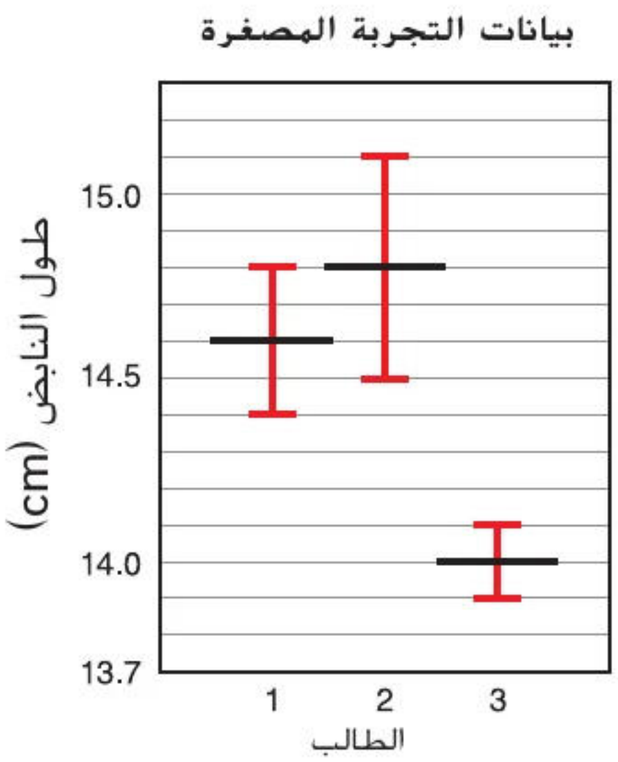
الشكل 9 توجد هذه الرسومات في كهف لاسكو في فرنسا. ويُقدِّر العلماء أن هذه الرسومات رُسمت منذ 17,000 سنة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

افترض أن ثلاثة طلاب نفذوا التجربة المصغرة الواردة في القسم 1 عدة مرات، مستخدمين زنبركات لها الطول نفسه، مع تعليق حلقتين على الزنبرك. أخذ الطالب الأول عدة قياسات تراوحت بين 14.4 cm و14.8 cm. وكان متوسط قياساته 14.6 cm. كما يظهر في **الشكل 10**. سُجلت هذه النتيجة على أنها14.6 ± 0.2) cm) . وسجّل الطالب الثاني طول الزنبرك على أنه 14.8 ± 0.3) cm). وسجَّل الطالب الثالث طول الزنبرك على أنه 14.0 ± 0.1) cm).

هل يمكن أن تستنتج أن هناك توافقًا بين القياسات الثلاثة؟

هل تتكرر نتيجة الطالب الأول؟ تتقاطع نطاقات نتائج الطالبين الأول والثاني بين 14.5 cm و14.8 cm. ولكن لا تتقاطع نتائجهما مع نتيجة الطالب الثالث، ومن ثَم لا تتوافق معها.



الشكل 10 أخذ ثلاثة طلاب قياسات متعددة. توضح القضبان الحمراء هامش الخطأ في كل قياس.

اشرح هل تتطابق القياسات؟ هل تتكرر نتيجة الطالب الثالث؟ لمَ أو لمَ لا؟

الضبط والدقة

يمثل كل من الضبط والدقة خاصية من خصائص القيم المقيسة، كما يظهر في **الشكل 11**. ما مدى الضبط والدقة في قياسات الطلاب الثلاثة الواردة أعلاه؟ **الضبط** هو درجة توافق القياسات المختلفة لكمية مقيسة. في المثال الوارد أعلاه، قياسات الطالب الثالث هي الأكثر ضبطًا وبهامش خطأ مقداره 0.1 cm ±. في حين كانت قياسات الطالبين الآخرين أقل ضبطًا لأن لها هامش خطأ أكبر (الطالب الأول 0.2 cm ± ، الطالب الثاني 0.3 cm ±).

يعتمد الضبط على كل من الأداة والطريقة المستخدمة في القياس. وبوجه عام، كلما كانت الأداة ذات تدريج بقيم أصغر كانت القياسات أكثر ضبطًا. ودقة القياس يساوي نصف قيمة أصغر تدريج في الأداة. فعلى سبيل المثال، إذا كان للمخبار المدرج تدريجات كل منها يساوي 1 mL ؛ فإنك تستطيع من خلال هذه الأداة أن تقيس بضبط يصل إلى 0.5 mL. أما إذا كان أصغر تدريج في الكأس يساوي50 mL، فما ضبط قياساتك مقارنة بالقياسات المأخوذة بالمخبار المدرج؟

تشير الأرقام المعنوية في الإجابة إلى درجة ضبطها. فالقياس 67.100 g مضبوط إلى أقرب جزء من الألف في الجرام. وقد ذكرنا في القسم 2 قواعد إجراء العمليات الخاصة بالقياسات ذات مستويات الضبط المختلفة. فعند إضافة 1.2 mL من حمض إلى كأس يحتوي على 2.4×10^2 mL من الماء، لا يمكن القول بأن لديك 2.412×10^2 mL من السائل لأن حجم الماء لم يتم قياسه إلى أقرب جزء من عشرة من المليلتر، بل إلى أقرب10 mL.

الشكل 11 تمثل المنطقة الصفراء في مركز كل هدف القيمة المقبولة لقياس معين. تمثل الأسهم قياسات أخذها أحد العلماء أثناء إحدى التجارب.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 12 يتم فحص الدقة من خلال تحديد قيمة صفرية في الأداة قبل استخدامها في القياس.

استدلّ هل هذه الأداة دقيقة؟ لمَ أو لمَ لا؟

تشير الدقة إلى مدى اتفاق نتائج القياس مع القيمة "الحقيقية". أي القيمة المقبولة حسب القياسات التي أخذها خبراء مؤهلون. كما يظهر في **الشكل 11**. إذا كان طول الزنبرك الذي قاسه الطلاب الثلاثة يساوي 14.8 cm. فإن قياس الطالب الثاني هو الأكثر دقة وقياس الطالب الثالث هو الأقل دقة. ما الذي قد يتسبب في أن يأخذ الشخص قياسات غير دقيقة؟ كيف يمكنك أن تتأكد من دقة القياسات؟

من الطرق الشائعة للتحقق من دقة الأدوات طريقة تسمى معايرة الجهاز. أولًا. هل تكون قراءة الأداة صفرًا عندما ينبغي أن تكون كذلك. كما هو موضح في **الشكل 12؟** ثانيًا. ان تخلو الاداة من عيوب التصنيع. ومن الضروري إجراء فحوص دورية للدقة على أدوات القياس الحساسة. مثل الخرج الإشعاعي للأجهزة التي تُستخدم في علاج السرطان.

التأكد من فهم النص قارن وقابل بين الضبط والدقة.

تقنيات القياس الجيد

لضمان تحقيق الضبط والدقة. يجب أن تُستخدم الأدوات بطريقة صحيحة. كما يجب إجراء القياسات بعناية كي تصل إلى أعلى درجة من الضبط تسمح بها الأداة. من مصادر الخطأ الشائعة الزاوية التي تؤخذ منها قراءة أداة القياس. إذ يجب أن تُقرأ القياسات بالنظر عموديًّا وبعين واحدة. كما هو موضح في **الشكل 13**. أما إذا قُرئ القياس بشكل مائل. كما هو موضح في **الشكل 13**. فسنحصل على قيمة مختلفة أقل دقة. ويرجع اختلاف القراءات إلى **اختلاف زاوية النظر**. وهو التغير الظاهري في موقع الجسم عند النظر إليه من زوايا مختلفة. ولكي تلاحظ أثر اختلاف زاوية النظر في القياس. قم بقياس طول قلم بالنظر إليه بشكل عمودي على تدريج المسطرة. ثم اقرأ التدريج بعد أن تحرك رأسك إلى جهة اليمين أو جهة اليسار.

الشكل 13 عند النظر إلى التدريج بشكل عمودي (كما في الشكل على اليمين). ستكون نتائجك أكثر دقة مما لو نظرت بشكل مائل (كما في الشكل على اليسار).

حدّد إلى أي مدى غيّر اختلاف زاوية النظر من القياس الموجود على اليمين؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 14 يقوم هذا العالم بإعداد جهاز استقبال GPS عالي الدقة من أجل تسجيل حركات الصفائح القارية وتحليلها.

نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) يوضح نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) مثالًا على الدقة والضبط في القياس. يتكون نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) من 24 قمرًا صناعيًا بها أجهزة إرسال تدور في مدار حول الأرض مع العديد من أجهزة الاستقبال على الأرض. ترسل الأقمار الصناعية إشارات بالزمن، مقيسة بالساعات الذرية عالية الدقة. يستخدم جهاز الاستقبال المعلومات الواردة من أربعة أقمار صناعية على الأقل لتحديد خط العرض وخط الطول والارتفاع. (الساعات الموجودة في أجهزة الاستقبال ليست بمستوى دقة الساعات الموجودة على الأقمار الصناعية).

لأجهزة الاستقبال مستويات مختلفة من الضبط. فيمكن لجهاز موجود في سيارة أن يحدد موقعك بهامش خطأ أمتار قليلة. أما الأجهزة التي يستخدمها علماء فيزياء الأرض (الجيوفيزياء)، كما هو موضح في **الشكل 14**، فيمكنها قياس الحركات التي تحدث في القشرة الأرضية بالملليمتر.

طُوّر نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) على يد وزارة الدفاع الأمريكية. ويستخدم هذا النظام الساعات الذرية التي طُورت لاختبار نظريات أينشتين عن النسبية والجاذبية. وفي نهاية المطاف، أصبح نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) متاحًا للاستخدام المدني. فقد أصبحت إشارات نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) متوفرة في جميع أنحاء العالم بالمجان وتُستخدم في الملاحة على الأرض وفي البحر والجو، وتُستخدم كذلك في عمل الخرائط والمسح وفي الاتصالات عن بعد وشبكات الأقمار الصناعية، كما تُستخدم في البحث العلمي عن الزلازل والصفائح التكتونية.

مختبر الفيزياء

الكتلة والحجم

كيف تعتمد الكتلة على الحجم؟

القسم 3 مراجعة

15. **الفكرة الرئيسة** لديك ميكرومتر (أداة تُستخدم لقياس طول الأجسام أو قطرها إلى أقرب 0.001 mm) تعرّض لانثناء شديد. كيف تقارنه بعصا مترية جديدة ذات نوعية جيدة من حيث الضبط؟ ومن حيث الدقة؟

16. **الدقة** بعض المساطر الخشبية لا يبدأ صفرها عند الحافة، وإنما بعد عدة ملليمترات منها. كيف يمكن أن يحسن ذلك من دقة المسطرة؟

17. **اختلاف زاوية النظر** هل يؤثر اختلاف زاوية النظر في ضبط القياسات التي تأخذها؟ اشرح إجابتك.

18. **هامش الخطأ** يخبرك صديقك أن طوله يبلغ 182 cm. وضح مدى دقة هذا القياس.

19. **الضبط** صندوق طوله 18.1 cm وعرض 19.2 cm وارتفاعه 20.3 cm.
    a. ما حجم الصندوق؟
    b. ما مدى ضبط قياس الطول؟ وما مدى ضبط قياس الحجم؟
    c. ما ارتفاع مجموعة من 12 صندوقًا من النوع نفسه؟
    d. ما مدى ضبط قياس ارتفاع صندوق واحد؟ ما مدى ضبط ارتفاع مجموعة من 12 صندوقًا؟

20. **التفكير الناقد** كتب زميلك في تقريره أن متوسط الزمن اللازم لتدور سيارة دورة كاملة في مسار طوله 1.5mi هو 65.414 s. وقد سُجلت هذه القراءة عن طريق قياس زمن 7 دورات باستخدام ساعة درجة ضبطها 0.1 s . ما مدى ثقتك في النتائج الواردة في التقرير؟ اشرح إجابتك.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 4

تمثيل البيانات بيانيًّا

الفكرة الرئيسة

تسهِّل الرسومات البيانية من تفسير البيانات. كما أنها تحدّد الاتجاهات وتظهِر العلاقات بين مجموعة من المتغيرات.

الأسئلة الرئيسة

- ماذا نتعلم من الرسومات البيانية؟
- اذكر بعض العلاقات المشتركة في الرسومات البيانية.
- كيف يجري العلماء التوقعات؟

مفردات للمراجعة

الميل نسبة التغير الرأسي إلى التغير الأفقي على رسم بياني.

مفردات جديدة

المتغير المستقل
independent variable

المتغير التابع
dependent variable

الخط الأفضل مطابقة
line of best fit

العلاقة الخطية
linear relationship

العلاقة التربيعية
quadratic relationship

العلاقة العكسية
inverse relationship

الفيزياء في حياتك

غالبًا ما تُستخدم الرسومات البيانية في المقالات الإخبارية عقب الانتخابات. حيث تُستخدم الرسومات البيانية بالأعمدة والقطاعات الدائرية لعرض عدد الأصوات أو النسبة المئوية التي حصل عليها المرشحون. أما الرسومات البيانية الأخرى فتُستخدم لعرض الزيادات والانخفاضات في عدد السكان أو الموارد على مر السنين.

تحديد المتغيرات

عندما تجري تجربة ما، من المهم أن تغير عاملًا واحدًا فقط في كل مرة. على سبيل المثال، يعرض **الجدول 3** طول زنبرك عند تعليق كتل مختلفة به. ستتغير الكتلة وحدها؛ فإذا عُلقت كتل مختلفة في أنواع مختلفة من النوابض، فلن تعرف مقدار الفرق بين زوجي البيانات الذي كان بسبب الكتل المختلفة ومقدار الفرق الذي كان بسبب النوابض المختلفة.

المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة المتغير هو عامل قد يؤثر في نمط إعداد التجربة. والعامل المستخدَم أثناء التحقيق هو **المتغير المستقل**. لذلك فإن الكتلة هي المتغير المستقل في هذا التحقيق. أما العامل الذي يعتمد على المتغير المستقل فهو **المتغير التابع**. وفي هذا التحقيق، اعتمد مقدار تمدد الزنبرك على الكتلة، ومن ثَم كان مقدار التمدد هو المتغير التابع. إلى جانب ذلك، قد يدرس أحد العلماء كيفية تغيّر الإشعاع مع مرور الزمن أو كيفية اعتماد شدة المجال المغناطيسي على المسافة من مغناطيس.

الخط الأفضل مطابقة يوضح الرسم البياني الخطي كيف يختلف المتغير التابع بحسب المتغير المستقل. ويوضح **الشكل 15** تمثيلًا بيانيًّا للبيانات الواردة في **الجدول 3**. فالخط ذو اللون الأزرق المرسوم بالقرب من جميع نقاط البيانات بقدر الإمكان هو **الخط الأفضل مطابقة**. وهو نموذج للتوقعات أفضل من أي نقطة واحدة على طول الخط. كما تُقدم **الشكل 15** تعليمات مفصلة حول كيفية تصميم رسم بياني وتمثيل البيانات ورسم خط أفضل مطابقة.

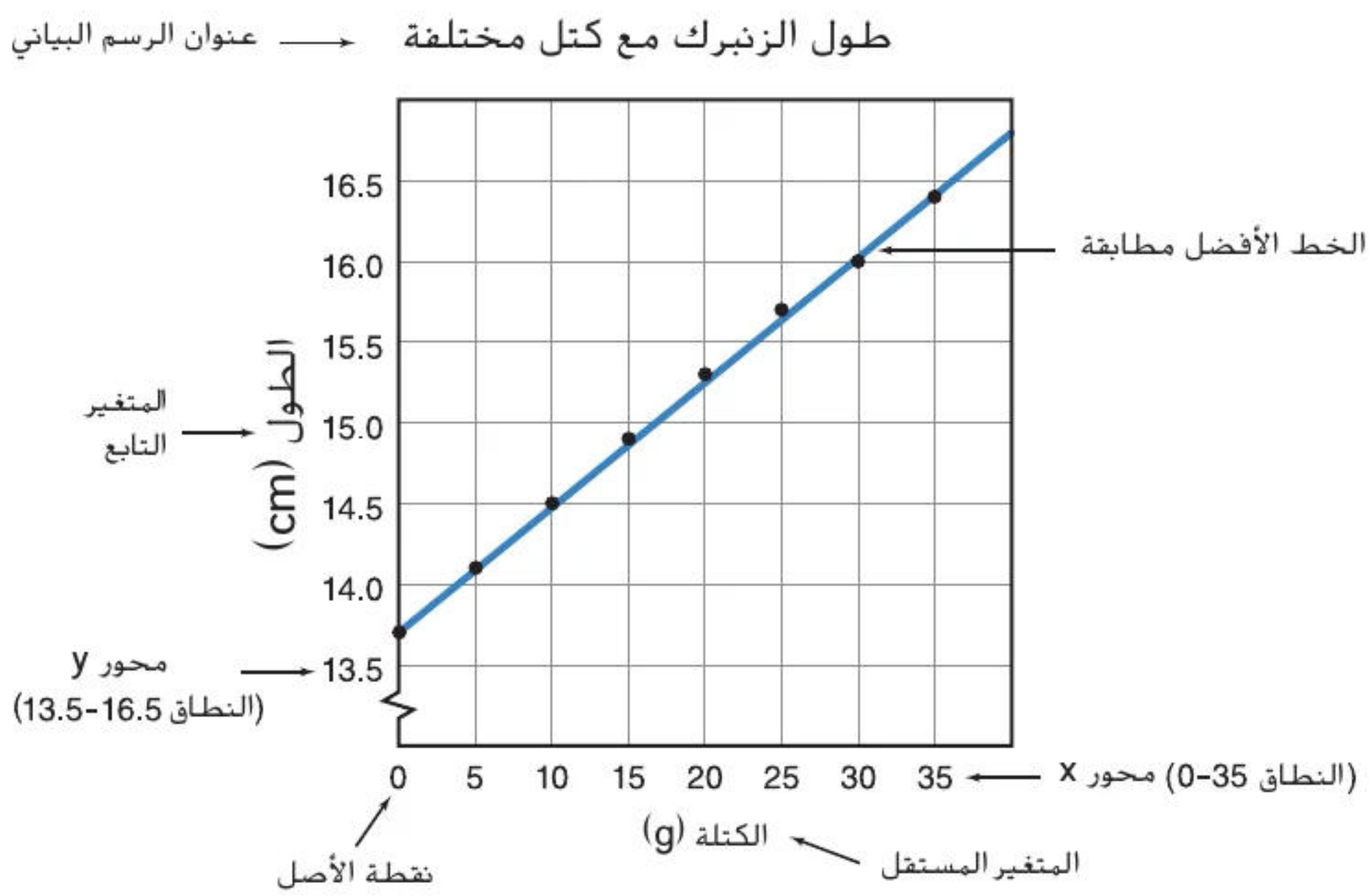
إن الرسم البياني جيد التصميم يوفر الأنماط التي لا يمكن رؤيتها بسرعة وسهولة في قائمة من الأرقام. يوضح الرسم البياني في **الشكل 15** أن طول الزنبرك يزيد كلما زادت الكتلة المعلَّقة في الزنبرك.

الجدول 3 العلاقة بين طول الزنبرك والكتلة المعلقة

الكتلة المعلَّقة في الزنبرك (g)	طول الزنبرك (cm)
0	13.7
5	14.1
10	14.5
15	14.9
20	15.3
25	15.7
30	16.0
35	16.4

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

■ إعداد الرسومات البيانية الخطية



1. حدد المتغير المستقل والمتغير التابع في بياناتك. في هذا المثال، المتغير المستقل هو الكتلة (g) والمتغير التابع هو الطول (cm). رُسِم المتغير المستقل على المحور الأفقي، أي المحور السيني (x). ورُسم المتغير التابع على المحور الرأسي، أي المحور الصادي (y).

2. حدد نطاق المتغير المستقل الذي سيتم رسمه. في هذه الحالة النطاق هو 0–35.

3. حدد ما إذا كانت نقطة الأصل (0,0) نقطة بيانات صحيحة.

4. وسِّع بين البيانات بقدر الإمكان. اجعل كل قسم على ورقة الرسم البياني يمثل وحدة ملائمة. ويعني هذا عادة الوحدات التي تكون مضاعفات للأعداد 2 أو 5 أو 10.

5. حدد اسمًا للمحور الأفقي. يجب أن يحتوي الاسم على الوحدات، مثل الكتلة (g).

6. كرر الخطوات 2–5 للمتغير التابع.

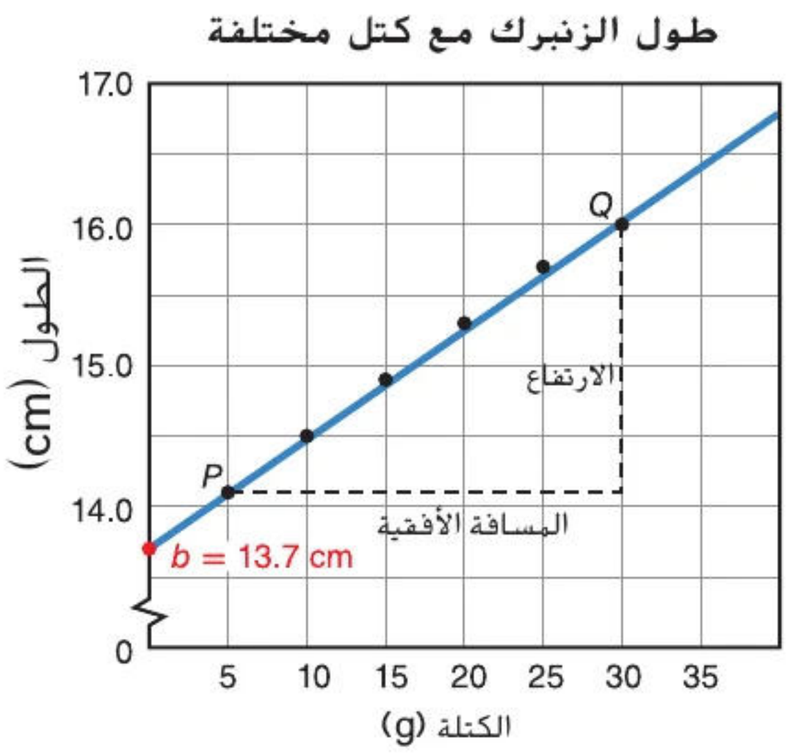
7. مثِّل نقاط البيانات على الرسم البياني.

8. ارسم الخط الأفضل مطابقة أو المنحنى الذي يمر بأكبر عدد ممكن من نقاط البيانات. ويسمى ذلك في بعض الأحيان التقدير بالنظر. لا تستخدم سلسلة من القطع المستقيمة التي تربط بين النقاط. فالخط الذي يبدو أنه الأفضل مطابقة بالنسبة إليك قد لا يكون الأفضل في نظر شخص آخر. ومن ثَم هناك إجراء رسمي تستخدمه معظم الآلات الحاسبة الرسومية، تُسمى طريقة المربعات الصغرى التي تنشئ مستقيمًا منفردًا أفضل مطابقة، لكن ذلك خارج نطاق هذا الكتاب المدرسي.

9. ضع عنوانًا للرسم البياني يُظهر ما يمثله بوضوح.

الشكل 15 استخدم الخطوات الموضحة أعلاه لرسم رسومات بيانية خطية من جداول البيانات.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 16 في العلاقة الخطية، يتغير المتغير التابع – وهو الطول هنا – خطيًّا حسب المتغير المستقل. أما المتغير المستقل في هذه التجربة فهو الكتلة.

صِف ماذا يحدث لطول الزنبرك عندما تزيد الكتلة؟

تجربة مصغرة

إلى أي مدى تقريبًا؟

ما العلاقة بين المحيط والقطر؟

العلاقات الخطية

تأخذ النقاط المبعثرة للبيانات عدة أشكال مختلفة للدلالة على علاقات مختلفة. ومن العلاقات الأكثر شيوعًا العلاقات الخطية والعلاقات التربيعية والعلاقات العكسية. ومن المحتمل أن تكون قد تعرفت عليها في حصة الرياضيات.

عندما يكون الخط الأفضل مطابقة خطًا مستقيمًا، كما في **الشكل 15**، تكون هناك علاقة خطية بين المتغيرات. ففي **العلاقة الخطية**، يتغير المتغير التابع خطيًّا بحسب المتغير المستقل. ويمكن كتابة العلاقة في شكل المعادلة التالية.

العلاقة الخطية بين متغيرين $y = mx + b$

أوجد مقطع y والميل (m) كما هو موضح في **الشكل 16**. استخدم النقاط الموجودة على الخط. قد تكون نقاط البيانات أو لا تكون كذلك. والميل هو نسبة التغير الرأسي إلى التغير الأفقي. ولإيجاد الميل، حدد نقطتين، P وQ، بعيدتين عن بعضهما على الخط. والتغير الرأسي (الارتفاع) (Δy)، هو الفرق بين القيم الرأسية للنقطتين P وQ. أما التغير الأفقي (المسافة الأفقية) (Δx)، فهو الفرق بين القيم الأفقية للنقطتين P وQ.

الميل

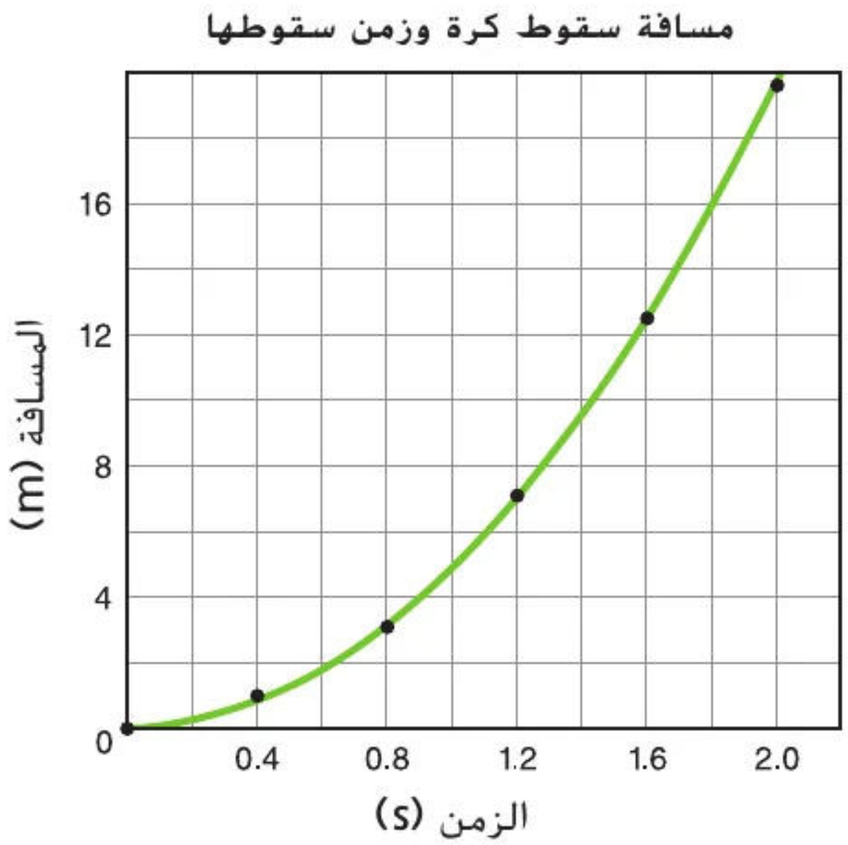
ميل الخط يساوي الارتفاع مقسومًا على المسافة الأفقية، ويمكن التعبير عنه أيضًا بالتغير الرأسي مقسومًا على التغير الأفقي.

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

في الشكل 16: $m = \frac{(16.0\ \text{cm} - 14.1\ \text{cm})}{(30\ \text{g} - 5\ \text{g})} = 0.08\ \text{cm/g}$

إذا قلَّت قيمة y عند زيادة قيمة x، فستكون $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ سالبة ويميل الخط إلى أسفل من اليسار إلى اليمين. ويكون مقطع y (b) هو النقطة التي يتقاطع عندها الخط مع المحور الرأسي، أو قيمة y عندما تكون قيمة x تساوي صفرًا. وفي هذا المثال، $b = 13.7\ \text{cm}$. ويعني ذلك أنه عندما لا توجد كتلة معلَّقة بالزنبرك، يكون طوله 13.7 cm. وعندما تكون $b = 0$، أو $y = mx$، يقال إن الكمية y تتغير مباشرة مع x. لكن في الفيزياء، يحتوي دائمًا ميل الخط ومقطع y على معلومات حول النظام الفيزيائي الذي يصفه الرسم البياني.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة



الشكل 17 العلاقة التربيعية، أو علاقة القطع المكافئ، الموضحة هنا مثال على العلاقة غير الخطية.

العلاقات غير الخطية

تعرض الشكل 17 مسافة سقوط كرة نحاس مقابل الزمن. لاحظ أن الرسم البياني ليس خطًّا مستقيمًا، مما يعني أن العلاقة ليست خطية. وهناك أنواع عديدة للعلاقات غير الخطية في العلوم. نذكر اثنين من الأنواع الأكثر شيوعًا وهما العلاقة التربيعية والعلاقة العكسية.

العلاقة التربيعية يوضح الرسم البياني في **الشكل 17** علاقة تربيعية ممثَّلة بالمعادلة التالية. وتوجد **العلاقة التربيعية** عندما يعتمد متغير على مربع متغير آخر.

العلاقة التربيعية بين متغيرين

$$y = ax^2 + bx + c$$

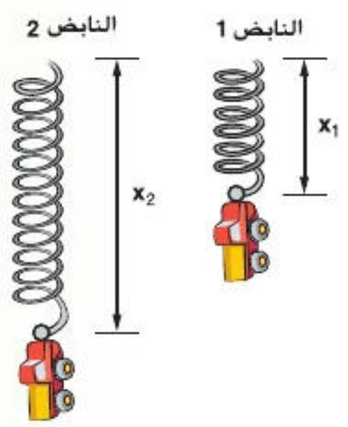
يستطيع برنامج كمبيوتر أو آلة حاسبة رسومية إيجاد قيم الثوابت a وb و c في هذه المعادلة بسهولة. في **الشكل 17**، المعادلة هي $d = 5t^2$. راجع كتيب الرياضيات الموجود في كتيّب الأنشطة أو عبر الإنترنت للاطلاع على المزيد حول إنشاء الرسومات البيانية الخطية واستخدامها.

تاكد من فهمك اشرح كيف يرتبط متغيران ببعضهما في علاقة تربيعية.

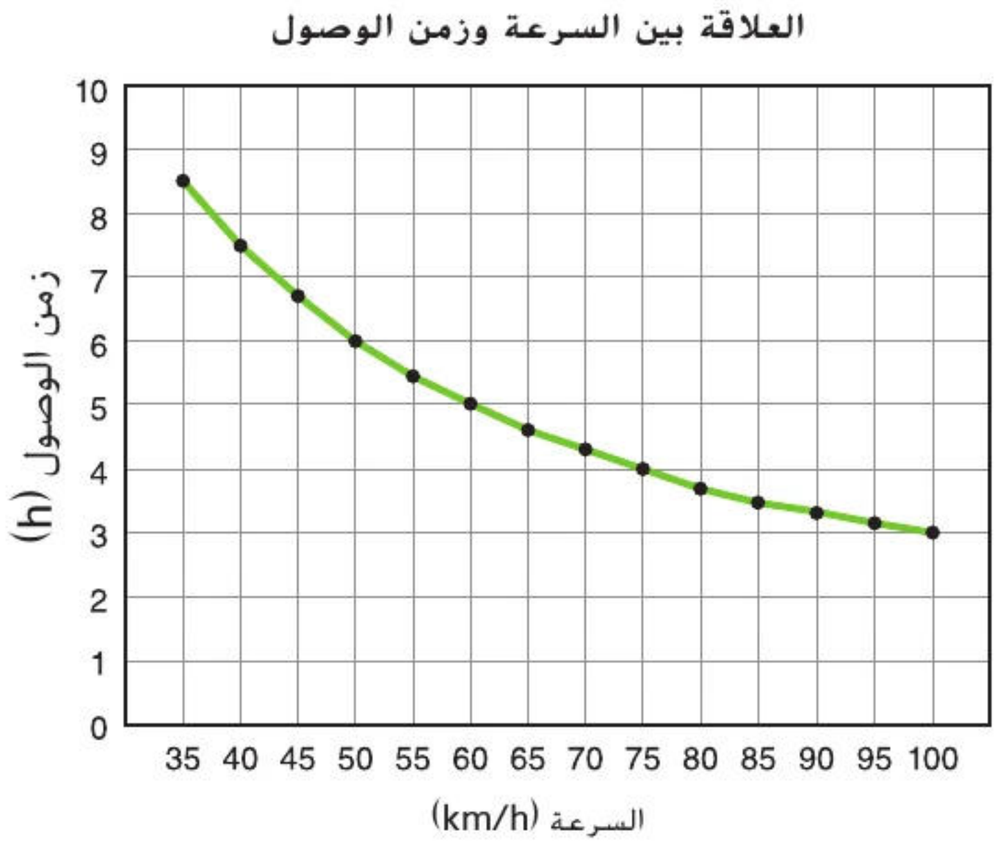
مسألة تحفيزية

يوجد جسم معلَّق في الزنبرك 1. واستطالة الزنبرك (مسافة تمدده) تساوي x_1. ثم نُزع هذا الجسم من الزنبرك الأول وعلِّق في زنبرك ثانٍ. فكانت استطالة الزنبرك 2 تساوي x_2. وكانت x_2 أكبر من x_1.

1. ارسم الرسومات البيانية للكتلة مقابل الاستطالة لكلا الزنبركين، على المحاور نفسها.
2. هل ينبغي تضمين نقطة الأصل في الرسم البياني؟ لمَ أو لمَ لا؟
3. ما الميل الأشد انحدارًا؟
4. عند كتلة معينة، كان $x_2 = 1.6x_1$. فإذا كان $x_2 = 5.3\ cm$. فما قيمة x_1؟



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 18 يُظهر هذا الرسم البياني العلاقة العكسية بين السرعة وزمن الوصول.

صِف كيف يتغير زمن الوصول كلما زادت السرعة؟

مختبر الفيزياء

الدليل في الدم

المختبر الجنائي كيف يمكن الحصول على أدلة من بقع الدم؟

العلاقة العكسية يظهر الرسم البياني في **الشكل 18** كيف يختلف الزمن المستغرق لقطع 300 km مع زيادة سرعة السيارة. وهذا مثال على العلاقة العكسية، وتمثله المعادلة التالية. **العلاقة العكسية** هي علاقة عكسية يعتمد فيها متغير على معكوس المتغير الآخر.

العلاقة العكسية بين متغيرين $y = \frac{a}{x}$

العلاقات الثلاثة التي تعلمتها مثال على العلاقات التي ستدرسها غالبًا في هذا الكتاب. كما أن هناك عدة نماذج رياضية أخرى مستخدمة. ومن الأمثلة المهمة على تلك النماذج منحنيات الجيب وتستخدم لنمذجة الظواهر الدورية، والنمو والتحلل الأسي ويستخدمان لدراسة النشاط الإشعاعي. وتمثل التراكيب المؤلفة من نماذج رياضية مختلفة الظواهر الأكثر تعقيدًا.

☑ **التأكد من فهم النص** اشرح كيف يرتبط متغيران ببعضهما في علاقة عكسية.

تطبيقات

21. يوضح **الجدول 4** قيم الكتل لأحجام معينة من سبائك الذهب الخالص.

a. مثِّل الكتلة مقابل الحجم من واقع القيم الموضحة في الجدول وارسم المنحنى الأفضل مطابقة لجميع النقاط.

b. صف المنحنى الناتج.

c. وفقًا للرسم البياني، ما نوع العلاقة بين كتلة سبيكة الذهب الخالص وحجمها؟

d. ما قيمة الميل لهذا الرسم البياني؟ أدخِل الوحدات المناسبة.

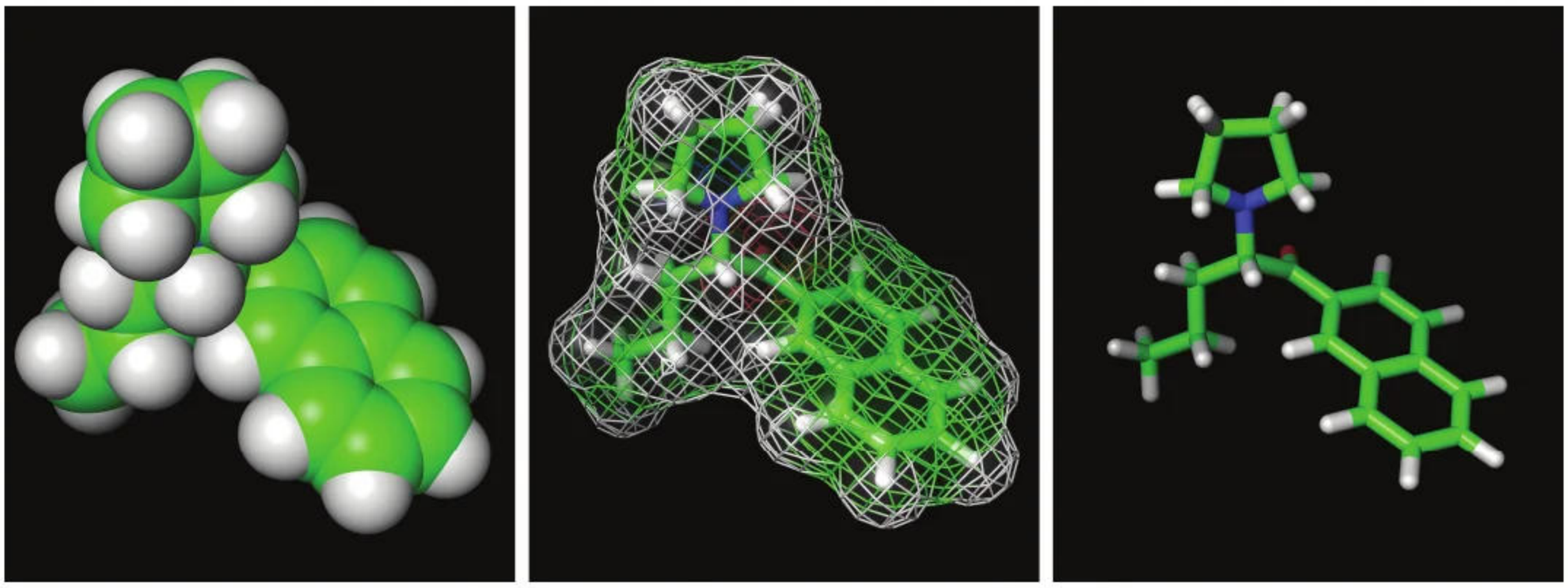
e. اكتب معادلة توضح الكتلة كدالة لحجم الذهب.

f. اكتب تفسيرًا مختصرًا لميل الخط.

الجدول 4 كتلة سبائك الذهب الخالص

الحجم (cm^3)	الكتلة (g)
1.0	19.4
2.0	38.6
3.0	58.1
4.0	77.4
5.0	96.5

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 19 لإنشاء رسم متحرك واقعي، يستخدم صانعو الرسومات المتحركة بواسطة الكمبيوتر نماذج رياضية من الحياة اليومية لإنشاء عالم خيالي مقنع. وهذا النموذج الحاسوبي لجزيء النافيرون قيد التطوير على كمبيوتر صانع الرسوم المتحركة.

توقُّع القيم

عندما يكتشف العلماء علاقات كتلك الموضحة في الرسومات البيانية في هذا القسم، يستخدمونها لإجراء التوقعات. على سبيل المثال، تكون معادلة الرسم البياني الخطي الموضح في **الشكل 16** كما يلي: $y = (0.08\ cm/g)x + 13.7\ cm$

ويمكن استخدام العلاقات، سواء أكانت في شكل صيغ أو مأخوذة من الرسومات البيانية، لتوقُّع القيم التي لم يتم قياسها بصورة مباشرة. إلى أي مدى يتمدد الزنبرك في **الجدول 3** في حالة وجود كتلة تساوي 49 g؟

$$y = (0.08\ cm/g)(49\ g) + 13.7\ cm = 18\ cm$$

من المهم أن تحدد إلى أي مدى يمكنك الاستنتاج من البيانات المتوفرة لديك. على سبيل المثال، القيمة 90 g هي قيمة بعيدة عن القيم المقيسة، وقد ينكسر الزنبرك بدلًا من التمدد إلى هذا الحد.

يستخدم علماء الفيزياء النماذج لتوقع سلوك الأنظمة بصورة دقيقة. فمثلا: ما الحالات التي قد تؤدي إلى حدوث انفجار شمسي (انفجار هائل لمادة من سطح الشمس في الفضاء)، أو كيف يؤدي إجراء التغيرات على بندول ساعة قديمة إلى تغير قدرتها على عرض الوقت الدقيق، أو كيف تؤثر المجالات المغناطيسية في أحد الأجهزة الطبية. يستخدم البشر النماذج في جميع مناحي الحياة بطرق متعددة. وتعرض **الشكل 19** مثالًا على ذلك. ومن خلال الأدوات التي تعلمتها في هذه الوحدة، تستطيع الإجابة عن الأسئلة وتصميم نماذج للمسائل الفيزيائية التي ستواجهك في بقية هذا الكتاب.

مختبر الفيزياء

استكشاف الأجسام المتحركة

كيف تحدد سرعة مركبة؟

القسم 4 مراجعة

22. الفكرة الرئيسية ارسم البيانات التالية بيانيًا. الزمن هو المتغير المستقل.

الزمن (s)	0	5	10	15	20	25	30	35
السرعة (m/s)	12	10	8	6	4	2	2	2

23. فسِّر رسمًا بيانيًّا ماذا يعني وجود مقطع y غير صفري في رسم بياني لكتلة كلية مقابل الحجم؟

24. توقَّع استخدم الرسم البياني الموضح في **الشكل 16** لتحديد الكتلة اللازمة لتمدد الزنبرك بمقدار 15 cm .

25. توقَّع استخدم الرسم البياني في **الشكل 18** لتوقُّع زمن الوصول عندما تكون السرعة 110 km/h .

26. التفكير الناقد انظر مرة أخرى إلى الرسم البياني الموجود في **الشكل 16**. واشرح بأسلوبك الخاص كيف سيختلف الزنبرك إذا كان الخط الموجود في الرسم البياني أقل عمقًا أو له ميل صغير.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تطبيق في الحياة اليومية

الفيزياء المستخدمة في الرسوم المتحركة

إذا طُلب منك ذكر المهن التي تستخدم الفيزياء، فمن المحتمل ألا يكون صانع الرسوم المتحركة أول من يتبادر إلى ذهنك. في حين أن الرسوم المتحركة الحاسوبية ثلاثية الأبعاد (3D) حلّت مكان الرسوم المتحركة التقليدية ثنائية الأبعاد، التي كانت تُرسم باليد كوسيطة لعرض الأشكال المتحركة على شاشة الكبيرة. فالمعرفة بالفيزياء المستخدمة في الحركة وتفاعل الضوء أمر مهم لصانعي الرسوم المتحركة القادمين الذين يسعون إلى إنشاء نماذج دقيقة فيزيائيًّا.

نمذجة الحركة في البداية، يتم تصميم النماذج ثلاثية الأبعاد باليد أو بواسطة جهاز كمبيوتر مباشرة. ويتم توصيل نقاط التحكم الداخلية بشبكة كبيرة بعدد أقل من نقاط التحكم الخارجية تسمى الهيكل. كما يظهر في **الشكل 1**. وتسمح المعادلات الهندسية الخطية التي تربط بين الهيكل ومتغيرات الرسم المتحرك لصانعي الرسوم المتحركة بإنشاء حركة معقدة ودقيقة فيزيائيًا دون الحاجة إلى تحريك كل نقطة تحكم على حدة.

طاقة جهاز الكمبيوتر طاقة جهاز الكمبيوتر اللازمة لنقل جميع هذه المعادلات أمر أساسي. على سبيل المثال، تستخدم معادلة المعالجة اللازمة للإضاءة الشاملة – محاكاة الإضاءة التي ترتد حول بيئة ما – 10 ملايين نقطة، ولكل منها معادلتها خاصة. ويستغرق كل إطار في الرسم المتحرك، يمثل 0.04 s من زمن العرض، ست ساعات تقريبًا.

الشخصيات الحقيقية تجنب مؤيدو الرسوم المتحركة المعتمدة على الرياضيات في الماضي استخدام الشخصيات المعقدة، مثل البشر، التي تظهر غير حقيقية بشكل مزعجة مقارنة بنظائرها من غير البشر. وفي هذه الحالات، فضّلت معظم أستديوهات الرسوم المتحركة استخدام تقنية التقاط الحركة. ومن ناحية أخرى، أدت التطورات خلال العقد الماضي إلى وجود بيئات افتراضية معقدة بصورة كبيرة، مثل المحيطات والشخصيات البشرية الرائعة "المتحركة بشكل طبيعية".

الشكل 1 كل نقطة على المثلثات العديدة التي تكوّن شبكة الشخصية مرتبطة بواسطة معادلات هندسية.

لمزيد من التعمق >>>

البحث هناك جدال قائم حول ما إذا كان التقاط الحركة تقنية تجرّد الرسوم المتحركة من الفن الحقيقي. قارن بين مزايا وعيوب الرسوم المتحركة المعتمدة على الرياضيات والرسوم المتحركة المعتمدة على تقنية التقاط الحركة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الفكرة الرئيسة
يستخدم علماء الفيزياء الطرق العلمية لدراسة الطاقة والمادة.

المفردات
- الفيزياء
- المنهج العلمي
- الفرضية
- النموذج
- النظرية العلمية
- القانون العلمي

القسم 1 المنهج العلمي

الفكرة الرئيسة لا تتبع التحقيقات العلمية الخطوات نفسها على الدوام، لكنها تنطوي على طرق متشابهة.

- تتضمن الطرق العلمية إجراء ملاحظات وطرح أسئلة عن العالم الطبيعي.
- يستخدم العلماء النماذج لتمثيل الأشياء التي قد تكون صغيرة أو كبيرة للغاية أو العمليات التي تستغرق زمنًا كبيرًا يحول دون رؤيتها بالكامل أو قد تكون مادة خطرة.
- النظرية العلمية تفسير أشياء أو أحداث بناءً على المعرفة المكتسبة من الملاحظات والتحقيقات. القانون العلمي عبارة تصف شيئًا يحدث في الطبيعة ويبدو أنه صحيح في جميع الأحوال.
- لا يمكن أن يفسر العلم كل شيء أو يحلّه. لا يمكن اختبار الأسئلة المتعلقة بالآراء أو القيم.

المفردات
- التحليل البُعدي
- الأرقام المعنوية

القسم 2 الرياضيات والفيزياء

الفكرة الرئيسة نستخدم الرياضيات للتعبير عن المفاهيم في الفيزياء.

- استخدام النظام المتري يساعد العلماء حول العالم في التواصل بسهولة.
- يُستخدم التحليل البُعدي للتحقق من أن الإجابة ضمن الوحدات الصحيحة.
- الأرقام المعنوية هي الأرقام الصحيحة في القياس.

المفردات
- القياس
- الضبط
- الدقة
- اختلاف زاوية النظر

القسم 3 القياس

الفكرة الرئيسة أخذ القياسات الدقيقة يتيح للعلماء تكرار التجارب ومقارنة النتائج.

- تُسجَّل القياسات بهامش خطأ لأن أخذ قياس جديد ضمن هامش الخطأ يؤكد القياس القديم.
- الضبط درجة توافق القياسات المختلفة لكمية معينة. الدقة هي مدى مطابقة القياس للقيمة الصحيحة.
- تُعد الزاوية التي تُقرأ منها أداة القياس من أسباب الخطأ الشائعة عند أخذ القياس. فإذا قُرئ القياس في أداة ما بشكل مائل، على عكس مستوى النظر، فسيكون القياس أقل دقة.

المفردات
- المتغير المستقل
- المتغير التابع
- الخط الأفضل مطابقة
- العلاقة الخطية
- العلاقة التربيعية
- العلاقة العكسية

القسم 4 تمثيل البيانات بيانيًّا

الفكرة الرئيسة تسهِّل الرسومات البيانية من تفسير البيانات، كما أنها تحدّد الاتجاهات وتظهر العلاقات بين مجموعة من المتغيرات.

- تتضمن الرسومات البيانية معلومات حول العلاقات بين المتغيرات. الأنماط التي لا تكون واضحة بشكل مباشرة في قائمة من الأرقام يمكن رؤيتها بسهولة عند تمثيل البيانات بيانيًّا.
- تتضمن العلاقات المشتركة الموضحة في الرسومات البيانية العلاقات الخطية والعلاقات التربيعية والعلاقات العكسية. ففي العلاقة الخطية يتغير المتغير التابع خطيًّا بحسب المتغير المستقل. وتحدث العلاقة التربيعية عندما يعتمد متغير على مربع متغير آخر. أما في العلاقة العكسية، فيعتمد متغير على معكوس متغير آخر.
- يستخدم العلماء النماذج والعلاقات بين المتغيرات لتسجيل التوقعات.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 1 التقويم

القسم 1 المنهج العلمي

إتقان المفاهيم

27. صف إحدى طرق المنهج العلمي المتبعة لدراسة مشكلة.

28. اشرح سبب استخدام العلماء لكل من النماذج التالية.

a. نموذج مادي للنظام الشمسي

b. نموذج حاسوبي للديناميكا الهوائية للطائرات

c. نموذج رياضي لقوة الجذب بين جسمين

القسم 2 الرياضيات والفيزياء

إتقان المفاهيم

29. ما وجه أهمية الرياضيات في العلوم؟

30. ما النظام الدولي للوحدات؟

31. ما وجه الارتباط بين الوحدات الأساسية والوحدات المشتقة؟

32. افترض أن زميلك في التجربة سجَّل قياسًا يساوي 100 g.

a. ما وجه الصعوبة في حساب عدد الأرقام المعنوية في هذا القياس؟

b. كيف يمكن توضيح عدد الأرقام المعنوية في هذا العدد؟

33. اذكر اسم كل من أجزاء ومضاعفات المتر التالية.

a. $\frac{1}{100}$ m

b. $\frac{1}{1000}$ m

c. 1000 m

34. ما معامل التحويل الذي ينبغي الضرب فيه لتحويل 1.8 h إلى دقائق؟

35. أوجد حلًا لكل مسألة. واذكر العدد الصحيح للأرقام المعنوية في الإجابات.

a. $4.667\times10^{4}\ \text{g} + 3.02\times10^{5}\ \text{g}$

b. $(1.70\times10^{2}\ \text{J}) \div (5.922\times10^{-4}\ \text{cm}^3)$

إتقان حل المسائل

36. حوِّل القياسات التالية إلى أمتار.

a. 42.3 cm

b. 6.2 pm

c. 21 km

d. 0.023 mm

e. 214 μm

f. 57 nm

37. اجمع أو اطرح حسب المطلوب.

a. $5.80\times10^{9}\ \text{s} + 3.20\times10^{8}\ \text{s}$.

b. $4.87\times10^{-6}\ \text{m} - 1.93\times10^{-6}\ \text{m}$

c. $3.14\times10^{-5}\ \text{kg} + 9.36\times10^{-5}\ \text{kg}$

d. $8.12\times10^{7}\ \text{g} - 6.20\times10^{6}\ \text{g}$

38. مهمة التصنيف صنِّف الأعداد التالية من الأكبر إلى الأصغر من حيث عدد الأرقام المعنوية بها: 0.13, 1.234, 0.250, 7.603, 0.08. وضح الروابط بينها بوجه خاص.

39. اذكر عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات التالية.

a. 0.00003 m

b. 64.01 fm

c. 80.001 m

d. 6×10^{8} kg

e. 4.07×10^{16} m

40. اجمع أو اطرح حسب المطلوب.

a. 16.2 m + 5.008 m + 13.48 m

b. 5.006 m + 12.0077 m + 8.0084 m

c. $78.05\ \text{cm}^2 - 32.046\ \text{cm}^2$

d. 15.07 kg − 12.0 kg

41. اضرب أو اقسم حسب المطلوب.

a. $(6.2\times10^{18}\ \text{m})(4.7\times10^{-10}\ \text{m})$

b. $\frac{(5.6\times10^{-7}\ \text{m})}{(2.8\times10^{-12}\ \text{s})}$

c. $(8.1\times10^{-4}\ \text{km})\ (1.6\times10^{-3}\ \text{km})$

d. $\frac{(6.5\times10^{5}\ \text{kg})}{(3.4\times10^{3}\ \text{m}^3)}$

42. الجاذبية القوة الناتجة عن الجاذبية هي $F = mg$ حيث إن $g = 9.8\ \text{N/kg}$

a. أوجد القوة الناتجة عن الجاذبية على جسم كتلته 41.63 kg.

b. القوة الناتجة عن الجاذبية على جسم ما تساوي 632 N. فما كتلته؟

43. التحليل البُعدي يُقاس الضغط بوحدات الباسكال، حيث إن $1\text{Pa} = = \text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$. هل تعرض العبارة التالية قياس الضغط بوحدات صحيحة؟ $\frac{(0.55\ \text{kg})(2.1\ \text{m/s})}{9.8\ \text{m/s}^2}$

القسم 3 القياس

إتقان المفاهيم

44. ما الذي يحدد دقة القياس؟

45. كيف يختلف الرقم الأخير عن الأرقام الأخرى في القياس؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

إتقان حل المسائل

46. كتلة أحد خزانات الماء 3,64 kg عندما يكون فارغًا و 51,8 kg عندما يكون ممتلئًا إلى مستوى معين. فما كتلة الماء في الخزان؟

47. يبلغ طول غرفة ما 16,40 m وعرضها 4,5 m وارتفاعها 3,26 m. فما الحجم الذي تحويه الغرفة؟

48. تبلغ جوانب قطعة أرض رباعية الأضلاع 132,68 m و 48,3 m و 132,736 m و 48,37 m. فما محيطها؟

49. ما مدى دقة القياس الذي يمكنك أخذه بواسطة الميزان الموضح في الشكل 20؟

الشكل **20**

50. اكتب قياس الجهاز الموضح في الشكل 21. استخدم هامش الخطأ في إجابتك.

الشكل **21**

51. قدّر ارتفاع أقرب إطار باب بالسنتيمترات. ثم قم بقياسه. ما مدى دقة تقديرك؟ ما مدى دقة تقديرك؟ ما مدى دقة قياسك؟ ما أوجه الاختلاف في الحالتين؟

52. درجة الحرارة تنخفض درجة الحرارة خطيًّا من 24°C إلى 10°C خلال 12 ساعة.

a. أوجد متوسط تغيّر درجة الحرارة في كل ساعة.

b. توقَّع درجة الحرارة خلال ساعتين إضافيتين إذا استمر الاتجاه.

c. هل تستطيع أن تتوقع بدقة درجة الحرارة خلال 24 ساعة؟ لِمَ أو لِمَ لا.

القسم 4 تمثيل البيانات بيانيًّا

إتقان المفاهيم

53. كيف توجِد الميل لرسم بياني خطي؟

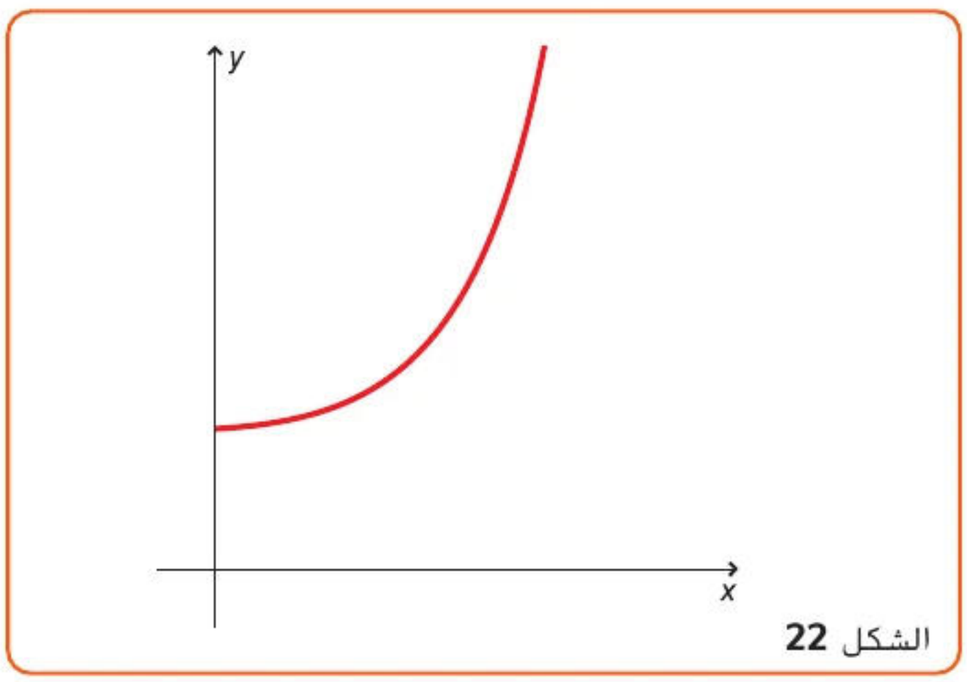
54. أثناء القيادة، تسمى المسافة المقطوعة بين رؤية ضوء التوقف والضغط على الفرامل مسافة رد الفعل. وتعتمد مسافة رد الفعل خطيًّا بالنسبة إلى السائق والمركبة على السرعة.

a. هل سيكون الرسم البياني لمسافة رد الفعل مقابل السرعة له ميل سلبي أم إيجابي؟

b. السائق المشتت الذهن يستغرق زمنًا أطول ليضغط على الفرامل مقارنة بالسائق غير المشتت. هل سيكون الرسم البياني لمسافة رد الفعل مقابل السرعة الخاص بالسائق المشتت الذهن له ميل أكبر من الرسم الخاص بالسائق الطبيعي أم أصغر منه؟ اشرح إجابتك.

55. أثناء تجربة معملية، تغيرت درجة حرارة الغاز في البالون وأُخذ قياس حجم البالون. حدد المتغير المستقل والمتغير التابع.

56. ما نوع العلاقة الموضحة في الشكل 22؟ اذكر المعادلة العامة لهذا النوع من العلاقة.



الشكل **22**

57. في المعادلة $F = \frac{mv^2}{R}$، ما نوع F والعلاقة بين كل مما يلي؟

a. F و R

b. F و m

c. F و v

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التقويم

إتقان حل المسائل

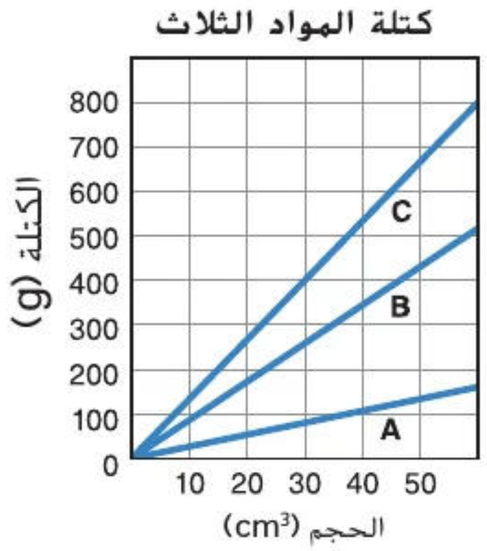
58. يعرض الشكل 23 كتل ثلاث مواد لأحجام تتراوح بين 0 و $60\ cm^3$.

a. ما كتلة $30\ cm^3$ من كل مادة؟

b. إذا كان لديك 100 g من كل مادة، فماذا سيكون حجم كل منها؟

c. صف في جملة أو جملتين معنى ميول الخطوط في هذا الرسم البياني.

d. اشرح معنى مقطع *y* لكل خط.



الشكل 23

59. افترض وجود كتلة على طاولة أفقية غير احتكاكية تقريبًا. طبقت قوى أفقية مختلفة على الكتلة. ثم قيست المسافة التي قطعتها الكتلة في 5 ثوانٍ لكل قوة. يوضح الجدول 5 نتائج التجربة.

الجدول 5 المسافة المقطوعة باستخدام القوى المختلفة

القوة (N)	المسافة (cm)
5.0	24
10.0	49
15.0	75
20.0	99
25.0	120
30.0	145

a. مثِّل بيانيًّا القيم الموضح في الجدول وارسم أفضل خط بياني يمثلها.

b. صف المنحنى الناتج.

c. استخدم الرسم البياني لكتابة معادلة تربط المسافة بالقوة.

d. ما الثابت الموجود في المعادلة؟ أوجد وحدات قياسه.

e. توقَّع المسافة المقطوعة عندما تؤثر قوة مقدارها 22.0 N في الكتلة لفترة 5s.

60. افترض أن الإجراء في المسألة السابقة تغيَّر. فتغيَّرت الكتلة بينما ظلت القوة ثابتة. وقِيس الزمن والمسافة، وحُسب التسارع لكل كتلة. يوضح الجدول 6 نتائج التجربة.

الجدول 6 تسارع الكتل المختلفة

الكتلة (kg)	التسارع (m/s^2)
1.0	12.0
2.0	5.9
3.0	4.1
4.0	3.0
5.0	2.5
6.0	2.0

a. مثِّل بيانيًّا القيم الموضحة في الجدول وارسم أفضل منحنى لجميع النقاط.

b. صف المنحنى الناتج.

c. اكتب المعادلة التي تربط التسارع بالكتلة التي توضحها البيانات في الرسم البياني.

d. أوجد وحدات الثابت في المعادلة.

e. توقَّع التسارع لكتلة مقدارها 8.0 kg.

61. في إحدى التجارب، قاس أحد الطلاب كتلة حجمها $10.0\ cm^3$ من مادة سائلة. ثم قاس الطالب كتلة حجمها $20.0\ cm^3$ من المادة. وكرر القياسات لحجوم أخرى من المادة وفق الجدول 7.

الجدول 7 قيم الكتلة لأحجام معينة من الكحول

الحجم (cm^3)	الكتلة (g)
10.0	7.9
20.0	15.8
30.0	23.7
40.0	31.6
50.0	39.6

a. مثِّل بيانيًّا القيم الموجودة في الجدول وارسم أفضل خط بياني مستقيم يمثل جميع النقاط.

b. صف المنحنى الناتج.

c. استخدم الرسم البياني لكتابة معادلة تربط الحجم بكتلة المادة.

d. أوجد وحدات ميل الخط البياني. ما اسم الكمية الذي يطلق على ميل الخط البياني؟

e. ما كتلة $32.5\ cm^3$ من المادة؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

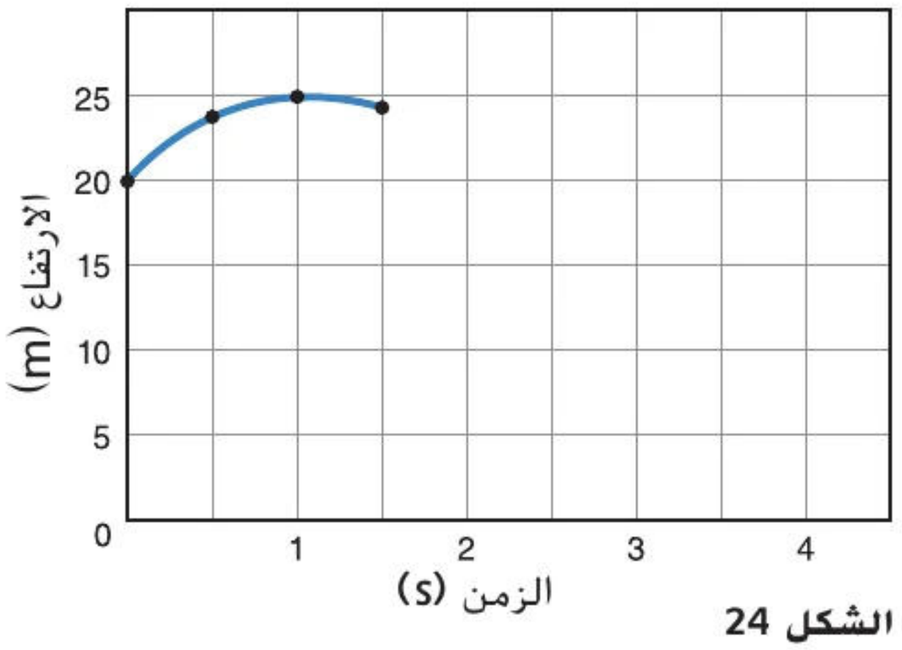
تطبيق المفاهيم

62. هل هل طريقة المنهج العلمي مجموعة من الخطوات المعرَّفة بوضوح؟ دعّم إجابتك.

63. اشرح الفرق بين النظرية العلمية والقانون العلمي.

64. يظهر الرسم البياني في الشكل 24 الارتفاع عن الأرض لكرة قذفت لأعلى من سطح مبنى خلال 1.5 s من حركتها. ما ارتفاع الكرة عندما تكون $t = 0$؟ توَّقع ارتفاع الكرة عندما تكون $t = 2\ s$ وعندما تكون $t = 5\ s$.

العلاقة بين ارتفاع الكرة وزمن حركتها



الشكل 24

65. كثافة كثافة المادة هي ناتج قسمة كتلتها على حجمها.

a. اذكر وحدة القياس للكثافة في النظام الدولي.

b. هل وحدة قياس الكثافة وحدة أساسية أم مشتقة؟

66. ما وحدة القياس المناسبة من أجزاء أو مضاعفات المتر التي تستخدمها لقياس كل مما يلي؟

a. عرض يدك

b. سُمك غلاف كتاب

c. ارتفاع غرفة الفصل

d. المسافة من منزلك إلى غرفة الفصل

67. الحجم صمِّم منظمًا بيانيًا لحجم الأجسام. يتراوح طولها بين أقل من 1 mm إلى العديد من الكيلومترات. تتضمن النماذج حجم الخلية، ومسافة انتقال الضوء خلال 1 s، وارتفاع الغرفة.

68. الزمن صمِّم منظمًا بيانيًا للفترات الزمنية. تتضمن الفترات الزمنية زمن دقات القلب ومتوسط عمر الإنسان. اذكر في مخططك عدة أمثلة من الفترات الزمنية القصيرة للغاية والفترات الزمنية الطويلة للغاية.

69. سرعة الضوء يقيس عالمان سرعة الضوء. حصل الأول على القياس $(3{,}001 \pm 0{,}001) \times 10^8\ m/s$؛ بينما حصل الآخر على القياس $(2{,}999 \pm 0{,}006) \times 10^8\ m/s$.

a. ما القياس الأكثر الذي يتضمن هامش خطأ أقل؟

b. ما القياس الأكثر دقة؟ (يمكنك العثور على سرعة الضوء في نهاية هذا الكتاب).

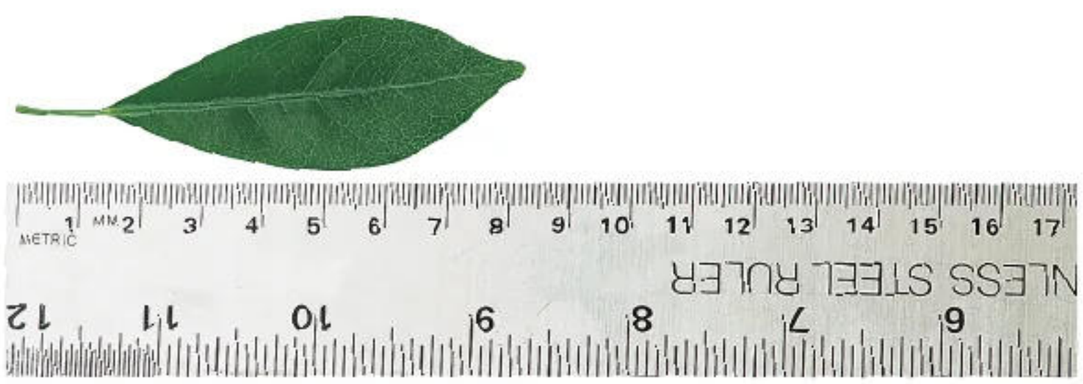
70. لنفترض أنك تقيس أبعاد مكتب وكانت القياسات 132 cm و 83 cm و 76 cm . ومجموع هذه القياسات يساوي 291 cm. بينما ناتج ضربها معا يساوي $8.3 \times 10^5\ cm^3$. اشرح كيفية تحديد الأرقام المعنوية في كل حالة.

71. الأموال افترض أنك تلقيت 60.0 درهمًا في بداية الأسبوع وأنفقت منها عشرة دراهم .كل يوم مقابل وجبة الغذاء. وأنت تجهّز رسمًا بيانيًّا للمبلغ المتبقي في نهاية كل يوم لمدة أسبوع. هل سيكون ميل هذا الرسم البياني موجبًا أم صفرًا أم سالبًا؟ لماذا؟

72. تم تمثيل بيانات على رسم بياني وكانت قيمة المحور الصادي y مطابقة لكل قيمة للمتغير المستقل. فما الميل؟ لماذا؟ كيف تعتمد قيمة y على قيمة x؟

73. القيادة الرسم البياني لمسافة الفرملة مقابل سرعة السيارة جزء من قطع مكافئ. ولذلك تُكتب المعادلة بالشكل $d = av^2 + bv + c$. ويكون للمسافة (d) وحدات قياس بالأمتار. وللسرعة المتجهة (v) وحدات قياس بالأمتار/الثانية. كيف يمكنك إيجاد وحدات قياس c و b و a؟ ماذا ستكون قيمتها؟

74. ما طول ورقة النبات الموجودة في الشكل 25؟ استخدم هامش الخطأ في قياسك.



الشكل 25

75. اشرح الفرق بين الفرضية والنظرية العلمية.

76. اذكر مثالًا لقانون علمي.

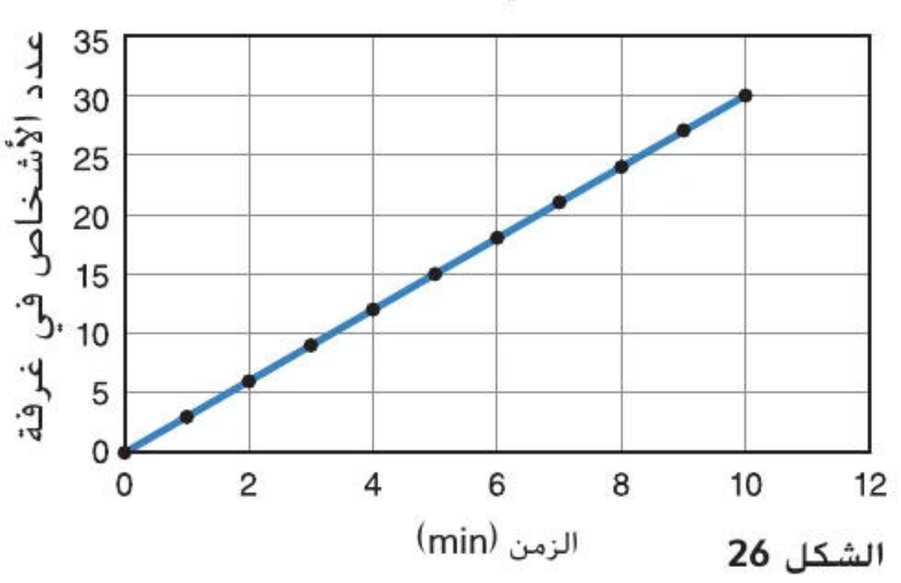
77. ما السبب الذي ربما جعل اليونانيين القدماء لا يشكّون في الفرضية (الخاطئة) بأن الأجسام الثقيلة تسقط أسرع من الأجسام الخفيفة؟ تلميح: هل سألت من قبل أيهما يسقط أسرع؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التقويم

78. توجد علامة على المخبار المدرَّج كل mL. ما مدى الدقة للقياس الذي يمكنك أخذه باستخدام هذه الأداة؟

79. مسألة عكسية اكتب مسألة تحتوي على أجسام من واقع الحياة يمكن أن يكون الرسم البياني في الشكل 26 جزءًا من حلها.



الشكل 26

مراجعة عامة

80. رتِّب الأعداد التالية من الأكثر دقة إلى الأقل دقة:
1234 m ، 45.6 m ، 0.0034 m

81. يعرض الشكل 27 محركًا لطائرة نفاثة. اشرح السبب في أن العرض البالغ 80 m سيكون قيمة غير مقبولة لقطر المحرك. ما القيمة التي ستكون مقبولة؟

الشكل 27

82. اعتمادا على معاملات التحويل الآتية:
1.23 longs = 23.0 mediums
74.5 mediums = 645 shorts
كم وحدة shorts تساوي وحدة long واحدة؟

83. لنفترض أن لديك القياسات التالية لجسم ما: الطول = 2.347m والارتفاع = 3.452 cm والسمك = 2.31mm والكتلة = 1659 g. حدد حجم الجسم، بالأمتار المكعبة، وكثافته، بوحدات g/cm^3 .

84. تحتوي قطرة الماء على 1.7×10^{21} من الجزيئات. إذا تبخر الماء بمعدل مليون جزيء في الثانية، فكم عدد السنوات التي تستغرقها النقطة لتتبخر تمامًا؟

85. وُضِعت عينة من فلز كتلتها 17.6g على مخبار مدرَّج يحتوي على $10.0\ cm^3$ من الماء. إذا ارتفع مستوى الماء إلى $12.20\ cm^3$، فماذا تكون كثافة الفلز؟

التفكير الناقد

86. طبّق المفاهيم قيل إن بعض الناس يطرحون أسئلة أكثر مما يستطيع الحكيم الإجابة عنها. وفي العلوم، ينبغي على الشخص الحكيم في كثير من الأحيان أن يطرح السؤال الصحيح لا أن يجيب عنه. اشرح إجابتك.

87. طبّق المفاهيم أوجد الكتلة التقريبية للماء بالكيلوجرامات اللازم لملء وعاء طوله 1.40 m وعرضه 0.600 m وعمقه 34.0 cm . سجّل إجابتك برقم معنوي واحد. (استخدم مصدرًا مرجعيًّا لإيجاد كثافة الماء).

88. حلّل واستنتج يبلغ مقدار الضغط لوعاء غاز 101 kPa وحجمه $324\ cm^3$ وكتلته 4.00 g. فإذا زاد الضغط إلى 404 kPa ، فماذا ستكون كثافة الغاز؟ يتناسب الضغط عكسيًّا مع الحجم.

89. الفكرة الرئيسة صمِّم تجربة ما الارتفاع الذي تستطيع رمي الكرة عنده؟ ما المتغيرات التي قد تؤثر في إجابة هذا السؤال؟

90. طرح مسألة أكمل هذه المسألة بحيث تحتوي الإجابة النهائية على 3 أرقام معنوية: "هناك علاج منزلي يُستخدم لمنع التهابات الأذن الخارجية ويتطلب استخدام أجزاء متساوية من الخل والكحول المحمّر. وقمت أنت بقياس 45.62 mL من الخل...."

الكتابة في الفيزياء

91. ابحث في موضوع عن تاريخ الفيزياء وقم بتوضيحه. اشرح كيف تغيرت الأفكار عن الموضوع بمرور الزمن. احرص على ذكر مساهمات العلماء وتقييم تأثير مساهماتهم في التفكير العلمي والعالم خارج المختبر.

92. اشرح كيف تؤدي الدقة المحسنة في قياس الزمن إلى المزيد من التوقعات الدقيقة عن كيفية سقوط جسم ما.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 1 تدريب على الاختبار المعياري

اختيار من متعدد

1. يستخدم مختبران طريقة التأريخ بالكربون المشع لقياس عمر مقبضي رمح خشبيين عُثر عليهما في المقبرة نفسها. عثر المختبر (أ) على عمر المقبض الأول يبلغ 40 ± 2250 سنة، بينما عثر المختبر (ب) على عمر المقبض الثاني يبلغ 50 ± 2215 سنة. أي الخيارات التالية صحيح؟

a. قراءة المختبر (أ) أكثر دقة من قراءة المختبر (ب).

b. قراءة المختبر (أ) أقل دقة من قراءة المختبر (ب).

c. قراءة المختبر (أ) أكثر ضبطًا من قراءة المختبر

d. قراءة المختبر (أ) أقل ضبطًا من قراءة المختبر (ب).

2. أي من ما يلي يساوي 86.2 cm؟

a. 8.62 m

b. 0.862 mm

c. 8.62×10^{-4} km

d. 862 dm

3. أحمد لديه مسألة متعلقة بالزمن والمسافة والسرعة المتجهة. لكنه نسي الصيغة. ويطلب منه السؤال أخذ قياس بالثواني ووحدة قياس الأعداد المعطاة هي km و m/s. فماذا يستطيع أحمد فعله للحصول على الإجابة بالثواني؟

a. ضرب وحدة القياس km في m/s ثم ضرب الناتج في 1000.

b. قسمة وحدة القياس km على m/s ثم ضرب الناتج في 1000.

c. قسمة وحدة القياس km على m/s ثم قسمة الناتج على1000.

d. ضرب وحدة القياس km في m/s ثم قسمة الناتج على 1000.

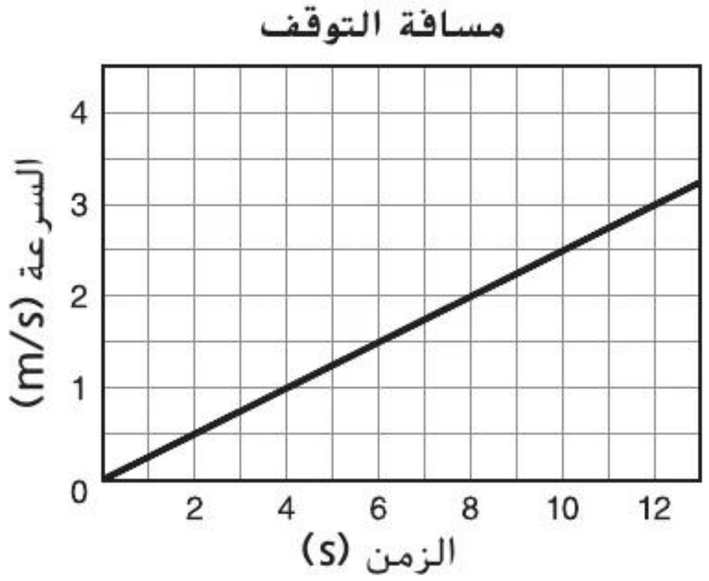
4. ما الميل في الرسم البياني؟

a. 0.25 m/s^2

b. 0.4 m/s^2

c. 2.5 m/s^2

d. 4.0 m/s^2



5. ما الصيغ المساوية للصيغة $D = \frac{m}{V}$؟

a. $V = \frac{m}{D}$

b. $V = Dm$

c. $V = \frac{m\,D}{V}$

d. $V = \frac{D}{m}$

6. ما الذي تمثله المحاكاة الحاسوبية؟

a. فرضية

b. نظرية علمية

c. قانون علمي

d. نموذج

أسئله ذات إجابات مفتوحة

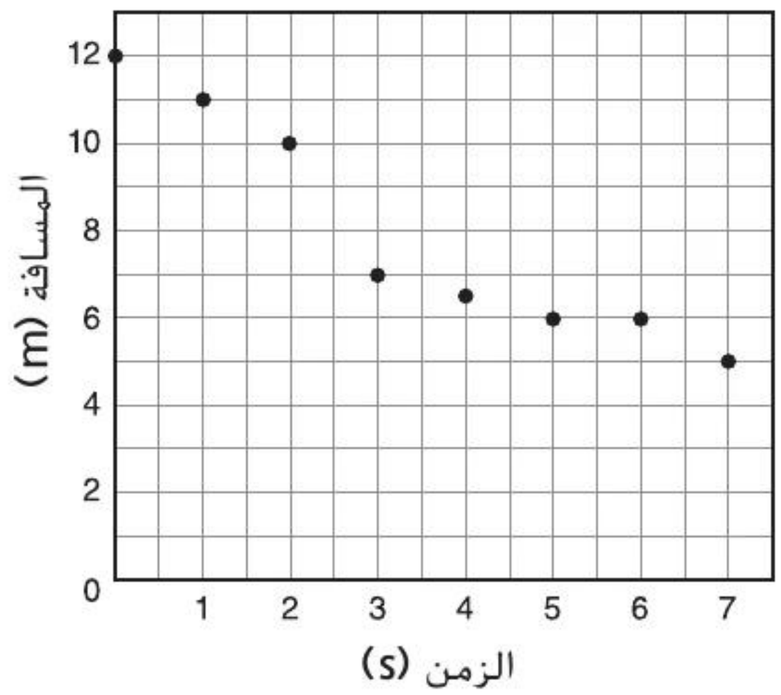
7. تريد أن تحسب التسارع – بوحدات m/s^2 , مع وجود قوة بوحدة N، وكتلة بوحدة g للجسم الذي تؤثر فيه القوة $(1\ N = 1\ kg \cdot m/s^2)$

a. أعد كتابة المعادلة $F = ma$ بحيث تكون a في علاقة مع m وF.

b. ما معامل التحويل الذي تحتاج إليه في عملية الضرب لتحويل الجرامات إلى كيلوجرامات؟

c. تؤثر قوة مقدارها 2.7 N في كتلة مقدارها 350g. اكتب المعادلة التي ستستخدمها، بما في ذلك معامل التحويل، لإيجاد التسارع.

8. أوجد معادلة لأفضل خط بياني للبيانات الموضحة في الرسم البياني الآتي:



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

From Glencoe Physics: Principles & Problems, Student Edition

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 2

تمثيل الحركة

الفكرة الرئيسة يمكنك استخدام الإزاحة والسرعة المتجهة لوصف حركة الجسم.

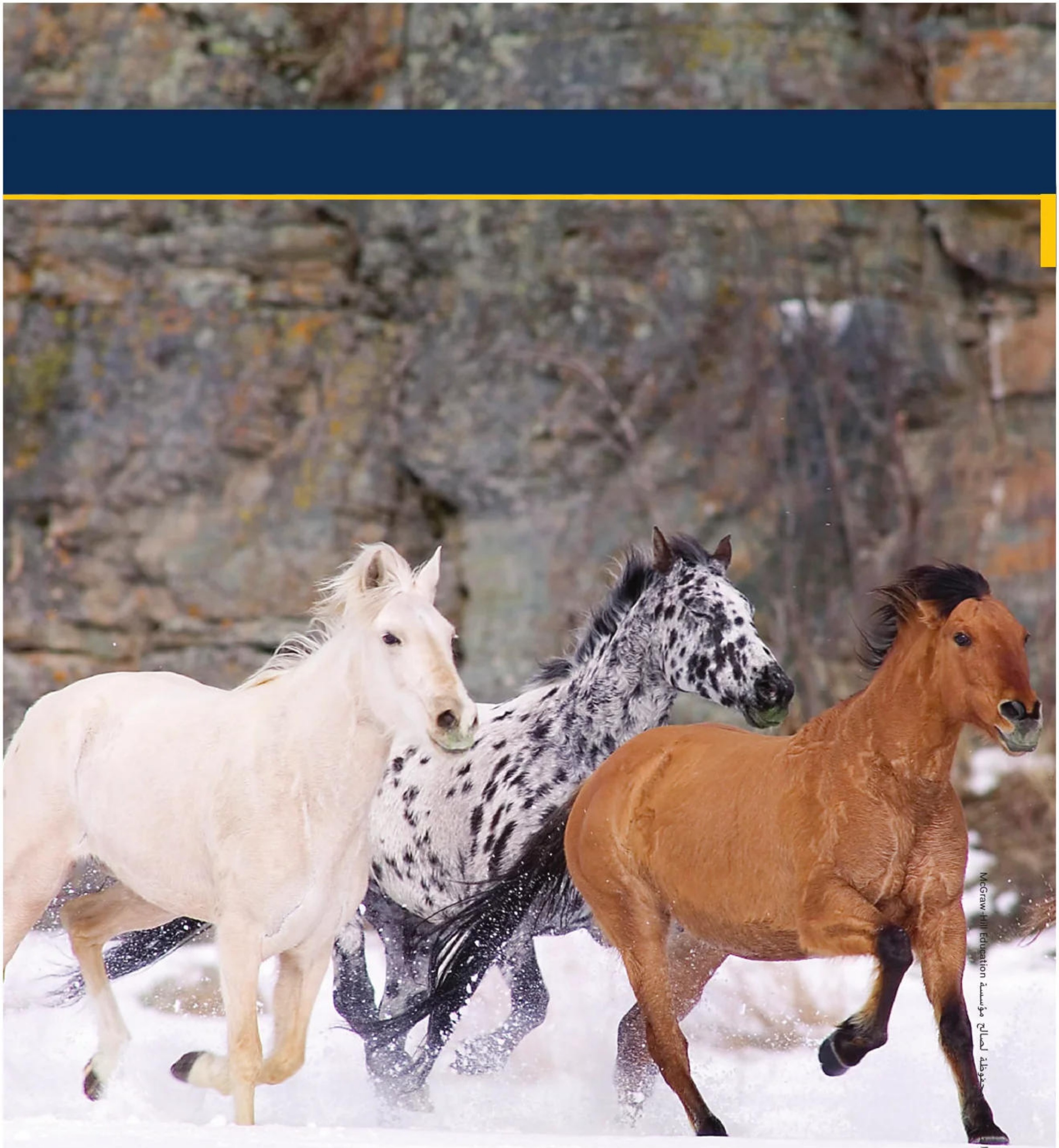
الأقسام

1 تصوير الحركة
2 الموقع والزمن
3 التمثيل البياني للحركة
4 السرعة

التجربة الاستهلالية

سباق السيارات اللعبة

ما العوامل التي تحدد سرعة الجسم؟



حقوق الطبع والنشر محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 1 تصوير الحركة

الفيزياء في حياتك

انظر إلى شكل العرض المتعدد هذه التي توضح حركة طائر. يمكن أن يستخدم علماء الفيزياء هذه الصور لتقييم تغييرات الموقع والسرعة المتجهة.

الفكرة الرئيسة

يمكنك استخدام مخططات الحركة لبيان كيف يتغير موقع جسم ما بمرور الزمن.

الأسئلة الرئيسة

- كيف تُستخدم مخططات الحركة في تمثيل الحركة؟
- كيف يمكنك استخدام نموذج جسيم لتمثيل جسم متحرك؟

مراجعة المفردات

نموذج (model) تمثيل فكرة أو حدث أو شكل أو جسم لكي يتسنى للمرء فهمه جيدًا

المفردات الجديدة

مخطط الحركة motion diagram

نموذج جسيم particle model

جميع أنواع الحركة

لقد تعرفت على العمليات العلمية التي ستكون مفيدة في دراستك لعلم الفيزياء. ستبدأ الآن في استخدام هذه الأدوات لتحليل الحركة. في الوحدات التالية، ستطبق هذه العمليات على العديد من أنواع الحركة. ستستخدم مفردات ومخططات ورسومات تخطيطية ورسومات بيانية ومعادلات. ستساعدك هذه المفاهيم على تحديد مقدار سرعة حركة الجسم ومدى بعده واتجاه حركة الجسم وهل تزداد سرعة هذا الجسم أم تنقص وما إذا كان هذا الجسم ساكن أم يتحرك بسرعة ثابتة.

تغير الموقع ما الذي يخطر ببالك عندما تسمع كلمة الحركة؟ ركوب الطبق الدوار في الملاهي؟ ارتفاع كرة البيسبول التي يضربها المهاجم أعلى السياج؟ توجد الحركة في كل شيء حولك، بدءًا من القطارات السريعة والمتزلجين الذين يتسمون بالسرعة إلى النسائم البطيئة والسحاب المتثاقل. تتحرك الأجسام بطرق عديدة ومختلفة، مثل مسار الخط المستقيم لكرة البولينج في مسار مضمار البولينج والمسار المنحني لسيارة تنعطف وهبوط الطائرة الورقية بشكل حلزوني ودوامات الماء حول المصارف. عندما يكون الجسم في حالة حركة، مثل قطار المترو الموضح في **الشكل 1**، فإن موقعه يتغير.

بعض أنواع الحركة تعتبر أكثر تعقيدًا من غيرها. عند البدء في مجال دراسة جديد، يُنصح بأن نبدأ بالحالة الأقل تعقيدًا ونتعلمها قدر الإمكان ثم نضيف تدريجيًا المزيد من التعقيد إلى هذا النموذج البسيط. في حالة الحركة، ستبدأ دراستك بالحركة على طول خط مستقيم.

الشكل 1 يظهر المترو باهتًا في الشكل لأن موقعه يتغير خلال الزمن الذي كان فيه غالق الكاميرا مفتوحًا.

صِف إلى كيف سيبدو الشكل مختلفًا إذا كان المترو ثابتًا.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الحركة على طول خط مستقيم بصفة عامة، يمكن أن يتحرك الجسم على طول العديد من أنواع المسارات المختلفة، إلا أن الحركة في خط مستقيم تتبع مسارًا مباشرًا بين نقطتين من دون الاتجاه يمينًا أو يسارًا. على سبيل المثال، يمكنك أن تصف حركة الجسم بأنه يتحرك للأمام والخلف أو لأعلى وأسفل أو باتجاه الشمال والجنوب. في كل حالة من هذه الحالات، يتحرك الجسم على طول خط مستقيم.

لنفترض أنك تقرأ هذا الكتاب المدرسي في المنزل. عندما بدأت القراءة، وقعت عينك على الأرنب الموجود لديك ورأيته جالسًا في ركن من القفص. ثم وقعت عينك عليه في وقت لاحق ورأيته جالسًا بجانب طبق الطعام في الركن المقابل من القفص. يمكنك استنتاج أن الأرنب تحرك من مكان لآخر في الفترة ما بين ملاحظتيك. ما العوامل التي ساعدتك على تكوين هذا الاستنتاج عن حركة الأرنب؟

يتعلق وصف الحركة بوصف المكان والزمن. يجب أن تجيب عن الأسئلة المتعلقة بمكان الجسم والزمن الذي كان فيه على هذا الوضع لكي تتمكن من وصف حركته بوضوح. بعد ذلك، ستبحث عن بعض الأدوات التي تساعدك على تحديد زمن وجود الجسم في مكان ما.

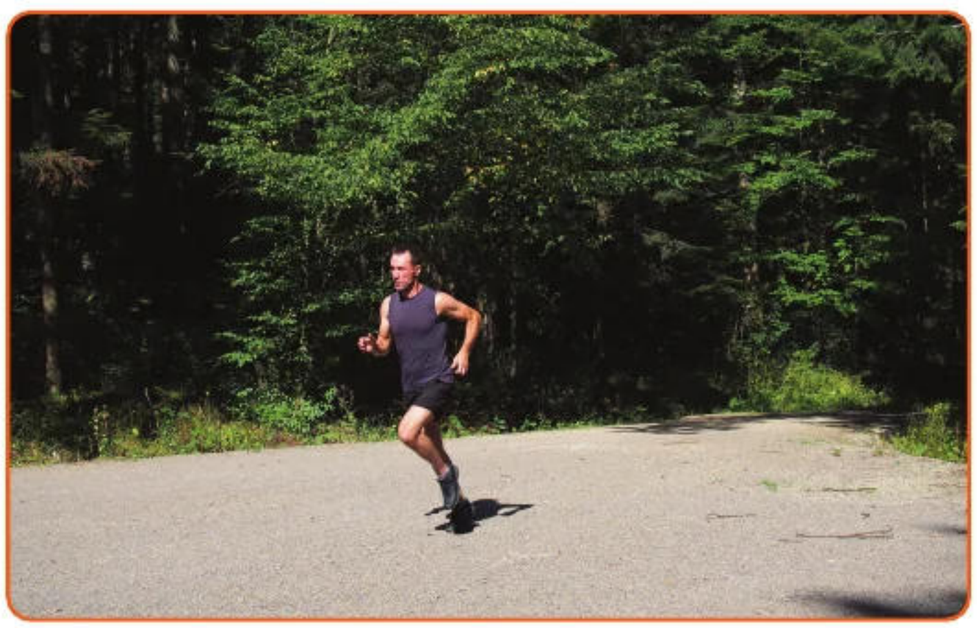
☑ **تأكد من فهمك حدد** عاملين يجب معرفتهما لوصف حركة جسم على طول خط مستقيم.

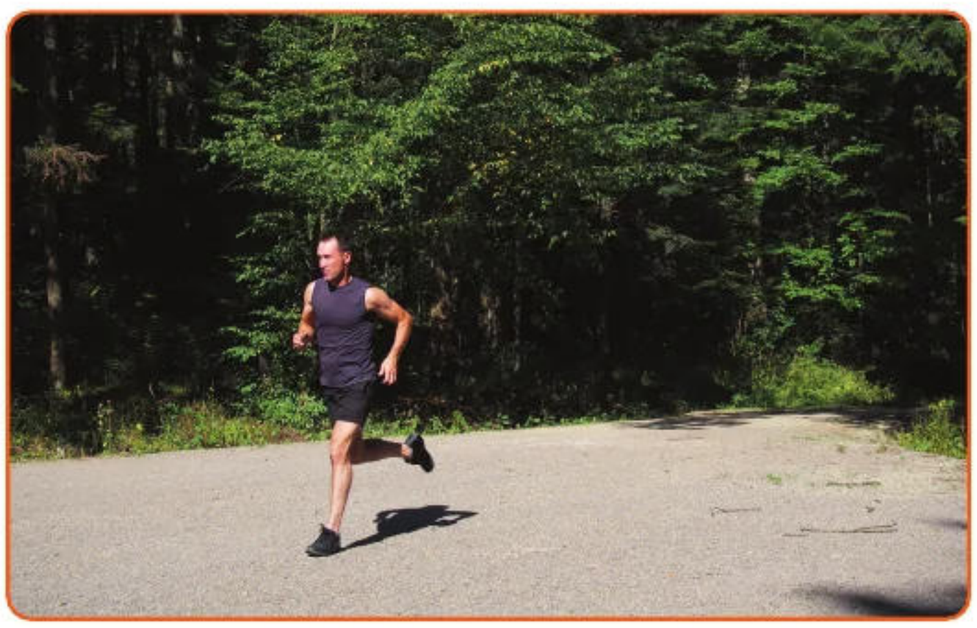
مخططات الحركة

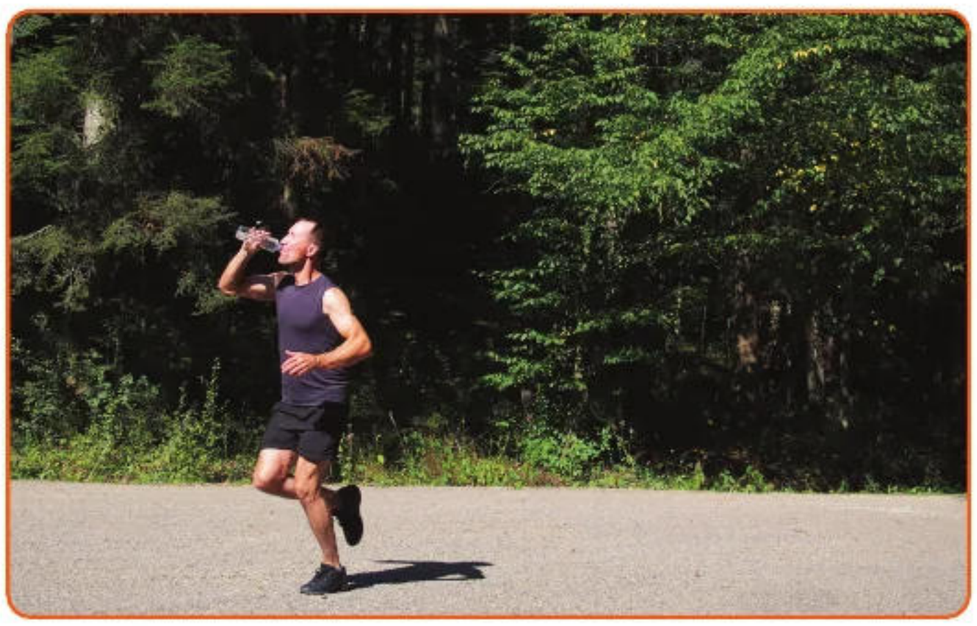
فكّر في مثال الحركة في خط مستقيم التالي: يركض عدّاء على طول طريق مستقيم. ثمة طريقة لتمثيل حركة العدّاء وهي التقاط مجموعة من الصور توضح موقع العدّاء على فترات زمنية متساوية. يمكنك القيام بذلك عن طريق تصوير العدّاء أثناء الحركة للحصول على مجموعة متتالية من الصور. ستوضح كل شكل العدّاء وهو في نقطة أبعد على طول الطريق المستقيم.

الصور المتتالية لنفترض أنك وضعت كاميرا في اتجاه معين وقطع العدّاء مجال الرؤية الخاص بالكاميرا. ثم التقطت مجموعة من الصور للعدّاء على فترات زمنية متساوية من دون تحريك الكاميرا. توضح **الشكل 2** ما تبدو عليه مجموعة الصور المتتالية التي التُقطت للعدّاء. لاحظ أن العدّاء في موقع مختلف في كل شكل. ولكن يظل كل شيء في الخلفية موجودًا في الموقع نفسه. يثبت ذلك أن العدّاء هو مَن يتحرك فقط بالنسبة إلى الكاميرا والأرض.

☑ **تأكد من فهمك حدد** هل يجب أن تكون المساحات بين موقع الجسم المتحرك متساوية إذا التُقطت صور للجسم على فترات زمنية متساوية. اشرح.

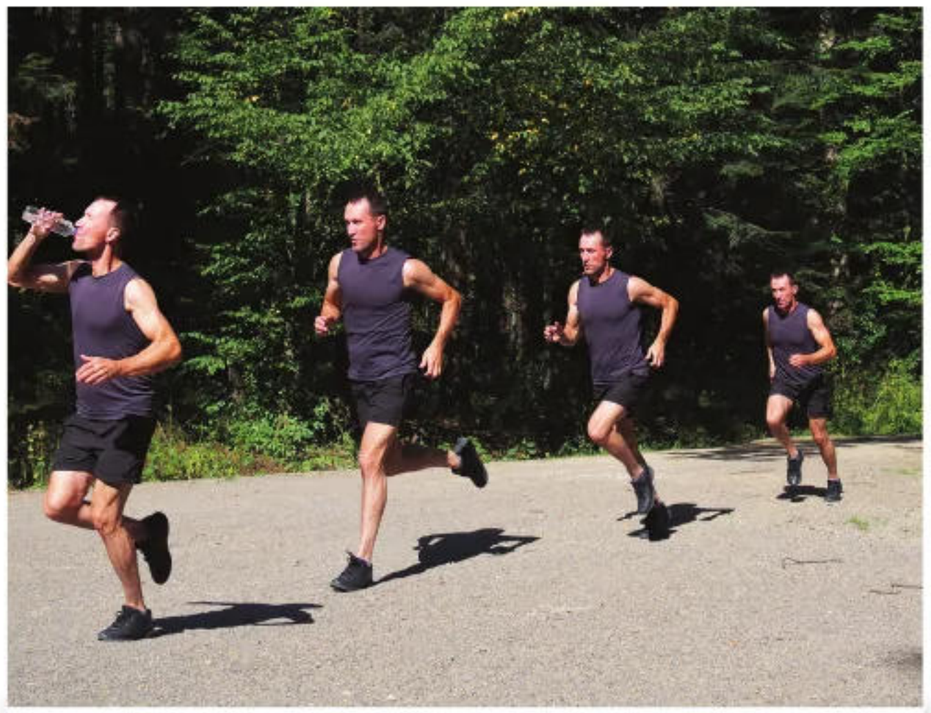






الشكل 2 يمكنك أن تقول إن العدّاء في حالة حركة لأن موقعه يتغير بالنسبة إلى الشجرة والأرض.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 3 ينتج عن جمع الصور من **الشكل 2** مخطط الحركة هذا الخاص بحركة العدّاء. مجموعة النقاط التي توجد في الجزء السفلي من الشكل هي نموذج الجسيم الذي يوافق مخطط الحركة.

اشرح كيف يوضح نموذج الجسيم أن سرعة العدّاء لا تتغير.

اعرض رسومات متحركة لمخططات الحركة وحركة الجسيم.

مختبر الفيزياء

مخططات الحركة

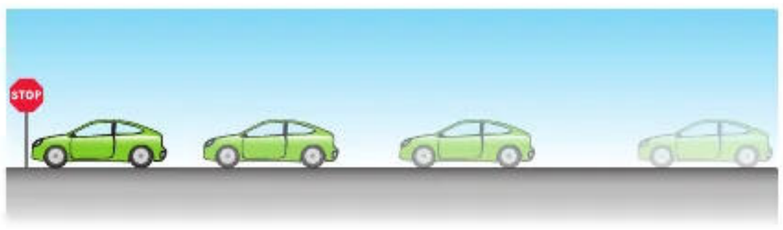
ما أوجه الاختلاف بين مخططات الحركة الخاصة بسيارة لعبة سريعة وسيارة لعبة بطيئة؟

القسم 1 مراجعة

1. **الفكرة الرئيسة** كيف يمثل مخطط الحركة حركة جسم؟

2. **مخطط حركة راكب دراجة** ارسم مخطط حركة نموذج الجسيم لراكب دراجة يتحرك بسرعة ثابتة على طول طريق مستقيم.

3. **مخطط حركة سيارة** ارسم مخطط حركة نموذج جسيم يوافق مخطط الحركة الموضح في **الشكل 4** لسيارة توشك على الوصول إلى لوحة التوقف. أي نقطة على السيارة استخدمتها لتمثيل السيارة؟



الشكل 4

جمع الصور لنفترض أنك وضعت صور العدّاء الأربع بداية من **الشكل 2** فوق بعضها. يوضح **الشكل 3** ما تبدو عليه هذه الأشكال المجمعة. ترى أكثر من شكل لحركة العدّاء، ولكنك ترى شكل واحدة فقط للشجرة والأجسام الأخرى الثابتة في الخلفية. تُسمى مجموعة الصور التي توضح أوضاع الجسم المتحرك على فترات زمنية متساوية **مخطط الحركة**.

نماذج الجسيمات

يصبح تتبع حركة العدّاء أسهل إذا تجاهلت حركة ذراعيه وساقيه وركزت بدلاً من ذلك على نقطة واحدة في منتصف جسمه. في الواقع، يمكنك تجاهل حقيقة أن العدّاء له حجم وتخيل أنه عبارة عن جسم صغير جدًا يوجد بالضبط في هذه النقطة المركزية. في **نموذج الجسيم**، تستبدل الجسم أو الأجسام المهمة بنقاط فردية. يُعد استخدام نموذج الجسيم شائعًا عند دراسة علم الفيزياء.

لاستخدام نموذج الجسيم، يجب أن يكون حجم الجسم أقل بكثير من المسافة التي يقطعها. تصبح حركات الجسم الداخلية، مثل حركة ذراعي العدّاء أو حركة ساقيه، مهملة في نموذج الجسيم. في مخطط الحركة المصور، يمكنك تحديد نقطة مركزية واحدة على العدّاء، مثل النقطة التي توجد في منتصف محيط خصره، ورسم نقطة على موقعها في فترات مختلفة. يوضح الجزء السفلي من **الشكل 3** نموذج الجسيم لحركة العدّاء. في القسم التالي، ستتعلم كيفية إنشاء واستخدام مخطط الحركة الذي يوضح مقدار المسافة التي يقطعها الجسم ومقدار الزمن الذي يستغرقه لقطع هذه المسافة.

4. **مخطط حركة طائر** ارسم مخطط حركة نموذج جسيم يوافق مخطط الحركة الموضح في **الشكل 5** لطائر أثناء طيرانه. مالنقطة التي أخترتها على جسم الطائر لتمثله؟

الشكل 5

5. **التفكير الناقد** ارسم مخططات حركة نموذج جسيم لعدّاءين أثناء سباق يعبر فيه أحدهما خط النهاية ويقطع الآخر ثلاثة أرباع المسافة حتى خط النهاية.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 2 الموقع والزمن

الفكرة الرئيسة

النظام الإحداثي مفيد عندما تصف الحركة.

الأسئلة الرئيسة

- ما المقصود بالنظام الإحداثي؟
- كيف يؤثر النظام الإحداثي المحدد في علامة مواقع الأجسام؟
- كيف تُقاس الفترات الزمنية؟
- ما المقصود بالإزاحة؟
- ما فائدة مخططات الحركة عند الإجابة عن الأسئلة المتعلقة بموقع الجسم أو إزاحته؟

مراجعة المفردات

بُعد (dimension) امتداد في اتجاه معين؛ يكون البُعد الواحد على امتداد خط مستقيم؛ والأبعاد الثلاثة هي الطول والعرض والارتفاع

المفردات الجديدة

coordinate system	نظام إحداثي
origin	نقطة الأصل
position	موقع
distance	مسافة
magnitude	مقدار
vector	متجه
scalar	كمية عددية
time interval	فترة زمنية
displacement	إزاحة
resultant	محصِّلة

الفيزياء في حياتك

هل سبق أن استخدمت خريطة إلكترونية لمعرفة الاتجاهات؟ تعرض هذه الأجهزة المفيدة المسافات والاتجاهات التي تحتاج إليها لمعرفة الطريق. بل إن هناك أجهزة كثيرة توضح زمن المسافات المختلفة في الرحلة. لكي تعرف الطريق إلى مكان ما، ستحتاج إلى اتجاهات واضحة للوصول إلى المكان المقصود.

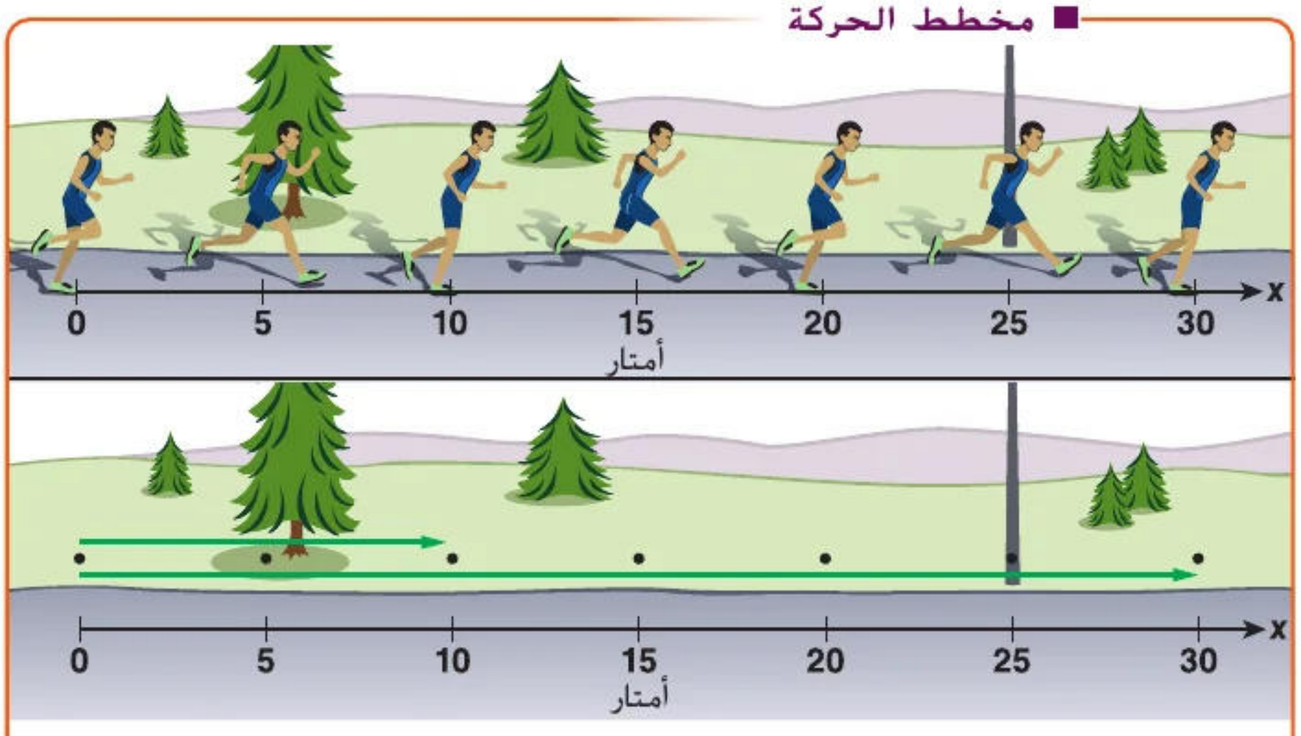
الأنظمة الإحداثية

هل من الممكن قياس المسافة والزمن على مخطط الحركة؟ قبل التقاط صور لعدّاء، يمكنك وضع شريط قياس طويل على الأرض لتوضيح مكان العدّاء في كل شكل. ويمكن أن تُظهر ساعة إيقاف على شاشة الكاميرا زمنَ العدْو. لكن أين ينبغي أن تضع طرف شريط القياس؟ ومتى ينبغي أن تُشغّل ساعة الإيقاف؟

الموقع والمسافة من المهم أن تحدّد نظامًا تختار فيه مكان وضع نقطة الصفر لشريط القياس ووقت تشغيل ساعة الإيقاف. يُبيّن **النظام الإحداثي** موقع نقطة الصفر للمتغير الذي تدرُسه واتجاهَ تزايد قيم هذا المتغير. **نقطة الأصل** هي النقطة التي تكون عندها قيمة كل المتغيرات في النظام الإحداثي صفرًا. في مثال العدّاء، يمكن أن تكون نقطة الأصل، التي تمثل نقطة الصفر لشريط القياس، على بُعد 6 m يسار الشجرة. ولأن الحركة تكون في خط مستقيم، يجب أن يكون شريط القياس على امتداد هذا الخط. يمثل الخط المستقيم محورًا على النظام الإحداثي.

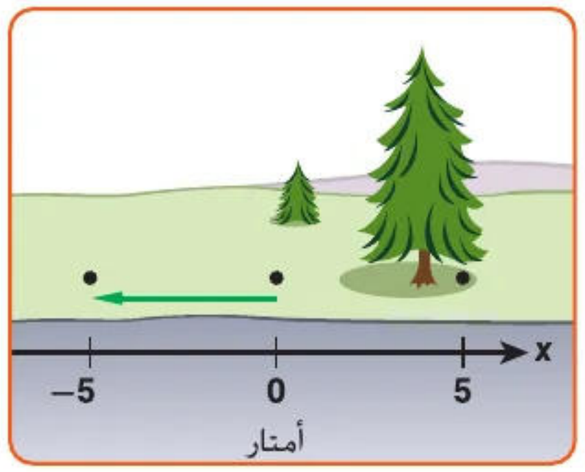
يمكنك أن توضح المسافة التي يبعُدها العدّاء في **الشكل 6** عن نقطة الأصل في زمن معين على مخطط الحركة عن طريق رسم سهم من نقطة الأصل إلى النقطة التي تمثّل العدّاء، كما هو موضح أسفل الشكل. يمثّل هذا السهم **موقع** العدّاء، والمسافة والاتجاه من نقطة الأصل إلى الجسم. بوجه عام، تُعرف **المسافة** بأنها الطول الكلي لمسار حركة الجسم. حتى وإن تحرك الجسم في اتجاهات مختلفة. ولأن الحركة في **الشكل 6** في اتجاه واحد، فإن أطوال السهم تمثل المسافة.

■ مخطط الحركة



الشكل 6 مخطط حركة مُبسَّط يستخدم النقاط لتمثيل حركة الجسم ويستخدم الأسهمَ لتوضيح مقدار واتجاه مسافات حركة الجسم.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة



الشكل 7 يوضح السهم الأخضر إزاحة سالبة مقدارها -5.0 m إذا تم اختيار الاتجاه الموجود على يمين نقطة الأصل كاتجاه موجب.

الاستدلال ما الموقع الذي يمكن أن يوضحه السهم إذا اخترتَ الاتجاه الموجود على يسار نقطة الأصل كاتجاه موجب؟

الموقع السالب هل يوجد ما يُسمى بالموقع السالب؟ افترض أنك اخترتَ النظام الإحداثي الذي تم توضيحه للتو، لكنك وضعت نقطة الأصل هذه المرة على بُعد 4 m يسار الشجرة مع امتداد المحور الأفقي x في الاتجاه الموجب ناحية اليمين. سيكون الموقع على بُعد 9 m يسار الشجرة، أو 5 m يسار نقطة الأصل موقعًا سالبًا، كما هو موضح في **الشكل 7**.

الكميات المتجهة وغير المتجهة

توجد كميات كثيرة في الفيزياء لها حجم، يُسمى أيضًا **المقدار**. واتجاه. تُسمى الكمية التي لها مقدار واتجاه **متجهًا**. يمكن تمثيل المتجه بالأسهم. حيث يمثل طولُ السهم مقدارَ المتجه، ويمثل اتجاهُ السهم اتجاهَ المتجه. يُطلق على الكمية التي تمثل عددًا من دون أي اتجاه، كالمسافة أو الزمن أو درجة الحرارة، اسم **كمية عددية**. في هذا الكتاب المدرسي، نستخدم أحرفًا مكتوبة بخط عريض لتمثيل الكميات المتجهة وأحرفًا مكتوبة بالخط العادي لتمثيل الكميات العددية.

تُعتبر الفترات الزمنية كمياتٍ عددية. عند تحليل حركة العدّاء، ربما تحتاج إلى معرفة الزمن الذي استغرقه للركض من نقطة الشجرة إلى نقطة عمود الإنارة. يمكنك الحصول على هذه القيمة عن طريق إيجاد الفرق بين قراءة ساعة الإيقاف عند الشجرة وقراءتها عند عمود الإنارة. يوضح **الشكل 8** هاتين القراءتَين. يُسمى الفرق بين زمنَين **فترةً زمنية**.

والرمز الشائع للفترة الزمنية هو Δt، حيث يُستخدم الحرف اليوناني (Δ) لتمثيل التغير في الكمية. افترض أن t_i يمثل الزمن الابتدائي (البداية)، عندما كان العدّاء عند الشجرة. وافترض أن t_f يمثل الزمن النهائي (النهاية) للفترة الزمنية، عندما كان العدّاء عند عمود الإنارة. حينها نُعرّف الفترة الزمنية رياضيًا على النحو التالي.

الفترة الزمنية

تساوي الفترةُ الزمنية الزمنَ النهائي مطروحًا منه الزمن الابتدائي.

$$\Delta t = t_f - t_i$$

يمثل الحرفان السفليان i وf الزمنَين الابتدائي والنهائي، لكن يمكن أن يكونا الزمنَين الابتدائي والنهائي لأي فترة زمنية تختارها. في مثال العدّاء، يكون الزمن الذي يستغرقه للركض من نقطة الشجرة إلى نقطة عمود الإنارة هو $t_f - t_i = 5.0\ s - 1.0\ s = 4.0\ s$. أو يمكنك وصف الفترة الزمنية لركض العدّاء من نقطة الأصل إلى نقطة عمود الإنارة.

في هذه الحالة، ستكون الفترة الزمنية $t_f - t_i = 5.0\ s - 0.0\ s = 5.0\ s$.

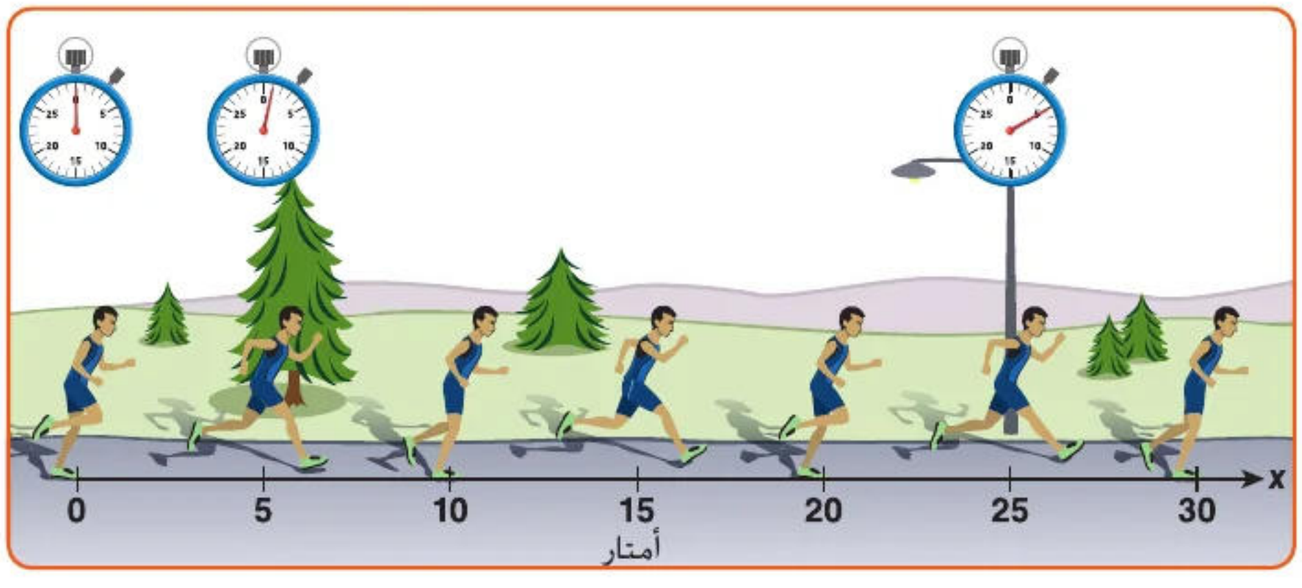
الفترة الزمنية كمية عددية لأنها لا اتجاه لها. لكن ماذا عن موقع العدّاء؟ هل هو كمية عددية أيضًا؟

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

المقدار (Magnitude)

- **الاستخدام العلمي**
  قياس الطول
  عند رسم متجه، يكون مقدار المتجه يتناسب مع طول هذا المتجه.
- **الاستخدام العام**
  طول كبير أو ممتد
  يصعُب اظهار مقدار الأخدود الأعظم الأخدود الأعظم في صور فوتوغرافية.



الشكل 8 يمكنك استخدام الساعات الموجودة في الشكل لحساب الفترة الزمنية (Δt) لحركة العدّاء من موقع إلى آخر.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تجربة مصغرة

نماذج متجهات

كيف يمكنك نمذجة جمع المتجهات باستخدام ألعاب التركيب؟

الازاحات تعتبر متجهات. لقد رأيت سابقًا كيف يمكن وصف الموقع باعتباره موجبًا أو سالبًا بهدف توضيح هل الموقع على يمين نقطة الأصل أم على يسارها في المستوى الإحداثي. يشير ذلك إلى أن الموقعَ متجه لأن له اتجاه – إما إلى اليمين أو اليسار في هذه الحالة.

يوضح الشكل 9 موقع العدّاء عند كل من نقطة الشجرة ونقطة عمود الإنارة. لاحظ أنه يمكنك رسم سهم من نقطة الأصل إلى موقع العدّاء في كل حالة. وسيكون لهذه الأسهم مقدار واتجاه غالبًا ما نستخدم كلمة (موقع) للإشارة إلى مكان ما. أما في الفيزياء فالموقع متجه ذيله عند نقطة الأصل لنظام الإحداثيات المستخدم، ورأسه عند المكان المراد تحديد موقعه..

يمكنك استخدام الرمز x لتمثيل الموقع رياضيًا.في **الشكل 9**، يمثل الرمز x_i الموقع عند الشجرة، بينما يمثل الرمز x_f الموقع عند عمود الإنارة. يمثل الرمز Δx التغير في الموقع من نقطة الشجرة إلى نقطة عمود الإنارة. نظرًا لكثرة وصف التغير في الموقع وتحليله في مجال الفيزياء، فإن له اسمًا خاصًا. في الفيزياء، يُسمى التغير في الموقع **الإزاحة.** ولأن الإزاحة لها اتجاه، فهي متجه.

☑ **تأكد من فهمك** قارن بين المسافة التي يتحركها الجسم وإزاحة الجسم لحركة في خط مستقيم.

ماذا كانت إزاحة العدّاء عندما ركض من الشجرة إلى عمود الإنارة؟ عند النظر إلى **الشكل 9**، ترى أن هذه الإزاحة كانت 20 m إلى اليمين. لاحظ أيضًا أن الإزاحة من الشجرة إلى عمود الإنارة (Δx) تساوي قيمة الموقع عند عمود الإنارة (x_f) مطروحًا منها قيمة الموقع عند الشجرة (x_i). هذه حقيقة عامة؛ فالإزاحة تساوي الموقع النهائي مطروحًا منه الموقع الابتدائي.

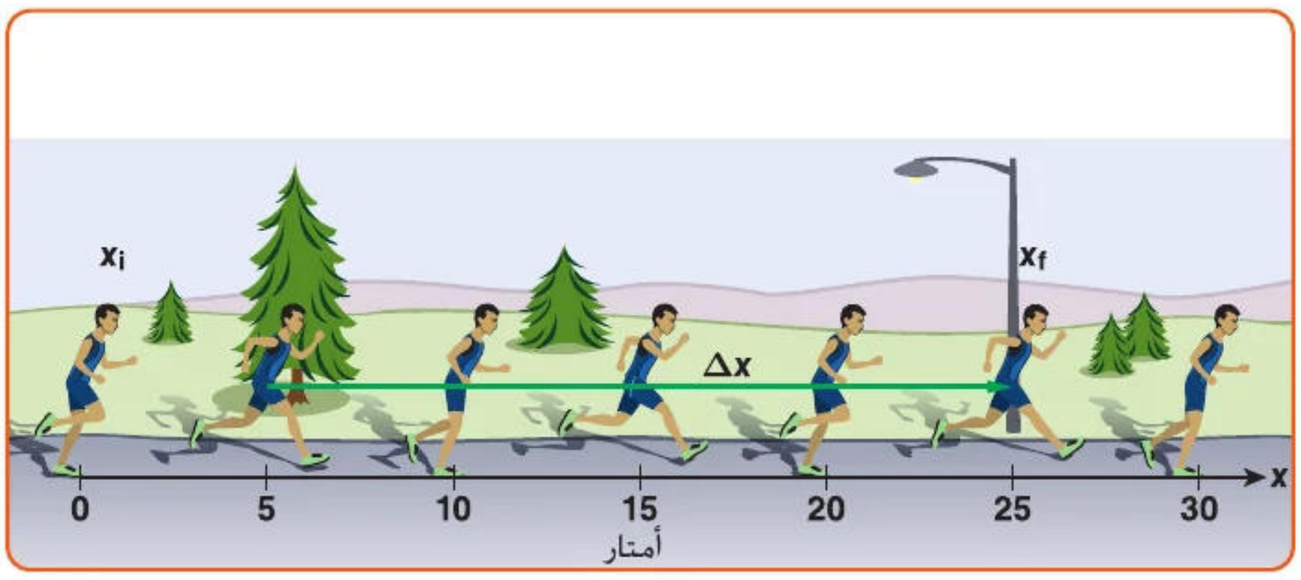
الإزاحة

الإزاحة هي التغير في الموقع و تساوي الموقع النهائي مطروحًا من الموقع الابتدائي.

$$\Delta x = x_f - x_i$$

تذكّر أن الموقعَين الابتدائي والنهائي هما بداية أي فترة زمنية تختارُها ونهايتها. ورغم أن الموقعَ متجه، إلا أن مقدار الموقع قد يوصف أحيانًا من دون استخدام خط عريض. في هذه الحالة، قد تُستخدم علامة الموجب أو السالب لتوضيح الاتجاه.

☑ **تأكد من فهمك** صِف ما يشير إليه اتجاه سهم الإزاحة وطوله.



الشكل 9 يمثل x_i وx_f موقعَين. يمثل المتجه Δx الإزاحة من x_i إلى x_f.

صِف الإزاحة من عمود الإنارة إلى الشجرة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

جمع المتجهات وطرحها ستتعرف على أنواع كثيرة ومختلفة من المتجهات في علم الفيزياء، بما في ذلك السرعة المتجهة والتسارع والزخم. ستحتاج غالبًا إلى إيجاد مجموع متجهَين أو الفرق بين متجهَين. يُسمى المتجه الذي يمثل مجموع متجهَين آخرَين **المحصّلة**. يوضح **الشكل 10** كيفية جمع المتجهات في بُعد واحد وطرحها. وفي وحدة مقبلة، ستتعلم كيفية جمع المتجهات في بُعدَين وطرحها.

الشكل 10 ترى رسمًا أو معادلة لجمع المتجهات.

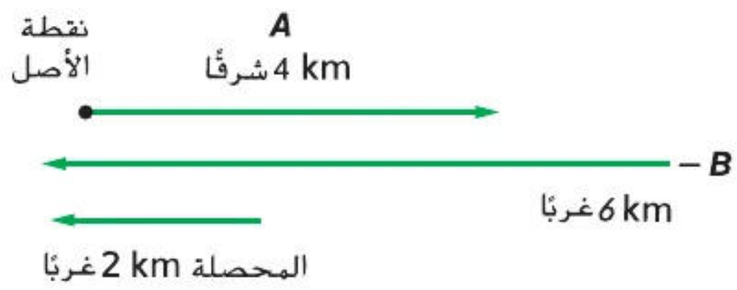
حلّل ما مجموع متجه طوله 12 m شمالاً ومتجه طوله 8 m شمالاً؟

مثال لجمع المتجهات

$R = A + B$
$= 5\ km + 2\ km$
$= 7\ km$

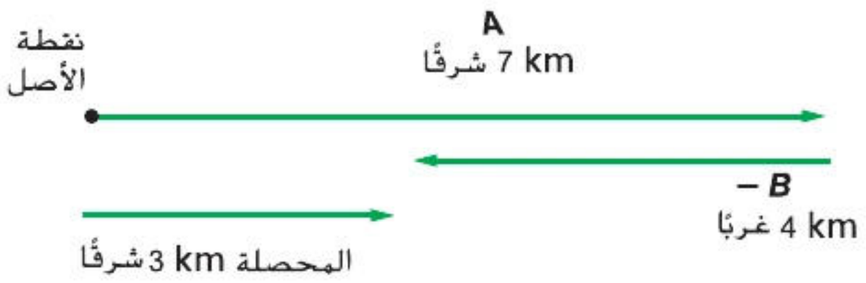
$\boldsymbol{R = A + B}$
$= 7\ km$ شرقًا

مثال لطرح المتجهات



$R = A - B$
$= 4\ km - 6\ km$
$= -2\ km$

$\boldsymbol{R = A - B}$
$= A + (-\boldsymbol{B})$
$= 2\ km$ غربًا



$R = A - B$
$= 7\ km - 4\ km$
$= 3\ km$

$\boldsymbol{R = A - B}$
$= A + (-\boldsymbol{B})$
$= 3\ km$ شرقًا

القسم 2 مراجعة

6. الفكرة الرئيسة حدد نظامًا إحداثيًا يمكنك استخدامه لوصف حركة طفلة تسبح في حمّام سباحة مستطيل الشكل.

7. الإزاحة الرسم أدناه يوضح الحركة لسيارة على طريق دولي سريع. نقطتا البداية والنهاية موضحتان.

البداية • • • • • • النهاية

انسخ الرسم. ثم ارسم متجهًا يمثل إزاحة السيارة من زمن البداية إلى نهاية الفترة الزمنية الثالثة.

8. الموقع مثلت طالبتان رسم حركة لموقع جسم متحرك بعد $t = 2s$. وعندما قارنتا بين الرسمَين، وجدتا أن الموقعين ليسا في الاتجاه نفسه. اشرح.

9. الإزاحة الرسم أدناه يوضح الحركة لطالب يذهب إلى المدرسة سيرًا على الأقدام.

المنزل • • • • • •

القسم 3 التمثيل البياني للحركة

الفيزياء في حياتك

يوضح العديد من الرسومات البيانية الاتجاهات بمرور الزمن. على سبيل المثال، يمكن أن يوضح رسم بياني سعر البنزين على مدار عدة شهور أو سنوات. وبالمثل، يمكن أن يوضح رسم بياني للعلاقة بين الموقع والزمن مدى تغير موقع مُجدّف في قارب تجديف خلال فترة زمنية. لذا يمكن أن يستخدم المُجدّفون الرسومات البيانية لتحليل أدائهم.

الفكرة الرئيسة يمكنك استخدام الرسومات البيانية للعلاقة بين الموقع والزمن لتحديد موقع الجسم في زمن معين.

الأسئلة الرئيسة

- ما المعلومات التي توضحها الرسومات البيانية للعلاقة بين الموقع والزمن؟
- كيف يمكنك استخدام رسم بياني للعلاقة بين الموقع والزمن لتفسير موقع الجسم أو إزاحته؟
- ما الأغراض من التمثيلات المتكافئة لحركة الجسم؟

مراجعة المفردات

نقطة تقاطع (intersection) نقطة يلتقي عندها خطان ويتقاطعان

المفردات الجديدة

الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن
position-time graph

موقع لحظي
instantaneous position

تحديد المواقع

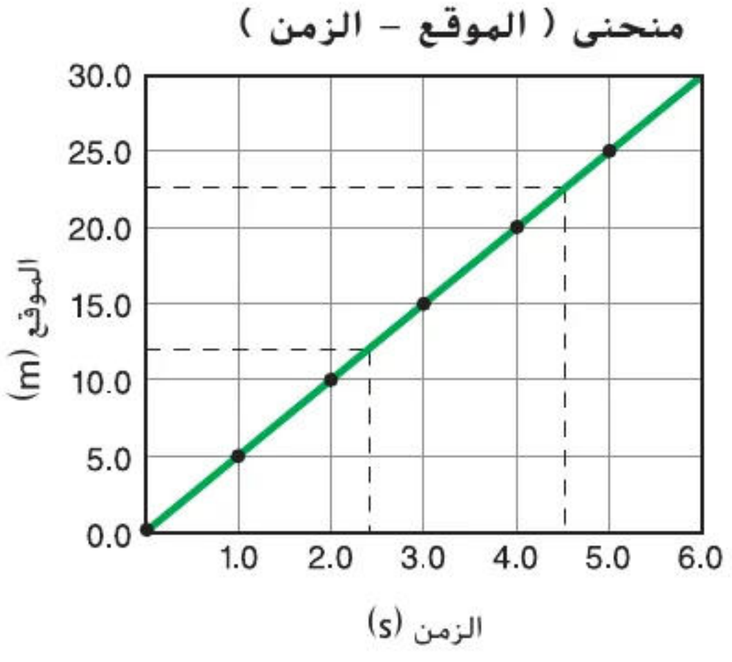
عند تحليل حركة معقدة، غالبًا ما يكون من المفيد تمثيل الحركة بعدة طرق. يحتوي مخطط الحركة على معلومات عن موقع الجسم في توقيتات زمنية مختلفة. يمكن أيضًا أن توضح هذه الجداول والرسومات البيانية هذه المعلومات نفسها. راجع مخططَي الحركة في **الشكل 8** و**الشكل 9**. يمكنك استخدام هذين المخططين لتنظيم التوقيتات الزمنية ومواقع العدّاء المقابلة، كما هو موضح في **الجدول 1**.

تحديد البيانات يمكن تمثيل البيانات الواردة في **الجدول 1** في **رسم بياني للعلاقة بين الموقع والزمن**، بحيث تُحدد فيه بيانات الزمن على محور أفقي وبيانات الموقع على محور رأسي. يَظهر الرسم البياني لحركة العدّاء في **الشكل 11**. لرسم هذا الرسم البياني، حدّد مواقع العدّاء أولاً. ثم ارسم الخط الأكثر ملاءمة للنقاط.

تقدير الزمن والموقع لاحظ أن الرسم البياني ليس مماثلاً لمسار حركة العدّاء – فخط الرسم البياني مائل، ومسار حركة العدّاء كان أفقيًا. بل يمثل الخطُ أكثرَ مواقع العدّاء احتمالاً في الفترات الزمنية بين نقاط البيانات المسجلة. على الرغم من أنه لا توجد بيانات توضح بدقة الزمنَ عندما كان العدّاء على بُعد 12.0 m من نقطة البداية أو توضح موقعَ العدّاء عند $t = 4.5$ s، إلا أنه يمكنك استخدام الرسم البياني لتقدير الزمن أو الموقع. يوضح مثال المسألة الوارد في الصفحة التالية كيف يتم ذلك.

الجدول 1 تغيرات الموقع والزمن

الزمن (s)	الموقع (m)
0.0	0.0
1.0	5.0
2.0	10.0
3.0	15.0
4.0	20.0
5.0	25.0



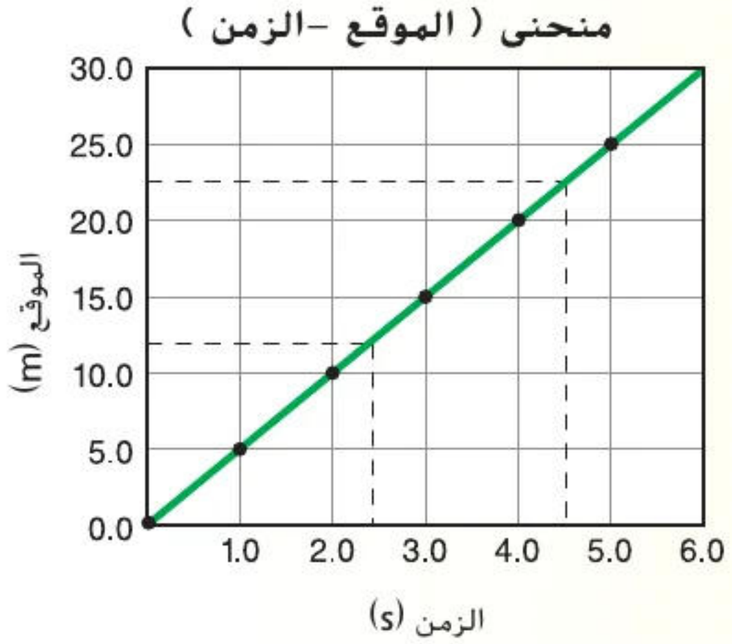
الشكل 11 يمكنك إنشاء رسم بياني للعلاقة بين الموقع والزمن من خلال تحديد المواقع والفترات الزمنية من الجدول. وعن طريق رسم أفضل خط بياني لجميع النقاط، يمكنك تقدير الفترات الزمنية والمواقع غير الواردة في الجدول.

اشرح لماذا يظهر الخط البياني على الرسم البياني مائلاً رغم أنه يصف حركة جسم في خط مستقيم؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 1

تحليل رسم بياني للعلاقة بين الموقع والزمن ما الزمن الذي وصل فيه العدّاء الذي وُصفت حركته في **الشكل 11** إلى مسافة 12.0 m بدءًا من نقطة البداية؟ وما الموقع الذي وصل إليه بعد مرور 4.5 s؟



1 تحليل المسألة

أعد صياغة السؤالين.

السؤال 1: في أي زمن كان مقدار موقع العدّاء (x) يساوي 12.0 m؟

السؤال 2: ما موقع العدّاء عندما كان الزمن t = 4.5 s؟

2 إيجاد المجهول

السؤال 1

أمعن النظر في الرسم البياني لمعرفة نقطة تقاطع خط المواءمة الأفضل مع خط أفقي عند العلامة 12.0 m. ثم حدّد النقطة التي يتقاطع فيها خط رأسي قادم من تلك النقطة مع محور الزمن. فيكون الموقع t عند هذه النقطة هي 2.4 s.

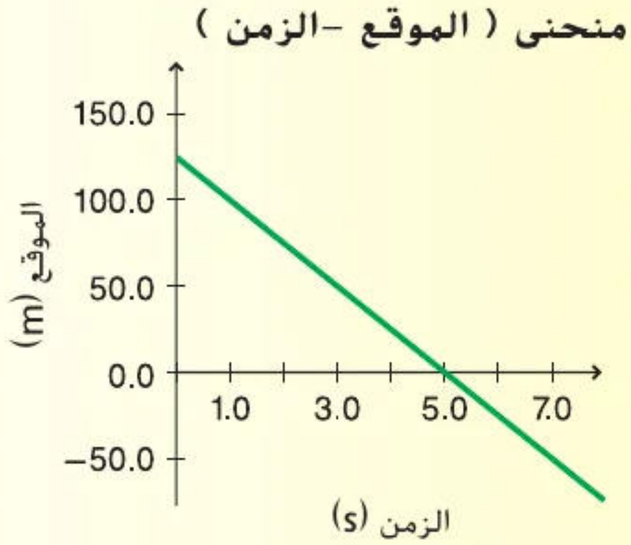
السؤال 2

حدّد نقطة تقاطع الخط البياني مع خط رأسي المار من الزمن 4.5 s (في المنتصف بين الزمنين 4.0 s و5.0 s على هذا الرسم البياني). ثم حدّد النقطة التي يتقاطع فيها خط أفقي من تلك النقطة مع محور الموقع. قيمة x هي 22.5 m تقريبًا.

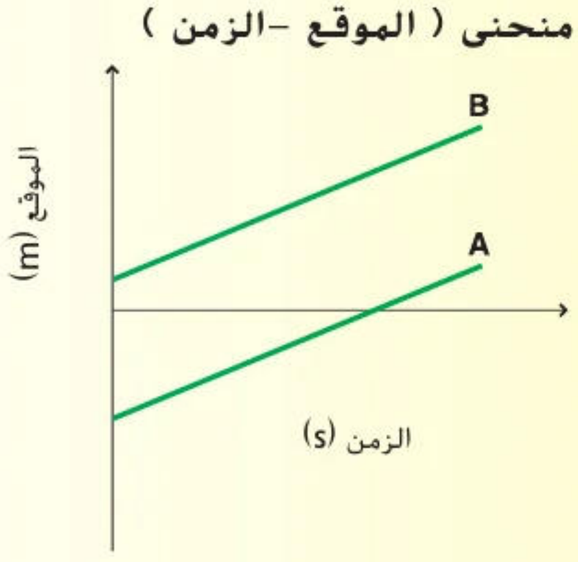
تطبيقات

بالنسبة إلى المسائل *13-11* ارجع إلى **الشكل 12**.

11. يمثل الرسم البياني الوارد في **الشكل 12** حركة سيارة تسير على طريق سريع في خط مستقيم. صِف بالكلمات حركةَ السيارة.
12. ارسم مخطط حركة باستخدام نموذج جسيم نقطي يتناسب مع الرسم البياني.
13. أجب عن الأسئلة التالية عن حركة السيارة. افترض أن الاتجاه x الموجب شرقَ نقطة الأصل وأن الاتجاه x السالب غربَ نقطة الأصل.
    a. في أي زمن كان موقع السيارة على بُعد 25.0 m شرقَ نقطة الأصل؟
    b. أين كانت السيارة عند t = 1.0 s؟
    c. ماذا كانت إزاحة السيارة بين t = 1.0 s وt = 3.0 s؟
14. يمثل الرسم البياني الوارد في **الشكل 13** حركة شخصين يسيران في خط مستقيم على رصيف للمشاة في المدينة. صِف بالكلمات حركة الشخصين المترجّلَين وافترض أن الاتجاه الموجب شرقَ نقطة الأصل.
15. **التحدي** سار سالم من الكافيتريا إلى غرفة الموسيقى عبر قاعة المدرسة الرئيسة مسافة 100.0 m. يسجّل فصل من طلاب الفيزياء موقعه كل 2.0 s ويحدّدونه على رسم بياني. مع العلم أنه كان يتحرك مسافة 2.6 m كل 2.0 s. فمتى كان سالم في المواقع التالية؟
    a. 25.0 m من الكافيتريا
    b. 25.0 m من غرفة الموسيقى
    c. أنشئ رسمًا بيانيًا يوضح حركة سالم.



الشكل 12

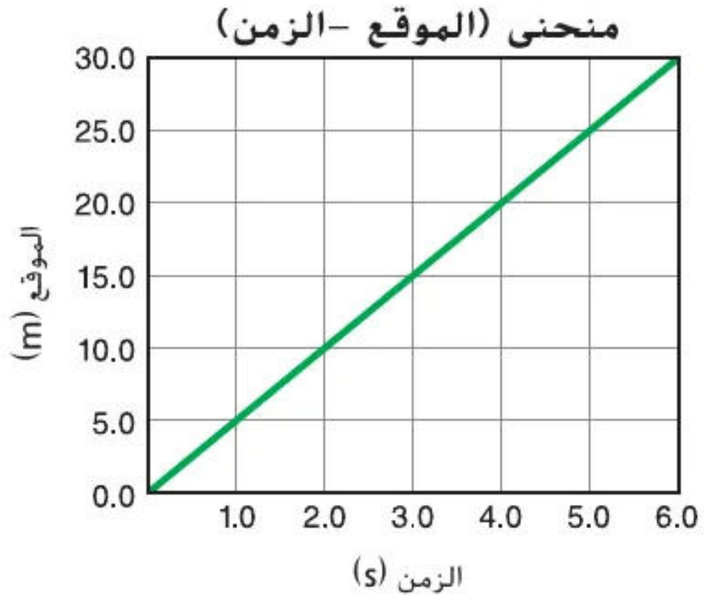


الشكل 13

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الجدول 1 الموقع والزمن

الزمن (s)	الموقع (m)
0.0	0.0
1.0	5.0
2.0	10.0
3.0	15.0
4.0	20.0
5.0	25.0



الموقع اللحظي كم تبلغ المدة التي استغرقها العدّاء عند أي موقع؟ تم ربط كل موقع بزمن معين، ولكن كم تبلغ مدة هذا الزمن؟ قد يكون "لحظيًا". ولكن كم تبلغ مدة هذه اللحظة؟ إذا استمرَّت لحظةٌ لأي فترة زمنية محددة، فهذا يعني أن العدّاء قد مكث في الموقع نفسه أثناء تلك الفترة ولم يتحرك. لكن اللحظة ليست فترة زمنية محددة. لأنها لا تستغرق حتى ثانية واحدة من الزمن. يُمثل الرمز x **الموقع اللحظي** للعدّاء – وهو الموقع في لحظة معينة. ببساطة، عادةً ما يُسمى الموقع اللحظي بالموقع.

☑ **تأكد من فهمك** اشرح المقصود بالموقع اللحظي للعدّاء.

وصف الحركة كما هو موضح في **الشكل 14**، لديك الآن عدة طرق مختلفة لوصف الحركة. فقد تصفُ الحركة باستخدام الكلمات أو الصور (أو التمثيلات البصرية) أو مخططات الحركة أو جداول البيانات أو الرسومات البيانية للعلاقة بين الموقع والزمن. حيث تحتوي كل هذه التمثيلات على المعلومات نفسها عن حركة العدّاء. لكن، سيكون بعض أنواع هذه التمثيلات أكثر فائدة من غيره وفقًا لما تريد تعلمه عن حركة الجسم. في الصفحات التالية، ستتدرب على إنشاء هذه التمثيلات المتكافئة وستتعرف على التمثيلات الأكثر فائدة لحل أنواع مختلفة من المسائل.

الشكل 14 يمكنك وصف حركة العدّاء باستخدام جدول البيانات ومخطط الحركة والرسم البياني.

حدّد ميزة واحدة يوفرها الجدول مقارنة بالرسم البياني.

تحدي الفيزياء

التمثيل البياني للعلاقة بين الموقع والزمن يستمتع خالد وكريم وأشرف بممارسة التمارين الرياضية وغالبًا ما يقودون الدراجات في طريق على ضفاف النهر لهذا الغرض. يقود كريم الدراجة بسرعة تصل إلى 40.25 km/h، ويتحرك أشرف جنوبًا بسرعة ثابتة تصل إلى 16.0 km/h، بينما يتحرك خالد جنوبًا بسرعة 6.5 km/h. في وقت الظهيرة، يبدأ كريم من نقطة التجمع الحركة شمالاً. وفي الساعة 11:30 صباحًا، ينطلق خالد وأشرف من نقطة تقع على مسافة 20.0 km شمال نقطة التجمع.

1. ارسم الرسومات البيانية للعلاقة بين الموقع والزمن لكل من كريم وخالد وأشرف.
2. في أي زمن ستصبح المسافات بينهم أقلَ ما يكون؟
3. كم تبلغ أقل مسافة بين مواقع الثلاثة؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

رسم بياني لمنحنى (الموقع -الزمن) لعدة أجسام والزمن

يوضح المثال 2 أدناه الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن لعدّاءين مختلفين. لاحظ أن العدّاء A يسبق العدّاء B عند الزمن $t = 0$.
لكن تختلف حركة كل عدّاء. متى وأين يتجاوز أحد العدّاءَين الآخر؟ أولاً، ينبغي أن تُعيد صياغة هذا السؤال بمصطلحات فيزيائية: في أي زمن يصل العدّاءان إلى الموقع نفسه؟ وما موقعهما عند هذا الزمن؟ يمكنك تقييم هذين السؤالين عن طريق تحديد النقطة التي يتقاطع عندها الخطان اللذان يُمثلان حركتي العدّاءين على الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن.

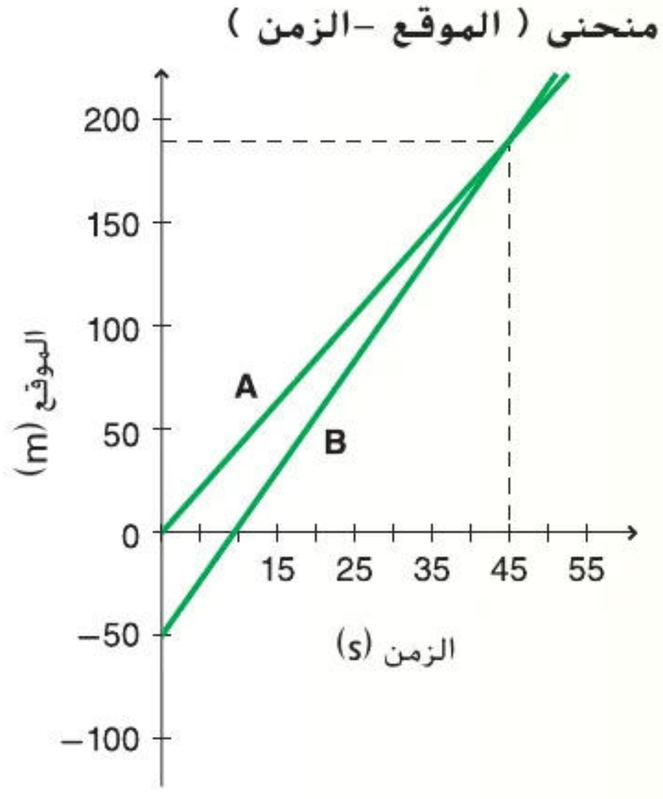
توضح لك نقطة تقاطع الخطين على الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن الزمن الذي يصل فيه الجسمان إلى الموقع نفسه. ولكن هل يعني ذلك أنهما سيصطدمان؟ ليس بالضرورة. على سبيل المثال، إذا كان الجسمان يمثلان عدّاءَين وكانا في طريقين مختلفين، فلن يصطدما، رغم أنهما قد يكونان على بُعد مسافة واحدة من نقطة البداية.

☑ **تأكد من فهمك** اشرح المقصود بنقطة تقاطع خطين على الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن.

ما الذي يمكنك معرفته أيضًا من الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن؟ لاحظ في المثال 2 أن الخطين يختلفان في الميل على الرسم البياني. ما الذي يوضحه لك ميل الخط على الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن؟ في القسم التالي، ستَستخدم ميل الخط على الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن لتحديد السرعة المتجهة للجسم. وعندما تدرُس الحركة المتسارعة، سترسم رسومات بيانية أخرى للحركة وستتعلم كيفية تفسير المناطق التي تقع أسفل الخطوط المرسومة. وفي دروس لاحقة، ستواصل تحسين مهاراتك في إنشاء أنواع مختلفة من الرسومات البيانية للحركة وتفسيرها.

مثال 2

تفسير رسم بياني يصف الرسم البياني الموجود على اليسار حركة عدّاءَين يتحركان في مسار مستقيم. ويُرمز للخطين اللذين يمثلان حركتهما بالرمز A وB. متى وأين يتجاوز العدّاءُ A العدّاءَ B؟



1 تحليل المسألة

أعد صياغة السؤالين.

السؤال 1: في أي زمن يصل العدّاءان A وB إلى الموقع نفسه؟

السؤال 2: ما موقع العدّاء A والعدّاء B عند هذا الزمن؟

2 إيجاد المجهول

السؤال 1

أمعن النظر في الرسم البياني لتحديد نقطة تقاطع الخط الذي يُمثل حركة العدّاء A مع الخط الذي يُمثل حركة العدّاء B. يتقاطع هذان الخطان عند الفترة الزمنية 45 s.

السؤال 2

أمعن النظر في الرسم البياني لتحديد الموقع عند الزمن الذي يتقاطع فيه الخطان اللذان يمثلان حركة العدّاءين. موقع العدّاءين على بُعد 190 m تقريبًا من نقطة الأصل.

يتجاوز العدّاءُ B العدّاءَ A بعد مسافة 190 m تقريبًا من نقطة الأصل، أي بعد 45 s من تجاوز العدّاء A لنقطة الأصل.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تطبيقات

بالنسبة إلى المسائل *16–19*، ارجع إلى الشكل الموضح في المثال *2* في الصفحة السابقة.

16. أين كان موقع العدّاء A عند $t = 0$ s ؟

17. أي العدّاءَين كان في المقدمة عند $t = 48.0$ s؟

18. أين كان العدّاء B عندما كان العدّاء A عند النقطة 0.0 m؟

19. ما مقدار المسافة بين العدّاءين A وB عند $t = 20.0$ s؟

20. **التحدي** خرج أحمد في نزهة سيرًا على الأقدام. بعد فترة، خرج صديقه عمر في النزهة نفسها، وقد مُثلت الحركة لكل منهما على الرسم البياني للموقع والزمن في **الشكل 15**.

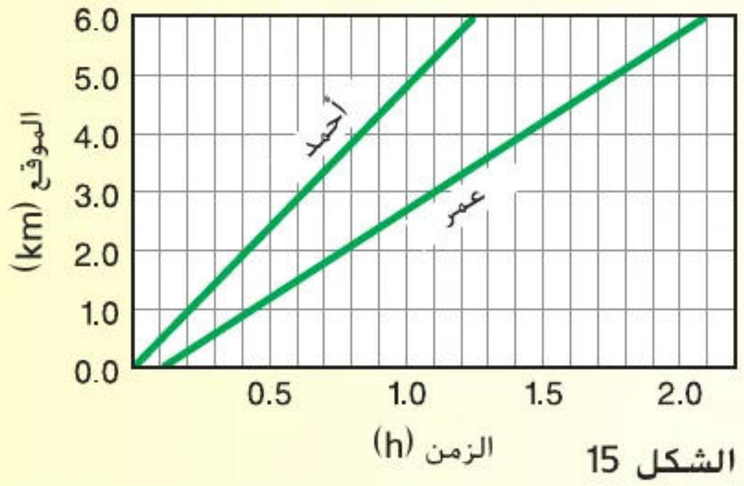
a. ما مقدار المسافة التي كانت قد تحركها أحمد عندما بدأ عمر المشي؟

b. هل سيلحق عمر بأحمد؟ كيف يمكنك أن تشرح ذلك؟

c. ماذا كان موقع أحمد بعد $t = 0.2$ h ؟

d. ما الزمن الذي استغرقه عمر ليكون على بُعد 50 km من نقطة البداية؟

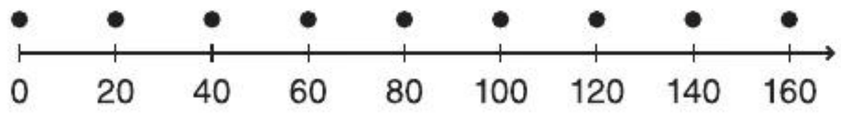
منحنى (الموقع –الزمن)



الشكل 15

القسم 3 مراجعة

21. الفكرة الرئيسة باستخدام نموذج الجسيم النقطي لمخطط الحركة الموضح في **الشكل 16** لرضيع يحبو في المطبخ، ارسم الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن لتمثيل حركة الرضيع. مع العلم أن الفترة الزمنية بين النقاط المتتابعة على المخطط هي 1 s.



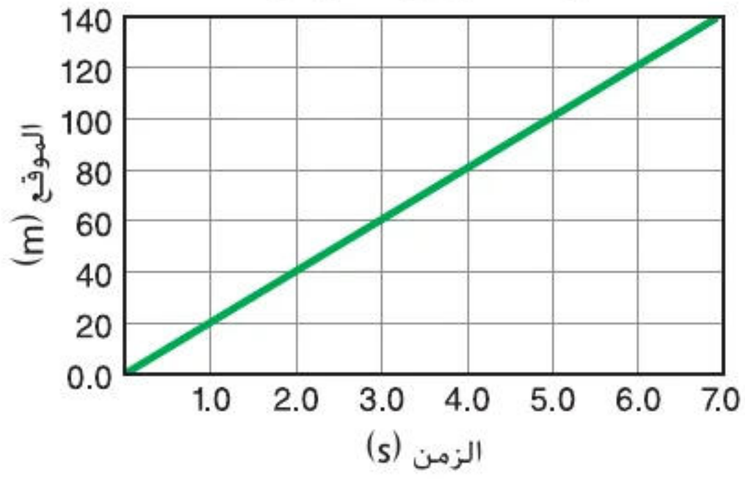
الشكل 16

بالنسبة إلى المسائل *22–25*، ارجع إلى **الشكل 17**.

22. نموذج الجسيم النقطي أنشئ مخطط حركة باستخدام نموذج الجسيم النقطي من الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن في **الشكل 17** لانزلاق قرص الهوكي على سطح جليد.

23. الزمن استخدم الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن لقرص الهوكي لتحديد الزمن الذي كان فيه القرص على بُعد 10.0 m من نقطة الأصل.

منحنى (الموقع –الزمن)



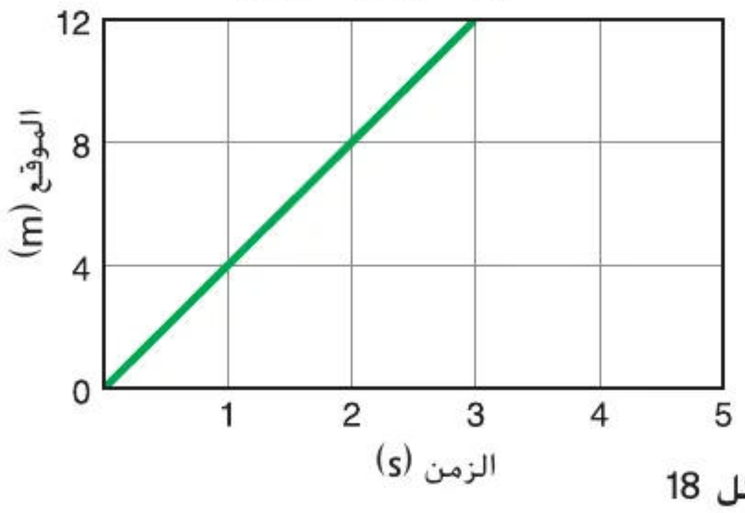
الشكل 17

24. **المسافة** استخدم الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن في **الشكل 17** لتحديد المسافة التي تحركها قرص الهوكي بين $t = 0.0$s و $t = 5.0$s

25. الفترة الزمنية استخدم الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن لقرص الهوكي لتحديد مقدار الزمن الذي استغرقه القرص للتحرك من نقطة تبعُد 40 m عن نقطة الأصل إلى نقطة تبعُد 80 m عن نقطة الأصل.

26. التفكير الناقد انظر إلى مخطط نموذج الجسيم النقطي والرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن الموضحَين في **الشكل 18**. هل يصفان الحركة نفسها؟ كيف عرفت ذلك؟ لا تخلط بين النظام الإحداثي للموقع في نموذج الجسيم النقطي والمحور الأفقي في الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن. مع العلم أن الفترات الزمنية في مخطط نموذج الجسيم النقطي هي 2 s.

منحنى (الموقع –الزمن)



الشكل 18

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 4

السرعة

الفيزياء في حياتك

تتحرك القواقع ببطء أكثر من الفهود. يمكنك معرفة ذلك بملاحظة المسافة التي تقطعها الحيوانات خلال فترة زمنية معينة. على سبيل المثال، يمكن أن يقطع الفهد مسافة 30 m في الثانية، ولكن يمكن أن يتحرك القوقع 1 cm خلال هذه الفترة الزمنية.

الفكرة الرئيسة

السرعة المتجهة لجسم ما تساوي معدل التغير في موقعه.

الأسئلة الرئيسة

- ما المقصود بالسرعة المتجهة؟
- ما الفرق بين السرعة القياسية والسرعة المتجهة؟
- كيف يمكنك تحديد السرعة المتوسطة المتجهة لحركة جسم من رسم بياني للعلاقة بين الموقع والزمن؟
- كيف يمكنك تمثيل الحركة بالنماذج التصويرية والمادية والرياضية؟

مراجعة المفردات

القيمة المطلقة absolute value
مقدار العدد بغض النظر عن الإشارة

المفردات الجديدة

السرعة المتوسطة المتجهة
average velocity

السرعة المتوسطة average speed

السرعة اللحظية المتجهة
instantaneous velocity

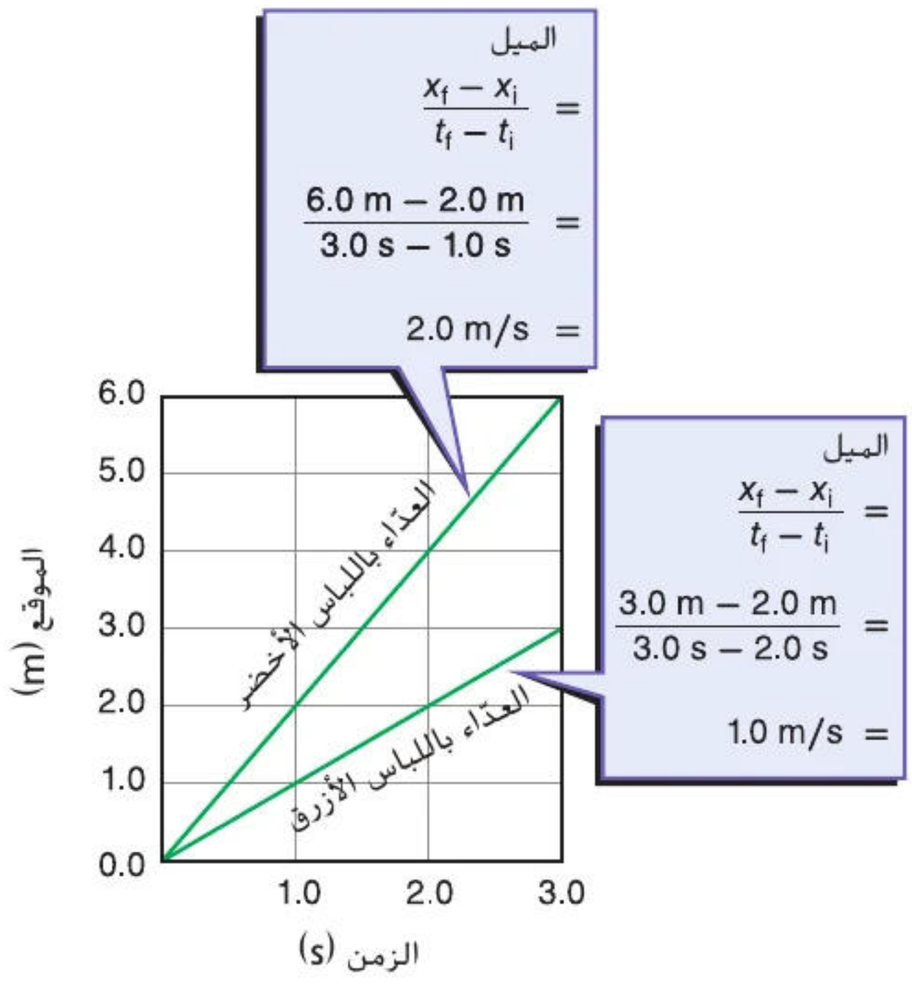
السرعة المتجهة والسرعة القياسية

لنفترض أنك سجلت حركة عدّاءين على رسم، كما هو موضح في **الشكل 19**. يتغير موقع العدّاء الأخضر أكثر من موقع العدّاء الأزرق. خلال فترة زمنية محددة، يصبح مقدار الإزاحة (Δx) أكبر للعدّاء الأخضر لأنه يتحرك بسرعة أكبر. لنفترض الآن أن كل عدّاء قطع مسافة 100 m. ستكون الفترة الزمنية (Δt) لمسافة 100 m أقل للعدّاء الأخضر منها للعدّاء الأزرق.

ميل الرسم البياني لمنحنى (الموقع – الزمن) قارن بين الخطين اللذين يمثلان العدّاءين في الرسم البياني الموضح في **الشكل 19**. ميل خط البياني العدّاء الأخضر أكبر، مما يشير إلى حدوث تغيير أكبر في الموقع خلال الفترة الزمنية نفسها. تذكّر أنك تجد ميل الخط باختيار نقطتين أولاً على الخط. ثم تطرح الإحداثي الرأسي للموقع النهائي من الإحداثي الرأسي للموقع الابتدائي لتحصل على التغير في الموقع. تطرح بعد ذلك الإحداثي الأفقي (t في هذه الحالة) للزمن النهائي من الإحداثي الأفقي للزمن الابتدائي لتحصل على التغير في الزمن. تحصل على الميل من قسمة التغير في الموقع على التغير في الزمن.

الشكل 19 يوضح الميل الأكبر أن العدّاء الأخضر قطع المسافة بسرعة أكبر.

التحليل كم تبعد المسافة التي قطعها العدّاء الأخضر عن العدّاء الأزرق خلال فترة 3 s الموضحة في الرسم البياني؟



حقوق الطبع والتأليف محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education ©

مختبر الفيزياء

السرعة الثابتة

كيف يمكنك تحديد السرعة المتوسطة بقياس المسافة والزمن؟

قياس السرعة المتجهة

تجربة جهاز المسبار كيف يمكنك قياس السرعة المتجهة باستخدام جهاز كشف الحركة؟

السرعة المتوسطة المتجهة لاحظ أن ميل خط العدّاء الأسرع في **الشكل 19** هو عدد أكبر. يشير الميل الأكبر إلى وجود سرعة أكبر. لاحظ أيضًا أن وحدة قياس الميل هي المتر في الثانية. بالنظر إلى كيفية حساب الميل، يمكنك أن تعرف أن الميل هو التغيير في مقدار الموقع مقسومًا على الفترة الزمنية التي حدث فيها هذا التغيير: $\frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$ أو $\frac{\Delta x}{\Delta t}$. عندما تزداد Δx، يزداد الميل ؛ وعندما تزداد Δt، يقل الميل. يتوافق ذلك مع التفسير الوارد في الصفحة السابقة الخاص بسرعة العدّاء الأخضر والعدّاء الأزرق. **السرعة المتوسطةالمتجهة** نسبة التغيير في موقع الجسم بالنسبة إلى الفترة الزمنية التي حدث فيها هذا التغير. إذا كان الجسم يتحرك بحركة منتظمة، فإن سرعته لا تتغير، ومن ثَمَّ تصبح سرعته المتوسطة المتجهة هي الخط المستقيم لمنحنى (الموقع – الزمن).

السرعة المتوسطة المتجهة يُعرف السرعة المتوسطة المتجهة بتغيير الموقع مقسومًا على الزمن الذي حدث خلاله التغيير.

$$v_{avg} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

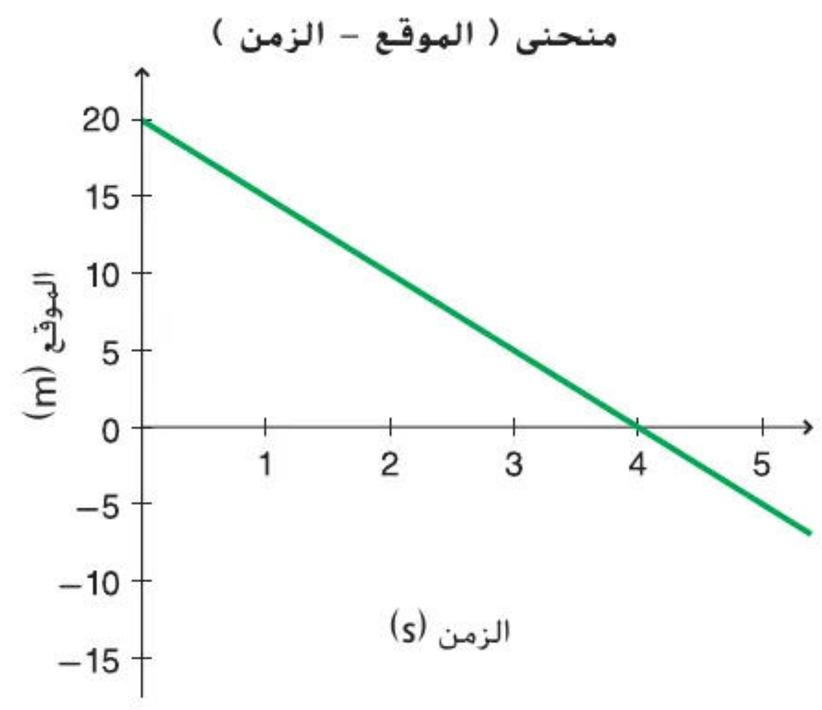
تفسير الميل ميل الخط البياني للعلاقة بين الموقع والزمن في **الشكل 20** هو 5.0 m/s-. لاحظ أن ميل الرسم البياني يشير إلى كل من المقدار والاتجاه. بحساب الميل، تجد أن السرعة المتوسطة المتجهة للجسم الذي يمثله الرسم البياني حركته يساوي 5.0 m/s-. بدأ الجسم بموقع موجب وتحرك نحو نقطة الأصل. بعد مرور 4s، يمر بنقطة الأصل ويواصل التحرك في الاتجاه المعاكس بمعدل 5.0 m/s.

تأكد من فهمك **اشرح** مدلول ميل الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن أعلى أو أسفل وفوق أو تحت المحور الأفقي ×.

السرعة المتوسطة يساوي القيمة المطلقة للميل الجسم الذي سرعته 5.0 m/s تساوي إزاحة الجسم مقسومة على الزمن المستغرق لقطع هذه الازاحة. في ما يتعلق بالحركة المنتظمة، فإن السرعة المتوسطة تساوي القيمة المطلقة لميل الخط البياني للعلاقة بين الموقع والزمن الخاص بالجسم. مقدار السرعة المتوسطة والاتجاه الذي يتحرك فيه الجسم يمثل السرعة المتوسطة المتجهة. تذكّر أنه إذا تحرك الجسم في الاتجاه المعاكس، فسيصبح التغير الذي يحدث في موقعه سالبًا. يعني هذا أن إزاحة الجسم وسرعته المتجهة يكونان في الاتجاه نفسه دائمًا.

الشكل 20 يوضح الميل للخط المستقيم في الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن هذا أن الحركة في الاتجاه المعاكس.

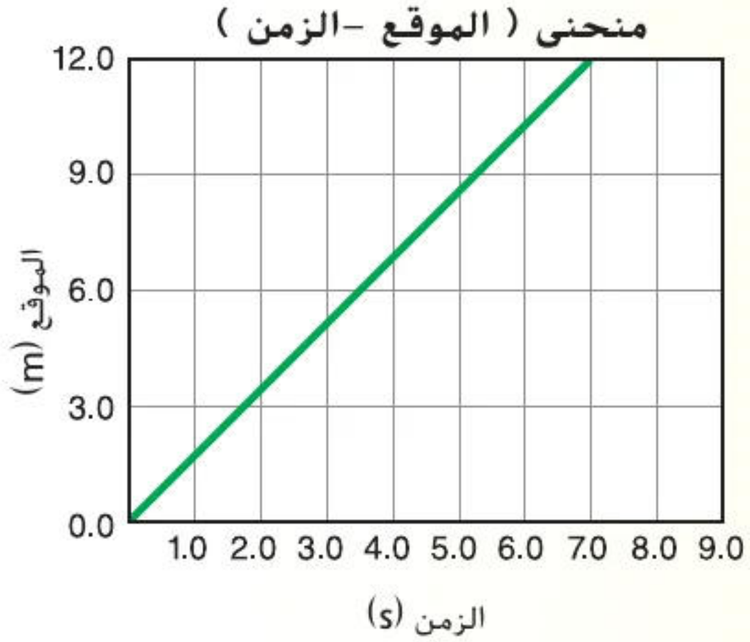
التحليل كيف سيبدو الرسم البياني إذا كانت الحركة بالسرعة نفسها، ولكن في الاتجاه الموجب؟



حقوق الطبع والتأليف محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education ©

مثال 3

السرعة المتوسطة المتجهة يوضح الرسم البياني المجاور الحركة على خط مستقيم لطفلة تركب لوح التزلج الخاص بها على طول رصيف مستو خال من المشاة. كم ما السرعة المتوسطة المتجهة لحركة الطفلة؟ وكم تبلغ سرعتها النمتوسطة القياسية؟



1 تحليل المسألة ورسمها

حدد النظام الإحداثي للرسم.

المجهول

? = المتجهة v_{avg} ? = القياسية v_{avg}

2 إيجاد المجهول

أوجد السرعة المتوسطة المتجهة باستخدام نقطتين على الخط.

$$v_{avg} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$= \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

$$= \frac{12.0\ \text{m} - 0.0\ \text{m}}{7.0\ \text{s} - 0.0\ \text{s}}$$

◄ بالتعويض عن $x_2 = 12.0\ \text{m},\ x_1 = 0.0\ \text{m},\ t_2 = 7.0\ \text{s},\ t_1 = 0.0\ \text{s}$.

$v_{avg} = 1.7\ \text{m/s}$ في الاتجاه الموجب

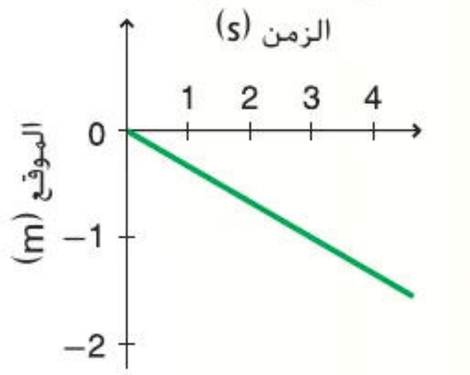
السرعة المتوسطة القياسية v_{avg} هو القيمة المطلقة للسرعة المتوسطة المتجهة المتجهة أو 1.7 m/s.

3 تقييم الإجابة

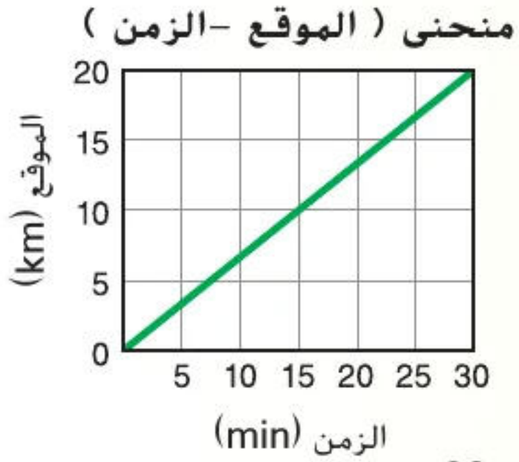
- **هل الوحدات صحيحة؟** الوحدات لكل من السرعة المتجهة والسرعة القياسية بالمتر في الثانية. الجسم يتحرك في خط مستقيم وبالاتجاه نفسه ذلك مقدار ازاحة الجسم يساوي مقدار المسافة المقطوعة في الزمن نفسه.
- **هل للأشارات دلالة؟** تتوافق الإشارة الموجبة للسرعة المتجهة مع النظام الإحداثي. لا يوجد اتجاه مرتبط بالسرعة القياسية.

تطبيقات

27. يوضح الرسم البياني الوارد في **الشكل 21** حركة سفينة سياحية تبحر ببطء عبر المياه الهادئة إلى الجنوب.
    a. كم تبلغ السرعة المتوسطة القياسية للسفينة؟
    b. كم تبلغ السرعة المتوسطة المتجهة للسفينة؟
28. صِف بالكلمات حركة السفينة السياحية في المسألة السابقة.
29. كم تبلغ السرعة المتوسطة المتجهة لجسم يتحرك من الموقع 6.5 cm إلى 3.7 cm بالنسبة إلى نقطة الأصل خلال 2.3 s؟
30. يمثل الرسم البياني الوارد في **الشكل 22** حركة دراجة.
    a. كم تبلغ السرعة المتوسطة القياسية لحركة الدراجة؟
    b. كم تبلغ السرعة المتوسطة المتجهة لحركة الدراجة؟
31. صِف بالكلمات حركة الدراجة في المسألة السابقة.
32. **التحدي** أنطلقت دراجه بسرعه ثابته مقدارها 0.55 m/s أرسم مخططًا توضيحيًا للحركه ورسمًا بيانيًا لمنحنى (الموقع –الزمن)تبين فيهما حركه الدراجه لمسافه 19.8m.



الشكل 21



الشكل 22

McGraw-Hill Education © حقوق الطبع والتأليف محفوظة لصالح مؤسسة

السرعة اللحظية المتجهة لماذا نسمي الكمية $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ السرعة المتوسطة المتجهة؟ لماذا لا نسميها السرعة المتجهة فقط؟ يوضح مخطط الحركة وضع الجسم المتحرك في بداية الفترة الزمنية ونهايتها. ومع ذلك، لا يشير إلى ما حدث خلال هذه الفترة الزمنية. خلال الفترة الزمنية، يمكن أن تظل سرعة الجسم على حالها أو تزيد أو تقل. يمكن أن يتوقف الجسم أو حتى يُغير اتجاهه. يمكنك إيجاد السرعة المتوسطة المتجهة لكل فترة زمنية في مخطط الحركة، ولكن لا يمكنك إيجاد سرعة الجسم واتجاهه في أي لحظة معينة. تُسمى سرعة الجسم واتجاهه في لحظة معينة **السرعة اللحظية المتجهة**. في هذا الكتاب المدرسي، يشير مصطلح السرعة المتجهة إلى السرعة اللحظية المتجهة التي تُمثّل بالرمز $\boldsymbol{v}$.

☑ **تأكد من فهمك** **اشرح** إلى أي مدى تختلف السرعة المتوسطة المتجهة عن السرعة المتجهة.

السرعة المتوسطة المتجهة في مخططات الحركة عندما يتحرك جسم بين نقطتين، تصبح سرعته المتوسطة المتجهة في نفس اتجاه إزاحته. تتناسب الكميتان تناسبًا طرديًا أيضًا. عندما تزيد الإزاحة خلال فترة زمنية معينة، تزداد سرعته المتوسطة المتجهة كذلك. يشير مخطط الحركة إلى اتجاه السرعة المتوسطة المتجهة ومقدارها.

تخيل نزول سيارتين من طريق بسرعات مختلفة. تسجل كاميرا فيديو حركة السيارات بمعدل محيط إطار واحد في كل ثانية. تخيل أن كل سيارة توجد بها فرشاة رسم تنزل معها تلقائيًا وترسم خطًا على الأرض خلال نصف ثانية كل ثانية. سترسم السيارة الأسرع خطًا أطول على الأرض. تشبه المتجهات التي ترسمها على مخطط الحركة لتمثيل السرعة المتجهة الخطوط التي ترسمها فرش الرسم على الأرض أسفل السيارات. في هذا الكتاب، نستخدم اللون الأحمر للإشارة إلى المتجهات المرسومة على مخططات الحركة. يوضح **الشكل 23** مخططات الحركة المرسوم عليها متجهات السرعة المتجهة لسيارتين. تتحرك واحدة إلى اليمين، والأخرى إلى اليسار.

☑ **تأكد من فهمك** حدد المقصود بأطوال متجهات السرعة المتجهة.

معادلة الحركة

من الأفضل غالبًا استخدام معادلة، بدلاً من رسم بياني، لحل المسائل. في أي وقت ترسم خطًا مستقيمًا، يمكنك أن تجد معادلة لوصفه. ألقِ نظرة أخرى على الرسم البياني الموضح في **الشكل 20** للجسم الذي يتحرك بسرعة متجهة ثابتة -5.0 m/s. تذكّر أنه يمكنك تمثيل أي خط مستقيم بالمعادلة $y = mx + b$. بحيث تكون y هي الكمية الممثلة على المحور الرأسي وm هي ميل الخط وx هي الكمية الممثلة على المحور الأفقي وb هي تقاطع الخط مع y.

في ما يتعلق بالرسم البياني الموضح في **الشكل 20**، الكمية الممثلة على المحور الرأسي هي الموقع ويمثلها المتغير x. ميل الخط هو -5.0 m/s. وهو السرعة المتوسطة المتجهة للجسم v_{avg}. الكمية الممثلة على المحور الأفقي هي الزمن (t). التقاطع مع y يساوي 20.0m. ما الذي تمثله هذه القيمة 20.0m؟ يوضح هذا ان الجسم كان عند الموقع 20.0m عندما تكون $t = 0.0$ s. يُسمى ذلك الموقع الابتدائي للجسم ويُشار إليه بالرمز x_i.

الفيزياء في حياتك

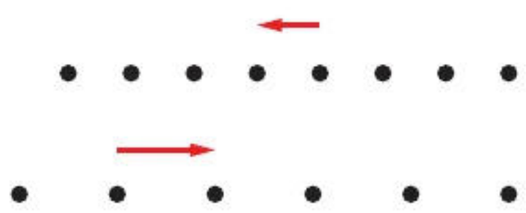
سجلات السرعة الرقم القياسي العالمي لسباق 100 متر للرجال هو 9.58 s. وقد حققه يوسين بولت في عام 2009. الرقم القياسي العالمي لسباق 100 متر للسيدات هو 10.49 s. وقد حققته جريفيث جوينر في عام 1988.

تجربة مصغرة

متجهات السرعة المتجهة

كيف تمثل متجهات السرعة لحركة جسم؟

الشكل 23 يتناسب طول كل متجه من متجهات السرعة المتجهة مع مقدار السرعة المتجهة التي يمثلها.



حقوق الطبع والتأليف محفوظة لصالح مؤسسة © McGraw-Hill Education

ربط الرياضيات بالفيزياء

الخطوط والرسومات البيانية ترتبط الرموز المستخدمة في معادلة ميل الخط بالرموز المستخدمة لمتغيرات الحركة على الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن.

الرموز في معادلة الخط المستقيم	الكمية الفيزيائية	القيمة في الشكل 20
y	x	
m	v_{avg}	-5.0 m/s
x	t	
b	x_i	20.0 m

يوجد ملخص على اليمين يوضح كيفية تمثيل الرموز في معادلة الخط المستقيم إلى الكميات المحددة التي تستخدمها لوصف الحركة. يوضح الجدول أيضًا القيم العددية للسرعة المتوسطة والموقع الابتدائي. ادرس الرسم البياني الموضح في **الصورة** 20. في ما يلي المعادلة الرياضية للخط الممثَّل بيانيًا:

$$y = (5.0\text{- m/s})x + 20.0 \text{ m}$$

يمكنك إعادة كتابة المعادلة باستخدام x للموقع و t للزمن.

$$x = (5.0\text{- m/s})t + 20.0 \text{ m}$$

تستخدم الرموز y وx في الرياضيات ولكن يمكنك استخدام x و t في الفيزياء. يمكنك ذلك نظرًا لوجود العديد من أنواع الرسومات البيانية في الفيزياء، بما في ذلك رسومات الموقع والزمن ورسومات السرعة والزمن ورسومات القوة والإزاحة. في ما يتعلق بالرسم البياني للموقع والزمن، يمكن إعادة كتابة المعادلة الرياضية $y = mx + b$ على النحو التالي:

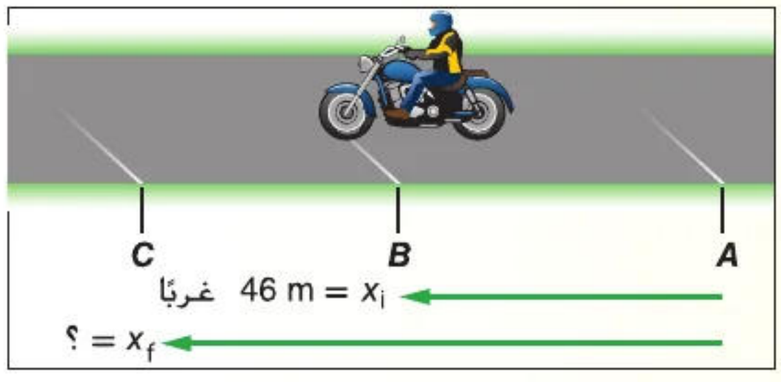
الموقع
موقع الجسم هو يساوي حاصل ضرب السرعة المتوسطة المتجهة في زمن حركة الجسم مضافا له الموقع الابتدائي للجسم.

$$x_f = v_{avg}t + x_i$$

تعطيك هذه المعادلة طريقة أخرى لتمثيل الحركة. لاحظ أن الرسم البياني (الموقع – الزمن) سيكون خطًا مستقيمًا.

مثال 4

الموقع يوضح الشكل سائق دراجة نارية يسير غربًا على طول طريق مستقيم. بعد اجتياز النقطة B، يستمر السائق في السير بسرعة متوسطة متجهة 12 m/s غربًا ويصل إلى النقطة C بعد مرور 3.0 s. ما موقع النقطة C؟



1 تحليل المسألة

اختّر نظامًا إحداثيًا بحيث تكون نقطة الأصل عند A.

المعلوم	المجهول
$\overline{v}$ = 12 m/s غربًا	x = ?
x_i = 46 m غربًا	
t = 3.0 s	

2 إيجاد المجهول

$x = \overline{v}t + x_i$

▶ استخدام المقادير لإجراء العمليات الحسابية.

▶ التعويض عن v_{avg} = 12 m/s و t = 3.0 s و x_i = 46 m.

$= (12 \text{ m/s})(3.0 \text{ s}) + 46 \text{ m}$

$= 82 \text{ m}$

x = 82 m غربًا

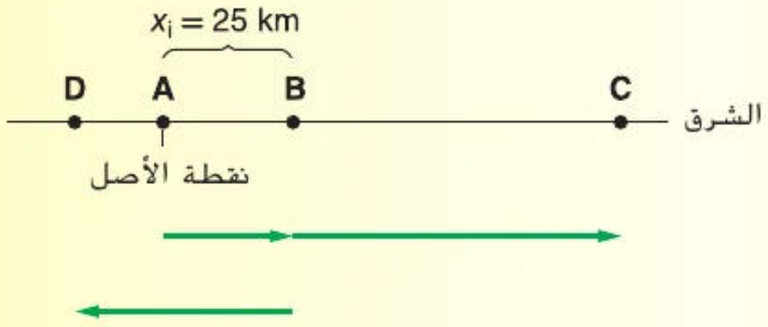
3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُقاس الموقع بالمتر.
- **هل للاتجاه دلالة؟** يسير سائق الدراجة النارية غربًا طوال الزمن.

حقوق الطبع والتأليف محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education ©

تطبيقات

لحل المسائل *33–36*، راجع **الشكل 24**.



الشكل 24

33. يوضح المخطط الموجود على اليسار مسار سفينة تبحر بسرعة 42 km/h باتجاه الشرق. ما موقع السفينة عندما تصل إلى النقطة C، بالنسبة إلى نقطة البدء، A، إذا أبحرت من النقطة B إلى النقطة C في زمن 1.5 h؟

34. تبدأ سفينة أخرى في الوقت نفسه من النقطة B، ولكن سرعتها المتوسطة المتجهة 58 km/h شرقًا. ما موقعها بالنسبة إلى النقطة A، بعد مرور 1.5 h؟

35. ماذا سيكون موقع السفينة إذا بدأت هذه السفينة من النقطة B وأبحرت بسرعة متوسطة متجهة 35 km/h غربًا إلى النقطة D في فترة زمنية 1.2 h؟

36. **التحدي** لنفترض أن السفينتين تبدآن من النقطة B وتبحران غربًا. تبحر سفينة بسرعة متوسطة متجهة 35 km/h لفترة 2.2 h وتبحر الأخرى بسرعة متوسطة متجهة 26 km/h لفترة 2.5 h. ما الموقع النهائي لكل سفينة؟

القسم 4 مراجعة

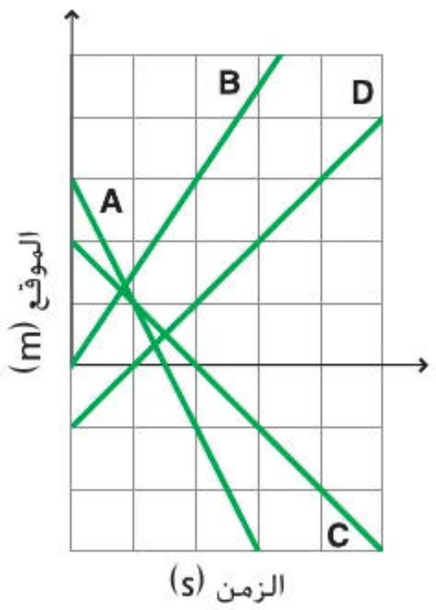
37. **الفكرة الرئيسة** كيف ترتبط سرعة الجسم بموقعه؟

لحل المسائل *38–40*، راجع **الشكل 25**.

38. **مهمة الترتيب** رتّب الرسومات البيانية للعلاقة بين الموقع والزمن حسب السرعة المتوسطة، من السرعة المتوسطة الأكبر إلى السرعة المتوسطة الأصغر. أشر إلى أي معادلة على وجه التحديد.

39. **المقارنة بين السرعات المتوسطة المتجهة** وضح أوجه الاختلاف في السرعة المتوسطة المتجهة الموضحة على الرسم للجسمين A وB. وضح أوجه الاختلاف في السرعة المتوسطة المتجهة الموضحة على الرسم للجسمين C وD.

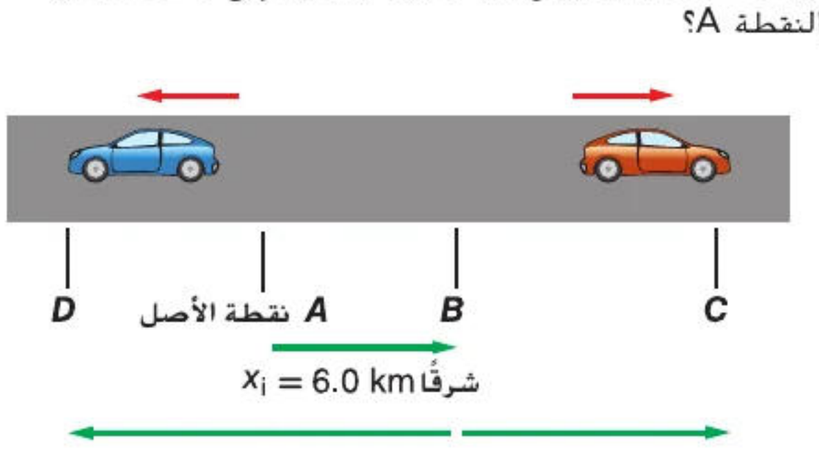
40. **مهمة الترتيب** رتب الرسومات البيانية الموضحة في **الشكل 25** حسب الموقع الابتدائي لكل جسم، من أكبر موقع موجب إلى أكبر موقع سالب. أشر إلى أي معادلة على وجه التحديد. هل سيختلف ترتيبك إذا رتّبت حسب المسافة الابتدائية من نقطة الأصل؟



الشكل 25

41. **السرعة المتوسطة القياسية والسرعة المتوسطة المتجهة** اشرح كيف ترتبط السرعة المتوسطة القياسية بالسرعة المتوسطة المتجهة لجسم يتحرك بحركة منتظمة.

42. **الموقع** تسير سيارتان على طول طريق مستقيم كما هو موضح في **الشكل 26**. تمران ببعضهما عند النقطة B ثم تستمران في الاتجاهين المعاكسين. تسير السيارة الحمراء لمدة 0.25 h من النقطة B إلى النقطة C بسرعة متجهة ثابتة 32 km/h شرقًا. تسير السيارة الزرقاء لمدة 0.25 h من النقطة B إلى النقطة D بسرعة متجهة ثابتة 48 km/h غربًا. ما المسافة التي قطعتها كل سيارة بعيدًا عن النقطة B؟ ما موقع كل سيارة بالنسبة إلى نقطة الأصل والنقطة A؟



الشكل 26

43. **الموقع** تسير سيارة شمالاً على طول طريق سريع مستقيم بسرعة متوسطة 85 km/h. بعد قطع مسافة 2.0 km، تمر السيارة بمحطة وقود وتستمر على طول الطريق السريع. ما موقع السيارة بالنسبة إلى بداية رحلتها بعد مرور 0.25 h من مرورها بمحطة الوقود؟

44. **التفكير الناقد** عند حل مسألة فيزيائية، لماذا يُعد من المهم إنشاء نماذج تصويرية ومادية قبل محاولة حل المعادلة؟

حقوق الطبع والتأليف محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education ©

هل لديك الزمن الكافي؟

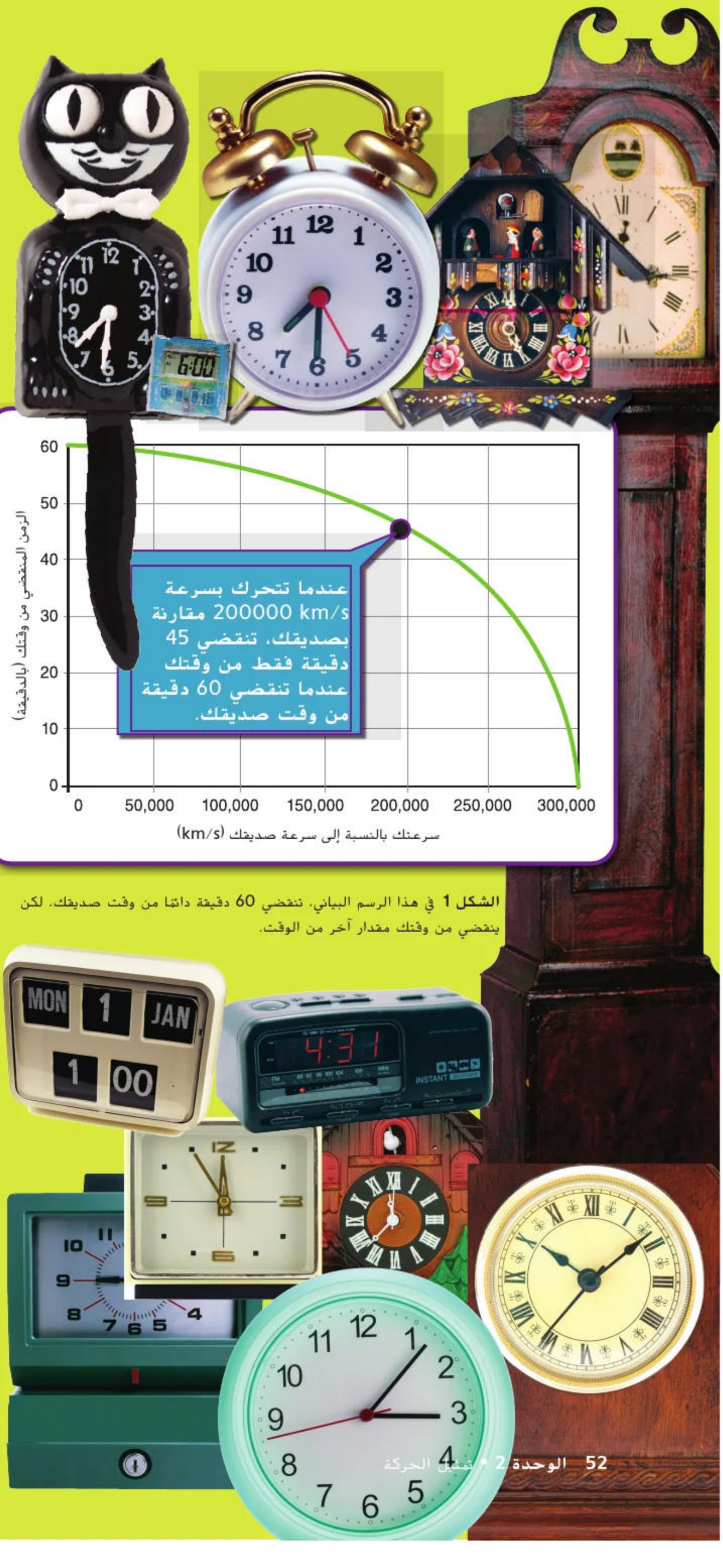
ماذا يُقصد بالزمن؟ إذا انقضت ساعة واحدة من وقتك، فهل ستنقضي أيضًا ساعة واحدة من وقت صديقك؟ قد تعتقد أن الإجابة هي "نعم". لكنها في الواقع "لا". ينقضي الزمن بمعدلات مختلفة استنادًا إلى وجهة نظرك.

السرعة والزمن فكّر في المفهوم الخاطئ في الجملة الأخيرة. على سبيل المثال، افترض أنك تطلب من صديقك أن يقابلك في مركز التسوق بعد ساعة واحدة. يفترض كلاكما أنه عند انقضاء ساعة واحدة من وقتك، ستنقضي أيضًا ساعة واحدة من وقت صديقك.

يرجع هذا إلى تحرّكك أنت وصديقك تحرّكًا بطيئًا للغاية مقارنة ببعضكما البعض. عند السرعات البطيئة، تساوي الساعة الواحدة من وقتك ما مقداره ساعة واحدة من وقت صديقك. ومع ذلك كلما تحرّكت تحرّكًا أسرعَ مقارَنةً بصديقك، زاد الفارق بين الزمن الذي تستغرقه والزمن الذي يستغرقه صديقك.

ما مقدار السرعة؟ ستحتاج إلى أن تتحرك بسرعة أكبر مقارنة بصديقك من أجل ملاحظة الفارق بينكما. إذا تحرّكت بسرعة 100000 km/s، فعندئذٍ ستنقضي 57 دقيقة فقط من وقتك عندما تنقضي ساعة واحدة من وقت صديقك. وعند سرعة 200,000 km/s، ستنقضي 45 دقيقة فقط من وقتك خلال الساعة التي يستغرقها صديقك. توضح **الشكل 1** كيفية المقارنة بين الزمن الذي تستغرقه والساعة الواحدة من وقت صديقك وأنت تتحرك تحرّكًا أسرع فأسرع مقارنة بصديقك.

تطبيق من واقع الحياة قد يبدو كل هذا بلا فائدة. ففي نهاية الأمر، حتى المركبة الفضائية تتحرك بسرعة أقل من 100 km/s. هل استخدمت من قبل جهاز استقبال GPS، مثل الجهاز الموضح في **الشكل 2؟** عند سرعة 4 km/s، يتحرك القمر الصناعي المزود بتقنية GPS بسرعة كافية لإحداث فروق في الزمن تؤثر في دقة جهاز استقبال GPS. التأثير طفيف — ما يقرب من 10 μs في اليوم الواحد. ومع ذلك، فهذا يكفي لكي يصبح GPS عديم الفائدة تمامًا في غضون شهر واحد إذا لم يأخذ المهندسون ذلك في الحسبان.



الشكل 1 في هذا الرسم البياني، تنقضي 60 دقيقة دائمًا من وقت صديقك، لكن ينقضي من وقتك مقدار آخر من الوقت.

الشكل 2 سيصبح جهاز استقبال GPS عديم الدقة تمامًا إذا لم يدرك مصمّمو النظام العالمي لتحديد المواقع نسبية الزمن.

لمزيد من التعمق >>>

الأبحاث تؤثر الجاذبية في الزمن كذلك. ابحث كيف تؤثر الجاذبية في الزمن على الأرض وعلى قمر صناعي مزود بتقنية GPS.

حقوق الطبع والتأليف محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 2 دليل الدراسة

الفكرة الرئيسة يمكنك استخدام الإزاحة والسرعة لوصف حركة الجسم.

القسم 1 تصوير الحركة

المفردات

- مخطط الحركة
- نموذج جسيم

الفكرة الرئيسة يمكنك استخدام مخططات الحركة لبيان كيف يتغير موقع جسم ما بمرور الوقت.

- يوضح مخطط الحركة موقع الجسم في فترات زمنية متساوية ومتتالية.
- في مخطط الحركة بنموذج الجسيم، يُمثَّل موقع الجسم في فترات زمنية متتالية باستخدام مجموعة من النقاط. يوضح التباعد بين النقاط هل يتحرك الجسم بشكل أسرع أم أبطأ.

القسم 2 الموقع والزمن

المفردات

- النظام الإحداثي
- نقطة الأصل
- الموقع
- المسافة
- المقدار
- المتجه
- الكمية العددية
- الفترة الزمنية
- الإزاحة
- المحصلة

الفكرة الرئيسة النظام الإحداثي مفيد عندما تصف الحركة.

- يحدد النظام الإحداثي موقع نقطة الصفر للمتغير الذي تتناوله بالدراسة والاتجاه الذي تزيد فيه قيم المتغير.
- يشير المتجه المرسوم من نقطة الأصل في نظام إحداثي وصولاً إلى جسم ما إلى موقع الجسم في ذلك النظام الإحداثي. تحدد الاتجاهات المحددة باعتبارها موجبة وسالبة على النظام الإحداثي هل تكون مواقع الأجسام موجبة أم سالبة في النظام الإحداثي.
- يمثل التغير في الزمن الفرق بين فترتين زمنيتين.

$$\Delta t = t_f - t_i$$

- يشار إلى التغيّر في الموقع على أنه إزاحة لها مقدار واتجاه.

$$\Delta x = x_f - x_i$$

- في مخطط الحركة، يمثل طول متجه الإزاحة مقدار إزاحة الجسم. اتجاه الإزاحة، من x_i إلى x_f.

القسم 3 التمثيل البياني للحركة

المفردات

- الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن
- الموقع اللحظي

الفكرة الرئيسة يمكنك استخدام رسم بياني للعلاقة بين الموقع والزمن لتحديد موقع الجسم عند فترة زمنية معينة.

- توفر الرسومات البيانية للعلاقة بين الموقع والزمن معلومات عن حركة الأجسام. قد تشير أيضًا إلى أين ومتى يلتقي الجسمان.
- يصف الخط في الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن موقع الجسم عند كل زمن.
- يمكن وصف الحركة باستخدام الكلمات أو مخططات الحركة أو جداول البيانات أو رسومات البيانات.

القسم 4 السرعة

المفردات

- السرعة المتوسطة المتجهة
- السرعة المتوسطة القياسية
- السرعة اللحظية المتجهة

الفكرة الرئيسة السرعة المتجهة لجسم ما تساوي معدل التغير في موقعه.

- تحدد السرعة المتجهة للجسم مقدار السرعة التي يتحرك بها الجسم وفي أي اتجاه يتحرك.
- تساوي السرعة مقدار السرعة المتجهة.
- يصف الخط المائل على الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن متوسط السرعة المتجهة للجسم.

$$v_{avg} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

- يمكنك تمثيل الحركة بالصور والنماذج المادية. ترتبط المعادلة البسيطة بالموقع الابتدائي للجسم (x_i)، وسرعته المتوسطة المتجهة الثابتة (v_{avg})، وموقعه (x)، والزمن (t) منذ كان الجسم في موقعه الابتدائي.

$$x = v_{avg} t + x_i$$

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 2 التقويم

القسم 1 تصوير الحركة

إتقان المفاهيم

45. ما الغرض من مخطط الحركة؟

46. أي الحالات يجوز فيها التعامل مع جسم ما على أنه جسيم عند حل مسائل الحركة؟

القسم 2 الموقع والزمن

إتقان المفاهيم

47. تصف الكميات التالية الموقع أو التغيير الطارئ عليه: الموقع والمسافة والإزاحة. صف بإيجاز أوجه الاختلاف بينها.

48. كيف يمكنك استخدام ساعة لإيجاد الفاصل الزمني؟

القسم 3 التمثيل البياني للحركة

إتقان المفاهيم

49. **التزلج على محور واحد** كيف يمكننا استخدام الرسومات البيانية للعلاقة بين الموقع والزمن لاثنين من المتزلجين على رسم واحد لتحديد إذا ومتى سيتجاوز أحد المتزلجين على محور واحد المتزلج الآخر؟

القسم 4 السرعة

إتقان المفاهيم

50. **الفكرة الرئيسة** ما المعادلة التي تصف مدى ارتباط السرعة المتوسطة المتجهة لجسم متحرك بإزاحته؟

51. **المشي مقابل الركض** ينطلق الشخص الذي يمشي والشخص الذي يركض من أمامك في اللحظة نفسها. يتحركان في الاتجاه نفسه بسرعات متجهة ثابتة مختلفة. صِف رسومات البيانات للعلاقة بين الموقع والزمن لكل منهما.

52. ماذا يمثل ميل الخط المستقيم في الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن؟

53. إذا كنت تعرف الزمن الذي استغرقه جسم ما للتنقل بين نقطتين ومواقع الجسم على النقطتين، فهل يمكنك تحديد السرعة اللحظية المتجهة للجسم؟ وسرعته المتوسطة المتجهة؟ اشرح.

إتقان حل المسائل

54. أنت تركب دراجة بسرعة 4.0 m/s في فترة تقدر بحوالي 5.0 s. احسب المسافة التي قطعتها؟

55. **علم الفلك** يصل الضوء الصادر من الشمس إلى الأرض في فترة تقدر بحوالي 8.3 min. وسرعة الضوء تساوي 3.00×10^8 m/s. كم تبلغ المسافة بين الشمس والأرض؟

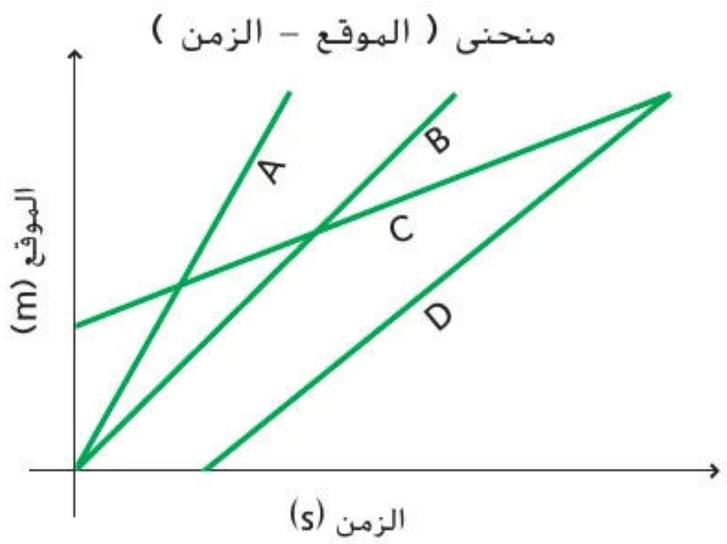
56. **طرح مسألة** أكمل هذه المسألة لكي يجد لها أحد الأشخاص حلاً باستخدام مفهوم السرعة المتوسطة: "تقطع الفراشة مسافة 15 m من زهرة لأخرى ...."

57. تمارس نورا رياضة الركض البطيء عدة مرات في الأسبوع ولا تتجاوز الزمن الذي تستغرقه في كل مرة تمارس فيها هذه الرياضة. نسيت في أحد الأيام ارتداء ساعة الإيقاف وتساءلت هل من طريقة يمكن أن تعرف بها كم استغرقت من الزمن. كلما مرت بجوار مبني البنك على وجه الخصوص، تذكرت أنها قطعت مسافة 4.3 km من منزلها. تتعلم من التدريب السابق الذي مارسته أن لديها سرعة ثابتة 4.0 m/s. كم من الزمن تستغرقه نورا وهي تمارس رياضة الركض البطيء عندما تصل إلى البنك.

58. **القيادة** تقود أنت وصديقك لمسافة 50.0 km. تقود بسرعة 90.0 km/h؛ ويقود صديقك بسرعة 95.0 km/h. كم يلزم صديقك من الزمن لينهي لرحلته من بعدك؟

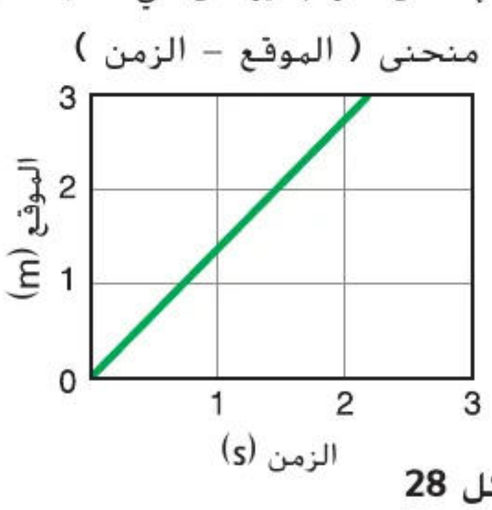
تطبيق المفاهيم

59. **مهمة الترتيب** يوضح الرسم البياني للعلاقة بين الموقع والزمن في **الشكل 27** حركة أربع أبقار تعود من المراعي إلى الحظيرة. رتّب الأبقار بناء على سرعتها المتوسطة، من الأبطأ إلى الأسرع.



الشكل 27

60. يوضح **الشكل 28** رسمًا بيانيًا للعلاقة بين الموقع والزمن لأرنب يركض بعيدًا عن أحد الكلاب. ما وجه الاختلاف في الرسم البياني إذا كان الأرنب يركض بسرعة مضاعفة؟ وما وجه الاختلاف فيه إذا كان الأرنب يركض في الاتجاه المعاكس؟



الشكل 28

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

61. اختبر المعادلات التالية واشرح سبب عدم امتلاك كل منها للخصائص اللازمة لوصف مفهوم السرعة:
$\Delta x + \Delta t,\ \Delta x - \Delta t,\ \Delta x \times \Delta t,\ \frac{\Delta t}{\Delta x}$.

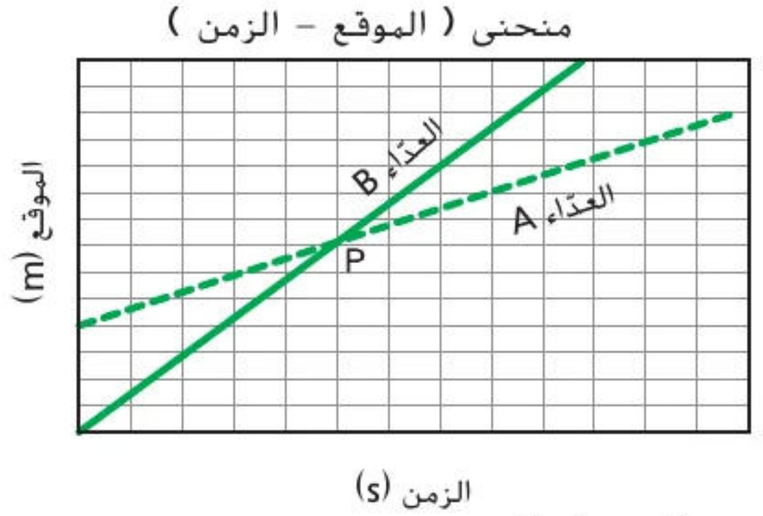
62. كرة القدم عند حل مسائل الفيزياء، ما الذي يجب أن يكون صحيحًا بشأن حركة كرة القدم من أجل أن تعامل كرة القدم كما لو كانت تمثل أحد الجسيمات؟

63. يشير **الشكل 29** إلى رسم بياني لشخصين يمارسان رياضة الجري.

a. صِف موقع العدّاء **A** مقارنة بالعدّاء **B** عند نقطة التقاطع مع المحور *y*.

b. مَن العدّاء الأسرع؟

c. ماذا يحدث عند النقطة **P** وما بعدها؟



الشكل 29

مراجعة عامة

64. ركوب الدراجات يحافظ راكب الدراجة الذي يقطع مسافة بطول أحد الممرات المستقيمة على سرعته المتجهة الثابتة التي تبلغ 5.0 m/s باتجاه الغرب. عند $t = 0.0$ s، يبعد راكب الدراجة مسافة 250 m باتجاه الغرب عن النقطة A.

a. ارسم رسمًا بيانيًا للعلاقة بين الموقع والزمن يتناول موقع راكب الدراجة من النقطة A خلال زمن 10.0 s من الزمن الكلي 60.0 s.

b. ما موقع راكب الدراجة من النقطة A عند 60.0 s؟

c. كم يساوي مقدار الإزاحة من موقع البداية عند 60.0 s؟

65. الشكل 30 عبارة عن مخطط لنموذج جسيم يمثل الدجاج الذي يسير عرضيًا عبر الطريق. ارسم رسمًا بيانيًا متطابقًا للعلاقة بين الموقع والزمن، واكتب معادلة تصف حركة الدجاج.

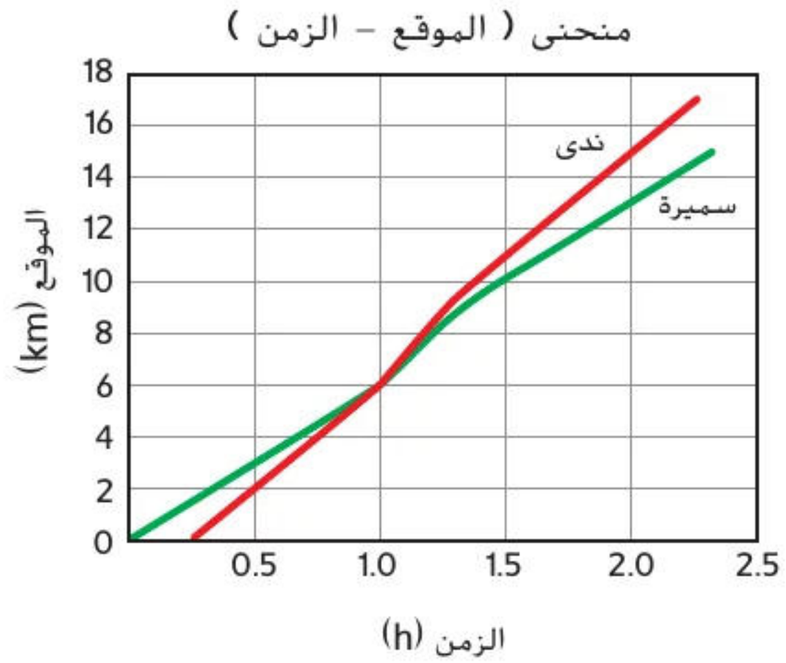
الشكل 30

66. يوضح **الشكل 31** الرسومات البيانية للعلاقة بين الموقع والزمن الخاص بممارسة ندى وسميرة لرياضة قوارب التجديف في نهر محلي كل منهما في قارب منفصل.

a. ما الزمن الذي تتلقى فيه ندى بسميرة في المكان نفسه؟

b. كم الزمن الذي تستغرقه ندى في التجديف قبل المرور بسميرة؟

c. في أي مكان في النهر يبدو أنه قد يكون هناك تيار سريع؟



الشكل 31

67. القيادة تغادر السيارة A والسيارة B المدرسة عندما تشير ساعة الإيقاف إلى صفر. تتحرك السيارة A بسرعة ثابتة تبلغ 75 km/h، وتتحرك السيارة B بسرعة ثابتة تبلغ 85 km/h.

a. ارسم رسمًا بيانيًا للعلاقة بين الموقع والزمن يوضح حركة السيارتين على خلال 3 ساعات. ما المسافة التي تبعدها السيارتان عن المدرسة عندما تشير ساعة الإيقاف إلى 2.0 h؟ احسب المسافتين ووضحهما على رسمك البياني.

b. مرت السيارتان على محطة بنزين بعد الابتعاد عن المدرسة مسافة 120 km. ما الزمن اللازم لمرور كل سيارة على محطة البنزين؟ احسب الزمنين ووضحهما على رسمك البياني.

68. ارسم رسمًا بيانيًا يتناول العلاقة بين الموقع والزمن ويخص لسيارتين متوجهتين إلى الشاطئ الذي يقع على بُعد 50 km من المدرسة. عند الظهيرة، تغادر السيارة A المخزن الذي يكون أقرب إلى الشاطئ عن المدرسة بمسافة 10 km وتتحرك بسرعة 40 km/h. تبدأ السيارة B في مغادرة المدرسة عند 12:30 ظهرًا وتتحرك بسرعة 100 km/h. متى تصل كل سيارة إلى الشاطئ؟

69. تسير سيارتان بطول طريق مستقيم. عندما تشير ساعة الإيقاف إلى $t = 0.00$ h، تكون السيارة A قد قطعت مسافة $x_A = 48.0$ km وتكون متحركة بسرعة 36.0 km/h. لاحقًا، عندما تشير الساعة إلى $t = 0.50$ h، تكون السيارة B قد قطعت مسافة $x_B = 0.00$ km وتكون متحركة بسرعة 48.0 km/h. أجب عن الأسئلة التالية، صمم رسمًا بيانيًا يتناول العلاقة بين الموقع والزمن، ثم جبريًا عن طريق كتابة المعادلات المناسبة للموقعين x_A وx_B بدلالة الزمن (t).

a. ما الذي ستشير إليه الساعة عندما تمر السيارة B بالسيارة A؟

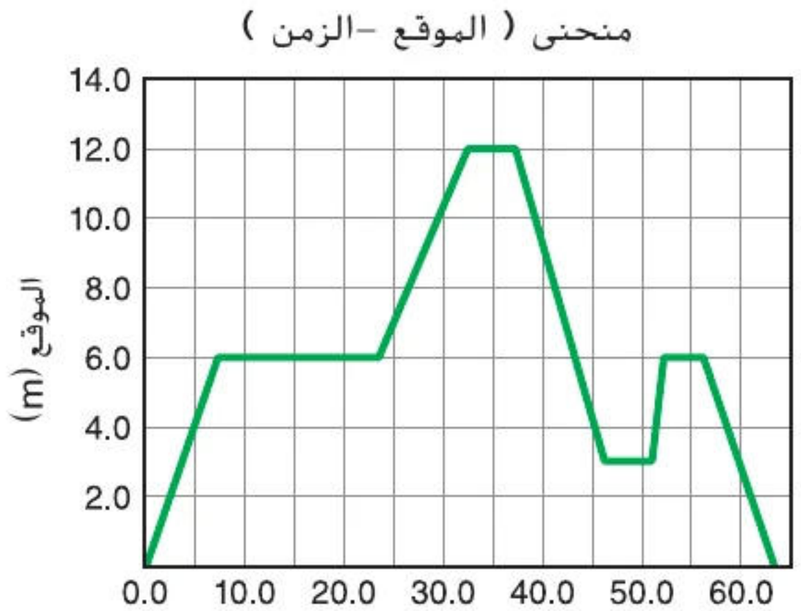
b. ما الموقع الذي ستمر به السيارة B بالسيارة A؟

c. عندما تمر السيارتان ببعضهما البعض، كم تساوي فترة التقائهما علمًا بأن السيارة A كانت عند النقطة المرجعية؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التقويم

70. يظهر الرسم البياني في **الشكل 32** حركة جمال في ممر طويل ومستقيم. تقع نقطة الأصل عند إحدى نهايات الممر.



الشكل 32

a. **مسألة معكوسة** اكتب قصة تصف حركة جمال في الممر التي ستكون متطابقة مع الحركة التي يمثلها الرسم البياني.

b. ما الزمن اللازم ليبتعد جمال مسافة 6,0 m عن نقطة الأصل؟

c. ما الزمن المستغرق بين بدء جمال بالتحرك ليقطع مسافة 12,0 m من نقطة الأصل؟

d. كم تبلغ السرعة المتوسطة المتجهة لجمال بين 46,0 s و 37,0 s؟

التفكير الناقد

71. استخدام الآلات الحاسبة وقف زملاء من فصل الفيزياء بعيدًا بمسافة 25 m واستخدموا ساعات إيقاف لقياس الزمن الذي مرت فيه إحدى السيارات التي تسير على الطريق السريع على كل شخص. يظهر **الجدول 2** بيانات الموقع والزمن.

الجدول 2 الموقع والزمن

الزمن (s)	الموقع (m)
0.0	0.0
1.3	25.0
2.7	50.0
3.6	75.0
5.1	100.0
5.9	125.0
7.0	150.0
8.6	175.0
10.3	200.0

استخدم أحد برامج الرسوم البيانية على الحاسوب (اكسل) لرسم افضل خط بياني لتغيرات الموقع والزمن. أوجد ميل الخط.

كم كانت السرعة المتوسطة لهذه السيارة؟

72. تطبيق المفاهيم تريد أن تقطع مسافة بسرعة 90 km/h للقيام برحلة بالسيارة. قطعت النصف الأول من المسافة بسرعة متوسطة 48 km/h. كم تبلغ السرعة المتوسطة التي يجب أن تكون للنصف الثاني من الرحلة لبلوغ هدفك؟ هل هذا منطقي؟ لاحظ أن السرعات ترتبط بنصف المسافة، وليس نصف الزمن.

73. تصميم تجربة في كل مرة يقود فيها أحد دراجة بخارية حمراء اللون على وجه التحديد أمام منزل صديقك، يشعر والده بالغضب. يعتقد أن الدراجة البخارية تسير بسرعة كبيرة للغاية تتجاوز حد السرعة المقدّر بحوالي 25 mph (40 km/h). صف تجربة بسيطة تجريها لمعرفة هل الدراجة البخارية ستزداد سرعتها في المرة القادمة عندما تمر بمنزل صديقك.

74. تفسير الرسومات البيانية هل من الممكن أن يكون الرسم البياني الذي يتناول العلاقة بين الموقع والزمن لجسم ما ممثلاً بخط أفقي؟ أو خط رأسي؟ إذا كانت إجابتك بنعم في الحالتين، فصف الحركة المرتبطة بالكلمات.

الكتابة في الفيزياء

75. توصل علماء الفيزياء إلى أن سرعة الضوء تساوي $3,00 \times 10^8$ m/s. كيف توصلوا إلى هذا الرقم؟ اقرأ عن بعض التجارب التي أجراها العلماء لإيجاد سرعة الضوء. صِف كيف تطورت الأساليب التجريبية لجعل نتائج التجارب أكثر دقة.

76. تتمتع بعض فصائل الحيوانات بقدرة كبيرة على التحمل، بينما يتمتع البعض الآخر بقدرة على التحرك حركة سريعة، لكن فقط لفترة قصيرة من الزمن. استخدم موارد مرجعية لإيجاد مثالين لكل خاصية، وصِف إلى أي مدى تساعد الحيوان.

مراجعة تراكمية

77. حوّل كلاً من القياسات الزمنية التالية إلى ما يعادلها بوحدة الثانية:

a. 58 ns
b. 0,046 Gs
c. 9270 ms
d. 12,3 ks

78. اذكر عدد الأرقام المعنوية في القياسات التالية:

a. 3218 kg
b. 60,080 kg
c. 801 kg
d. 0,000534 kg

79. باستخدام الآلة الحاسبة، توصل أحمد إلى النتائج التالية. اكتب كل إجابة مجددًا باستخدام العدد الصحيح للأرقام المعنوية.

a. 5,32 mm + 2,1 mm = 7,4200000 mm
b. 13,597 m × 3,65 m = 49,62905 m^2
c. 83,2 kg − 12,804 kg = 70,3960000 kg

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 2 تدريب على الاختبار المعياري

اختيار من متعدد

1. ما العبارة التي ستكون صحيحة عن مخطط حركة نموذج الجسيم لطائرة تحلّق بسرعة ثابتة 850 km/h؟

A. ستبدأ النقاط قريبة من بعضها وتبعد كلما بعدت الطائرة عن المطار.

B. ستكون النقاط بعيدة عن بعضها في البداية وتقترب من بعضها كلما بعدت الطائرة عن المطار.

C. ستكوّن النقاط نمطًا متباعدًا بشكل متساوٍ.

D. ستبدأ النقاط قريبة من بعضها ثم تبعد عن بعضها ثم تقترب من بعضها مرة أخرى كلما بعدت الطائرة عن المطار.

2. ما العبارة الصحيحة عن رسم المتجهات؟

A. ينبغي أن يتناسب طول المتجه تناسبًا طرديًا مع مقداره.

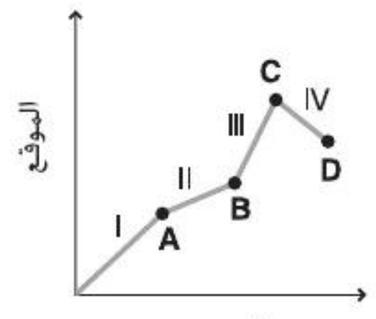
B. تحتاج إلى مخطط المتجهات لحل جميع مسائل الفيزياء بشكل صحيح.

C. المتجه هو كمية لها مقدار وليس لها اتجاه.

D. جميع الكميات في الفيزياء عبارة عن متجهات.

3. يوضح الشكل التالي رسمًا بسيطًا لحركة دراجة. (تُهمل حركة زيادة السرعة وإبطاء السرعة.) في أي المراحل تكون سرعة الدراجة الأكبر؟

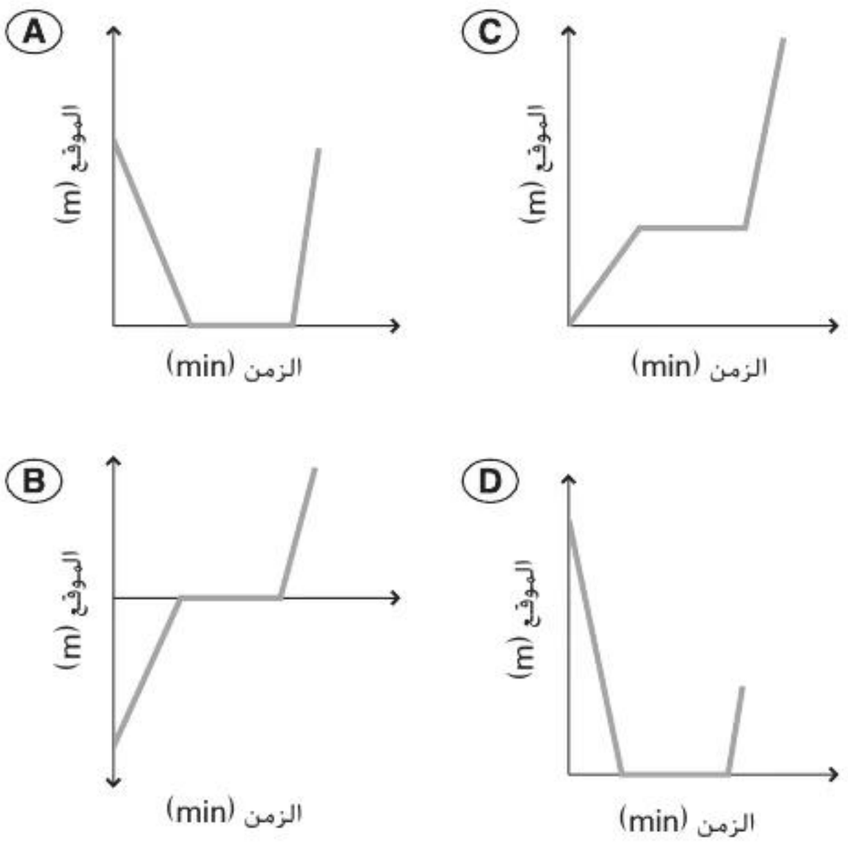
A. المرحلة I
B. المرحلة II
C. المرحلة III
D. المرحلة IV



4. كم تبلغ السرعة المتوسطة المتجهة لقطار يتحرك على طول مسار مستقيم إذا كانت إزاحته 192 m شرقًا خلال فترة زمنية 8.0 s؟

A. 12 m/s شرقًا
B. 24 m/s شرقًا
C. 48 m/s شرقًا
D. 96 m/s شرقًا

5. ينزل سنجاب على شجرة يبلغ ارتفاعها 8m بسرعة ثابتة في غضون 1.5 min. لا يزال في قاعدة الشجرة منذ 2.3 min. صدر ضجيج عال جعل السنجاب يصعد مرة أخرى إلى مكانه بالضبط على الفرع الذي بدأ منه في غضون 0.1 min. عند إهمال حركة زيادة السرعة وإبطاء السرعة، ما الرسم البياني لمنحنى (الموقع – الزمن) الذي يمثل حركة السنجاب؟



أسئلة ذات إجابات مفتوحة

6. يتحرك فأر على طول مسار مستقيم. أوجد موقع الفأر بالنسبة إلى نقطة الأصل إذا تحرك بسرعة 12.8 cm/s شمالاً لفترة 3.10 s.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

Course Sourced From Glencoe Physics: Principles & Problems Student Edition ©2017

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

الوحدة 3

الحركة المتسارعة

الفكرة الرئيسة التسارع هو معدل التغير في السرعة المتجهة لجسم ما.

الأقسام

1 التسارع
2 الحركة بتسارع ثابت
3 السقوط الحر

التجربة الاستهلالية

الرسم البياني للحركة

كيف يمكن أن يقارن الرسم البياني الذي يوضح السرعة الثابتة مع الرسم البياني للجسم المتسارع؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 1 التسارع

الفيزياء في حياتك

عندما تقلع الطائرة تتغير سرعتها من 5 m/s على مدرج الإقلاع لتصل تقريبًا إلى 300 m/s عندما تكون في الهواء. إذا سبق لك أن ركبت طائرة، فقد تشعر بدفع الكرسي ضد ظهرك عندما تتسارع الطائرة بسرعة عالية.

الفكرة الرئيسة

يتسارع الجسم عندما تتغير سرعته المتجهة، ويحدث هذا عندما يزيد أو يبطئ من سرعته أو يغيّر اتجاهه.

الأسئلة الرئيسة

- ما التسارع؟
- ما أوجه الاختلاف بين التسارع والسرعة المتجهة؟
- ما العمليات التي يمكنك أن تتعلمها من الرسوم البيانية للسرعة المتجهة – الزمن؟

مراجعة المفردات

المتجه vector كمية لها مقدار واتجاه

مفردات جديدة

تسارع acceleration

منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) velocity-time graph

التسارع المتوسط average acceleration

التسارع اللحظي instantaneous acceleration

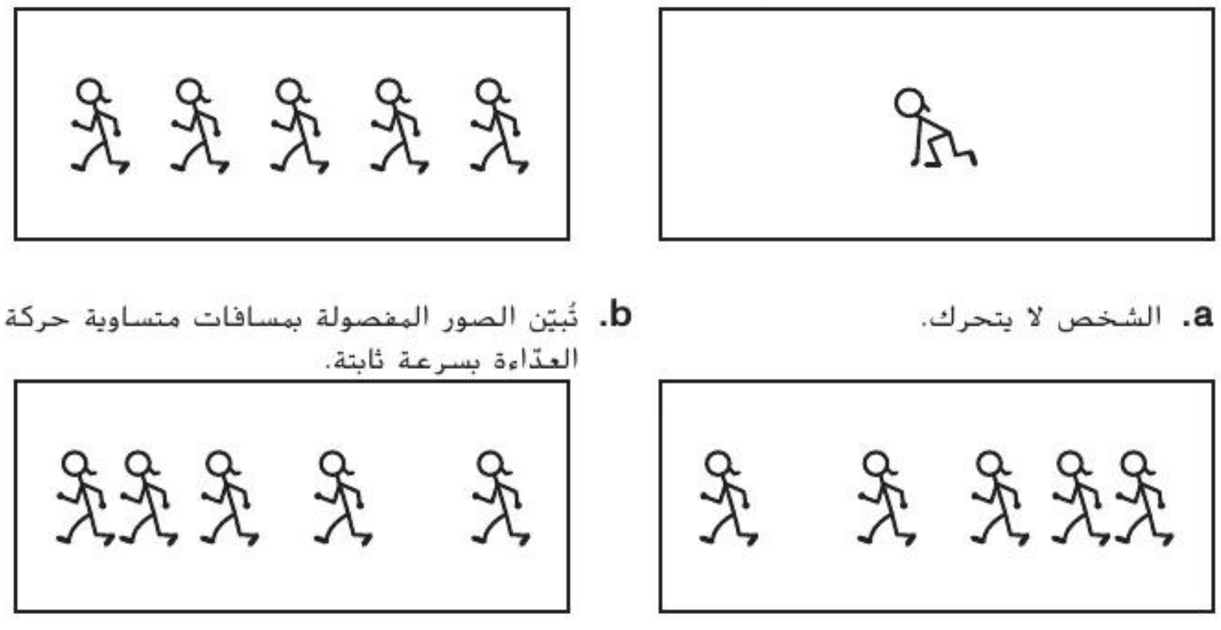
مخططات الحركة غير المنتظمة

إن الجسم الذي يتحرك حركة منتظمة على طول خط مستقيم يسير بسرعة متجهة غير متغيرة، لكن هناك أجسام قليلة تتحرك بهذه الطريقة طوال الوقت. وتعد الأكثر شيوعًا الحركة غير المنتظمة التي تتغير فيها السرعة المتجهة. في هذه الوحدة، ستدرس الحركة غير المنتظمة على طول الخط المستقيم. تتضمن الأمثلة دحرجة الكرات على المرتفعات واستخدام مكابح السيارات للتوقف والأجسام الساقطة. ستحلل في الوحدات التالية الحركة غير المنتظمة غير المتوافقة مع خط مستقيم، مثل الحركة على طول مسار دائري وحركة الأجسام المقذوفة، مثل كرات البيسبول.

وصف الحركة غير المنتظمة تستطيع أن تشعر بالفرق بين الحركة المنتظمة والحركة غير المنتظمة. فالحركة المنتظمة تتميز بسلاستها. فإذا أغمضت عينيك، فستشعر بأنك لم تتحرك مطلقًا. وعلى النقيض من ذلك، عندما تتحرك على مسار منحنٍ أو صعودًا أو هبوطًا كما هو الحال عند ركوب العجلة الدوارة ستشعر بأنك تُدفع أو تُسحب.

كيف تصف حركة الشخص في **الشكل 1؟** في المخطط الأول لا يتحرك الشخص، لكن في المخططات الأخرى يتغيّر المخطط بطرق مختلفة. ما المعلومات التي تتضمنها المخططات ويمكن استخدامها للتمييز بين الأنواع المختلفة من الحركة؟ لاحظ المسافات بين المواقع المتتابعة. نظرًا لوجود شكل واحدة للشخص الموجود في المخطط الأول، يمكنك استنتاج أنها في وضع السكون. المسافات بين الصور في المخطط الثاني متساوية لأن العدّاءة تتحرّك حركة منتظمة وتتحرّك بسرعة متجهة ثابتة. أما في المخططين الآخرين، فتتغير المسافة بين المواقع المتتالية. ويزداد التغيّر في المسافة إذا زادت العدّاءة من سرعتها. يقل التغيّر في المسافة إذا قللت العدّاءة من سرعتها.

مخطط الحركة



a. الشخص لا يتحرك.

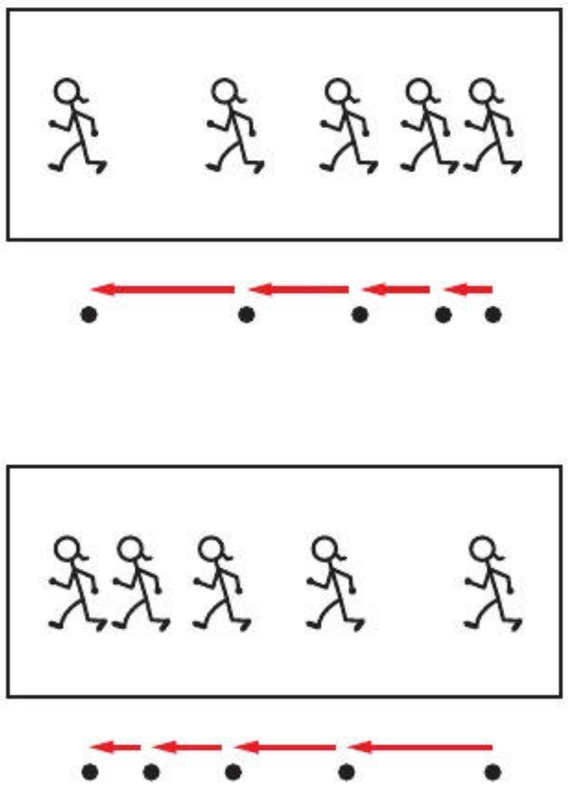
b. تُبيّن الصور المفصولة بمسافات متساوية حركة العدّاءة بسرعة ثابتة.

c. تتزايد سرعة العدّاءة.

c. تتناقص سرعة العدّاءة.

الشكل 1 تشير المسافة التي تتحركها العدّاءة في كل فترة زمنية إلى نوع الحركة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 2 يدل التغير في طول متجهات السرعة المتجهة في مخططات الحركة هذه على ما إذا كانت سرعة العدّاءة تزيد أم تنقص.

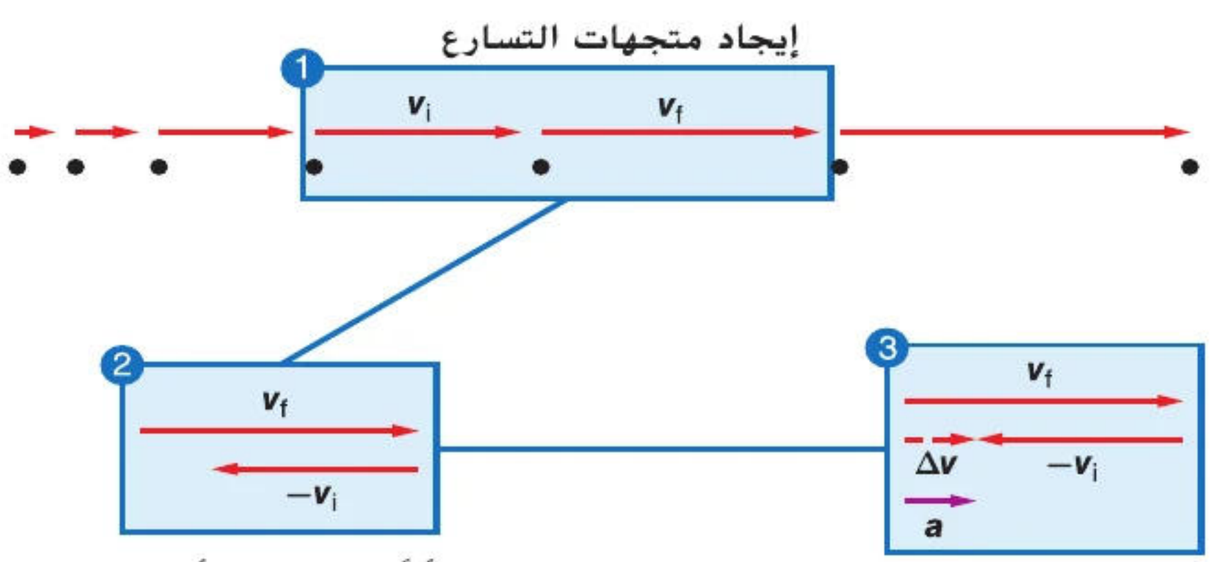
مخطط نموذج جسم متحرك كيف يبدو مخطط حركة جسم متحرك ذي سرعة متجهة متغيرة؟ يعرض **الشكل 2** مخططات حركة نموذج جسم متحرك أسفل مخططات حركة العداءة عندما تزيد سرعتها وتقل. هناك مؤشران رئيسان يعبران عن التغير في السرعة المتجهة في هذا النمط من مخطط الحركة. ويشير التغير في المسافات بين النقاط والاختلافات بين أطوال متجهات السرعة المتجهة إلى حدوث تغيرات في السرعة المتجهة. فإذا زادت سرعة الجسم، فإن كل متجه سرعة متجهة تالٍ يكون أطول وتزداد المسافة بين النقاط. أما إذا انخفضت سرعة الجسم، فإن كل متجه يكون أقصر من المتجه السابق وتقل المسافة بين النقاط. ويعطي كلا نوعي مخططات الحركة تصورًا عن كيفية تغير السرعة المتجهة لجسم ما.

تأكد من فهمك **حلّل** ما الذي تشير إليه زيادة وتناقص أطوال متجهات السرعة المتجهة في مخطط الحركة؟

عرض التسارع على مخطط حركة لكي يعطي مخطط الحركة صورة كاملة عن حركة جسم ما، يجب أن يحتوي على معلومات متعلقة بالمعدل الذي تتغير به السرعة المتجهة للجسم. يسمى المعدل الذي تتغير به السرعة المتجهة للجسم باسم **تسارع** الجسم. من خلال احتواء مخطط الحركة على متجهات التسارع، يمكنك الإشارة إلى معدل تغير السرعة المتجهة.

يعرض **الشكل 3** مخطط حركة جسيمات لجسم ذي سرعة متجهة متزايدة. لاحظ أن أطوال متجهات السرعة المتجهة ذات اللون الأحمر تزداد طولًا من الجانب الأيسر إلى الجانب الأيمن على طول المخطط. يصف الشكل أيضًا كيفية استخدام المخطط لرسم متجه تسارع للحركة. يظهر متجه التسارع الذي يصف السرعة المتجهة المتزايدة باللون البنفسجي على المخطط.

لاحظ في الشكل أنه إذا كان تسارع الجسم ثابتًا، فيمكنك تحديد طول واتجاه متجه التسارع عن طريق طرح متجهي سرعة متتاليين وقسمة الناتج على الفترة الزمنية. ويعني هذا أن تجد أولًا التغير في السرعة المتجهة، $\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i = \boldsymbol{v}_f + (-\boldsymbol{v}_i)$ حيث يشير $\boldsymbol{v}_i$ و $\boldsymbol{v}_f$ إلى السرعات المتجهة عند بداية الفترة الزمنية المحدّدة ونهايتها. ثم اقسم على الفترة الزمنية (Δt). الفترة الزمنية بين كل نقطة موجودة في **الشكل 3** تساوي 1s. يمكنك رسم متجه التسارع من نهاية متجه السرعة المتجهة النهائية إلى طرف متجه السرعة المتجهة الابتدائية.



الشكل 3: بالنسبة إلى التسارع الثابت، يشير متجه التسارع في مخطط نموذج الجسيم إلى الفرق بين متجهي السرعة المتجهة مقسومًا على الفترة الزمنية: $\boldsymbol{a} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$.

حلّل هل يمكنك رسم متجه تسارع لمتجهي سرعة متتاليين لهما الطول والاتجاه أنفسهما؟ اشرح.

أولًا، ارسم v_f. وأدناه، ارسم v_i مع جعل بداية السهم بمحاذاة ذيل المتجه v_f.

ثانيًا، ارسم المتجه Δv من بداية السهم v_f وحتى نهاية متجه v_i. ويساوي متجه التسارع **a** المتجه Δv مقسوما على الفترة الزمنية.

تعريف الألوان

التسارع ← بنفسجي
السرعة المتجهة ← أحمر

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

اتجاه التسارع

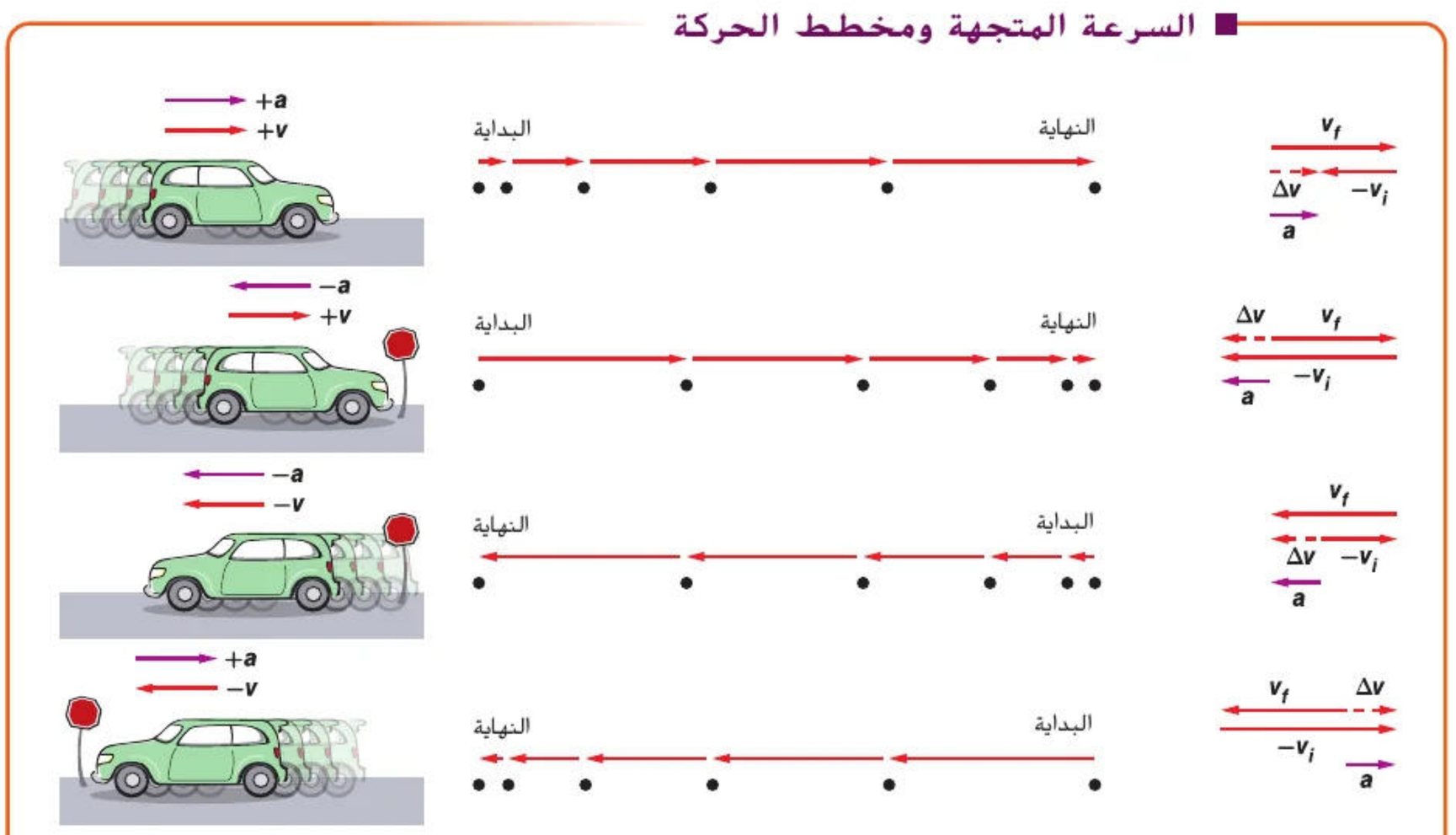
تأمل الحالات الأربع الموضحة في **الشكل 4** حيث يستطيع الجسم أن يتحرك بسرعة متغيرة. ويوضح مخطط الحركة الأول تحرك السيارة في الاتجاه الموجب وازدياد سرعتها. ويوضح مخطط الحركة الثاني تحرك السيارة في الاتجاه الموجب وتناقص سرعتها. كما يوضح مخطط الحركة الثالث ازدياد سرعة السيارة في الاتجاه السالب. ويوضح المخطط الرابع تناقص سرعة السيارة أثناء تحركها في الاتجاه السالب. ويبيّن الشكل أيضًا متجهات السرعة المتجهة خلال الفترة الزمنية الثاني لكل مخطط، مع متجهات التسارع المطابقة. لاحظ أن Δt تساوي 1s.

في الحالتين الأولى والثالثة، عندما تزداد سرعة السيارة، تشير متجهات السرعة المتجهة والتسارع إلى الاتجاه نفسه. أما في الحالتين الأخريين، عندما يكون متجه التسارع في الاتجاه المعاكس لمتجهات السرعة المتجهة، فإن السيارة تقل سرعتها. بمعنى آخر، عندما يكون تسارع السيارة وسرعتها المتجهه في نفس الاتجاه فإن سرعة السيارة تزداد بينما تتناقص سرعة السيارة عندما يكونان في اتجاهين متضادين.

تحتاج إلى معرفة كل من اتجاه السرعة المتجهة للجسم واتجاه تسارعه لتحديد ما إذا كانت سرعة الجسم تزيد أم تقل. ويكون تسارع الجسم موجبًا عندما يكون متجه التسارع في الاتجاه الموجب ويكون سالبًا عندما يكون متجه التسارع في الاتجاه السالب. لذلك من المهم ملاحظة أن إشارة التسارع وحدها لا تحدد ما إذا كانت سرعة الجسم تزيد أم تقل.

تأكد من فهمك **صِف** حركة الجسم إذا كانت متجهات سرعته المتجهة وتسارعه لها إشارات متضادة.

الشكل 4 تحتاج إلى معرفة اتجاه كل من السرعة المتجهة ومتجهات التسارع لكي تحدد ما إذا كانت سرعة الجسم تزيد أم تقل.



السرعة المتجهة	Δv	a
تزداد	في الاتجاه الموجب	في الاتجاه الموجب
تتناقص	في الاتجاه السالب	في الاتجاه السالب
تزداد	في الاتجاه السالب	في الاتجاه السالب
تتناقص	في الاتجاه الموجب	في الاتجاه الموجب

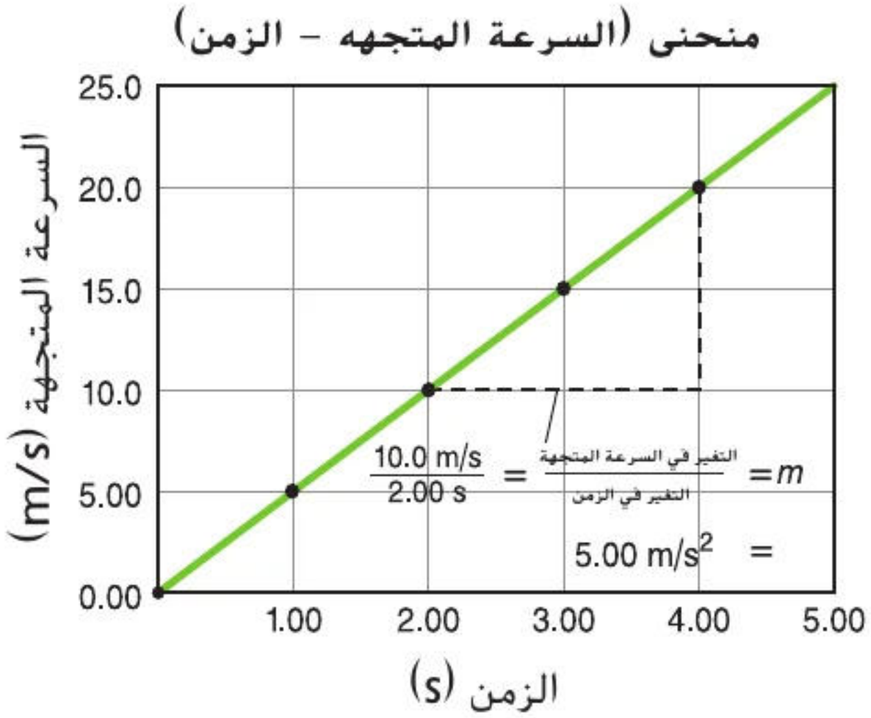
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الرسوم البيانية للسرعة المتجهة – الزمن

كما كان من المفيد رسم منحنى (الموقع – الزمن)، فمن المفيد أيضًا رسم منحنى (السرعة المتجهه – الزمن). على **منحنى (السرعة المتجهه – الزمن)** أو الرسم البياني v-t، تُعيّن السرعة المتجهة على المحور الرأسي ويُعيّن الزمن على المحور الأفقي.

الميل يوضح **الشكل 5** منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) لسيارة بدأت الحركة من وضع السكون وازدادت سرعتها على طول طريق مستقيم. حيث وقع الاختيار على الاتجاه الموجب ليكون اتجاه حركة السيارة نفسه. لاحظ أن الرسم البياني عبارة عن خط مستقيم. ويعني هذا أن السيارة تزداد سرعتها بمعدل ثابت. ويمكن إيجاد المعدل الذي تغيرت به السرعة المتجهة للسيارة عن طريق حساب ميل منحنى (السرعة المتجهه – الزمن).

يوضح الرسم البياني أن الميل يساوي 5,00 (m/s)/s، التي تكتب عادة $5\ m/s^2$ للفترة الزمنية الواقعة بين 4,00 s و 5,00 s ، تجد عند 4,00 s أن السرعة المتجهة للسيارة كانت 20,0 m/s في الاتجاه الموجب. وعند 5,00 s، كانت السيارة تتحرك بسرعة 25,0 m/s في الاتجاه نفسه. ولذلك، عند 1,00 s، زادت السرعة المتجهة للسيارة بمقدار 5,0 m/s في الاتجاه الموجب. عندما تتغير السرعة المتجهة للجسم بمعدل ثابت يكون تسارعه ثابتًا.



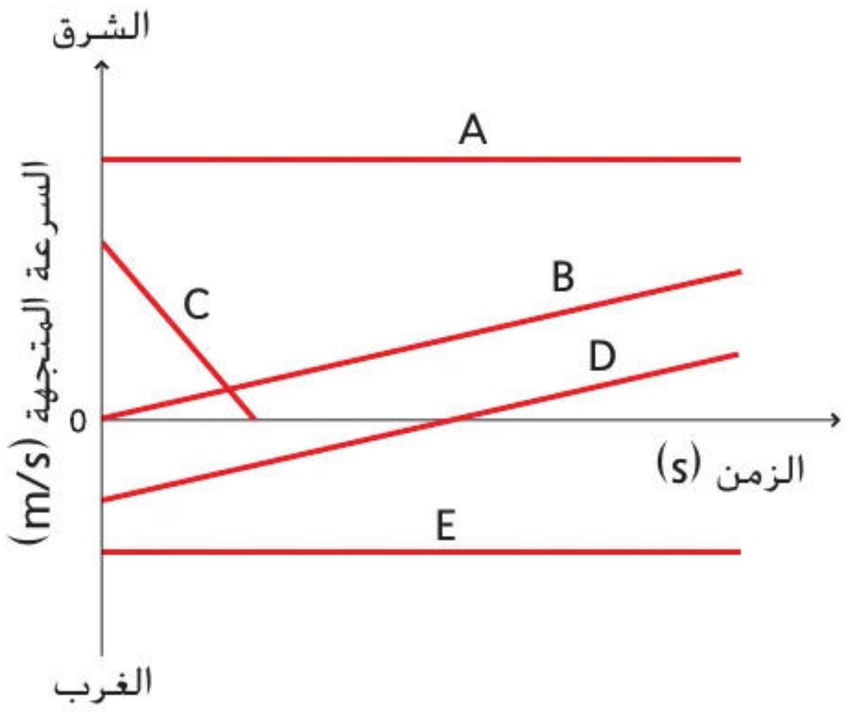
الشكل 5 يمكنك تحديد التسارع من منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) بحساب ميل البيانات. يمثل الميل نسبة الارتفاع مقسومة على التغير في الإحداثي *x* (التغير في الزمن) باستخدام نقطتين على المنحنى (الخط المستقيم).

قراءة منحنى (السرعة المتجهه– الزمن) يعرض **الشكل 6** حركات خمسة عدائين. افترض أن الاتجاه الموجب في اتجاه الشرق.إنّ ميل الرسمين البيانيَّين (A) و(E) صفرًا. ومن ثمّ، فإن تسارع كل منهما يساوي صفرًا. يوضح كلا الرسمين البيانيين الحركة بسرعة متجهة ثابتة — العداء (A) يتجه شرقًا والعداء (E) يتجه غربًا. كما يوضح الرسم البياني (B) وجود حركة بسرعة متجهة موجبة شرقًا. ويشير ميله إلى وجود تسارع موجب وثابت. يمكنك استنتاج أن السرعة تزداد لأن السرعة المتجهة والتسارع موجبان. الرسم البياني (C) له ميل سالب. ويوضح الحركة التي تبدأ بسرعة متجهة موجبة وتقل ثم تتوقف. ويعني هذا أن التسارع والسرعة المتجهة في اتجاهين متعاكسين. وتوضح النقطة التي يتقاطع عندها الرسمان البيانيان (C) و(B) أن سرعتي العدائين متساوية عند ذلك الزمن. ولكن هذه النقطة لا تحدد مواقعهم.

يشير الرسم البياني (D) إلى الحركة التي تبدأ باتجاه الغرب وتتباطأ وللحظة معينة تصبح سرعته المتجهة صفرًا ثم يتحرك شرقًا بسرعة متزايدة. ويتميز الرسم البياني (D) بميل موجب. نظرًا لأن السرعة المتجهة والتسارع في اتجاهين متعاكسين منذ البداية، تتناقص السرعة إلى صفر عند الزمن الذي يتقاطع فيه الرسم البياني مع المحور *x*. بعد ذلك الزمن، تصبح السرعة المتجهة والتسارع في الاتجاه نفسه وتزداد السرعة.

تأكد من فهمك صِف معنى تقاطع خط مع المحور *x* في منحنى (السرعة المتجهه – الزمن).

منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) لخمسة عدائين



الشكل 6 نظرًا لاختيار الشرق كاتجاه موجب على الرسم البياني، فإن السرعة المتجهة تكون موجبة إذا كان الخط فوق المحور الأفقي وسالبة إذا كان الخط أسفل المحور. يكون التسارع موجبًا إذا كان الخط مائلًا لأعلى على الرسم البياني. يكون التسارع سالبًا إذا كان الخط مائلًا لأسفل على الرسم البياني. يشير الخط الأفقي إلى سرعة متجهة ثابتة وتسارعًا يساوي صفرًا.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تجربة مصغرة

سباق الكرة الفولاذية هل يؤثر ارتفاع المنحدر في حركة كرة تتدحرج أسفل المنحدر؟

مختبر الفيزياء

التسارع كيف يمكنك استخدام قياسات الحركة لحساب تسارع كرة متدحرجة؟

حركة الكرة المقذوفة

تجربة برمجيات المجسات كيف يبدو الرسم البياني لكرة مقذوفة لأعلى؟

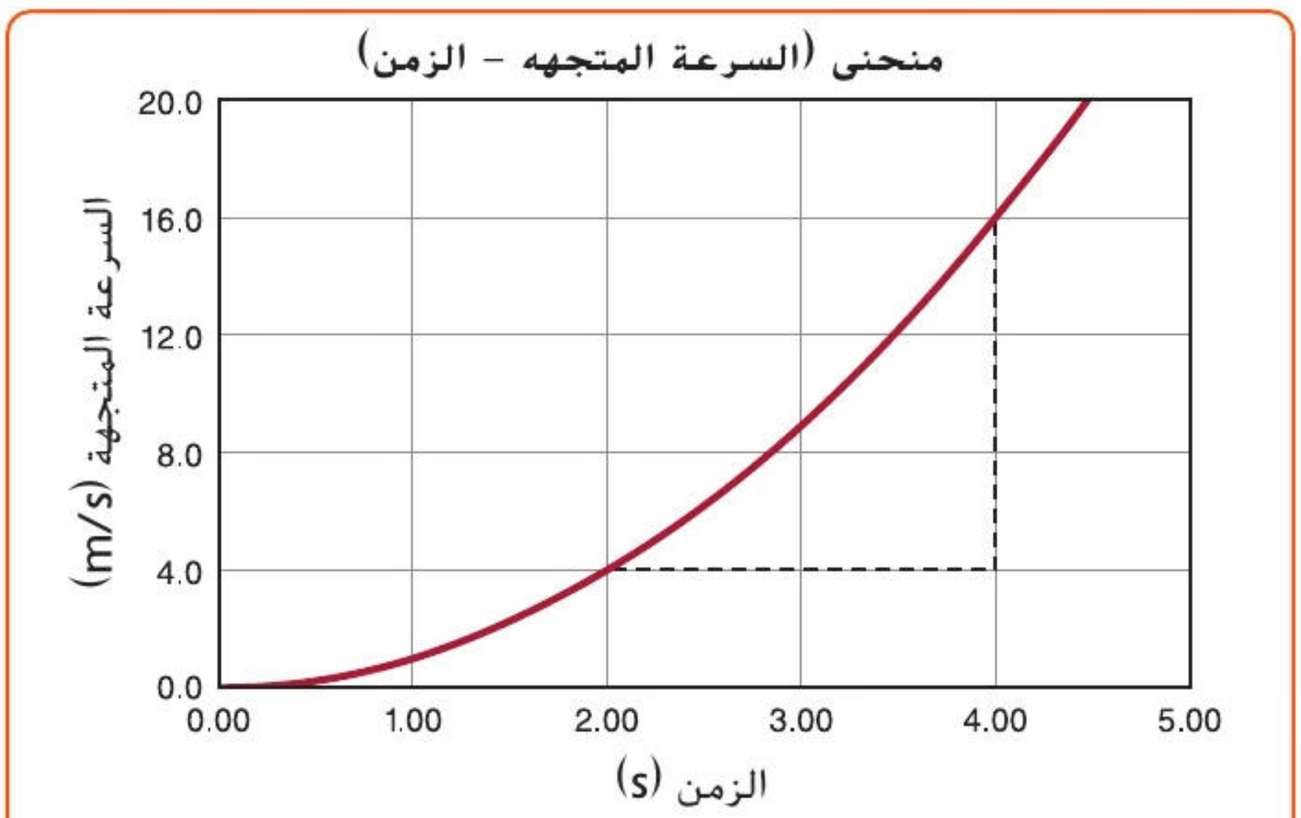
التسارع المتوسط والتسارع اللحظي

كيف تشعر باختلاف إذا كانت السيارة التي تقودها تتسارع قليلًا أو تتسارع كثيرًا. كما هو الحال مع السرعة المتجهة، يتغيّر تسارع معظم الأجسام المتحركة باستمرار. إذا كنت تريد أن تصف تسارع جسم ما، فغالبًا ما يكون أكثر ملاءمة أن تصف التغير الكلي في السرعة المتجهة خلال فترة زمنية معينة بدلًا من وصف التغيير المستمر.

يشير **التسارع المتوسط** لجسم ما إلى تغير سرعته المتجهة خلال فترة زمنية قابلة للقياس مقسومًا على تلك الفترة الزمنية. ويُقاس التسارع المتوسط بالأمتار لكل ثانية في كل ثانية (m/s/s) أو ببساطة يقاس بالأمتار لكل ثانية مربعة (m/s^2). قد تزيد السيارة من سرعتها سريعًا في بعض الأوقات وتصبح أكثر بطئًا في بعض الأوقات. كما أن السرعة المتوسطة تعتمد على الإزاحة عند بداية الحركة ونهايتها، يعتمد التسارع المتوسط فقط على السرعة المتجهة عند بداية الحركة ونهايتها خلال فترة زمنية معينة. يوضح **الشكل 7** رسمًا بيانيًا لحركة يتغير فيها التسارع. يُحدد التسارع المتوسط خلال فترة زمنية معينة مثلما هو موضح تمامًا في **الشكل 5** بالنسبة إلى التسارع الثابت. ومع ذلك، لاحظ أنه نظرًا لانحناء الخط، يختلف التسارع المتوسط في هذا الرسم البياني اعتمادًا على الفترة الزمنية التي تختارها.

يسمى التغيّر في السرعة المتجهة للجسم في لحظة من الزمن **التسارع اللحظي**. يمكنك تحديد التسارع اللحظي لجسم ما عن طريق رسم خط مماس على الرسم البياني لمنحنى (السرعة المتجهه – الزمن) عند النقطة الزمنية التي تريد تحديد السرعة عندها. يساوي ميل هذا الخط التسارع اللحظي. معظم الحالات المدروسة في هذا الكتاب المدرسي تفترض حالة مثالية للتسارع الثابت. عندما يكون التسارع واحدًا في جميع النقاط خلال فترة زمنية معينة، يتساوى التسارع المتوسط والتسارع اللحظي.

☑ **تأكد من فهمك** ما أوجه الاختلاف بين التسارع اللحظي والتسارع المتوسط؟



الشكل 7 يبين الخط المنحني على منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) أن التسارع يتغير. يشير الميل إلى التسارع المتوسط خلال الفترة الزمنية التي تختارها.

احسب كم يبلغ مقدار التسارع المتوسط بين 0.00 s و2.00 s؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

حساب التسارع

كيف يمكنك وصف تسارع جسم ما رياضيًا؟ تذكر أن تسارع جسم ما يساوي منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) لهذا الجسم. الميل يساوي $\Delta v/\Delta t$.

التسارع المتوسط يُعرف التسارع المتوسط بأنه التغير في السرعة المتجهة مقسومًا على الزمن المطلوب لإجراء ذلك التغير.

$$a \equiv \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

التسارع اللحظي يساوي التسارع المتوسط عندما يكون التغير في السرعة منتظماً. عندها يطلق على التسارع (التسارع المنتظم)

افترض أنك جريت بأقصى سرعة ذهابًا وإيابًا عبر صالة رياضية. حيث بدأت الجري بسرعة 4.0 m/s في اتجاه الجدار. وبعد مرور 10.0 s بلغت سرعتك 4.0 m/s وأنت تبتعد عن الجدار. ما تسارعك المتوسط إذا كان الاتجاه الموجب نحو الجدار؟

$$\bar{a} \equiv \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

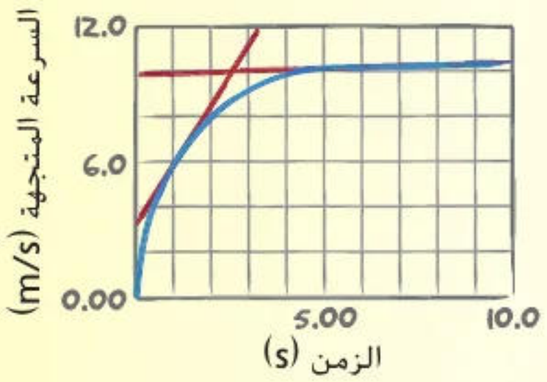
$$= \frac{-4.0\ \text{m/s} - 4.0\ \text{m/s}}{10.0\ \text{s}} = -0.80\ \text{m/s}^2$$

مثال 1

السرعة المتجهة والتسارع كيف تصف السرعة المتجهة للعداء وتسارعه كما هو موضح في الرسم البياني؟

1 تحليل المسألة ورسم مخطط لها من الرسم البياني، لاحظ أن مقدار السرعة المتجهة للعداء يبدأ من الصفر ويزيد بسرعة في الثواني القليلة الأولى ثم يظل ثابتًا تقريبًا بعد أن تبلغ السرعة نحو 10.0 m/s.

المعلوم	المجهول
v = متغير	a = ?



2 إيجاد المجهول

ارسم خطوط مماس للمنحنى عند نقطتين. اختر $t = 1.00$ s و $t = 5.00$ s.

حل لإيجاد مقدار التسارع عند: 1.00 s

$$a = \frac{\text{التغيّر في السرعة المتجهة}}{\text{التغير في الزمن}}$$

$$= \frac{10.0\ \text{m/s} - 6.0\ \text{m/s}}{2.4\ \text{s} - 1.00\ \text{s}}$$

$$= 2.9\ \text{m/s/s} = 2.9\ \text{m/s}^2$$

► ميل المماس عند 1.00 s يساوي التسارع عند ذلك الزمن.

حل لإيجاد مقدار التسارع اللحظي عند: 5.0 s

$$a = \text{ميل المماس} = \frac{\text{التغير في السرعة المتجهه}}{\text{التغير في الزمن}}$$

$$= \frac{10.3\ \text{m/s} - 10.0\ \text{m/s}}{10.0\ \text{s} - 0.00\ \text{s}}$$

$$= 0.030\ \text{m/s/s} = 0.030\ \text{m/s}^2$$

► ميل المماس عند 5.0 s يساوي التسارع عند ذلك الزمن.

التسارع غير ثابت لأن مقداره يتغير من $2.9\ \text{m/s}^2$ عند 1.0 s إلى $0.030\ \text{m/s}^2$ عند 5.0 s.

التسارع في الاتجاه الذي وقع عليه الاختيار ليكون هو الاتجاه الموجب نظرًا لأن كلتا القيمتين موجبة.

3 تقييم الإجابة

هل الوحدات صحيحة؟ يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تطبيقات

1. الرسم البياني للسرعة المتجهة – الزمن في **الشكل 8** يصف حركة حمد وهو يسير على طريق القرية العالمية بدبي. ارسم مخطط الحركة. أدرج متجهات السرعة المتجهة في مخططك.

2. استخدم الرسم البياني v-t للعبة القطار الموضح في **الشكل 9** للإجابة عن هذه الأسئلة.

a. متى تكون سرعة القطار ثابتة؟

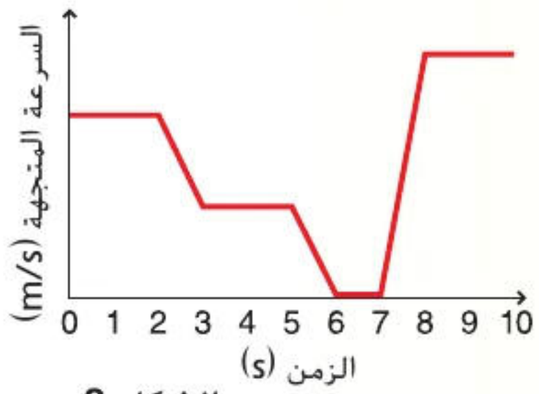
b. خلال أي فترة زمنية يكون تسارع القطار موجبًا؟

c. متى يكون تسارع القطار سلبيًا لأقصى درجة؟

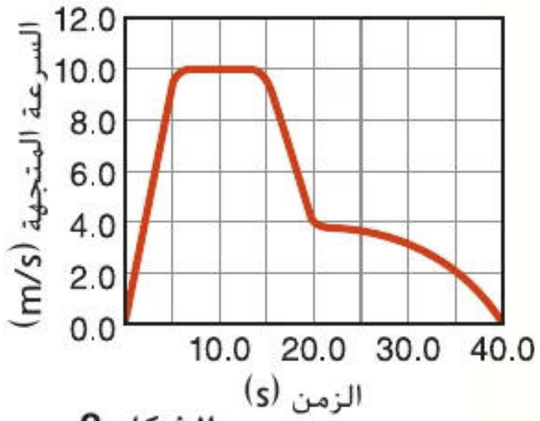
3. راجع **الشكل 9** لإيجاد التسارع المتوسط للقطار خلال الفترات الزمنية التالية.

a. 0.0 s إلى 5.0 s **b.** 15.0 s إلى 20.0 s **c.** 0.0 s إلى 40.0 s

4. تحدي صمّم الرسم البياني v-t الذي يمثل الحركة التالية: مصعد يبدأ الحركة من وضع السكون عند الطابق الأرضي في مركز تسوق مكون من ثلاثة طوابق، ثم تزيد سرعته لأعلى لمدة 2.0 s بمعدل $0.5\ m/s^2$ ويستمر في الصعود بسرعة متجهة ثابتة قدرها 1.0 m/s لمدة 12.0 s ثم تقل سرعته بتسارع ثابت لأسفل بمقدار $0.25\ m/s^2$ لمدة 4.0 s حتى يصل إلى الطابق الثالث.



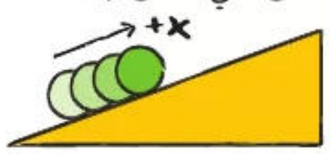
الشكل 8



الشكل 9

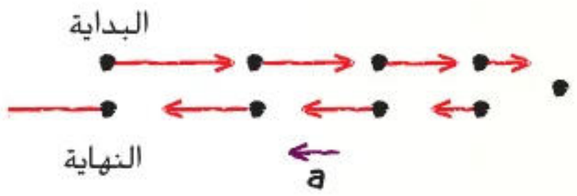
مثال 2

التسارع صِف حركة الكرة أثناء تدحرجها صعودًا على طريق مائل. حيث تبدأ الحركة بسرعة 2.50 m/s وتقل سرعتها لمدة 5.00 s وتقف للحظة ثم تتدحرج لأسفل. تم اختيار الاتجاه الموجب ليكون نحو أعلى الطريق المائل. نقطة الأصل هي مكان بدء الحركة. فما إشارة ومقدار تسارع الكرة عندما تتدحرج صعودًا على الطريق؟



1 تحليل المسألة

- ارسم مخططًا للموقف.
- ارسم منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) اعتمادًا على مخطط الحركة.



المعلوم	المجهول
$v_i = +2.50\ m/s$	$a = ?$
$v_f = 0.00\ m/s$ عندما $t = 5.00\ s$	

2 إيجاد المجهول

أوجد مقدار التسارع من ميل الرسم البياني.

أوجد التغيّر في السرعة المتجهة والزمن اللازم لإجراء هذا التغير.

$$\Delta v = v_f - v_i$$

$$= 0.00\ m/s - 2.50\ m/s = -2.50\ m/s$$

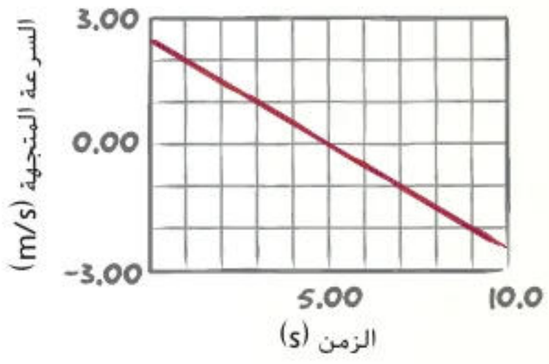
$$\Delta t = t_f - t_i$$

التعويض ◄ $= 5.00\ s - 0.00\ s = 5.00\ s$ $v_f = 0.00 m/s$ عندما $t_f = 5.00\ s$، $v_i = 2.50 m/s$ عندما $t_i = 0.00\ s$.

أوجد مقدار التسارع.

التعويض ◄ $\bar{a} \equiv \frac{\Delta v}{\Delta t} = (-2.50\ m/s) / 5.00\ s$ $t_f = 5.00\ s$، $t_i = 0.00\ s$.

التعويض ◄ $= -0.500\ m/s^2$ أو $0.500\ m/s^2$ أسفل الطريق $\Delta t = 5.00\ s, \Delta v = -2.50\ m/s$.



3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التسارع بوحدة m/s^2.
- **هل للاتجاهات معنى؟** عندما تقل سرعة الكرة، يكون اتجاه التسارع عكس اتجاه السرعة المتجهة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تطبيقات

5. تزيد سيارة سباق من سرعتها المتجهة للأمام من 4.0 m/s إلى 36 m/s على مدار فترة زمنية مقدارها 4.0 s. ما تسارعها المتوسط؟

6. تقل سرعة سيارة السباق الواردة في المسألة السابقة من 36 m/s إلى 15 m/s خلال 3.0 s. فما تسارعها المتوسط؟

7. تسير حافلة باتجاه الغرب بسرعة 25 m/s وعندما يضغط السائق على الفرامل تتوقف الحافلة بعد 3.0 s.

a. ما التسارع المتوسطة للحافلة أثناء الضغط على الفرامل؟

b. إذا استغرقت الحافلة ضعف الزمن السابق لتتوقف، فكيف تقارن التسارع الحالي مع التسارع الذي وجدته في الفرع a؟

8. تتحرك سيارة إلى الخلف على منحدر بسرعة 3.0 m/s عندما يبدأ السائق تشغيل المحرك. وبعد مرور 2.5 s تتحرك السيارة أعلى المنحدر بسرعة 4.5 m/s. في حالة اختيار اتجاه أعلى المنحدر كاتجاه موجب، ما التسارع المتوسط للسيارة؟

9. كان سلطان يعدو باتجاه الشرق نحو موقف الحافلات بسرعة 3.5 m/s عندما نظر إلى ساعته فلاحظ أن لديه متسعًا من الزمن قبل أن تصل الحافلة. فأبطأ سرعة عدوه خلال 10.0 s التالية ليسير على مهل بسرعة 0.75 m/s. ما تسارعه المتوسط خلال هذه الفترة التي تبلغ 10.0 s؟

10. **تحفيز** إذا تباطأ معدل الانحراف القاري على نحو مفاجئ من 1.0 cm/y إلى 0.5 cm/y خلال فترة زمنية مقدارها سنة، فكم يكون التسارع المتوسط؟

التسارع لحركة جسم بسرعة ثابتة مقدارًا

فكر مرة أخرى في الجري بأقصى سرعة عبر الصالة الرياضية. لاحظ أن سرعتك تظل كما هي أثناء تحركك باتجاه جدار الصالة الرياضية وأثناء تحركك بعيدًا عنه. في كلتا الحالتين، أنت تجري بسرعة 4.0 m/s. كيف يمكن أن يحدث لك تسارع؟

يمكن أن يحدث التسارع حتى عندما تكون السرعة ثابتة. التسارع المتوسط للجولة الكاملة التي تقوم بها باتجاه جدار الصالة الرياضية والرجوع منه مرة أخرى يساوي $0.80\ m/s^2-$. تشير الإشارة السالبة إلى أن اتجاه تسارعك بعيد عن الجدار لأن اتجاه الجدار وقع عليه الاختيار ليكون هو الاتجاه الموجب. وتتغير السرعة المتجهة من موجبة إلى سالبة عندما يتغير اتجاه الحركة. يؤدي تغير السرعة المتجهة إلى التسارع. ومن ثمَّ، فقد يكون التسارع أيضًا مرتبطًا بتغير اتجاه الحركة.

تأكد من فهمك **اشرح** كيف يمكن لجسم ما أن يتسارع عندما يتحرك بسرعة ثابتة.

القسم 1 مراجعة

11. **الفكرة الرئيسة** ما الطرق الثلاث التي يمكن أن يتسارع بها جسم ما؟

12. **رسومات بيانية للموقع – الزمن والسرعة المتجهة – الزمن** عدّاءان يركضان بسرعة متجهة ثابتة مقدارها 7.5 m/s شرقًا. **يوضح الشكل 10** مواقع العدائين عند زمن $t = 0$.

a. ما الاختلاف (الاختلافات) الموجود في رسومات الموقع – الزمن الخاصة بحركتهم؟

b. ما الاختلاف (الاختلافات) الموجود في رسومات السرعة المتجهة – الزمن الخاصة بهم؟

الشكل 10

13. **رسم بياني للسرعة المتجهه – الزمن:** صمّم رسمًا بيانيًا للسرعة المتجهة – الزمن لسيارة تتحرك شرقًا بسرعة 25 m/s لمدة 100 s ثم غربًا بسرعة 25 m/s لمدة 100 s أخرى.

14. **السرعة المتجهه والتسارع المتوسط:** يجدّف راكب القارب ضد التيار بسرعة متجهة تبلغ 2.0 m/s لمدة 4.0 s ثم يطفو باتجاه التيار بسرعة 4.0 m/s لمدة 4.0 s.

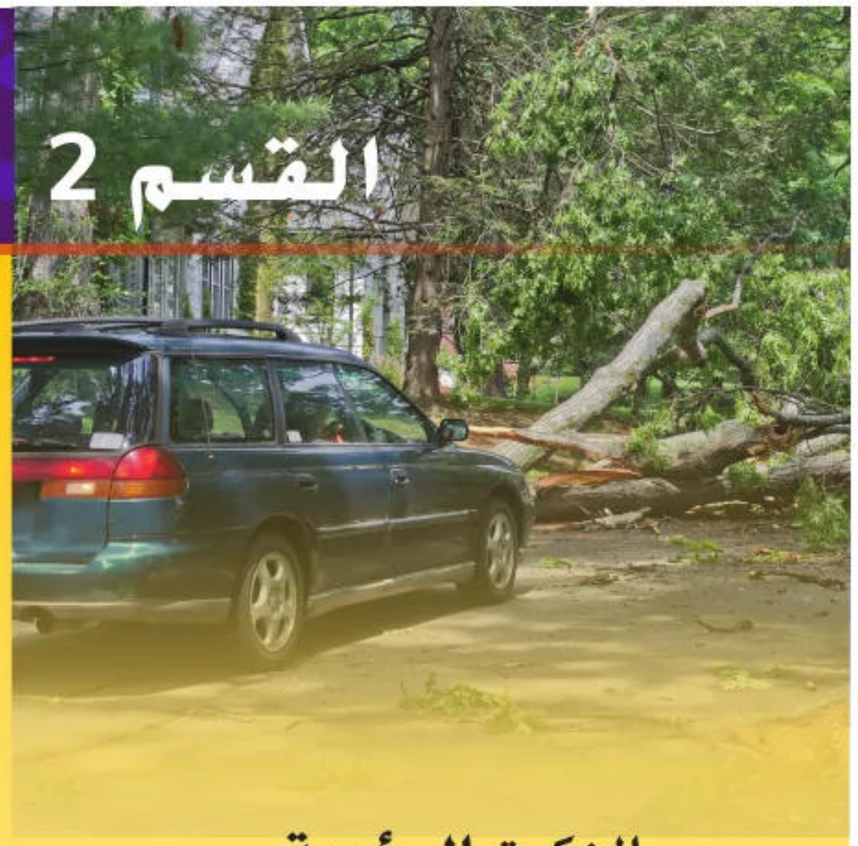
a. ما السرعة المتجهة المتوسطة للقارب خلال فترة زمنية مدتها 8.0 s؟

b. ما التسارع المتوسط للقارب خلال فترة زمنية مدتها 8.0 s؟

15. **التفكير الناقد** سجل ضابط شرطة مخالفة لسائق تجاوز حد السرعة المسموح به بمقدار 32 km/h لحظة تجاوز السائق لسيارة تتحرك بسرعة أقل. وعندما أوقف الضابط السيارة، زعم السائق أن السائق الآخر يجب أن يحصل على مخالفة هو الآخر. قال السائق إنه من المؤكد أن السيارتين كانتا تسيران بالسرعة نفسها نظرًا لأنهما لُوحِظَا بجانب بعضهما. هل كان السائق على صواب؟ اشرح ذلك بإعداد رسم ومخطط للحركة.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

القسم 2 الحركة بتسارع ثابت



الفيزياء في حياتك

لنفترض أن سيارة تتحرك على طريق وفجأة رأى سائقها شجرة ساقطة تقطع الطريق أمامه. هل سيتمكن السائق من إيقاف السيارة في الوقت المناسب؟ يعتمد الأمر بالكامل على قدرة فرامل السيارة على اكساب السيارة تسارعاً في الاتجاه المعاكس لحركتها.

الفكرة الرئيسة

بالنسبة إلى جسم ذي تسارع ثابت، يمكن وصف العلاقات بين الموقع والسرعة المتجهة والتسارع والزمن من خلال الرسومات البيانية والمعادلات.

الأسئلة الرئيسة

- ما شكل الرسم البياني للموقع – الزمن والسرعة المتجهة – الزمن الخاص بالحركة بتسارع ثابت؟
- كيف يمكنك تحديد إزاحة جسم متحرك من خلال الرسم البياني لسرعته المتجهة – الزمن؟
- ما العلاقات التي تربط بين الموقع والسرعة المتجهة والتسارع والزمن؟

مراجعة المفردات

الإزاحة تغيُّر في الموقع بمقدار وفي اتجاه معين؛ تساوي الموقع النهائي مطروحًا منه الموقع الابتدائي.

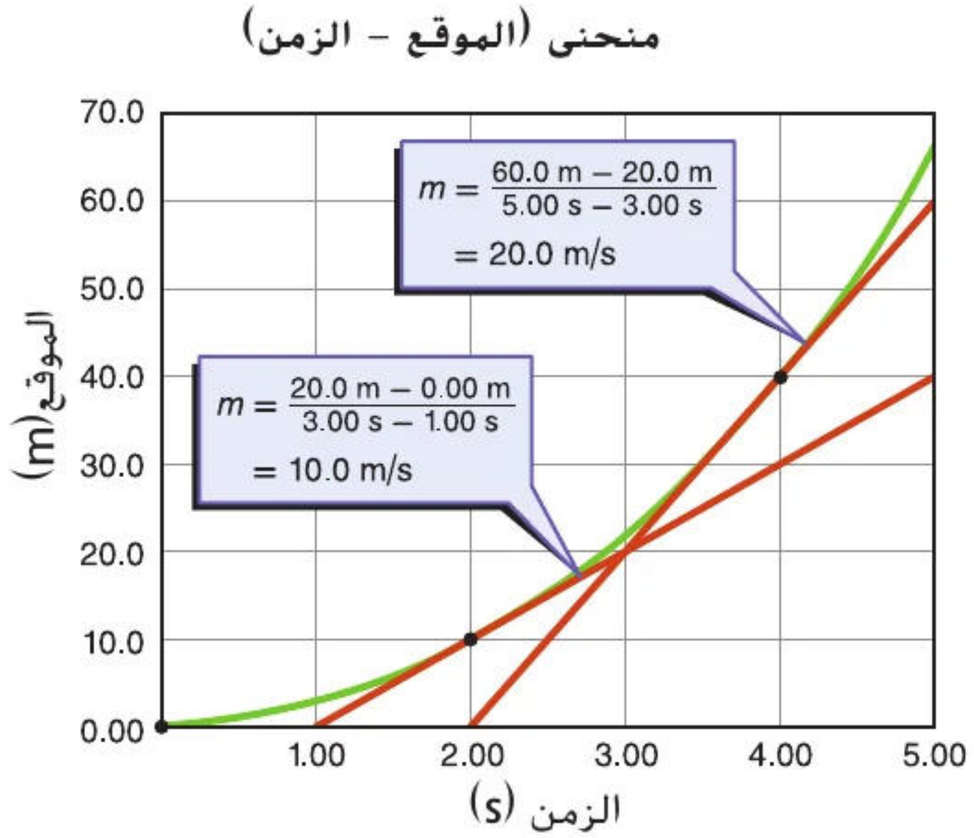
الموقع مع التسارع الثابت

إذا تحرك جسم ما بتسارع ثابت، تتغير سرعته المتجهة بمعدل ثابت. كيف يتغير موقعه؟ يعرض **الشكل 11** رسومات بيانية لمواقع سيارة ذات تسارع ثابت في أزمنة مختلفة. يوضح الرسم البياني أن حركة السيارة غير منتظمة، حيث تزداد شيئًا فشيئاً الإزاحة خلال الفترات الزمنية المتساوية على الرسم البياني باستمرار. نتيجة لذلك، يزداد انحدار ميل الخط في **الشكل 11** مع مرور الزمن. بالنسبة إلى جسم يتحرك بتسارع ثابت، يأخذ الرسم البياني للموقع – الزمن شكل القطع المتكافئ.

استُخدمت ميول الرسم البياني للموقع – الزمن في **الشكل 11** لإنشاء الرسم البياني للسرعة المتجهة – الزمن المُوضح جهة اليسار في **الشكل 12**. بالنسبة إلى جسم يتحرك بتسارع ثابت، يأخذ الرسم البياني للسرعة المتجهة – الزمن شكل خط مستقيم.

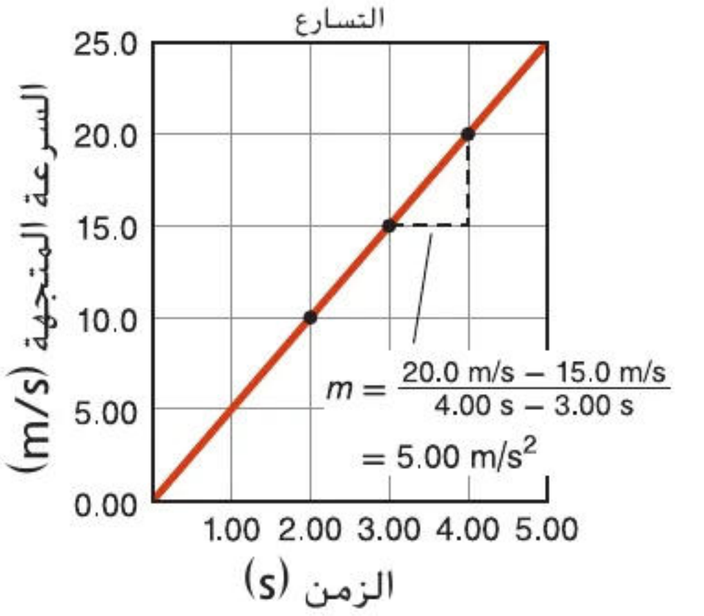
لا يمكن إنشاء رسم بياني فريد للموقع – الزمن باستخدام رسم بياني للسرعة المتجهة – الزمن نظرًا لعدم احتواء الأخير على معلومات عن الموقع. لكنه يحتوي على معلومات عن الإزاحة. تذكّر أن السرعة المتجهة تساوي الإزاحة على الفترة الزمنية بالنسبة لجسم يتحرك بسرعة متجهة ثابتة. ومن ثَمَّ فإن الإزاحة تساوي ناتج ضرب السرعة المتجهة في الفترة الزمنية. في الرسم البياني على اليمين في **الشكل 12** في الصفحة التالية، مساحة المثلث تساوي $v\Delta t$ ($\frac{1}{2}$) أو Δx ، ومن ثَمَّ، فإن المساحة الموجودة أسفل الخط البياني لمنحنى (السرعة المتجهة – الزمن) تساوي الإزاحة.

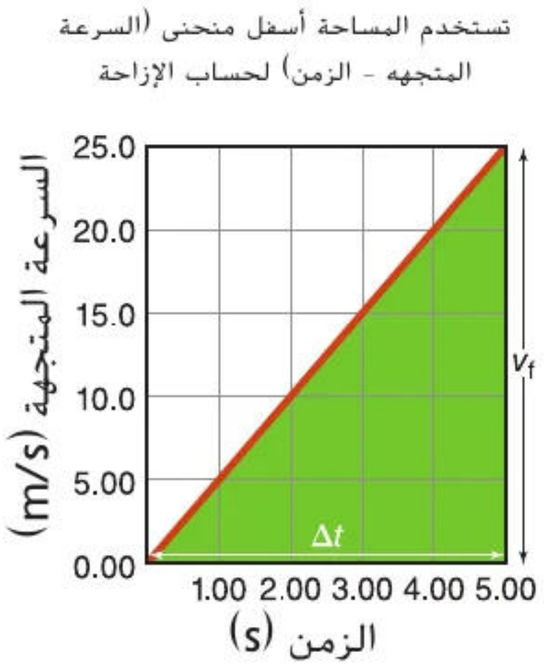
تأكد من فهمك **حدِّد** ما شكل الرسم البياني للموقع - الزمن لجسم يتحرك بتسارع ثابت؟



الشكل 11 يتغير ميل منحنى (الموقع – الزمن) بمرور الزمن بالنسبة إلى جسم ذي تسارع ثابت.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education





الشكل 12 ميول منحنى (الموقع – الزمن) في **الشكل 11** مُوضحة في هذه المنحنيات (السرعة المتجهه – الزمن). يمكن الحصول على التسارع المُوضح جهة اليسار بقسمة نسبة الارتفاع على المسافة الأفقية. يمكن الحصول على الإزاحة المُوضحة جهة اليسار من خلال المساحة أسفل المنحنى.

احسب ما الميل في الرسم البياني للسرعة المتجهة – الزمن جهة اليمين بين $t = 2.00s$ و $t = 5.00s$؟

السرعة المتجهة مع التسارع المتوسط

لقد قرأت أنه يمكن إعادة ترتيب معادلة حساب متوسط السرعة المتجهة جبريًا لمعرفة الموقع الجديد بعد فترة من الزمن، في حالة معرفة الموقع الابتدائي ومتوسط السرعة المتجهة. وبالمثل، يمكن تعديل تعريف التسارع المتوسط لمعرفة السرعة المتجهة الجديدة بعد فترة من الزمن في حالة معرفة السرعة المتجهة الابتدائية والتسارع المتوسط.

إذا كنت تعرف التسارع المتوسط لجسم ما خلال فترة زمنية معينة، فيمكنك استخدامه لتحديد مقدار تغيُّر السرعة المتجهة خلال تلك الفترة الزمنية. يمكنك إعادة كتابة تعريف التسارع المتوسط: $\left(\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$ كالآتي:

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

$$v_f - v_i = \bar{a}\Delta t$$

يمكن كتابة معادلة حساب السرعة المتجهة النهائية مع التسارع المتوسط كالتالي:

السرعة المتجهة النهائية مع التسارع المتوسط

السرعة المتجهة النهائية تساوي السرعة المتجهة الابتدائية مضافًا إليها ناتج ضرب التسارع المتوسط في الفترة الزمنية.

$$v_f = v_i + \bar{a}\Delta t$$

في الحالات التي يكون فيها التسارع ثابتًا، تكون قيمة التسارع المتوسط (a) هي قيمة التسارع اللحظي نفسها (a). يمكن إعادة ترتيب هذه المعادلة لإيجاد الزمن لجسم سرعته المتجهة معلومة ويتحرّك بتسارع ثابت. كما يمكنك استخدامها لحساب السرعة المتجهة الابتدائية لجسم إذا كانت سرعته المتجهة والزمن الذي حدثت فيه معلومتان.

مختبر الفيزياء

قياس التسارع

تجربة برمجيات المجسات ما الذي يوضحه الرسم البياني عن حركة عربة ما؟

تطبيقات

16. تتحرك كرة جولف صعودًا أعلى تل نحو حفرة جولف صغيرة. افترض أن الاتجاه نحو الحفرة هو الاتجاه الموجب.

a. إذا بدأت كرة الجولف حركتها بسرعة 2.0 m/s ثم انخفضت بمعدل ثابت يبلغ $0.50\ m/s^2$. فكم تبلغ سرعتها المتجهة بعد 2.0 s؟

b. ما السرعة المتجهة لكرة الجولف إذا استمر التسارع الثابت لفترة 6.0 s؟

c. صِف حركة كرة الجولف من خلال كلماتك ومخطط للحركة.

17. تتحرك حافلة شرقًا بسرعة 30.0 km/h بتسارع $1.5\ m/s^2$. فكم تبلغ سرعتها المتجهة بعد 6.8 s؟

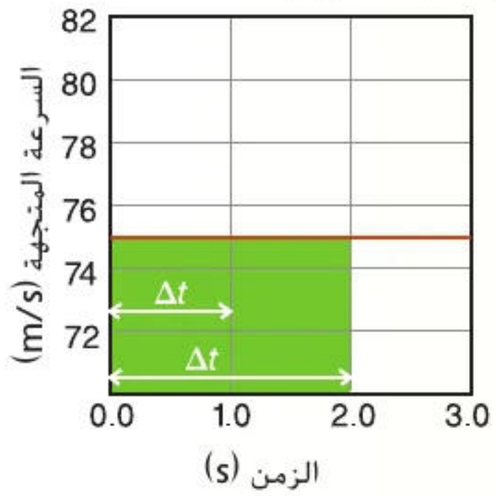
18. إذا تسارعت سيارة من وضع السكون بمعدل ثابت $5.5\ m/s^2$ شمالًا، فكم ستستغرق من الزمن لتصل سرعتها المتجهة إلى 28 m/s شمالًا؟

19. **مسألة تحفيزية** سيارة تنخفض سرعها من 22 m/s إلى 3.0 m/s بمعدل ثابت $2.1\ m/s^2$. فكم ثانية تستغرقها السيارة قبل أن تتحرك بسرعة متجهة للأمام مقدارها 3.0 m/s؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

مثال 3

إيجاد الإزاحة من رسم بياني للسرعة المتجهة – الزمن يوضح منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) على اليسار حركة طائرة ما. أوجد إزاحة الطائرة خلال الفترتين $\Delta t = 1.0s$ و $\Delta t = 2.0s$ بافتراض أن الاتجاه للأمام هو الاتجاه الموجب.



1 تحليل المسألة ورسم مخطط لها

- الإزاحة هي المساحة أسفل الرسم البياني v-t.
- تبدأ الفترات الزمنية عندما $t = 0.0\ s$.

المعلوم	المجهول
$v = +75\ m/s$	$\Delta x = ؟$
$\Delta t = 1.0\ s$	
$\Delta t = 2.0\ s$	

2 إيجاد المجهول

استخدم العلاقة بين الإزاحة والسرعة المتجهة والفترة الزمنية لإيجاد Δx خلال $\Delta t = 1.0\ s$.

$$\Delta x = v\Delta t$$
$$= (+75\ m/s)(1.0\ s)$$ ◄ بالتعويض $v = +75\ m/s$,$\Delta t = 1.0s$
$$= +75\ m$$

استخدم العلاقة نفسها لإيجاد قيمة Δx خلال الفترة $\Delta t = 2.0s$.

$$\Delta x = v\Delta t$$
$$= (+75\ m/s)(2.0\ s)$$ ◄ بالتعويض $v = +75\ m/s$,$\Delta t = 2.0s$
$$= +150\ m$$

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس الإزاحة بالأمتار.
- **هل الإشارات مفهومة؟** الإشارة الموجبة تتماشى مع الرسم البياني.
- **هل هذا المقدار واقعي؟** من المعقول بالنسبة إلى الطائرة أن تتحرك مسافة قريبة من طول ملعب كرة قدم في الثانية الواحدة.

تطبيقات

20. يصف منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) في **الشكل 13** حركة سائقي دراجتين هوائيتين، هما إبراهيم وبسام، اللذان بدأا الحركة من السكون ويتجهان شمالًا مع زيادة سرعتهما بتسارع ثابت. فكم كانت قيمة الإزاحة الكلية لكل سائق دراجة خلال الفترة المُوضحة لكل منهما؟

تلميح: استخدم مساحة المثلث: المساحة = $\left(\frac{1}{2}\right)$ (القاعدة) (الارتفاع).

21. يصف منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) في **الشكل 14** حركة شخصَين، يتحركان جنوبًا على طول مسار مستقيم. ما الإزاحة الكلية لكل شخص خلال الفترة الزمنية 4.0 s المُوضح على الرسم البياني؟

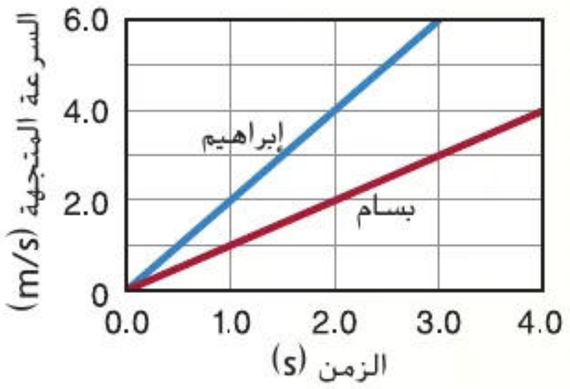
22. مسألة تحفيزية سيارة تدخل في امتداد طريق مستقيم سريع وتسير بتسارع ثابت في اتجاه الغرب تبدأ السرعة من 0 m/s وتصل إلى 25 m/s خلال 12 s.

a. ارسم رسمًا بيانيًا v-t لحركة السيارة.

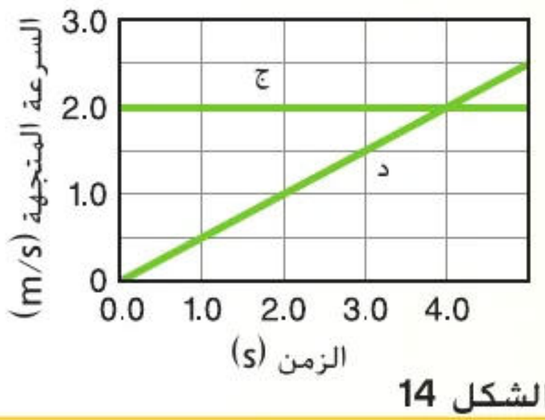
b. استخدم الرسم البياني لتحديد إزاحة السيارة خلال الفترة الزمنية 12.0 s.

c. تسير سيارة أخرى على نفس امتداد الطريق السريع وتقطع المسافة نفسها خلال الزمن نفسه مثل السيارة الأولى ولكن بسرعة متجهة ثابتة. ارسم رسمًا بيانيًا v-t لحركة هذه السيارة.

d. اشرح كيف توصّلت إلى السرعة المتجهة للسيارة.

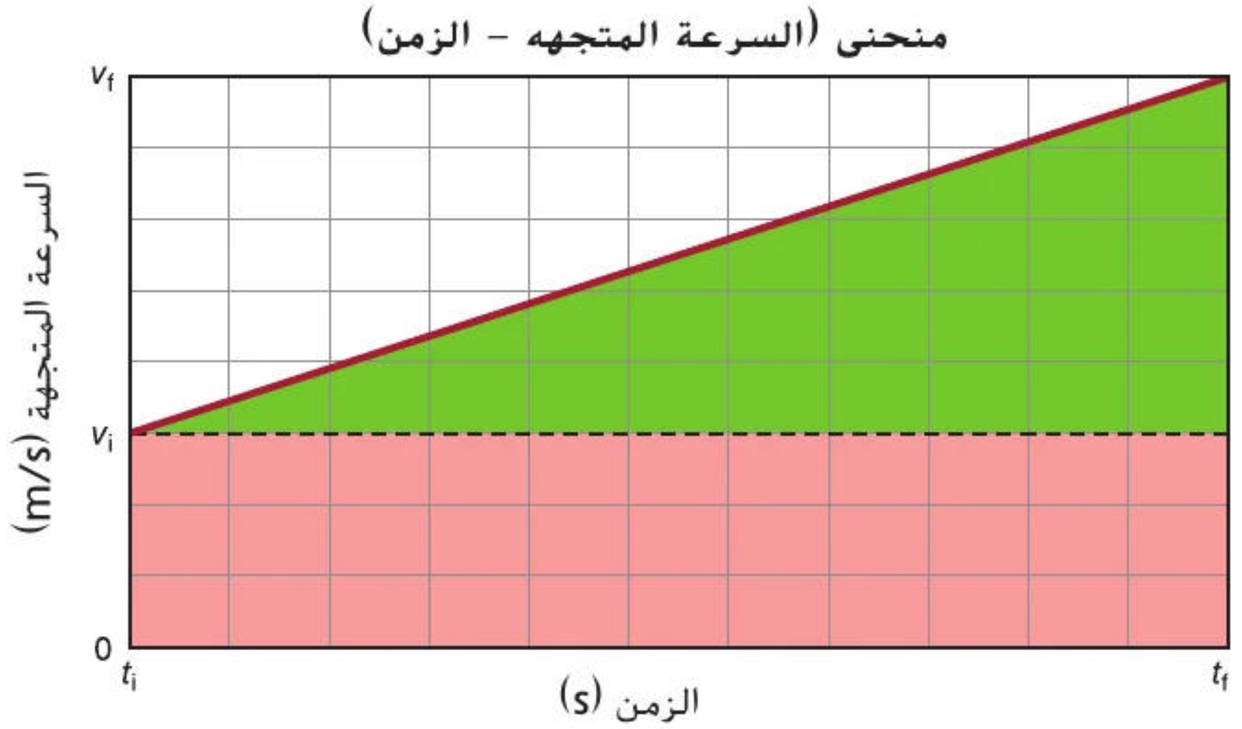


الشكل 13



الشكل 14

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 15 بالنسبة إلى الحركة بتسارع ثابت، إذا كانت السرعة المتجهة الابتدائية في منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) لا تساوي صفرًا، تكون المساحة أسفل منحنى (السرعة المتجهه – الزمن) هي مجموع مساحة المستطيل ومساحة المثلث.

الحركة بسرعة متجهة ابتدائية لا تساوي صفر يصف الرسم البياني في **الشكل 15** تسارعًا ثابتًا بدأ بسرعة متجهة ابتدائية مقداره v_i. لتحديد الإزاحة، يمكنك تقسيم المساحة أسفل الرسم البياني إلى مستطيل ومثلث. ومن ثَمَّ تكون المساحة الكلية كالتالي:

$$\Delta x = \Delta x_{\text{مستطيل}} + \Delta x_{\text{مثلث}} = v_i(\Delta t) + \left(\frac{1}{2}\right)\Delta v \Delta t$$

بالتعويض بـ $a\Delta t$ عن تغير السرعة المتجهة في المعادلة تكون النتيجة:

$$\Delta x = \Delta x_{\text{مستطيل}} + \Delta x_{\text{مثلث}} = v_i(\Delta t) + \left(\frac{1}{2}\right)a(\Delta t)^2$$

عندما يكون الموقع الابتدائي أو النهائي للجسم معروفًا، يمكن كتابة المعادلة كالتالي:

$$x_f - x_i = v_i(\Delta t) + \left(\frac{1}{2}\right)a(\Delta t)^2 \text{ أو } x_f = x_i + v_i(\Delta t) + \left(\frac{1}{2}\right)a(\Delta t)^2$$

إذا كان الزمن الابتدائي $t_i=0$، فعندئذٍ تصبح المعادلة كالتالي.

الموقع مع التسارع المتوسط

الموقع النهائي لجسم ما يساوي مجموع موقعه الابتدائي وناتج ضرب السرعة المتجهة الابتدائية في الزمن النهائي ونصف ناتج ضرب التسارع في مربع الزمن النهائي.

$$x_f = x_i + v_i t_f + \left(\frac{1}{2}\right)a\, t_f^2$$

معادلة بديلة

من المفيد دائمًا الربط بين الموقع والسرعة المتجهة والتسارع الثابت دون تضمين الزمن. أعِد ترتيب المعادلة $v_f = v_i + at_f$ لإيجاد قيمة الزمن: $t_f = \frac{v_f - v_i}{a}$.

يمكنك بعد ذلك إعادة كتابة قيمة الموقع بمعادلة حساب التسارع المتوسط بالتعويض بـ t_f للحصول على ما يلي:

$$x_f = x_i + v_i\left(\frac{v_f - v_i}{a}\right) + \left(\frac{1}{2}\right)a\left(\frac{v_f - v_i}{a}\right)^2$$

يمكن حل هذه المعادلة لإيجاد السرعة المتجهة (v_f) عند أي موقع (x_f).

السرعة المتجهة بتسارع ثابت

مربع السرعة المتجهة النهائية يساوي مجموع مربع السرعة المتجهة الابتدائية ومثلي ناتج ضرب التسارع في الإزاحة خلال الفترة الزمنية.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\,(x_f - x_i)$$

الفيزياء في حياتك

سباق السحب يحاول المتسابق في سباق السحب الوصول إلى أعلى تسارع له على مضمار السباق. أسرع زمن مُسجل لدى الرابطة الوطنية الأمريكية للسيارات المعدلة لسباق 402 m هو 3.771 s. بينما تبلغ أعلى سرعة نهائية مسجلة 145.3 m/s (ما يساوي 324.98 m/ph).

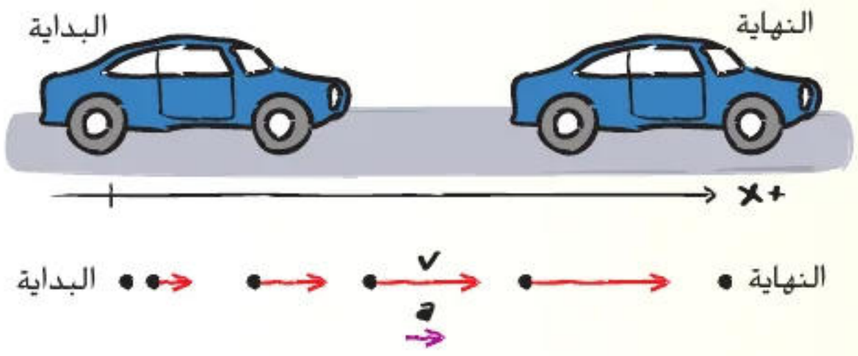
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 4

الإزاحة سيارة تبدأ حركتها من وضع السكون وتزيد سرعتها بمعدل $3.5\ m/s^2$ بعد أن تضيئ إشارة مرور بالضوء الأخضر. ما المسافة التي ستكون قد قطعتها عندما تصل سرعتها إلى $25\ m/s$؟

1 حلِّل المسألة وارسم مخططًا لها

- ارسم مخططًا للموقف.
- أنشئ محاور إحداثية وافترض أن اتجاه اليمين هو الاتجاه الموجب.
- ارسم مخططًا للحركة.



المعلوم

$x_i = 0.00\ m$

$v_i = 0.00\ m/s$

$v_f = +25\ m/s$

$\overline{a} = a = +3.5\ m/s^2$

المجهول

$x_f = ?$

2 إيجاد المجهول

استخدم العلاقة بين السرعة المتجهة والتسارع والإزاحة لإيجاد x_f.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$$

$$x_f = x_i + \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a}$$

بالتعويض $x_i = 0.00\ m$ ، $v_f = +25\ m/s$ ، $v_i = 0.00\ m/s$ ، $a = +3.5\ m/s^2$.

$$= 0.00\ m + \frac{(+25\ m/s)^2 - (0.00\ m/s)^2}{2(+3.5\ m/s^2)}$$

$$= +89\ m$$

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُقاس الموقع بالأمتار.
- **هل الإشارة مفهومة؟** الإشارة الموجبة تتفق مع الرسم التخطيطي.
- **هل هذا المقدار واقعي؟** الإزاحة تعادل طول ملعب كرة قدم تقريبًا. النتيجة معقولة لأن $25\ m/s$ (حوالي $55\ mph$) سرعة كبيرة.

تطبيقات

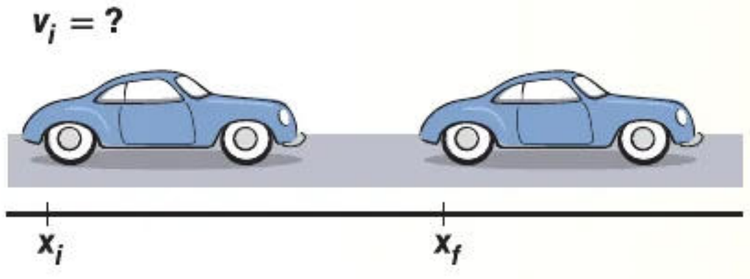
23. يتحرك متزلج على لوح تزلج بسرعة ثابتة $1.75\ m/s$ عندما يبدأ في الصعود على مستوى مائل تتباطأ حركته بمعدل ثابت. $-0.20\ m/s^2$ إحسب الزمن اللآزم لتصل سرعته صفراً حيث عندها يبدأ بالانزلاق لأسفل؟

24. تتحرك سيارة سباق على مضمار سباق مستقيم بسرعة متجهة إلى الأمام تبلغ $44m/s$ وتنخفض بمعدل ثابت لتصل إلى سرعة متجهة $22m/s$ خلال $11\ s$. فما المسافة التي تتحركها خلال هذا الزمن؟

25. تتحرك سيارة بسرعة تزداد بمعدل ثابت يبدأ من $15\ m/s$ ويصل إلى $25m/s$ خلال سيرها مسافة $125\ m$. فكم تستغرق من الزمن للوصول إلى السرعة النهائية؟

26. راكب دراجات يقود دراجته بتسارع ثابت لتصل سرعتها المتجهة شمالًا إلى $7.5\ m/s$ خلال فترة $4.5\ s$. وتبلغ إزاحة الدراجة $19\ m$ شمالًا خلال فترة التسارع. فكم كانت السرعة المتجهة الابتدائية للدراجة؟

27. مسألة تحفيزية تتحرك السيارة المُوضحة في **الشكل 16** غربًا بتسارع للأمام يبلغ $0.22\ m/s^2$. كم كانت السرعة المتجهة للسيارة (v_i) عند النقطة x_i إذا كانت تقطع مسافة $350m$ خلال $18.4\ s$؟



الشكل 16

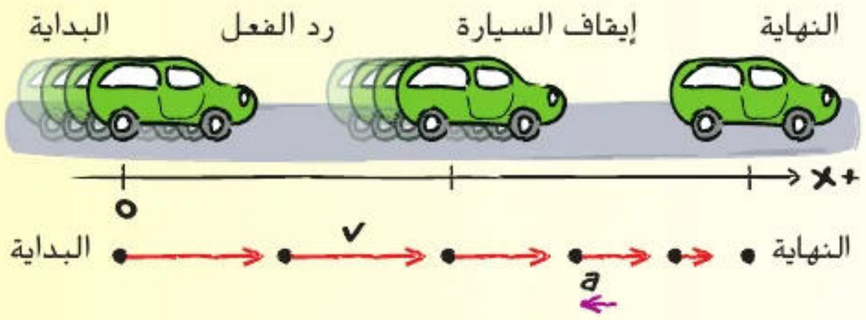
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 5

حركة مؤلفة من مرحلتين تقود سيارة بسرعة متجهة ثابتة تبلغ 25 m/s على طول طريق مستقيم عندما ترى طفلًا يعبر الطريق فجأة. يستغرق الأمر منك 0.45 s لتتفاعل مع الموقف وتضغط على الفرامل. ونتيجة لذلك، تنخفض سرعة السيارة بتسارع ثابت مقداره $8.5\ m/s^2$ في الاتجاه المعاكس لحركة سيارتك وتتوقف. ما الإزاحة الكلية للسيارة قبل أن تتوقف؟

1 تحليل المسألة ورسم مخطط لها

- ارسم مخططًا للموقف.
- اختر نظامًا إحداثيًا بحيث تكون حركة السيارة في الاتجاه الموجب.
- ارسم مخطط الحركة وارسم عليه الأحرف **v** وa.



المعلوم	المجهول
$v_{\text{الابتدائيّة}} = +25\ m/s$	$x_{\text{رد الفعل}} = ?$
$t_{\text{رد الفعل}} = 0.45\ s$	$x_{\text{إيقاف السيارة}} = ?$
$a_{\text{إيقاف السيارة}} = -8.5\ m/s^2$	$x_{\text{الإجمالي}} = ?$
$v_{i,\ \text{إيقاف السيارة}} = +25\ m/s$	
$v_{f,\ \text{إيقاف السيارة}} = 0.00\ m/s$	

2 إيجاد المجهول

رد الفعل:

استخدم العلاقة بين الإزاحة والسرعة المتجهة والزمن لإيجاد إزاحة السيارة أثناء تحركها بسرعة ثابتة من لحظة رؤية الطفل وحتى البدء بتطبيق الفرامل (خلال فترة زمن رد الفعل).

$x_{\text{رد الفعل}} = v_{\text{الابتدائيّة رد الفعل}}\ t_{\text{رد الفعل}}$

$x_{\text{رد الفعل}} = (+25\ m/s)(0.45\ s)$

$= +11\ m$

◄ بالتعويض $v_{\text{رد الفعل}} = +25 m/s,\ t_{\text{رد الفعل}} = 0.45\ s$

إيقاف السيارة:

استخدم العلاقة بين السرعة المتجهة والتسارع والإزاحة لإيجاد إزاحة السيارة أثناء إيقافها.

$V_{f,\ \text{إيقاف السيارة}}{}^2 = v_{\text{رد الفعل}}{}^2 + 2a_{\text{أثناء تطبيق الفرامل}}(x_{\text{أثناء تطبيق الفرامل}})$

أوجد قيمة x أثناء تطبيق الفرامل

$$X_{\text{أثناء تطبيق الفرامل}} = \frac{v_{f,\text{أثناء تطبيق الفرامل}}{}^2 - v_{\text{رد الفعل}}{}^2}{2a_{\text{أثناء تطبيق الفرامل}}}$$

$$= \frac{(0.00\ m/s)^2 - (+25\ m/s)^2}{2(-8.5\ m/s^2)}$$

$= +37\ m$

◄ بالتعويض $v_{f,\ \text{بعد تطبيق الفرامل}} = 0.00\ m/s,\ v_{\text{رد الفعل}} = +25\ m/s,\ a_{\text{أثناء تطبيق الفرامل}} = -8.5\ m/s^2$

الإزاحة الكلية تساوي مجموع إزاحة رد الفعل وإزاحة إيقاف السيارة.

أوجد قيمة x الكليّة.

$x_{\text{الكليّة}} = x_{\text{رد الفعل}} + x_{\text{أثناء تطبيق الفرامل}}$

$= +11\ m + 37\ m$

$= +48\ m$

◄ بالتعويض $x_{\text{رد الفعل}} = +11\ m,\ x_{\text{أثناء تطبيق الفرامل}} = +37\ m$

3 تقييم الإجابة

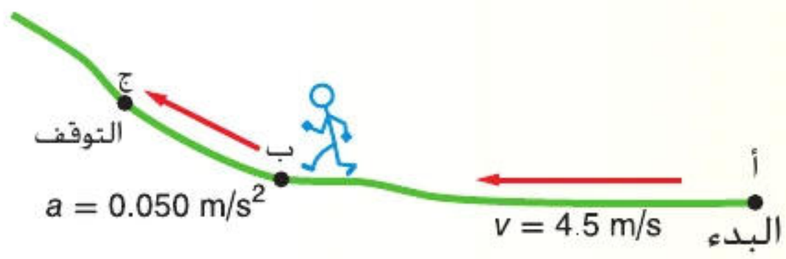
- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس الإزاحة بالأمتار.
- **هل الإشارات مفهومة؟** كل من $x_{\text{رد الفعل}}$ $x_{\text{إيقاف السيارة}}$ موجبيَن كما ينبغي أن يكونا.
- **هل هذا المقدار واقعي؟** تكون إزاحة إيقاف السيارة صغيرة نظرًا لكبر مقدار التسارع.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تطبيقات

28. تتحرك سيارة بسرعة متجهة ابتدائية 24.5 m/s شرقًا وبتسارع $4.2\ m/s^2$ غربًا. ما مقدار إزاحتها في اللحظة التي تبلغ فيها سرعتها المتجهة 18.3 m/s شرقًا.

29. يركض رجل على طول المسار المُوضح في **الشكل 17**. من النقطة (أ) إلى النقطة (ب)، يركض الرجل بسرعة متجهة للأمام تبلغ 4.5 m/s لمدة 15.0 min. ويركض من النقطة (ب) إلى النقطة (ج) صاعدًا إلى أعلى تل. يخفض الرجل من سرعته بمعدل ثابت $0.050\ m/s^2$ لمدة 90.0 s ويتوقف عند النقطة (ج). فكم المسافة التي ركضها الرجل؟



الشكل 17

30. تبدأ قيادة دراجتك الهوائية من أعلى تل. تتحرك بالدارجة إلى أسفل التل بتسارع ثابت $2.00\ m/s^2$. وعندما تصل أسفل التل، تصل سرعتك بالدراجة 18.0 m/s وتضغط على فرامل الدراجة للحفاظ على تلك السرعة. إذا واصلت السير بهذه السرعة لمدة 1.00 min. فكم ستكون المسافة التي قطعتها منذ أن غادرت قمة التل؟

31. تتمرن نورا استعدادًا لسباق مسافته 5.0km .وتبدأ تمرينها بالجزْي بسرعة ثابتة مقدارها 4.3 m/s لمدة 19 min. ثم تتسارع بمعدل ثابت حتى تعبر خط النهاية بعد 19.4 s. فكم يبلغ تسارعها خلال الجزء الأخير من تمرين الجري؟

32. مسألة تحفيزية يتعلم كريم ركوب دراجة بدون عجلات التدريب حيث يدفعه والده بتسارع ثابت $0.50\ m/s^2$ باتجاه الشرق لمدة 6.0 s ثم يتحرك بسرعة 3.0 m/s شرقًا لمدة 6.0 s أخرى قبل أن يسقط. ما مقدار إزاحة كريم؟ حُلَّ هذه المسألة بإنشاء رسم بياني للسرعة المتجهة – الزمن لحركة كريم وحساب المساحة أسفل الخط المرسوم بيانيًا.

القسم 2 مراجعة

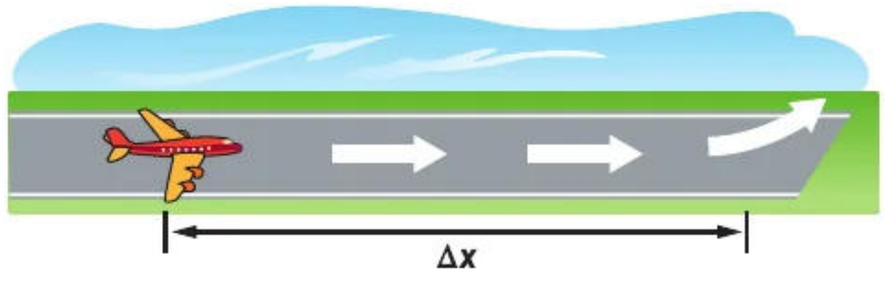
33. الفكرة الرئيسة إذا أُعطيت السرعات المتجهة الابتدائية والنهائية والتسارع الثابت لجسم ما وطُلب منك إيجاد إزاحته. فما العلاقة الرياضية التي ستستخدمها؟

34. التسارع سيدة تقود سيارة باتجاه الغرب على طول طريق مستقيم بسرعة 23 m/s وترى أمامها غزال على الطريق فتدوس على الفرامل على بعد 210 m من الغزال. إذا لم يتحرك الغزال وتوقفت السيارة قبيل أن تصدمه، فما مقدار التسارع الذي نتج عن فرامل السيارة؟

35. المسافة تبدأ الطائرة في **الشكل 18** حركتها من السكون وتتسارع شرقًا بمعدل ثابت $3.00\ m/s^2$ لمدة 30.0 s قبل أن تقلع.

a. ما إزاحة الطائرة (Δx)؟

b. ما سرعة الطائرة لحظة إقلاعها؟



الشكل 18

36. المسافة يتسارع ممارس رياضة التزلج الأرضي أولًا من 0.0 m/s إلى 5.0 m/s خلال 4.0 s ثم يتابع بهذه السرعة الثابتة لمدة 4.5 s أخرى. ما المسافة الكلية التي قطعها هذا المتزلج؟

37. السرعة المتجهة النهائية طائرة تسير مسافة $5.0\times10^2 m$ بحيث تتسارع بانتظام من السكون بمعدل $5.0\ m/s^2$. ما السرعة المتجهة النهائية التي تصل إليها الطائرة؟

38. السرعة المتجهة النهائية تسارعت طائرة من السكون بانتظام بمعدل $5.0\ m/s^2$ جنوبًا لمدة 14 s. فما السرعة المتجهة النهائية التي وصلت إليها؟

39. رسومات بيانية تتقدم عداءة نحو خط البداية بسرعة ثابتة وتتخذ وضع الاستعداد لبدء السباق. تنتظر العداءة حتى تسمع طلقة البداية، ثم تتسارع بشكل سريع حتى تصل إلى سرعة متجهة ثابتة وتحافظ على سرعتها المتجهة هذه حتى تعبر خط النهاية، ثم تُخفض سرعتها إلى المشي وبهذا تستغرق زمنًا أطول لتخفيض سرعتها مقارنةً بالزمن الذي استغرقته لتزيد من سرعتها في بداية السباق. ارسم رسمًا بيانيًا للسرعة المتجهة – الزمن والموقع - الزمن لتمثيل حركتها. ارسم هذه الرسومات على الرسم نفسه باستخدام مقياس الزمن نفسه. أشر إلى مواقع خط البداية وخط النهاية في الرسم البياني الموقع – الزمن الذي رسمته.

40. التفكير الناقد صِف كيف يمكنك حساب تسارع سيارة ما. حدِّد أدوات القياس والإجراءات التي ستستخدمها.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 3 السقوط الحر

الفيزياء في حياتك

قبل أن يفتحوا مظلاتهم، يمسك هواة القفز بالمظلات أحيانًا بأيدي بعضهم البعض لتشكيل حلقة في الهواء أثناء هبوطهم إلى سطح الأرض. ماذا يحدث إذا كانت كتل أجسامهم مختلفة؟ هل سيهبطون بمعدل السرعة نفسه أم بمعدلات مختلفة؟

اكتشاف جاليليو

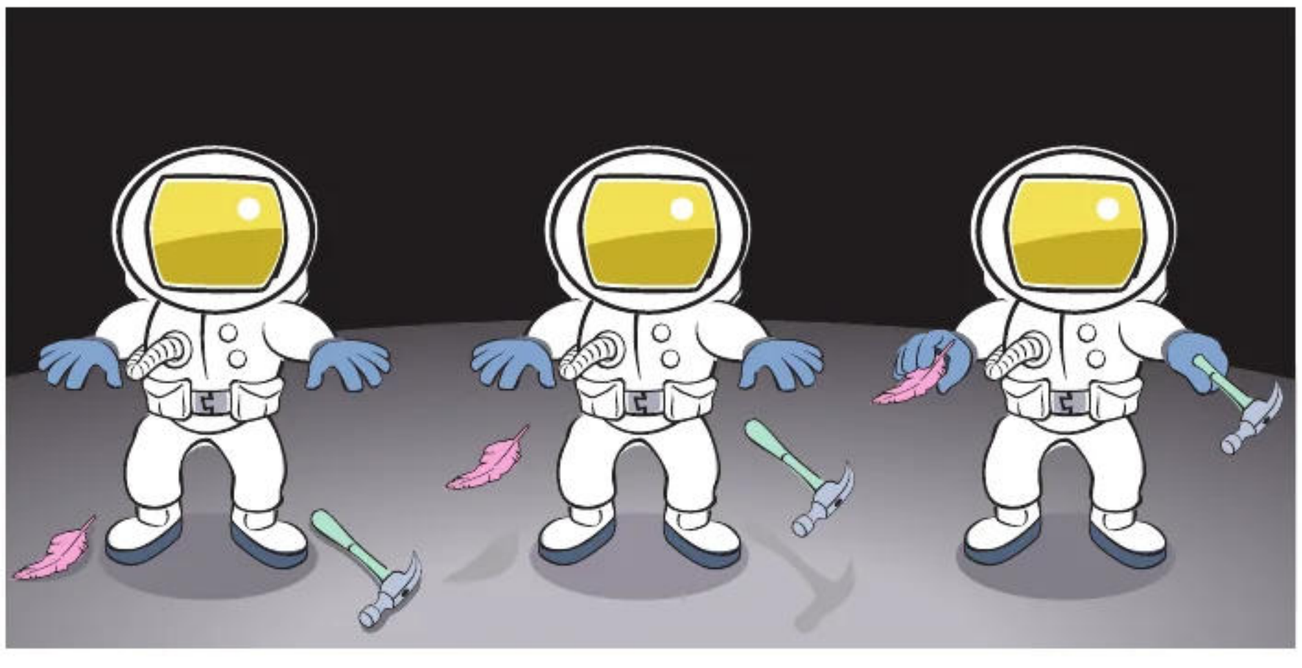
أيهما يسقط بتسارع أكبر، الورقة أم كتاب الفيزياء الخاص بك؟ إذا أمسكت بواحد منهما في كل يد ثم أفلتهما، فسيصل الكتاب إلى الأرض أولًا. هل تتسارع الأجسام الأثقل بمعدل أكبر أثناء سقوطها؟ جرِّب إسقاطهما مرة أخرى ولكن ضع الورقة أولًا في وضع مستوٍ فوق الكتاب. بدون دفع الهواء لها، ستسقط الورقة بسرعة الكتاب نفسها. بالنسبة إلى جسم خفيف الوزن مثل الورقة، يكون للاصطدامات مع جسيمات الهواء تأثير أكبر مقارنة بكتاب ثقيل الوزن.

لفهم الأجسام الساقطة، فكِّر أولًا في الحالة التي لا يكون فيها للهواء تأثير ملموس على الحركة. تذكَّر أن الجاذبية هي تجاذب بين الأجسام. **السقوط الحر** هو حركة الجسم عندما تكون الجاذبية هي القوة الوحيدة التي تؤثر فيه.

منذ حوالي 400 عام مضت، اكتشف جاليليو جاليلي أنه بإهمال تأثير الهواء فإن جميع الأجسام في حالة السقوط الحر تتساوى في التسارع، بصرف النظر عن المواد المصنوعة منها أو وزنها. يُعرف تسارع الجسم الناتج عن تأثير الجاذبية فقط **بتسارع السقوط الحر**. يعرض **الشكل 19** نتائج تجربة سقوط حر أُجريت عام 1971 على سطح القمر وتحقق بها رواد الفضاء من صحة النتائج التي توصَّل إليها جاليليو.

تسارع السقوط الحر بالقرب من سطح الأرض يساوي لأسفل (ما يساوي تقريبًا 22 mph/s لأسفل). فكِّر في هواة القفز بالمظلات أثناء هبوطهم. تزداد السرعة المتجهة لهبوطهم بمعدل 9.8 m/s مع كل ثانية تمر أثناء هبوطهم. عند تحليل السقوط الحر، يعتمد تعاملك مع التسارع على أنه موجب أو سالب على النظام الإحداثي الذي تستخدمه. إذا حددت الاتجاه لأعلى ليكون هو الاتجاه الموجب، فعندئذٍ يكون تسارع السقوط الحر سالبًا. وإذا قررت أن يكون الاتجاه لأسفل هو الاتجاه الموجب، فعندئذٍ يكون تسارع السقوط الحر موجبًا.

الشكل 19 عام 1971، أسقط رائد الفضاء دافيد سكوت مطرقة وريشة في الوقت نفسه ومن الارتفاع نفسه على سطح القمر. كانت كتلة المطرقة أكبر ولكن كلا الجسمين ارتطم بسطح القمر في الوقت نفسه لأن القمر به جاذبيه ولكن لا يوجد هواء على سطحه.



الفكرة الرئيسة

يحدث تسارع الجسم في السقوط الحر بفعل الجاذبية الأرضية فقط.

الأسئلة الرئيسة

- ما تسارع السقوط الحر؟
- كيف تتحرك الأجسام أثناء السقوط الحر؟

مراجعة المفردات

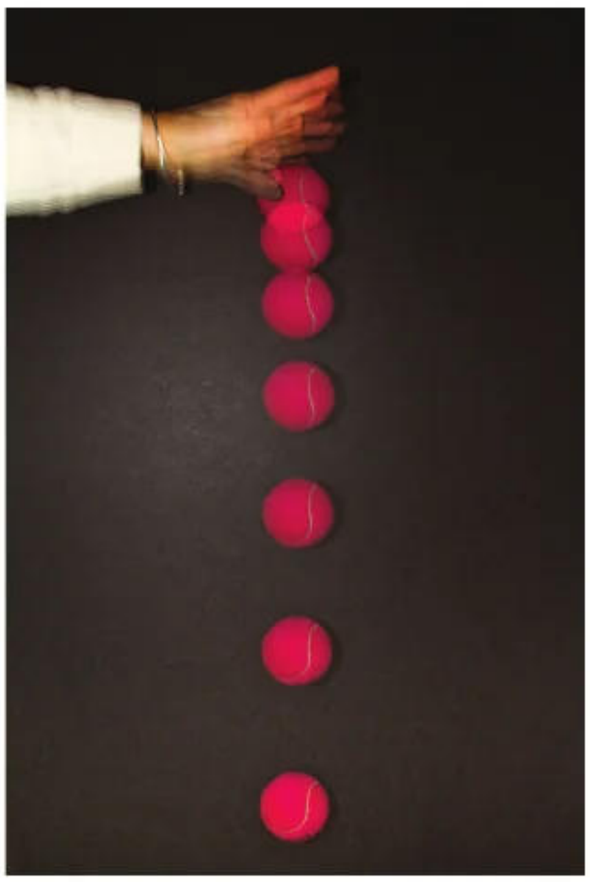
نقطة الأصل origin هي النقطة التي تكون عندها قيمة كلا المتغيرَين في النظام الإحداثي صفرًا.

المفردات الجديدة

السقوط الحر free fall

تسارع السقوط الحر free-fall acceleration

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 20 تزداد سرعة هذه الكرة الساقطة بمعدل 9.8 m/s كل ثانية بفعل تسارع السقوط الحر.

تسارع السقوط الحر

يشرح اكتشاف جاليليو سبب قدرة هواة القفز بالمظلات على تشكيل حلقة في الجو، حيث إنهم يهبطون بالتسارع نفسه، بصرف النظر عن كتل أجسامهم. لفهم التسارع الذي يحدث أثناء السقوط الحر، انظر إلى الصور متعددة الفلاشات للكرة الساقطة في **الشكل 20**. تبلغ الفترة الزمنية بين الصور 0.06 s، وتتسع المسافة بين كل زوج منهم، ومن ثَمَّ تزداد السرعة. إذا كان الاتجاه لأعلى موجبًا، فإن السرعة المتجهة تصبح سالبة بدرجة أكبر.

كرة مقذوفة لأعلى هل يمكن أن تعرِض هذا الشكل أيضًا كرة مقذوفة لأعلى بدلًا من كرة ساقطة؟ لنفترض أنك رميت كرة لأعلى بسرعة 20.0 m/s، فإذا اخترت أن يكون الاتجاه لأعلى موجبًا، فإن الكرة تبدأ حركتها عند الجزء السفلي من الشكل بسرعة متجهة موجبة. التسارع يساوي $a = -9.8\ m/s^2$. نظرًا لأن السرعة المتجهة والتسارع في اتجاهين متضادين، تقل سرعة الكرة. إذا كنت تعتقد أن الجزء السفلي من الشكل هو موضع بداية حركة الكرة، فهذا يتوافق مع الشكل متعددة الفلاشات.

حركة الصعود والهبوط بعد مرور 1 s، تقل السرعة المتجهة للكرة بمعدل 9.8 m/s، ولهذا فهي تتحرك الآن بسرعة $+10.2\ m/s^2$. وبعد مرور 2 s، تصبح السرعة المتجهة للكرة +0.4 m/s، وتستمر الكرة في التحرك لأعلى. ما الذي سيحدث خلال الثانية التالية؟ تقل السرعة المتجهة للكرة بمعدل 9.8 m/s أخرى لتساوي -9.4 m/s. تتحرك الكرة في هذه اللحظة لأسفل. وبعد مرور 4 s، تصبح السرعة المتجهة -19.2 m/s، وهذا يعني أن الكرة تسقط بسرعة أكبر.

الرسم البياني للسرعة – الزمن يظهر الرسم البياني v-t للكرة أثناء حركتها لأعلى وأسفل **الشكل 21**. ميل الخط المستقيم إلى أسفل لا يعني أن السرعة تنخفض دائمًا. تنخفض السرعة عندما ترتفع الكرة لأعلى وتزداد عندما تسقط لأسفل. عند 2 s تقريبًا، تتغير السرعة المتجهة بسلاسة من موجبة إلى سالبة. وعندما تسقط الكرة، تزداد سرعتها في الاتجاه السالب. كما توضح الشكل منظرًا مقربًا للرسم البياني v-t. في لحظة معينة، بالقرب من 2.04 s، تصبح السرعة المتجهة صفرًا.

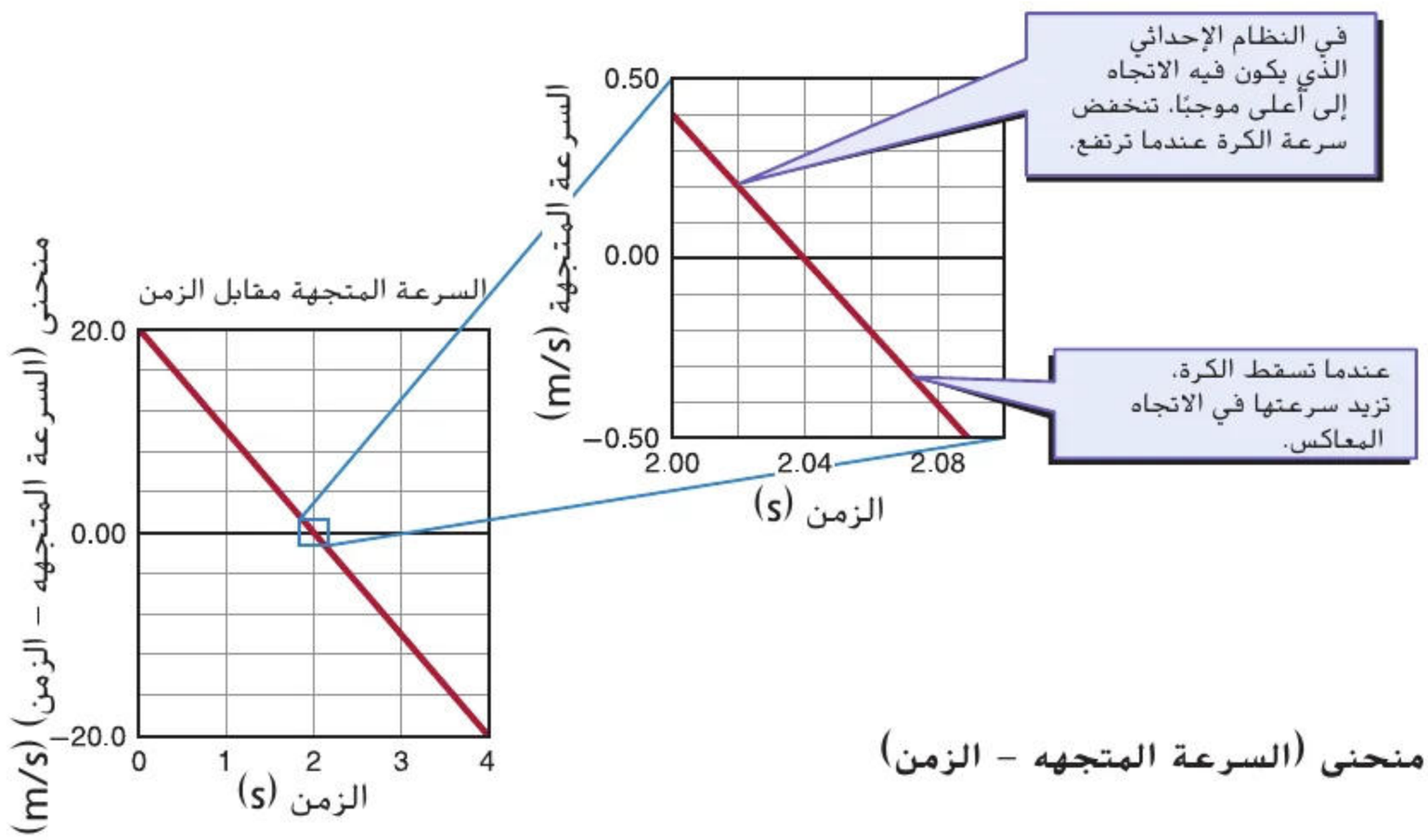
تجربة مصغرة

السقوط الحر

كيف يمكنك استخدام حركة جسم ساقط لتقدير تسارع السقوط الحر؟

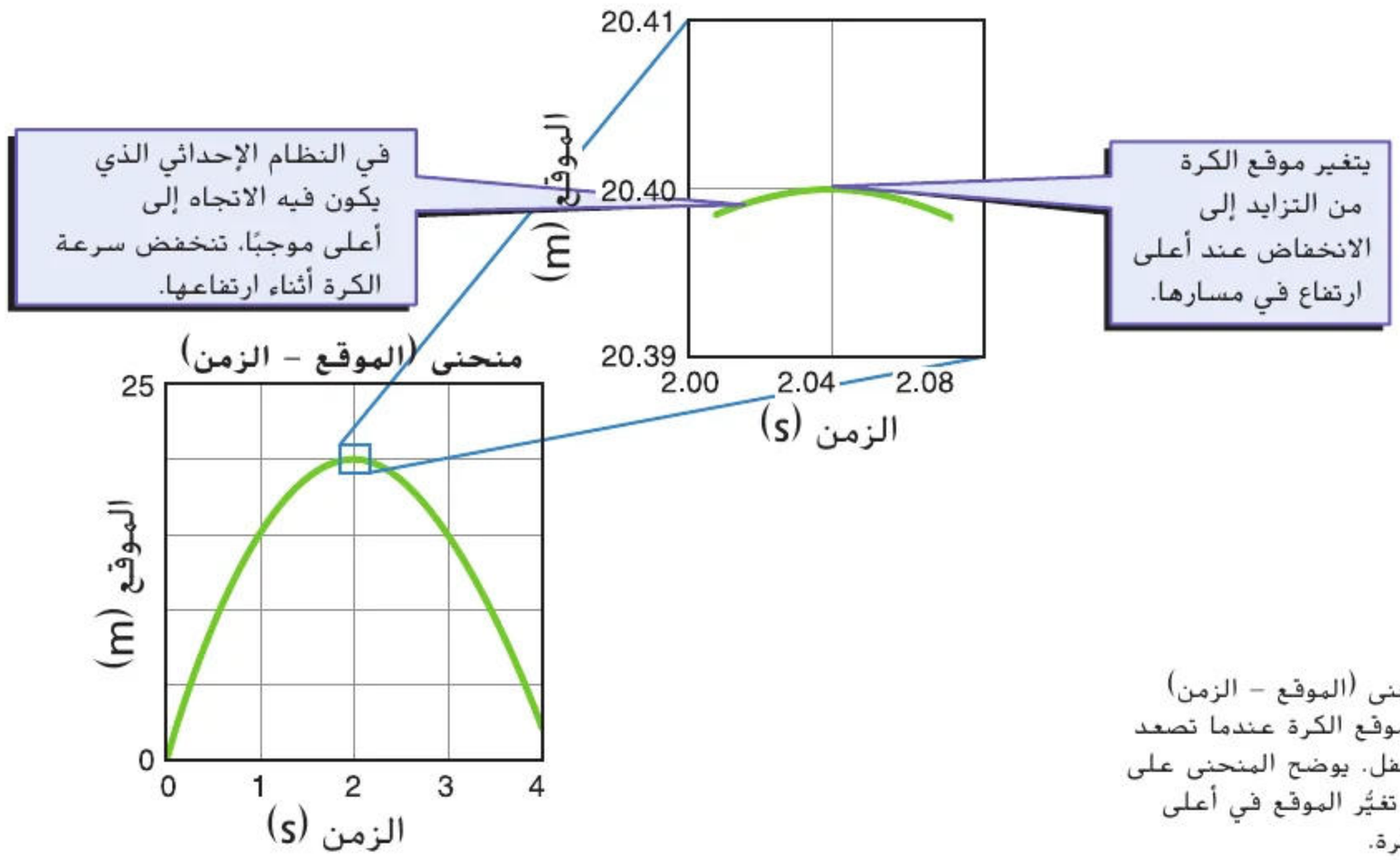
الشكل 21 يصف منحنى (السرعة المتجهه - الزمن) التغيُّر في سرعة حركة الكرة عند ارتفاعها وسقوطها. يوضح الرسم البياني على اليمين صورة مقربة للتغيُّر في السرعة المتجهة عند أعلى نقطة في مسار الكرة.

حلل كيف سيكون شكل المنحنى في حالة اختيار الاتجاه لأسفل ليكون هو الاتجاه الموجب؟



منحنى (السرعة المتجهه – الزمن)

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 22 منحنى (الموقع – الزمن) يوضح كيف يتغير موقع الكرة عندما تصعد لأعلى وتسقط لأسفل. يوضح المنحنى على يمين الشكل كيفية تغيُّر الموقع في أعلى نقطة من مسار الكرة.

منحنى (الموقع – الزمن) انظر إلى منحنى (الموقع – الزمن) في **الشكل 22** والذي يوضح كيف يتغير ارتفاع الكرة أثناء صعودها لأعلى وسقوطها لأسفل. إذا كان الجسم يتحرك بتسارع ثابت، فإن الرسم البياني للموقع – الزمن يأخذ شكل قطع مكافئ. ونظرًا لأن الكرة تتحرك صعودًا وهبوطًا، يأخذ المنحنى لحركتها شكل قطع مكافئ مقلوب. يتضح من خلال شكل المنحنى معدل تعاقب الزمن. وهذا لا يعني أن مسار الكرة كان على شكل قطع متكافئ. يوضح المنحنى المُقرب على اليمين أن الكرة تصل إلى أقصى ارتفاع لها عند 2.04 s تقريبًا.

أقصى ارتفاع قارن بين المنحنيات في **الشكل 21** و**الشكل 22**. تبدأ السرعة المتجهة للكرة بالنقصان في الاتجاه الموجب قبل وصولها إلى أقصى ارتفاع لها مباشرةً. في اللحظة التي تبلغ فيها أقصى ارتفاع لها، تكون سرعتها المتجهة صفرًا. تبدأ السرعة المتجهة للكرة بالازدياد في الاتجاه السالب بعد وصولها إلى أقصى ارتفاع لها مباشرةً.

التسارع يكون ميل الخط على منحنى (السرعة المتجهه - الزمن) المُوضح في **الشكل 21** ثابتًا عند $-9.8\ m/s^2$. وهذا يدل على أن تسارع السقوط الحر للكرة يبلغ $9.8\ m/s^2$ في اتجاه الهبوط طوال فترة الصعود والهبوط.

قد يبدو أن التسارع يجب أن يساوي صفرًا عند قمة مسار حركة الكرة، ولكن الأمر ليس كذلك. عند وصولها إلى أقصى ارتفاع لها، فإن السرعة المتجهة للكرة تساوي 0 m/s. وإذا كان تسارعها يساوي صفرًا أيضًا، فلن تتغير السرعة المتجهة للكرة وستظل 0 m/s. لذا فإنّ الكرة متجهة لن تكتسب سرعةلأسفل وستبقى تتأرجح في الهواء. هل رأيت ذلك يحدث من قبل؟ تسقط الأجسام المقذوفة في الهواء على سطح الأرض دائمًا، ومن ثَمَّ لا بد أنك تعلم أن تسارع جسم ما لا يجب أن يساوي صفرًا عند وصوله لأعلى ارتفاع أثناء حركته. فضلًا عن ذلك، يجب أن يكون اتجاه التسارع لأسفل نظرًا لأن الجسم يسقط لأسفل.

☑ **تأكد من فهمك** حلل إذا رميت بكرة لأعلى في اتجاه مستقيم، فكم تساوي سرعتها المتجهة وتسارعها عند وصولها إلى أعلى نقطة في مسارها؟

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

السقوط الحر

- **الاستخدام العلمي**
  حركة جسم ما عندما يمكن تجاهل مقاومة الهواء، وعندما يمكن اعتبار التسارع ناتجًا عن تأثير الجاذبية وحدها
  التسارع أثناء السقوط الحر يساوي $9.8\ m/s^2$ لأسفل.
- **الاستخدام العام**
  سقوط أو هبوط سريع ومتواصل
  السقوط الحر للبورصة عام 1929 كان بداية للكساد الكبير.

مختبر الفيزياء

تسارع السقوط الحر

تجربة الإنترنت كيف يمكنك استخدام بيانات الحركة لحساب تسارع السقوط الحر؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

ألعاب السقوط الحر تستخدم مدن الالعاب مفهوم التسارع لتصميم ألعاب تمنح ركابها الإحساس بالسقوط الحر. تتألف هذه الأنواع من الألعاب عادةً من ثلاث مراحل: الصعود إلى أعلى والتعلّق المُؤقت في الهواء والسقوط إلى أسفل. تزوّد المحركات العربات بالقوة اللازمة لتتحرك إلى أعلى مسار اللعبة. عندما تكون العربات في حالة سقوط حر، سيكون للراكب الأكثر والراكب الأقل ضخامة نفس التسارع.

افترض أن لعبة السقوط الحر المُوضحة في **الشكل 23** تبدأ حركتها في الأعلى من السكون وتسقط سقوطًا حرًا لمدة 1.5 s. فكم ستبلغ سرعتها المتجهة بنهاية فترة الـ 1.5 s؟ اختر نظامًا إحداثيًا له محور موجب متجه لأعلى ونقطة الأصل عند الموقع الابتدائي للسيارة. نظرًا لأن السيارة تبدأ حركتها من السكون، فإن v_i تساوي 0.0 m/s. لحساب السرعة المتجهة النهائية، استخدم معادلة السرعة المتجهة بتسارع ثابت.

$$\begin{aligned} v_f &= v_i + \bar{a}t_f \\ &= 0.0\ \text{m/s} + (-9.8\ \text{m/s}^2)(1.5\ \text{s}) \\ &= -15\ \text{m/s} \end{aligned}$$

كم تبلغ مسافة سقوط راكبي اللعبة خلال هذا الزمن؟ استخدم معادلة الإزاحة عند معرفة الزمن والتسارع الثابت.

$$\begin{aligned} x_f &= x_i + v_i t_f + \left(\frac{1}{2}\right)\bar{a}t_f^2 \\ &= 0.0\ \text{m} + (0.0\ \text{m/s})(1.5\ \text{s}) + \left(\frac{1}{2}\right)(-9.8\ \text{m/s}^2)(1.5\ \text{s})^2 \\ &= -11\ \text{m} \end{aligned}$$

الشكل 23 يتعرض راكبو اللعبة إلى تسارع السقوط الحر.

تطبيقات

41. يسقط قالب من عامل البناء عن طريق الخطأ من أعلى سقالة مرتفعة.

a. كم تبلغ السرعة المتجهة للقالب بعد 4.0 s؟

b. ما مسافة سقوط القالب خلال هذا الزمن؟

42. لنفترض أنك اخترت لحل المسألة السابقة نظامًا إحداثيًا بحيث يكون الاتجاه المعاكس موجبًا.

a. كم تبلغ السرعة المتجهة للقالب بعد 4.0 s؟

b. ما مسافة سقوط القالب خلال هذا الزمن؟

43. يسقط طالب كرة من نافذة ترتفع مسافة 3.5 m فوق الرصيف. ما سرعة الكرة عند لحظة ارتطامها بالرصيف؟

44. تقذف كرة تنس لأعلى في اتجاه مستقيم بسرعة ابتدائية 22.5 m/s، ويتم التقاطها بعد عودتها إلى الموقع نفسه التي قُذفت منه فوق سطح الأرض.

a. كم يبلغ أقصى إرتفاع تصل اليه الكرة فوق النقطة التي قذفت منها؟

b. كم يبلغ زمن بقاء الكرة في الهواء؟
تلميح: تستغرق الكرة للصعود نفس الزمن الذي تستغرقه للسقوط.

45. لنفترض أنك قررت الاقتراع بالدرهم لتحديد هل ستقوم بأداء واجبك المنزلي لمادة الفيزياء أم مادة اللغة الإنجليزية، وقذفت بقطعة الدرهم لأعلى في اتجاه مستقيم.

a. كم تبلغ السرعة المتجهة وتسارع الدرهم عند أقصى ارتفاع؟

b. إذا وصل الدرهم إلى نقطة ارتفاعها 0.25 m فوق المكان الذي قذف منه، فكم كانت سرعته الابتدائية؟

c. إذا التقطت الدرهم من الارتفاع نفسه الذي قذفته منه، فكم الزمن الذي بقيه في الهواء؟

46. مسألة تحفيزية تمسك لاعبة كرة سلة الكرة بيديها على ارتفاع 1.5 m فوق سطح الأرض. تقوم اللاعبة بإفلات الكرة فترتد عن السطح عدة مرات. بعد الارتداد الأول تعود الكرة إلى ارتفاع 0.75 m فقط، وبعد الارتداد الثاني، تعود الكرة فقط إلى ارتفاع 0.25 m.

a. بافتراض أن الاتجاه لأسفل هو الاتجاه الموجب، ما شكل الرسم البياني للسرعة المتجهة – الزمن لأول ارتدادين؟

b. ما شكل الرسم البياني للموقع – الزمن لأول ارتدادين؟

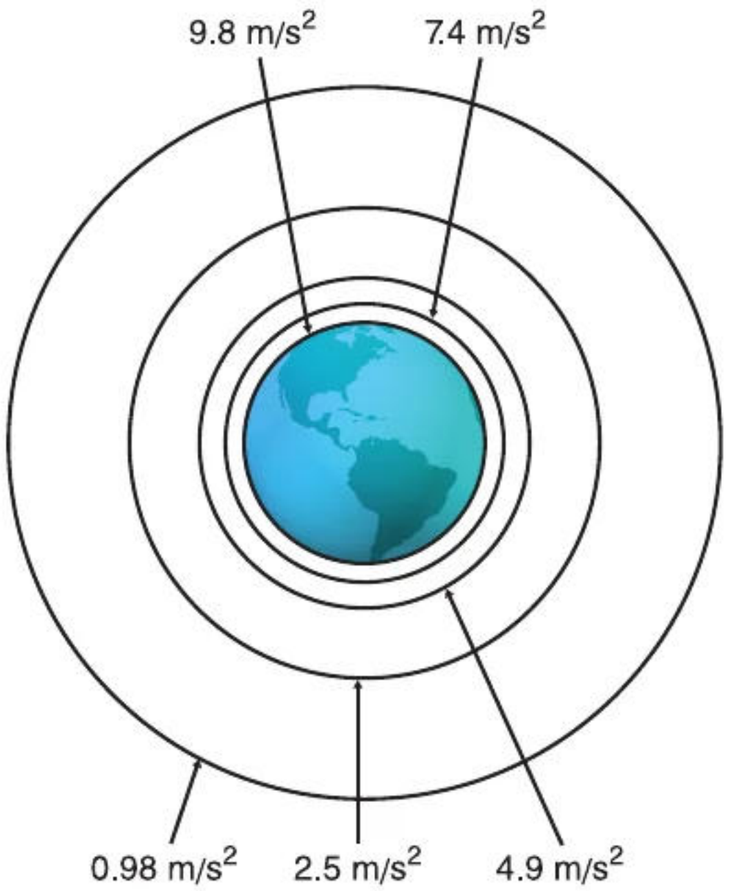
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تغير التسارع في السقوط الحر

عندما أجرى رائد الفضاء ديفيد سكوت تجربته للسقوط الحر على سطح القمر، لم تسقط المطرقة والريشة بمقدار تسارع يساوي $9.8\ m/s^2$. القيمة $9.8\ m/s^2$ هي تسارع السقوط الحر بالقرب من سطح الأرض فقط. يبلغ مقدار تسارع السقوط الحر على سطح القمر $1.6\ m/s^2$، وهو ما يعادل نحو سدس قيمته على الأرض.

عندما تدرس القوة والحركة، ستتعرف على العوامل التي تؤثر في قيمة تسارع السقوط الحر، ومنها كتلة الجسم المسؤول عن التسارع، مثل الأرض أو القمر. لا يكون تسارع السقوط الحر بالمقدار نفسه بالقرب من سطح القمر نظرًا لأن كتلة القمر أقل بكثير.

كما يعتمد تسارع السقوط الحر على المسافة الفاصلة عن الجسم المسؤول عن هذا التسارع. توضح الارتفاعات المرسومة حول الأرض في **الشكل 24** كيف أن تسارع السقوط الحر يقل بالبُعد عن سطح الأرض. رغم ذلك، من المهم أن نفهم أن تغير التسارع في السقوط الحر من مواقع مختلفة على سطح الأرض محدودة للغاية، حتى مع وجود تنوعات كبيرة في الارتفاع. في دولة الإمارات العربية المتحدة على سبيل المثال، يبلغ مقدار تسارع السقوط الحر $9.792 m/s^2$ تقريبًا، ستُستخدم القيمة $9.8\ m/s^2$ لتسارع السقوط الحر.



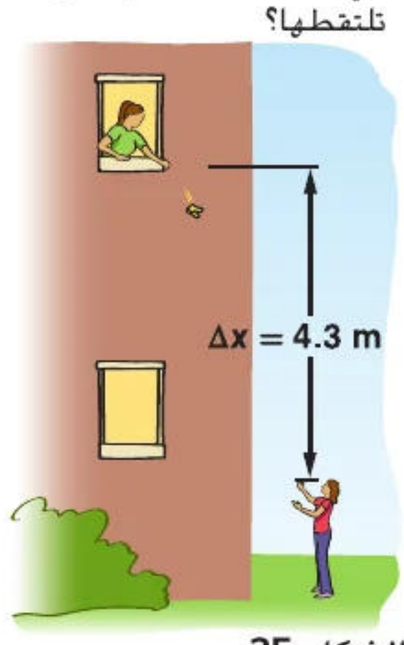
الشكل 24 كلما زاد الارتفاع عن الأرض، قل مقدار تسارع السقوط الحر.

حلل وفقًا للمخطط، ما مقدار تسارع السقوط الحر على مسافة فوق سطح الأرض تساوي نصف قُطر الأرض؟

القسم 3 مراجعة

47. **الفكرة الرئيسة** لنفترض أنك تمسك بكتاب بيدك وورقة مستوية بيدك الأخرى وأسقطتهما معًا على الأرض. اشرح لماذا يمثل الكتاب الساقط مثالًا جيدًا للسقوط الحر ولكن الورقة ليست كذلك.

48. **السرعة المتجهة النهائية** تلقي لك شقيقتك بمفاتيح المنزل الخاصة بك من نافذة الطابق الثاني. كما هو مبيّن في **الشكل 25**. كم تبلغ السرعة المتجهة للمفاتيح عندما تلتقطها؟



الشكل 25

49. **لعبة السقوط الحر** لنفترض أن إحدى ألعاب السقوط الحر في مدينة الالعاب تتحرك بدءًا من وضع السكون وتسقط سقوطًا حرًّا. كم تبلغ السرعة المتجهة للعبة بعد 2.3 s؟ كم تبلغ مسافة سقوط راكبي اللعبة خلال الفترة الزمنية 2.3 s؟

50. **أقصى ارتفاع للرحلة وزمنها** تسارع السقوط الحر على كوكب المريخ يساوي ثلث قيمته تقريبًا على كوكب الأرض. لنفترض أنك رميت كرة لأعلى على كوكب المريخ بالسرعة المتجهة نفسها المستخدمة على سطح الأرض.

a. قارن أقصى ارتفاع للكرة على كوكب المريخ بنظيره على كوكب الأرض.

b. قارن بين زمن حركتها على الكوكبين؟

51. **السرعة المتجهة والتسارع** لنفترض أنك قذفت بكرة لأعلى في اتجاه مستقيم في الهواء. صِف التغيُّرات في السرعة المتجهة للكرة. صِف التغيُّرات في تسارع الكرة.

52. **التفكير الناقد** يستمر صعود الكرة المقذوفة رأسيا لأعلى حتى تصل إلى نقطة معينة ثم تهبط لأسفل. تصبح السرعة المتجهة صفرًا لحظياً عند أعلى نقطة ارتفاع تلك. هل تتسارع الكرة عند تلك النقطة؟ ابتكر تجربة لإثبات صحة إجابتك أو إثبات عدم صحتها.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

هل يثيرك الهبوط لأسفل؟

ألعاب الإثارة بمدينة الالعاب

تضطرب معدتك عندما تهبط لأسفل بشكل مفاجئ من مسافة 100 m. وعندما تظن أنك على وشك الارتطام بالأرض بعنف، تُوقف الفرامل حركة لعبة الملاهي لتتوقف بك ببطء وسلام. حينها يهتف صديقك قائلًا "دعنا نركب مجددًا!"

الأمر كله يتعلق بالتسارع. سواءٌ تمثل ذلك في الهبوط من مسافة 100 m في لعبة الصاروخ أو الحركة البطيئة لأعلى وأسفل في لعبة الأحصنة الدوارة، تعتمد الإثارة التي تُحدثها العديد من ألعاب الملاهي على المبدأ نفسه – وهو الإثارة الناتجة عن تغيرات السرعة المتجهة. تستفيد ألعاب الإثارة من حالات التسارع الناتجة عن التغيرات في كل من السرعة والاتجاه. العجلة الدوارة لعبة مشوقة بسبب حالات التسارع التي تنتج عن التحرك من المرتفعات والحلقات الدوارة والانعطافات المائلة، كما يوضح **الشكل 1**.

الألعاب التي تستخدم تسارع السقوط الحر تستخدم العديد من الألعاب تسارع السقوط الحرّ الذي يولد الإثارة. تسمح ألعاب الصاروخ للركاب بالشعور بالسقوط الحر ثم تقل سرعة هبوطهم قبل أن يصلوا إلى الأرض مباشرةً. تعمل ألعاب البندول المتحركة، مثل تلك المُوضَّحة في **الشكل 2** مثل الأرجوحات العملاقة. يمر الركاب بلحظات تضطرب فيها معدتهم عندما يصل البندول إلى أعلى ارتفاع له ثم يبدأ في التحرك لأسفل. كما يمر ركاب العجلة الدوارة بلحظات مماثلة أعلى مرتفع.

الشكل 2 يجلس الركاب في لعبة البندول المُصمَّمة على شكل سفينة قراصنة تتأرجح للأمام والخلف مثل بندول الساعات القديمة.

الشكل 1 يتسارع الركاب عندما يتحركون حول منعطف مائل بالعجلة الدوارة. يُعد التسارع أيضًا أحد العوامل التي تمنح الإثارة عند الحركة في سلسلة من الحلقات.

لمزيد من التعمق <<<

البحث تصميم لعبة عبر الإنترنت. صمّم لعبتك بنفسك وقدّم تصميمك إلى الفصل. حدّد النقاط التي يتسارع فيها الركاب في هذه اللعبة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة Pearson Education

الوحدة 3 دليل الدراسة

الفكرة الرئيسة التسارع هو معدل التغير في السرعة المتجهة لجسم ما.

القسم 1 التسارع

المفردات

- التسارع acceleration
- الرسم البياني للسرعة المتجهة – الزمن velocity-time graph
- التسارع المتوسط average acceleration
- التسارع اللحظي instantaneous acceleration

الفكرة الرئيسة يتسارع جسم ما عندما تتغير سرعته المتجهة — أي عندما يزداد مقدار سرعته أو يقل أو يتغير اتجاهها.

- التسارع هو معدل تغيُّر السرعة المتجهة لجسم ما.
- السرعة المتجهة والتسارع ليسا الشيء نفسه. الجسم الذي يتحرك بسرعة متجهة ثابتة يبلغ تسارعه صفرًا.
- عندما تكون السرعة المتجهة والتسارع لجسم ما في الاتجاه نفسه، تزداد سرعة هذا الجسم؛ وعندما يكونان في اتجاهين متضادين، تقل سرعة هذا الجسم.
- يمكنك استخدام رسم بياني للسرعة المتجهة - الزمن لمعرفة السرعة المتجهة والتسارع لجسم ما.
- التسارع المتوسط لجسم ما يساوي مَيْل الرسم البياني للسرعة المتجهة - الزمن.

$$\overline{a} \equiv \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

القسم 2 الحركة بتسارع ثابت

الفكرة الرئيسة بالنسبة إلى جسم ذي تسارع ثابت، يمكن وصف العلاقات بين الموقع والسرعة المتجهة والتسارع والزمن من خلال الرسومات البيانية والمعادلات.

- إذا كان جسم ما يتحرك بتسارع ثابت، فإن الرسم البياني للموقع - الزمن لهذا الجسم يكون في شكل قطع مكافئ، ويكون الرسم البياني للسرعة المتجهة - الزمن خطًا مستقيمًا.
- المساحة الموجودة أسفل الرسم البياني للسرعة المتجهة - الزمن لجسم ما هي إزاحة هذا الجسم.
- عند الحركة بتسارع ثابت، يكون الموقع والسرعة المتجهة والتسارع والزمن مرتبطين ببعضهم.

$$v_f = v_i + \overline{a}\,\Delta t$$

$$x_f = x_i + v_i t_f + \frac{1}{2}\overline{a} t_f^{\,2}$$

$$v_f^{\,2} = v_i^{\,2} + 2\,\overline{a}(x_f - x_i)$$

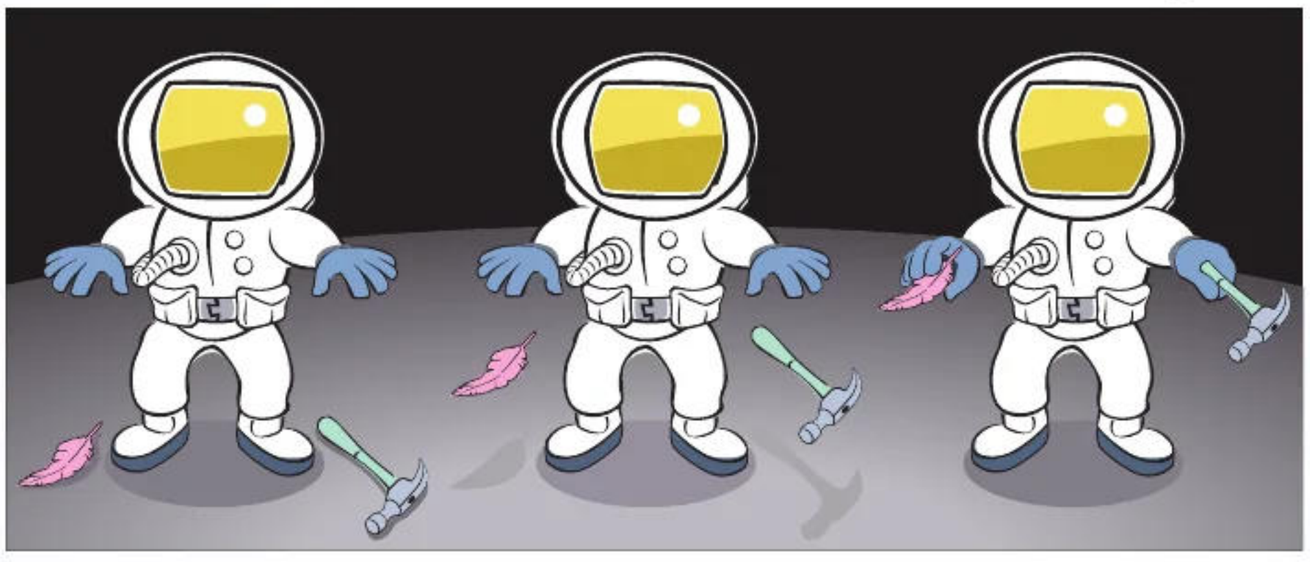
القسم 3 السقوط الحر

المفردات

- السقوط الحر free fall
- تسارع السقوط الحر free-fall acceleration

الفكرة الرئيسة يرجع تسارع جسم ما في حالة السقوط الحر إلى قوة الجاذبية وحدها.

- يبلغ تسارع السقوط الحر على الأرض $9.8\ m/s^2$ لأسفل تقريبًا. تعتمد الإشارة المرتبطة بتسارع السقوط الحر في المعادلات على اختيار النظام الإحداثي.
- عندما يكون جسم ما في حالة سقوط حر، تكون القوة الناشئة عن الجاذبية (الوزن) هي القوة الوحيدة التي تؤثر فيه. يمكن استخدام معادلات الحركة بتسارع ثابت لحل المسائل التي بها أجسام في حالة سقوط حر.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 3 التقويم

القسم 1 التسارع

إتقان المفاهيم

53. **الفكرة الرئيسة** ما الرابط بين السرعة المتجهة والتسارع؟

54. أعطِ مثالًا على كلٍ مما يلي:

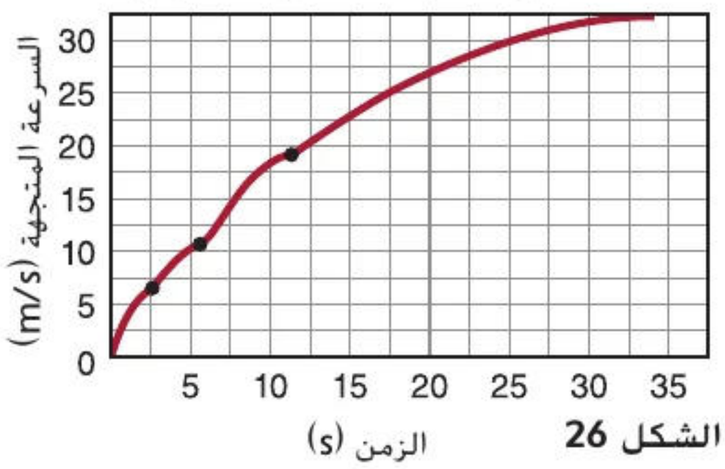
a. جسم تقل سرعته ولكن تسارعه موجب

b. جسم تزداد سرعته ولكن تسارعه سالب

c. جسم يتحرك بسرعة ثابتة ولكنه يتسارع

55. **الشكل 26** يوضح منحنى (السرعة المتجهه - الزمن) لسيارة تسير على مضمار اختبار. صِف كيف تتغيّر سرعتها المتجهة بمرور الزمن.

منحنى (السرعة المتجهة – الزمن)



الشكل 26

56. إذا كان منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) لجسم ما يتحرك على مسار مستقيم يأخذ شكل خط موازٍ للمحور الأفقي، فما الذي يمكن أن تستنتجه عن تسارع هذا الجسم؟

إتقان حل المسائل

57. **مهمة التصنيف** صنِّف الأجسام التالية حسب مقدار التسارع من الأصغر إلى الأكبر. وضح صحة اجابتك.

a. ثمرة بلوط تسقط بسرعة تتزايد من 0.50 m/s إلى 10.3 m/s خلال 1.0 s.

b. سيارة تتسارع من 20 m/s لتصل إلى وضع السكون خلال 1.0 s.

c. حشرة أم أربعة وأربعين تتسارع من 0.40 cm/s إلى 2.0 cm/s خلال 0.50 s.

d. عند تسديد كرة الجولف، فإنها تتسارع من وضع السكون إلى 4.3 m/s خلال 0.40 s.

هـ. عداء يتسارع من 2.0 m/s إلى 1.0 m/s خلال 8.3 s.

58. **طرح المسألة** استكمل هذه المسألة حتى يتسنّى حلّها باستخدام المفهوم المدرج: "تمارس مريم لعبة كرة السلة.

a. التسارع

b. السرعة

59. يصِف الرسم البياني المُوضَّح في **الشكل 27** حركة جسم يتحرك شرقًا بمحاذاة مسار مستقيم. أوجد قيمة تسارع الجسم في كل من هذه الفترات:

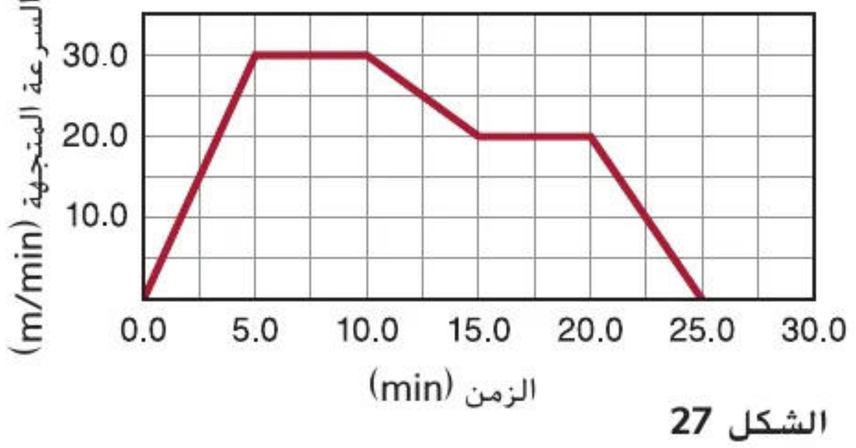
a. خلال أول 5.0 min من التحرك

b. بين 5.0 min و 10.0 min

c. بين 10.0 min و 15.0 min

d. بين 20.0 min و 25.0 min

منحنى (السرعة المتجهة – الزمن)



الشكل 27

60. صمّم رسمًا بيانيًا لمنحنى (السرعة المتجهة - الزمن) باستخدام المعلومات الواردة في **الجدول 1** وأجِب عن الأسئلة التالية:

a. خلال أي فترة زمنية تتزايد سرعة الجسم؟ وخلال أي فترة تقل؟

b. في أي زمن ينعكس اتجاه حركة الجسم؟

c. كيف يختلف التسارع المتوسط للجسم خلال الفترة 0.0 s و2.0 s عن التسارع المتوسط خلال الفترة 7.0 s و 12.0 s؟

الجدول 1 السرعة المتجهة مع الزمن

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	4.00
1.00	8.00
2.00	12.0
3.00	14.0
4.00	16.0
5.00	16.0
6.00	14.0
7.00	12.0
8.00	8.00
9.00	4.00
10.0	0.00
11.0	-4.00
12.0	-8.00

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

61. أوجد السرعة المتجهة النهائية لبروتون تبلغ سرعته المتجهة الابتدائية 2.35×10^5 m/s.ثم يتسارع بشكل منتظم في مجال كهُربائيّ بمعدل -1.10×10^{12} m/s^2 لفترة 1.50×10^{-7} s

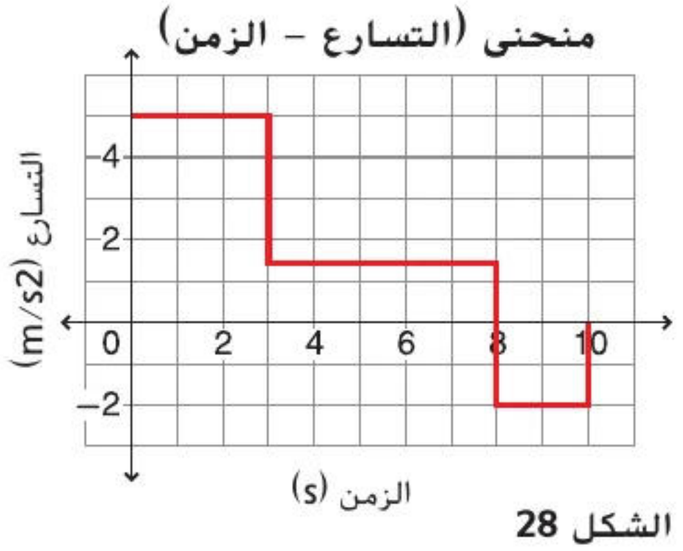
62. مهمة التصنيف يرغب سامي في شراء سيارة رياضية مُستعمَلة تتميز بتسارع فائق. يمكن للسيارة (أ) أن تسير بسرعة تبدأ من 0 m/s وتصل إلى 17.9 m/s خلال 4.0 s. أما السيارة (ب) فيمكن أن تتسارع من 0 m/s وتصل إلى 22.4 m/s خلال 3.5 s. ويمكن أن تسير السيارة (ج) بسرعة تبدأ من 0 لتصل إلى 8.62 s/m خلال 0.6 s. صنّف السيارات الثلاث من الأكبر إلى الأصغر من حيث التسارع. وبيّن ما إذا كانت من بينهم سيارة تتساوى مع غيرها من حيث التسارع.

القسم 2 الحركة بتسارع ثابت

إتقان المفاهيم

63. ما الكمية التي تمثلها المساحة الموجودة أسفل الرسم البياني للسرعة المتجهة - الزمن؟

64. مسألة عكسية اكتب مسألة فيزيائية تتضمن أجسامًا من واقع الحياة يكون الرسم البياني الوارد في **الشكل 28** جزءًا من حلها.



الشكل 28

إتقان حل المسائل

65. تتحرك سيارة إلى الأمام أثناء صعود مرتفع بسرعة 12 m/s بتسارع منتظم إلى الخلف يبلغ 1.6 m/s ^{2}.

a. ما إزاحة السيارة بعد 6.0 s؟

b. ما إزاحتها بعد 9.0 s؟

66. طائرة أوجد إزاحة طائرة تتحرك بتسارع منتظم من 66 m/s شمالًا إلى 88 m/s شمالًا خلال 12 s.

67. سيارة سباق تقل سرعة سيارة سباق بتسارع ثابت يبلغ 11 m/s^2 عكس اتجاه حركتها.

a. إذا كانت السيارة تسير بسرعة 55 m/s. ما المسافة التي تقطعها السيارة قبل أن تتوقف؟

b. ما المسافة التي التي ستقطعها سيارة تسير بمثلي هذه السرعة لتتوقف؟

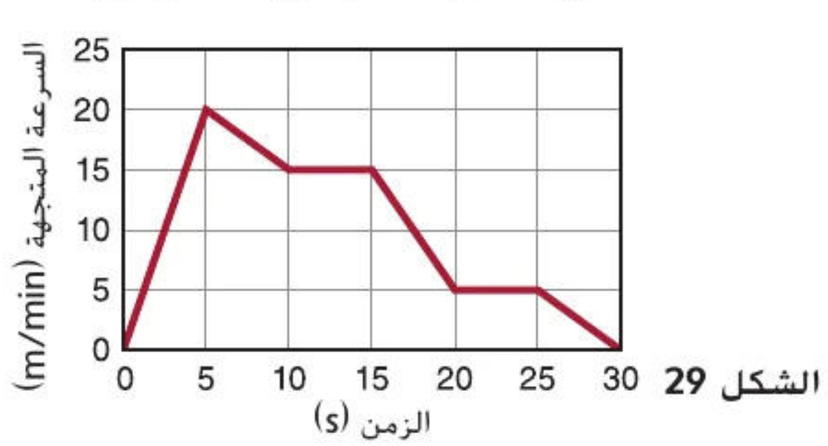
68. مستعيناً **بالشكل 29** احسب مقدار الإزاحة خلال الفترات الزمنية التالية. قرّب الإجابات إلى أقرب متر.

a. 5.0 min و 10.0 min

b. 10.0 min و 15.0 min

c. 25.0 min و 30.0 min

d. 0.0 min و 25.0 min



الشكل 29

القسم 3 السقوط الحر

إتقان المفاهيم

69. اشرح السبب الذي يجعل كرة مصنوعة من الألومنيوم وكرة حديدية متساويتَين في الحجم والشكل وتسقطان من الارتفاع نفسه تصلان إلى الأرض في اللحظة نفسها.

70. أعطِ أمثلة للأجسام الساقطة التي يمكن تجاهل تأثير مقاومة الهواء فيها أو لا يمكن تجاهله.

إتقان حل المسائل

71. لنفترض أن رائد فضاء أسقط ريشة من ارتفاع 1.2 m أعلى سطح القمر. إذا كان تسارع السقوط الحر على القمر يساوي 1.62 m/s^2. فكم المدة التي تستغرقها الريشة لتصل إلى سطح القمر؟

72. لنفترض أن حجرًا بدأ الحركة من السكون يسقط بشكل حر لمدة 8.0 s.

أ. احسب السرعة المتجهة للحجر بعد 8.0 s.

ب. ما إزاحة الحجر خلال هذه الفترة؟

73. لنفترض أن حقيبة سقطت من مروحية تحلّق في الهواء خلال 2.0 s فكم تبلغ السرعة المتجهة للحقيبة؟ كم تبلغ مسافة سقوط الحقيبة؟ تجاهل مقاومة الهواء.

74. ترمي كرة من نافذة إلى أسفل بسرعة 2.0 m/s. فكم ستبلغ سرعتها لحظة ارتطامها بالرصيف الذي يقع أسفل النافذة بمسافة 2.5 m ؟

75. في المسألة السابقة، إذا رميت الكرة لأعلى بدلًا من إلقائها لأسفل، فكم ستبلغ سرعة تحرُّكها عند ارتطامها بالرصيف؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التقويم

76. كيس حبوب الفول لنفترض أنك ترمي بكيس حبوب الفول في الهواء وتلتقطه بعد 2.2 s عند المكان نفسه الذي ألقيته منه.

a. ما الارتفاع الذي وصل إليه؟

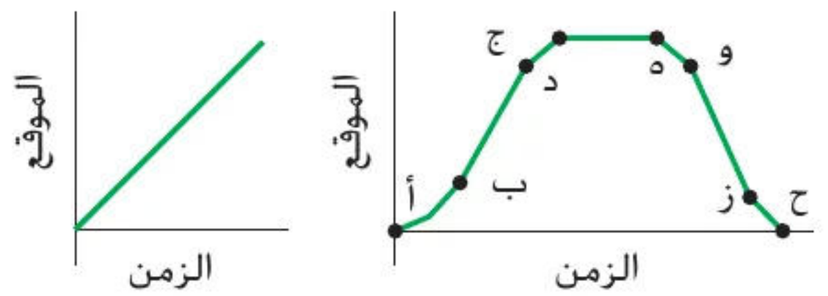
b. كم كانت سرعته المتجهة الابتدائية؟

تطبيق المفاهيم

77. لعبة الكركيت تقل سرعة كرة الكركيت بعد ضربها بالمطرقة وتتوقف. هل للسرعة المتجهة للكرة ولتسارعها الاشارة نفسها؟

78. اشرح كيف يمكن الحصول على الرسوم البيانية للموقع - الزمن المُوضَّحة في **الشكل 30**.

الشكل 30



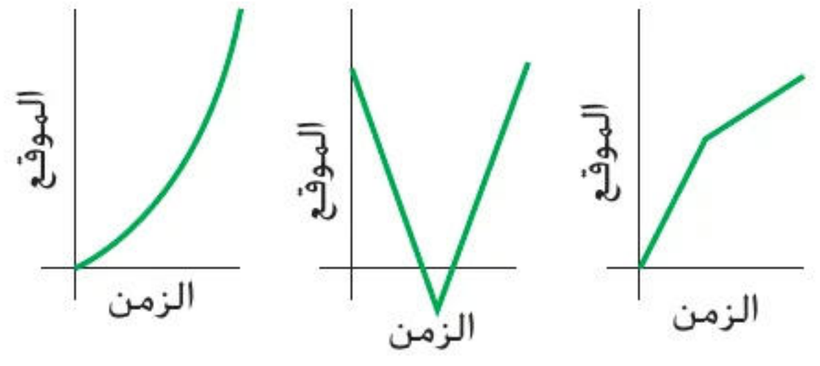
79. إذا أُعطيت جدولًا يحتوي على السرعات المتجهة لجسم ما في أزمنة مختلفة، فكيف يمكنك تحديد ما إذا كان التسارع ثابتًا؟

80. انظر مجددًا إلى الرسم البياني الموجود في **الشكل 26**. تظهر النقاط الثلاث في الرسم البياني في المواضع التي غيّر فيها السائق مبدل السرعة للسيارة. صِف التغيُّرات في السرعة المتجهة والتسارع للسيارة أثناء القيادة على الغيار الأول لمبدّل سرعة السيّارة. هل يكون التسارع قبيل تغيير مبدل السرعة أكبر أم أقل من التسارع بعد تغيير مبدّل السرعة؟ اشرح إجابتك.

81. يرتفع الجسم المقذوف إلى أعلى بشكل مستقيم لمدة 7.0 s قبل أن يصل إلى أقصى ارتفاع له. يستغرق جسم ثان يسقط من وضع السكون 7.0 s للوصول إلى الأرض. قارن بين مقداري الإزاحة لكلا الجسمين خلال هذه الفترة الزمنية.

82. ارسم رسمًا بيانيًا يمثل السرعة المتجهة - الزمن لكل من الرسومات المُوضَّحة في **الشكل 31**.

الشكل 31



83. القمر تبلغ قيمة تسارع السقوط الحر على سطح القمر حوالي سُدس قيمته على الأرض.

a. هل ستصل كرة سقطت من رائد فضاء إلى سطح القمر بسرعة أكبر من أو تساوي أو تقل عن سرعة وصول كرة أسقطت على الأرض من الارتفاع نفسه؟

b. هل سيستغرق سقوط الكرة زمنًا أكثر أو أقل أو الزمن نفسه؟

84. المشتري يزيد تسارع السقوط الحر لجسم على كوكب المشتري بحوالي ثلاثة أضعاف مقارنةً بكوكب الأرض. لنفترض أنه يمكن رمي كرة إلى أعلى رأسيًا على كوكب الأرض وكوكب المشتري بالسرعة المتجهة الابتدائية نفسها. تجاهل تأثيرات مقاومة الغلاف الجوي لكوكب المشتري وافترض أن الجاذبية هي القوة الوحيدة المؤثرة في الكرة.

a. ما أوجه التشابه بين أقصى ارتفاع وصلت إليه الكرة على المشتري وأقصى ارتفاع بلغته على الأرض؟

b. إذا رُميت الكرة على كوكب المشتري بسرعة متجهة ابتدائية تزيد بثلاثة أمثال، فكيف سيؤثر ذلك في إجابتك عن الجزء أ؟

85. سقطت الصخرة (أ) من أعلى جرف، وألقيت الصخرة (ب) إلى أعلى من الموقع نفسه.

a. عندما تصل كلتا الصخرتين إلى الأرض أسفل الجرف، فأي صخرة سيكون لها سرعة متجهة أكبر؟

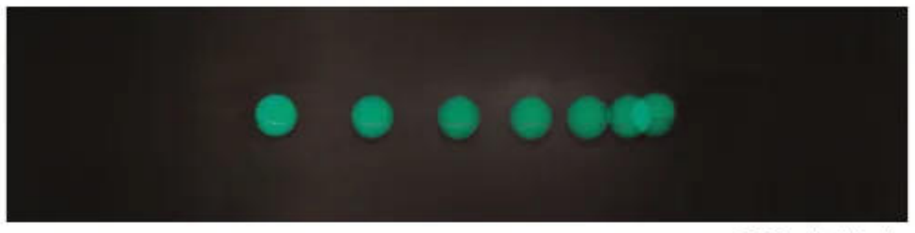
b. أي من الصخرتين لها تسارع أكبر؟

c. أي منهما سيصل إلى الأرض أولًا؟

مراجعة عامة

86. لنفترض أن سفينة فضائية بعيدة عن كل النجوم أو الكواكب كان تسارعها المنتظم إلى الأمام حيث تغيرت سرعتها من 65.0 m/s إلى 162.0 m/s خلال 10.0 s. فما المسافة التي ستتحركها السفينة الفضائية؟

87. الشكل 32 هي صورة ستروبية لكرة تتحرك أفقيًا. ما المعلومات التي تحتاج إليها عن الشكل وما الإجراءات التي ستتخذها لتقدير التسارع؟



الشكل 32

88. **الدراجة الهوائية** دراجة هوائية تتسارع من 0.0m/s إلى 4.0 m/s خلال 4.0s. فما المسافة التي ستقطعها؟

89. تسقط علبة أدوات من منطاد هوائي أثناء طفوه على ارتفاع ثابت فوق سطح الأرض

a. إذا وصلت العلبة إلى الأرض بسرعة متجهة إلى أسفل تبلغ 73.5 m/s. فكم تبلغ مسافة سقوط العلبة؟

b. ما زمن سقوط العلبة؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

90. المسافة الكلية التي تتدحرجها كرة فولاذية أسفل منحدر في أزمنة مختلفة مبيّنة في **الجدول 2**.

a. ارسم رسمًا بيانيًا لمنحنى (الموقع – الزمن) لحركة الكرة. عند إنشاء المحاور، استخدم خمسة أقسام لكل 10 m من حركة الكرة على المحور x . استخدم خمسة أقسام لمدة 1 s من زمن الحركة على المحور t.

b. احسب المسافة التي تدحرجتها الكرة بنهاية فترة الـ 2.2 s.

91. يعمل المهندسون على تطوير أنواع جديدة من المدافع قد تُستخدم يومًا ما لإطلاق الأقمار الاصطناعية كما لو كانت طلقات نارية. يمكن للمدفع من هذا النوع أن يدفع جسمًا صغيرًا إلى الأمام بسرعة متجهة تبلغ 3.5 km/s بحيث لا تتجاوز المسافة التي يخرج منها 2.0 cm.

a. ما مقدار التسارع التي تمنحها المدافع لهذا الجسم؟

b. ما الفترة الزمنية اللازمة للحصول على هذا التسارع؟

92. حواجز السلامة يبني مهندسو سلامة الطرق السريعة حواجز ليّنة مثل الحاجز الموضح في **الشكل 33**، بحيث تنخفض سرعة السيارات التي ترتطم بها بمعدل آمن. افترض أن سيارة تتحرك بسرعة 110 km/h اصطدمت بالحاجز الذي يخفض سرعتها المتجهة بمعدّل $32\ m/s^2$. ما المسافة التي ستقطعها السيارة على طول الحاجز قبل أن تتوقف؟

الجدول 2 الموقع مع الزمن

الزمن (s)	الموقع (m)
0.0	0.0
1.0	2.0
2.0	8.0
3.0	18.0
4.0	32.0
5.0	50.0

الشكل 33

93. لعبة البيسبول يقذف لاعب البيسبول الكرة بسرعة 44 m/s. تتحرك الكرة بتسارع ثابت حيث أمسك اللاعب الكرة بيده وحرّكها في خط مستقيم مسافة 3.5 m تقريباً. احسب مقدار التسارع. قارن بين التسارع وتسارع السقوط الحر على كوكب الأرض.

94. الزلاجات تُستخدم الزلاجات المزودة بمحرك صاروخي لاختبار ردود فعل الانسان تجاه التسارع. عند بدء الحركة من السكون، يمكن أن تصل سرعة الزلاجة الواحدة إلى 444 m/s خلال 1.80 s ويمكن إعادتها إلى السكون مرة أخرى بإيقافها خلال 2.15s.

a. احسب تسارع الزلاجة عندما تبدأ في التحرك وقارنه بمقدار تسارع السقوط الحر الذي يبلغ $9.8 m/s^2$.

b. احسب تسارع الزلاجة أثناء تباطؤها وقارنه بمقدار تسارع السقوط الحر.

95. تتغيّر السرعة المتجهة لسيّارة خلال فترة زمنية تبلغ 8.0 s أثناء حركتها إلى الأمام كما هو مُوضَّح في **الجدول 3**.

a. ارسم منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) للحركة.

b. ما مقدار إزاحة السيارة خلال أول 2.0 s؟

c. ما مقدار إزاحة السيارة خلال أول 4.0 s؟

d. ما مقدار إزاحة السيارة خلال الفترة البالغة 8.0 s كلها؟

e. احسب ميل الخط البياني خلال الفترة t=0.0 s و t=4.0 s. ما الذي يمثله هذا الميل؟

f. احسب ميل الخط البياني خلال الفترة t=7.0 s و t=5.0 s؟ ما الذي يدل عليه هذا الميل؟

96. تتوقف الشاحنة عند إضاءة اشارة المرور الحمراء. عندما يتغير الضوء إلى اللون الأخضر، تتسارع السيارة بمعدل $2.5\ m/s^2$. في اللحظة نفسها، تمر بالشاحنة سيارة تتحرك بسرعة ثابتة تبلغ 15 m/s. فأين ومتى ستلحق الشاحنة بالسيارة؟

الجدول 3 السرعة المتجهة مع الزمن

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.0	0.0
1.0	4.0
2.0	8.0
3.0	12.0
4.0	16.0
5.0	20.0
6.0	20.0
7.0	20.0

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التقويم

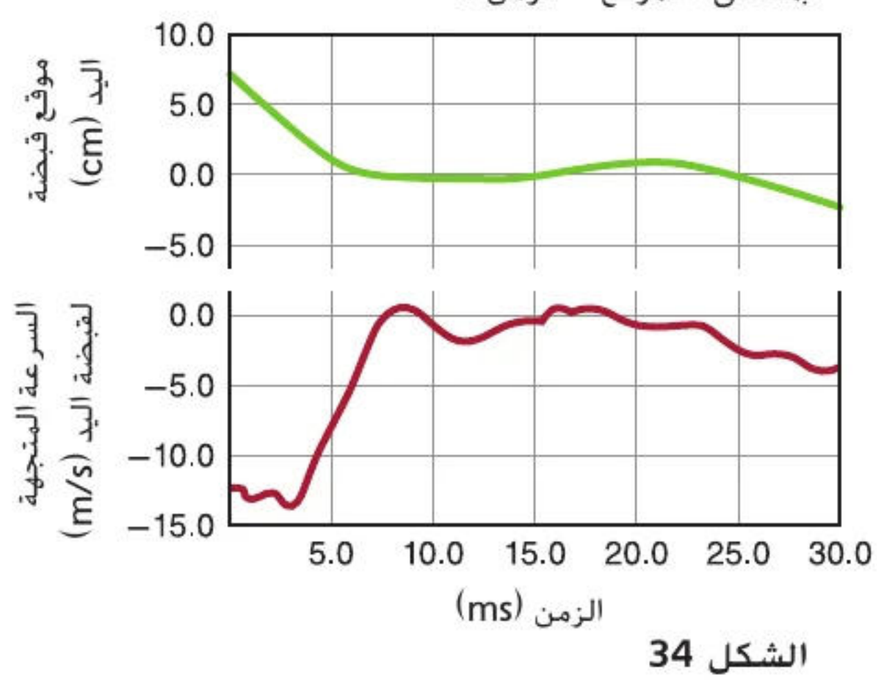
97. الكاراتيه يُوضّح **الشكل 34** رسمين بيانيين للعلاقة بين الموقع - الزمن وبين السرعة المتجهة - الزمن وهما يمثلان محاولة لاعب كسر لوح خشبي بقبضة يده أثناء ممارسة الكاراتيه.

a. استخدم الرسم البياني للسرعة المتجهة - الزمن لوصف حركة قبضة يد اللاعب خلال أول 10 ms.

b. قدِّر ميل الرسم البياني للسرعة المتجهة - الزمن لتحديد مقدار تسارع قبضة يده عند توقفها فجأة.

c. عبِّر عن التسارع بدلالة مقدار تسارع السقوط الحر الذي يبلغ $9.8\ m/s^2$.

d. حدد المساحة أسفل منحنى (السرعة المتجهه - الزمن) لإيجاد قيمة إزاحة قبضة اليد في أول 6 ms. قارن هذا بمنحنى (الموقع - الزمن).



الشكل 34

98. الحمولة سقطت حقيبة من طائرة هليكوبتر أثناء حركتها بسرعة 5.0 m/s. تسقط الحقيبة لمدة 2.0 s.

أ. ما السرعة المتجهة للحقيبة؟

ب. ما الارتفاع الذي سقطت منه الحقيبة؟

ج. كم يبعد موقع سقوط الحقيبة عن الموقع الموجود أسفل الطائرة عند لحظة سقوطها؟

التفكير الناقد

99. برمجيات المجسات صمِّم تجربة لبرمجيات المجسات لحساب المسافة التي يتحركها جسم متسارع بمرور الزمن. استخدم فترات زمنية متساوية حتى يتسَنّى لك تمثيل السرعة المتجهة والزمن والموقع والزمن أيضًا في الرسم البياني. يعد استخدام بَكَرة رفْع مربوط بها كتلة على حافة طاولة طريقة جيدة لتحقيق التسارع الثابت. تشمل المواد المُقترحة كاشف الحركة وعربة تجارب وخيطًا وبَكَرة رفْع ومشبك C ومجموعة من الكتل. أنشئ رسومات بيانية للموقع – الزمن وللسرعة المتجهة – الزمن باستخدام كُتل مختلفة على بكرة الرفع. كيف يؤثر التغيُّر في الكتلة في رسومك البيانية؟

100. حلل واستنتج أي مما يلي له تسارع أكبر (إن وجد): سيارة تزيد سرعتها من 50 km/h إلى 60 km/h أم دراجة هوائية تزيد سرعتها من 0 km/h إلى 10 km/h خلال المدة الزمنية نفسها؟ اشرح

101. حلل واستنتج انحرف قطار سريع يسير بسرعة 36.0 m/s عن طريق الخطأ إلى مسار جانبي لقطار محلي. يلاحظ سائق القطار السريع قدوم قطار محلي على بُعد 1.00×10^2 m بالضبط على المسار نفسه ويتحرك في الاتجاه نفسه. ولا يعلم سائق القطار المحلي بهذا الموقف. يدوس سائق القطار السريع على فرامل القطار ويخفض سرعة القطار بمعدل ثابت يبلغ $300\ m/s^2$. إذا كانت سرعة القطار المحلي هي 11.0 m/s. فهل سيتمكن القطار السريع من التوقف في الزمن المناسب أم سيحدث تصادم. لحل هذه المسألة، استخدم موقع القطار السريع عندما رأى سائقه القطار المحلي أول مرة كنقطة أصل. بعد ذلك، مع مراعاة أن القطار المحلي يبعد عن القطار السريع بمسافة 1.00×10^2 بالضبط، احسب مسافة بعد كل قطار عن نقطة الأصل بنهاية الفترة 12.0 s التي سيستغرقها القطار السريع للتوقف (يتسارع بمعدل $-3.00\ m/s^2$ من 36 m/s إلى 0 m/s)

a. في ضوء العمليات الحسابية التي أجريتها، هل تستنتج أنه سيحدث تصادم بين القطارين؟

b. للتحقُّق من صحة العمليات الحسابية من الجزء a وللتحقق من استنتاجك، اتخذ موقع القطار السريع عندما يرى سائقه القطار المحلي للمرة الأولى كنقطة أصل واحسب موقع كل قطار بنهاية كل ثانية تمر بعد رؤية القطار المحلي. أنشئ جدولًا يوضِّح مسافة بعد كل قطار عن نقطة الأصل بنهاية كل ثانية. مثِّل كل هذه المواقع على الرسم البياني نفسه وارسم خطين. قارن رسمك البياني بإجابتك عن الجزء.

الكتابة في الفيزياء

102. ابحث عن مساهمات جاليلو في علم الفيزياء وصِفها.

103. ابحث عن أقصى تسارع يمكن أن يتحمله جسم الإنسان دون أن يفقد وعيه. ناقش كيف يؤثر ذلك في تصميم ثلاث وسائل ترفيه أو مواصلات شهيرة.

مراجعة تراكمية

104. حُلَّ المسائل التالية. عبِّر عن إجاباتك بالترميز العلمي.

a. $6.2\times10^{-4}\ m + 5.7\times10^{-3}\ m$

b. $8.7\times10^{8}\ km - 3.4\times10^{7}\ km$

c. $(9.21\times10^{-5}\ cm)(1.83\times10^{8}\ cm)$

d. $\dfrac{2.63\times10^{-6}\ m}{4.08\times10^{6}\ s}$

105. تصف المعادلة الواردة أدناه حركة جسم ما. أنشئ الرسم البياني للموقع - الزمن ومخطط الحركة المناسبين ثم اكتب مسألة فيزيائية يمكن حلّها باستخدام تلك المعادلة. كن مبدعًا.

$x = (35.0\ m/s)\ t - 5.0\ m$

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 3 تدريب على الاختبار المعياري

اختيار من متعدد

استخدم المعلومات التالية للإجابة عن أول سؤالين.

تتدحرج الكرة من أعلى مرتفع بتسارع ثابت $2.0\ m/s^2$. من السكون وتستغرق 4.0 s لتصل إلى أسفل المرتفع.

1. ما المسافة التي تحركتها الكرة خلال هذا الزمن؟

a. 8.0m **c.** 16 m

b. 12 m **d.** 20 m

2. كم كانت سرعة الكرة عند وصولها أسفل المرتفع؟

a. 2.0 m/s **c.** 12 m/s

b. 8.0 m/s **d.** 16 m/s

3. يدخل سائق سيارة في منطقة سرعة جديدة على الطريق السريع يسمح فيها بالقيادة بسرعة 110 km/h. يبدأ السائق فورًا في زيادة السرعة ويصل إلى سرعة 110 km/h بعد القيادة لمسافة 500 m. فإذا كانت سرعته الابتدائية 80 km/h. فكم كان متوسط تسارعه خلال هذه المسافة.

a. $0.44\ m/s^2$ **c.** $8.4\ m/s^2$

b. $0.60\ m/s^2$ **d.** $9.8\ m/s^2$

4. يسقط أصيص زهور من شرفة ترتفع عن الأرض بمسافة 85 m. ما الزمن الذي يستغرقه ليرتطم بالأرض؟

a. 4.2 s **c.** 8.7 s

b. 8.3 s **d.** 17 s

5. تضغط متسلقة صخور بحذائها على صخرة فتفككها وتسقطا أرضًا، بينما تلاحظ رفيقتها في رحلة التسلق التي تقف أسفل الجرف أن الصخرة استغرقت 3.20 s لتسقط إلى الأرض. فما الارتفاع الذي وصلت إليه المتسلقة أعلى الجرف؟

a. 15.0 m **c.** 50.0 m

b. 31.0 m **d.** 1.00×10^2 m

6. تقترب سيارة تسير بسرعة 91.0 km/h من طريق جانبي كي تتوقف عند مطعم على بُعد 30.0 m. إذا ضغط سائقة السيارة الفرامل فأصبح التسارع إلى $-6.40\ m/s^2$, فكم تبلغ المسافة اللازمة لتتوقف سيارتها؟

a. 14.0 m **c.** 50.0 m

b. 29.0 m **d.** 100.0 m

7. ما الصيغة الرياضية الصحيحة لإيجاد مقدار التسارع عند استخدام المعادلة $v_f^2 = v_i^2 + 2ax$؟

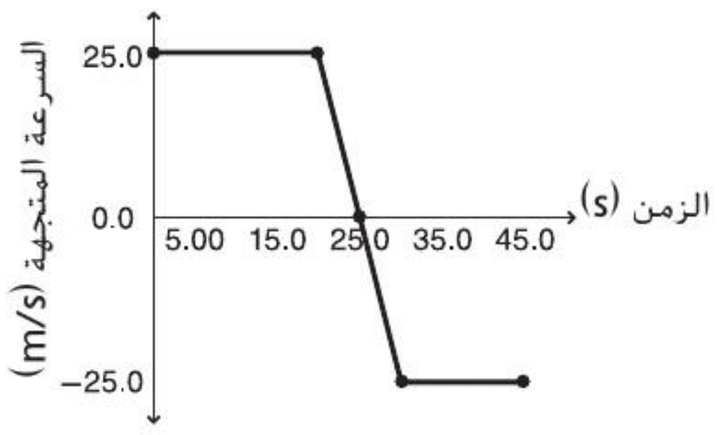
a. $\frac{v_f^2 - v_i^2}{x}$ **c.** $\frac{(v_f - v_i)^2}{2x}$

b. $\frac{v_f^2 + v_i^2}{2x}$ **d.** $\frac{v_f^2 - v_i^2}{2x}$

8. يوضح الرسم البياني أدناه حركة شاحنة أحد المزارعين. كم تبلغ الإزاحة الكلية للشاحنة؟ افترض أن اتجاه الشمال هو الاتجاه الموجب.

a. 150 m جنوبًا **c.** 300 m شمالًا

b. 125 m شمالًا **d.** 600 m جنوبًا



9. كيف يمكن حساب التسارع اللحظي لجسم ما ذي تسارع متغير؟

a. عن طريق حساب ميل المماس لمنحنى (الموقع - الزمن)

b. عن طريق حساب المساحة أسفل منحنى (الموقع - الزمن)

c. عن طريق حساب المنطقة أسفل منحنى (السرعة المتجهه - الزمن)

d. عن طريق حساب ميل المماس لمنحنى (السرعة المتجهه - الزمن)

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

10. مثِّل البيانات التالية برسم بياني ثم وضِّح العمليات الحسابية المُستخدمة لإيجاد مقدار التسارع والإزاحة بعد 12.0 s.

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	8.10
6.00	36.9
9.00	51.3
12.00	65.7

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

Chapter Sourced From Glencoe Physics: Principles & Problems, Student Edition © 2017 McGraw-Hill Education
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لـ McGraw-Hill Education

الوحدة 4

القوى في بُعد واحد

الفكرة الرئيسة تسبب القوى المحصلة تغييرات في الحركة.

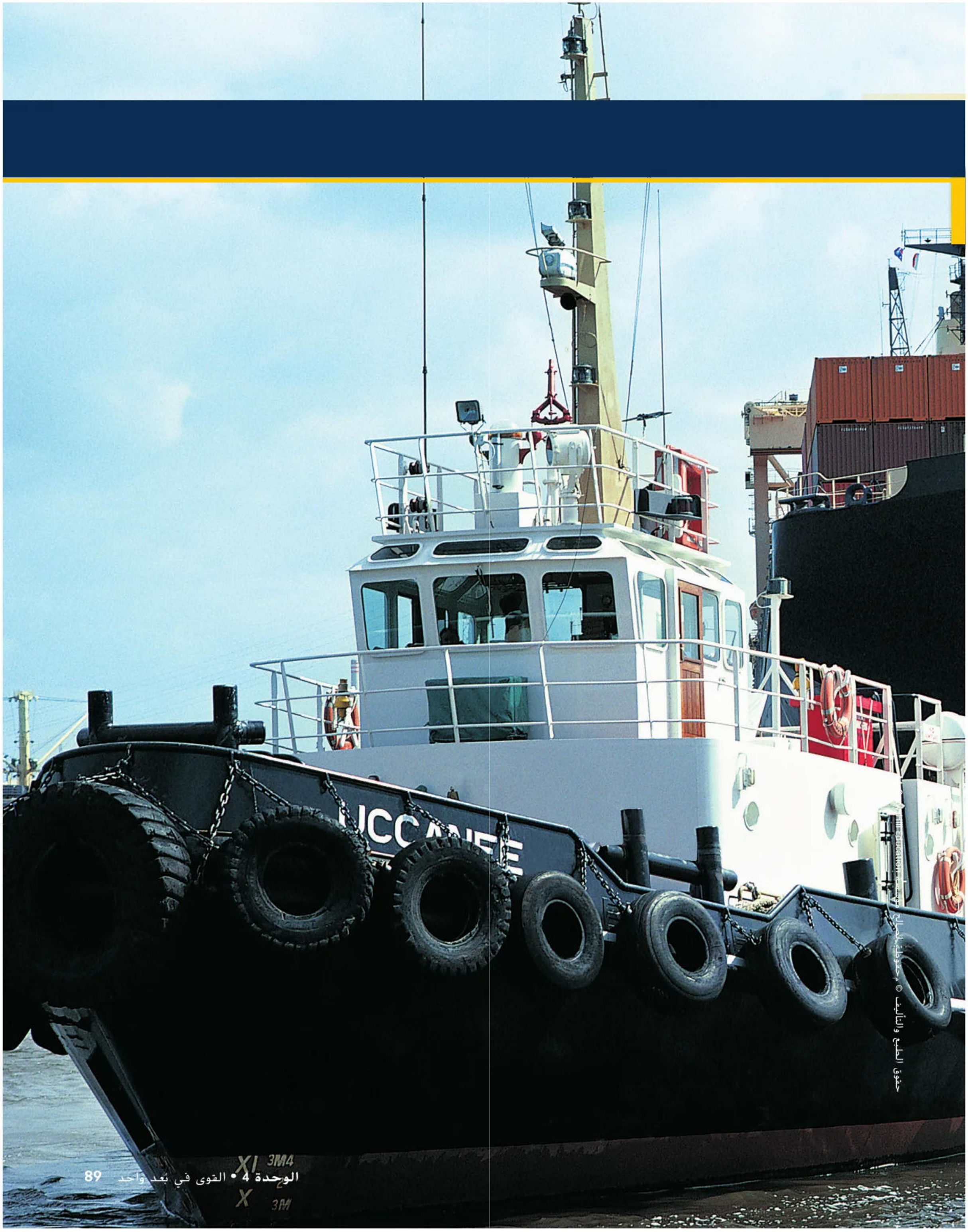
الأقسام

1 القوة والحركة
2 الوزن والقوة المعيقة
3 قانون نيوتن الثالث

التجربة الاستهلالية

القوى في اتجاهين متعاكسين

ماذا يحدث عندما تؤثر أكثر من قوة في أحد الأجسام؟



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة الفرقان

القسم 1

القوة والحركة

الفكرة الرئيسة

تكون القوة إما دفعًا أو سحبًا.

الأسئلة الرئيسة

- ما المقصود بالقوة؟
- ما العلاقة بين القوة والتسارع؟
- ما مدى تغير الحركة عندما تساوي القوة المحصلة صفرًا؟

مراجعة المفردات

التسارع (acceleration) معدل تغير السرعة المتجهة للجسم

مفردات جديدة

القوة	force
النظام	system
مخطط الجسم الحر	free-body diagram
القوة المحصلة	net force
قانون نيوتن الثاني	Newton's second law
قانون نيوتن الأول	Newton's first law
القصور الذاتي	inertia
الاتزان	equilibrium

الفيزياء في حياتك

لكي تبدأ ركوب لوح التزلج على سطح ممهّد، يجب أن تدفع الأرضية بإحدى قدميك. إذا كان لوح التزلج على منحدر، فستجذبك الجاذبية إلى أسفل المنحدر. وفي الحالتين، تُغيِّر القوى غير المتوازنة حركة لوح التزلج.

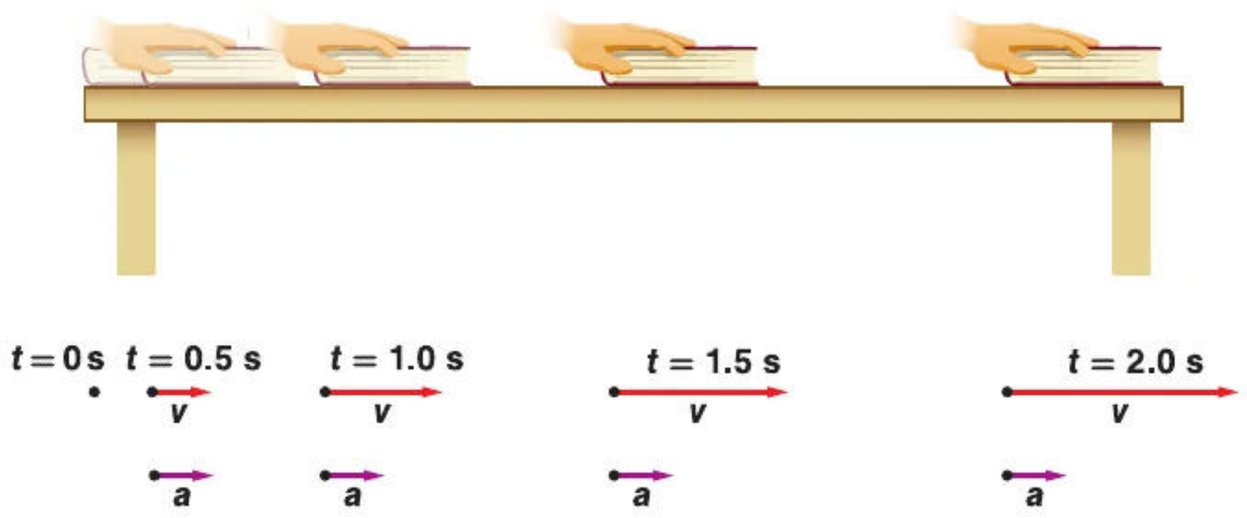
القوة

تخيل كتابًا مستقرًا على الطاولة. إذا أردت تحريكه، يمكنك أن تدفعه أو تسحبه عليها. وفي علم الفيزياء، يُسمى الدفع أو السحب **قوة**. إذا دفعت جسمًا أو سحبته بدرجة أشد، فقد أثرت في الجسم بقوة أكبر. بمعنى آخر، لقد زدت مقدار القوة المؤثرة. ومن المهم أيضًا الاتجاه الذي تؤثر فيه القوة. أي أنك إذا دفعت الكتاب المستقر إلى اليمين، فسيبدأ الكتاب في التحرك إلى اليمين. وإذا دفعت الكتاب إلى اليسار، فسيبدأ في التحرك إلى اليسار. لأن القوى لديها مقدار واتجاه، أي أن القوى متجهة. يمثل الرمز رمز المتجه الذي يمثل مقدار واتجاه القوة. في حين لا يمثل الرمز ***F*** إلا مقدار القوة. يتم قياس مقدار القوة بوحدة تسمى نيوتن (N).

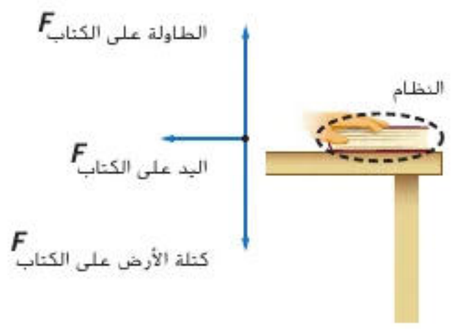
القوى غير المتوازنة تغير الحركة تذكّر أن مخططات الحركة تصف مواقع أحد الأجسام على فترات زمنية متساوية. على سبيل المثال، يوضح مخطط حركة الكتاب في **الشكل 1** زيادة المسافة بين النقاط، مما يعني أن سرعة الكتاب تزيد. عندما يكون $t = 0$، يكون الكتاب مستقرًا. ولكن بعد ثانيتين، يتحرك بسرعة 1.5 m/s. وهذا التغير في السرعة يعني أنه يتسارع. ما سبب هذا التسارع؟ كان الكتاب مستقرًا حتى دفعته. لذلك يكون سبب التسارع القوة التي أثرت يدك بها في الكتاب. في الواقع، تكون كل مظاهر التسارع بسبب تأثير قوى غير متوازنة في جسم ما. ما العلاقة بين القوة والتسارع؟ في نهاية هذا القسم، ستكون قادرًا على الإجابة عن هذا السؤال وتطبيق قوانين الحركة لحل أنواع عديدة ومختلفة من المسائل.

☑ **تأكد من فهمك** **حدّد** سبب حدوث التسارع.

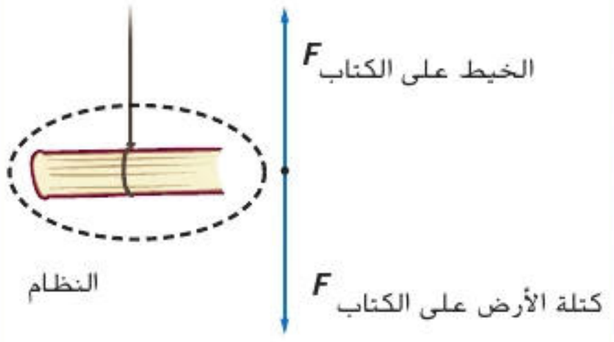
الشكل 1 تؤثر اليد الدافعة للكتاب بقوة تتسبّب في تسارع الكتاب في اتجاه القوة غير المتوازنة.



McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

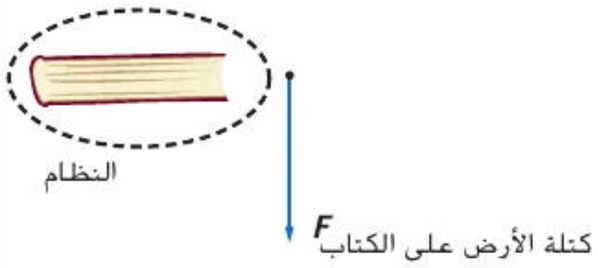


الشكل 2–1



الشكل 2–2

تعد القوة المبذولة بواسطة الخيط قوة تلامس.



الشكل 2–3

تعد القوة المبذولة بواسطة كتلة الأرض قوة مجال.

الأنظمة والمحيط الخارجي عند دراسة كيفية تأثير قوة في حركة، من المهم تحديد الجسم أو الأجسام محل الاهتمام والتي تسمى **النظام**. ويُسمى كل شيء حول النظام يمكن أن يتفاعل معه المحيط الخارجي. في **الشكل 2**، يمثل الكتاب النظام. تمثل يدك والأرض والخيط والطاولة أجزاء من المحيط الخارجي الذي يتفاعل مع الكتاب بدفعه أو سحبه.

قوى التلامس مرة أخرى، فكّر في الطرق المختلفة التي يمكنك بها تحريك كتاب. يمكنك دفعه أو سحبه بلمسه مباشرةً أو يمكنك ربط خيط حوله وسحب الخيط. تعد هذه أمثلة لقوى التلامس. تتولد قوة التلامس عندما يلمس جسم ما من المحيط الخارجي النظام ويؤثر فيه بقوة. إذا كنت تمسك كتاب مادة الفيزياء الآن، فإن يداك تؤثران فيه بقوة تلامس. إذا وضعت الكتاب على طاولة، فإنك لم تعد تؤثر في الكتاب بقوة تلامس. برغم ذلك، تؤثر فيه الطاولة بقوة تلامس لأن الطاولة والكتاب متلامسان.

قوى المجال توجد طرق أخرى يمكن أن تتغير بها حركة الكتاب. يمكنك إسقاطه، وكما تعلمت في الوحدة السابقة سيتسارع أثناء سقوطه على الأرض. وفي هذه الحالة، يحدث هذا التسارع نتيجة تأثير قوة الجاذبية الأرضية في الكتاب. وتؤثر هذه القوة في الكتاب سواء أكانت الأرض تلمسه بالفعل أم لا. وتعد قوة الجاذبية مثالًا لقوة المجال. وهي تؤثر في الأجسام بدون تلامس. هل يمكنك التفكير في أنواع أخرى من قوى المجال؟ إذا كنت قد سبق لك التحقق من مغناطيس، فستعرف أنه يؤثر بقوة بدون لمس. سوف تتحقق من المغناطيسية وقوى المجال الأخرى في الوحدات المقبلة. أما الآن، فتعد قوة المجال الوحيدة التي تحتاج إلى التفكير فيها هي قوة الجاذبية.

المسبّبات تنتج القوى من التفاعلات، فكل قوة تماس وقوة مجال لها سبب معين يمكن تحديده يُسمى المسبّب. وينبغي أن تكون قادرًا على ذكر المسبّب الذي يؤثر بقوة والنظام الذي يقع عليه تأثير هذه القوة. على سبيل المثال، عند دفع الكتاب، تؤثر اليد (المسبّب) بقوة في الكتاب (النظام). وفي حالة عدم وجود مسبّب ونظام، لا توجد قوة. لكن، ماذا عن قوة الجاذبية؟ يمثل المسبّب كتلة الأرض التي تؤثر في الكتاب بقوة المجال. تمثل التسميات الموجودة على القوى في **الشكل 2** أمثلة جيدة على كيفية تحديد مسبّب القوة والنظام الذي تؤثر فيه هذه القوة.

الشكل 2 يمثل الكتاب النظام في كل هذه الحالات.

صنّف القوى في الشكل الأول إلى قوة تلامس أو قوة مجال.

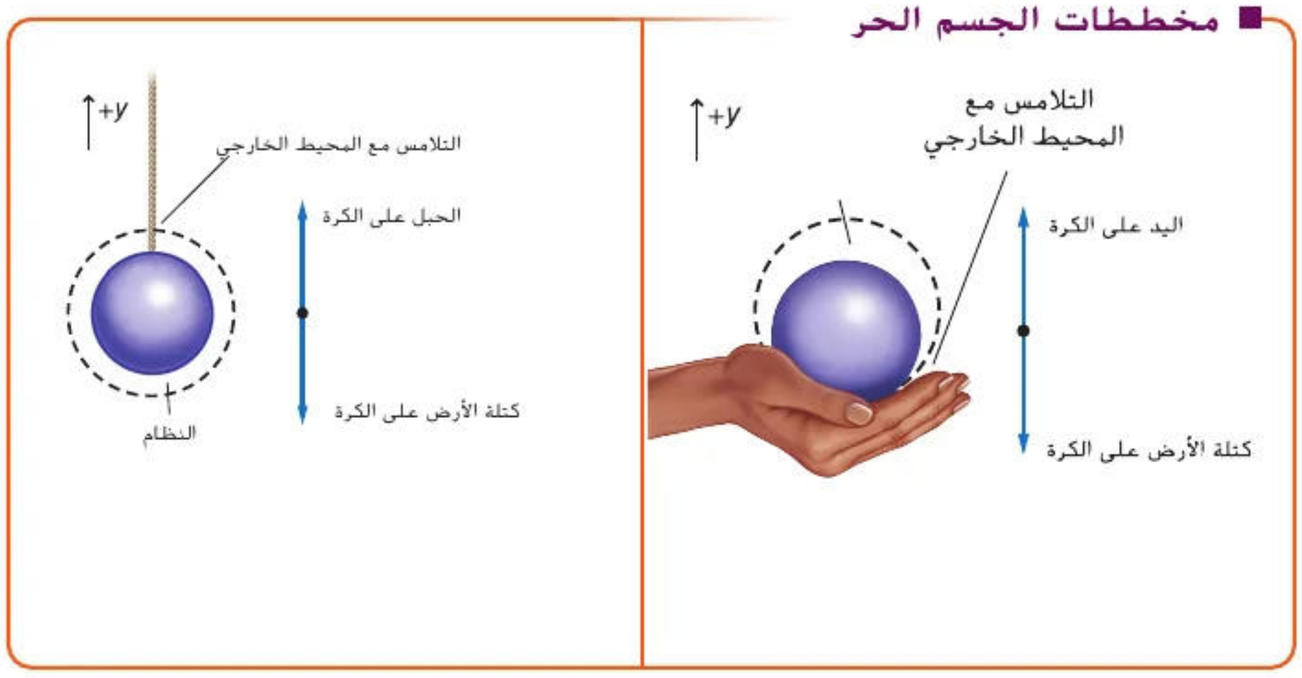
المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

القوة (Force)

- **الاستخدام العلمي**
  الدفع أو السحب المؤثر في جسم ما
  قوة الجاذبية التي تؤثر بها الشمس في الأرض تسحب الأرض إلى المدار حول الشمس.
- **الاستخدام الشائع**
  الإجبار بوسائل مادية أو معنوية أو عقلية
  أجبرت إيمان أخاها الأصغر على غسل الأطباق.

McGraw-Hill Education © محفوظة لصالح مؤسسة حقوق الطبع والتأليف



الشكل 3 تمثل رسومات الكرة في اليد والكرة المعلقة في الخيط نماذج تصويرية. يظهر مخطط الجسم الحر بجانب كل نموذج.

مخططات الجسم الحر كما أن النماذج التصويرية ومخططات الحركة مفيدة في حل مسائل الحركة، ستساعدك التمثيلات المشابهة في تحليل كيفية تأثير القوى في الحركة. الخطوة الأولى هي رسم الحالة كما هو موضح في **الشكل 3**. ارسم دائرة حول النظام، وحدّد كل أماكن ملامسة النظام للمحيط الخارجي. ففي هذه الأماكن يؤثر المسبِّب بقوة تلامس. ثم حدّد القوى التي تؤثر في النظام. وسوف يوفر هذا رسما تخطيطيا.

مخطط الجسم الحر هو تمثيل فيزيائي يوضح القوى التي تؤثر في نظام ما. اتبع هذه الإرشادات عند رسم مخطط الجسم الحر:

- يتم رسم مخطط الجسم الحر منفصلًا عن رسم حالة المسألة.
- استخدم نموذج الجسيم، ومثِّل الجسم بنقطة.
- مثِّل كل قوة بسهم يشير إلى الاتجاه الذي تؤثر فيه القوة. ارسم دائمًا متجهات القوة بحيث تشير بعيدًا عن الجسم، حتى لو كانت القوة دفعًا.
- ارسم كل سهم بحيث يتناسب طوله مع مقدار القوة. في الغالب، ترسم هذه المخططات قبل معرفة مقادير كل القوى. في هذه الحالة، يمكنك استخدام أفضل تقدير.
- ضع اسمًا لكل قوة. استخدم الرمز ***F*** مع كتابة الاسم أسفل الرمز لتحديد كل من المسبّب والجسم التي تؤثر فيه القوة.
- اختر اتجاهًا موجبًا ووضّح هذا في المخطط.

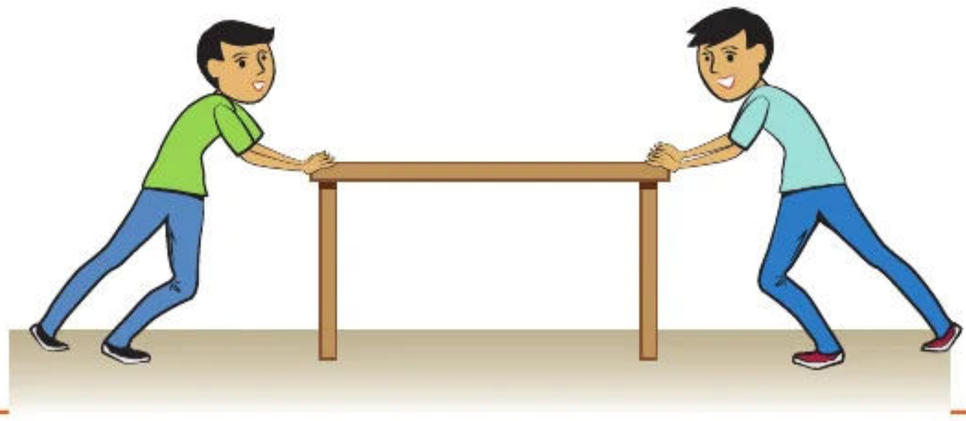
استخدام مخططات الجسم الحر ومخططات الحركة تذكّر أن التسارع يحدث نتيجة للقوى غير المتوازنة. إذا كان مخطط الحركة يشير إلى أن الجسم يتسارع، ينبغي أن يتضمن مخطط الجسم الحر لذلك الجسم قوة غير متوازنة في اتجاه التسارع نفسه.

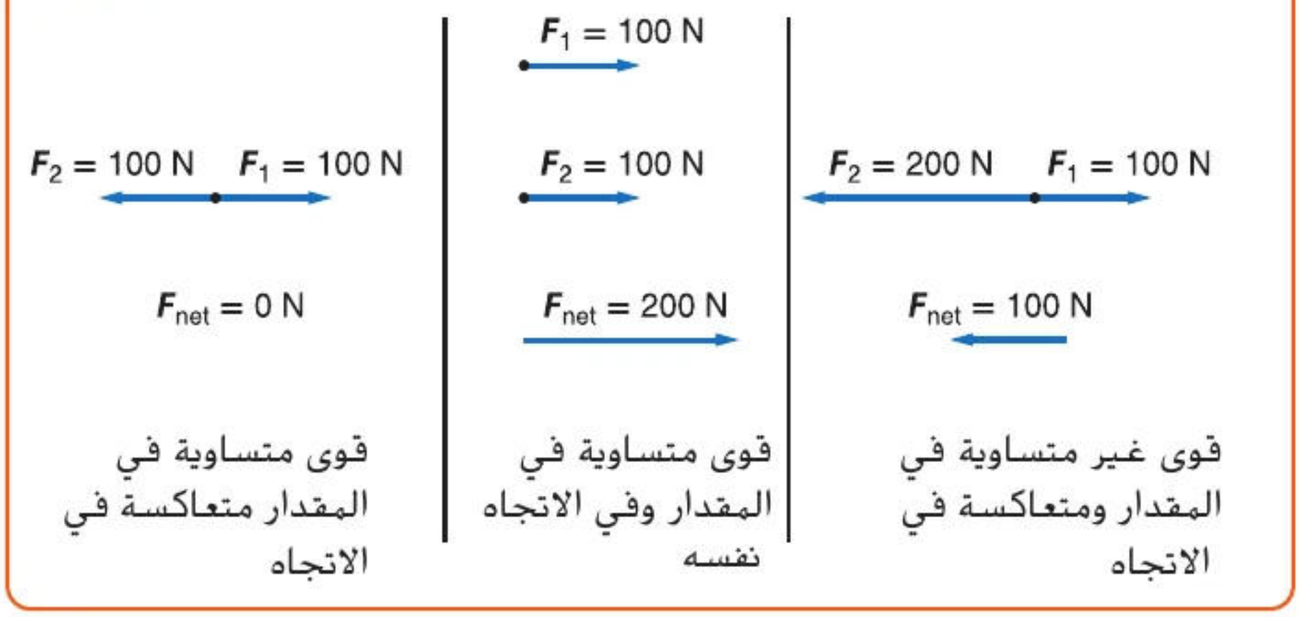
☑ **تاكد من فهمك** **قارن** بين اتجاه تسارع جسم ما واتجاه القوة غير المتوازنة التي تؤثر في ذلك الجسم.

جمع القوى

ماذا يحدث إذا دفعت مع صديقك طاولة وأثر فيها كل منكما بقوة قدرها 100 N؟ عندما تدفعان الطاولة معًا في الاتجاه نفسه، فإنكما تكسبانها ضعف التسارع الذي تكتسبه إذا أثر أحدكما فيها بقوة قدرها 100 N. عندما يدفع كلاكما الطاولة في اتجاهين متعاكسين بمقدار القوة نفسه كما في **الشكل 4**، لا توجد قوة غير متوازنة، لذلك لا تتسارع الطاولة بل تظل مستقرة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education





الشكل 4 تمثل القوة المحصلة المؤثرة في الطاولة المجموع المتجهي لكل القوى التي تؤثر في الطاولة. في هذه الحالة تُحسب القوى الأفقية فقط المؤثرة في الطاولة.

القوة المحصلة يعرض الجزء السفلي من **الشكل 4** مخططات الجسم الحر في الحالتين. يوضح المخطط الثالث في **الشكل 4** مخطط الجسم الحر في الحالة الثالثة التي يدفع فيها صديقك الطاولة في الاتجاه المعاكس أقوى من دفعك لها مرتين. يوجد أسفل كل مخطط من مخططات الجسم الحر متجه يمثل محصلة القوتين. عندما يكون متجها القوتين في الاتجاه نفسه، يمكن استبدالهما بمتجه واحد طوله يساوي مجموع طوليهما. عندما تكون القوتان في اتجاهين متعاكسين، يمكن استبدالهما بمتجه واحد طوله يساوي الفرق بين طوليهما. والمصطلح الآخر الذي يعبر عن مجموع متجهات كل القوى المؤثرة في أحد الأجسام هو **القوة المحصلة**.

ويمكنك، أيضًا، تحليل الحالة رياضيًا. أطلق اسم الاتجاه الموجب على الاتجاه الذي تدفع فيه الطاولة بقوة قدرها 100 N. في الحالة الأولى، الممثّلة في الجزء الأيسر من **الشكل 4**، يدفع صديقك بقوة سالبة قدرها 100 N وينتج عن جمعهما معًا قوة محصلة قدرها 0 N، مما يعني أنه لا يوجد تسارع. في الحالة الثانية، يكون مقدار القوة التي يؤثر بها صديقك 100 N. لذلك تكون القوة المحصلة 200 N في الاتجاه الموجب، وتتسارع الطاولة في الاتجاه الموجب. في الحالة الثالثة، تكون القوة التي يؤثر بها صديقك 200− N. لذلك تكون القوة المحصلة 100 N− وتتسارع الطاولة في الاتجاه السالب.

تطبيقات

في كل من الحالات التالية، حدّد النظام وارسم مخطط الحركة وارسم مخطط الجسم الحر. سمِّ كل القوى بمسبّباتها، ووضّح اتجاه التسارع والقوة المحصلة. ارسم المتجهات بالأطوال المناسبة. تجاهل مقاومة الهواء ما لم يتم الإشارة إلى غير ذلك.

1. يسقط لاعب القفز الحر إلى أسفل في الهواء بسرعة متجهة ثابتة. (يؤثر الهواء في الشخص بقوة اتجاهها إلى أعلى).
2. إذا كنت تمسك بكرة بيسبول في راحة يدك وتقذفها إلى أعلى. فارسم رسومات للكرة عندما لا تزال تلمس يدك.
3. بعد أن تغادر الكرة يدك، ترتفع للأعلى ثم تقل سرعتها.
4. بعد أن تصل الكرة إلى أقصى ارتفاع، تسقط للأسفل ثم تزيد سرعتها.
5. **مسالة تحفيزية** تلتقط الكرة بيدك وتجعلها تسكن.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التسارع والقوة

لاستكشاف كيفية تأثير القوى في حركة أحد الأجسام، فكّر في إجراء مجموعة من التحققات. تأمل الحالة البسيطة المعروضة في الشكل العلوي من **الشكل 5** وفيها نؤثر بقوة في أحد الأجسام أفقيًا. سيكون البدء بالاتجاه الأفقي مفيدًا لأن الجاذبية لا تؤثر أفقيًا. لتقليل التعقيدات الناتجة عن احتكاك الجسم بالسطح، ينبغي أن تجري التحققات على سطح أملس مثل طاولة مصقولة جيدًا. وسنستخدم، أيضًا، عربة بعجلات تدور بسلاسة.

التأثير بقوة ثابتة كيف يمكنك التأثير بقوة ثابتة غير متوازنة؟ يمكنك استخدام جهاز يُسمى الميزان الزنبركي. يوجد زنبرك داخل المقياس يمتد بشكل متناسب مع مقدار القوة المؤثرة. يتم تدريج الجزء الأمامي من المقياس لقراءة القوة بوحدات النيوتن. إذا سحبت المقياس بحيث تظل القراءة على الجزء الأمامي ثابتة، فستكون القوة المؤثرة ثابتة. يعرض الشكل الفوتوغرافية العلوية من **الشكل 5** ميزانًا زنبركيًا يسحب عربة ذات مقاومة منخفضة بقوة ثابتة غير متوازنة.

إذا كنت تجري هذا التحقق وتقيس السرعة المتجهة للعربة لفترة من الزمن، فإنّه من الممكن أن ترسم رسمًا بيانيًا مثل الخط الأخضر الموضح في الرسومات البيانية للسرعة المتجهة - الزمن التي تمثل القوى الثابتة في الشكل الأوسط من **الشكل 5**. يشير الميل الثابت للخط المستقيم في الرسم البياني السرعة المتجهة - الزمن إلى زيادة السرعة المتجهة بمعدل ثابت. المعدل الثابت لتغير السرعة المتجهة يعني أن التسارع ثابت. ويكون هذا التسارع الثابت نتيجة القوة الثابتة غير المتوازنة التي يؤثر بها الميزان الزنبركي في العربة.

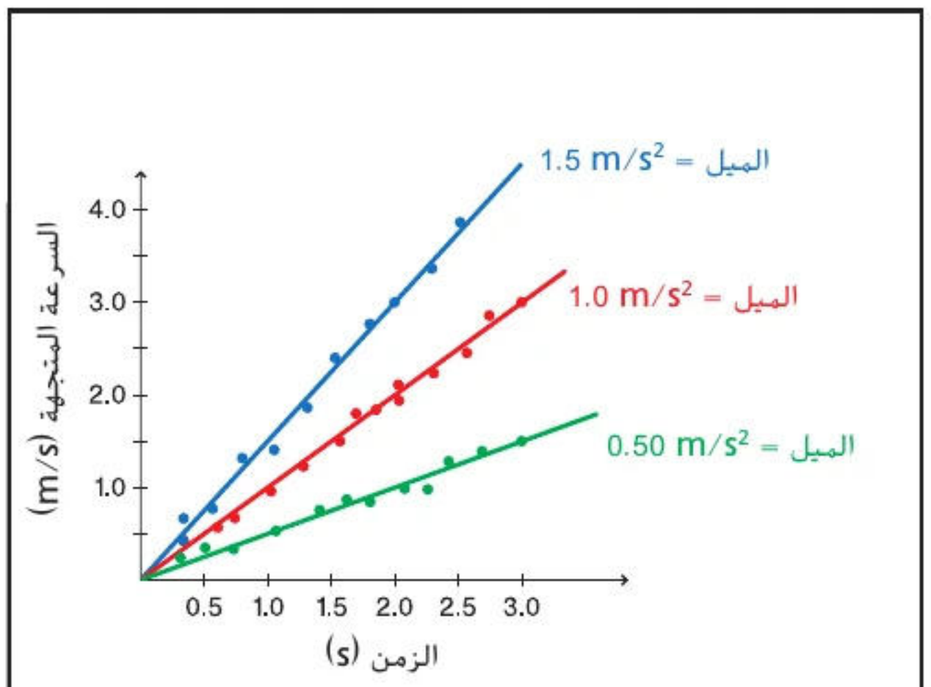
كيف يعتمد التسارع على القوة؟ كرّر التحقق باستخدام قوة ثابتة أكبر. ثم كرّره مرة أخرى باستخدام قوة أكبر كثيرًا. ارسم الرسم البياني للسرعة المتجهة - الزمن لكل قوة مثل الخطوط المستقيمة الأحمر والأزرق في الشكل الأوسط من **الشكل 5**. تذكّر أن ميل الخط المستقيم يمثل تسارع العربة. احسب ميل كل خط مستقيم ومثّل النتائج لكل قوة لترسم الرسم البياني للتسارع - القوة كما هو موضح في الشكل السفلي من **الشكل 5**.

يوضح الرسم البياني أن العلاقة بين القوة والتسارع علاقة خطية. ونظرًا لأن العلاقة خطية، يمكنك تطبيق معادلة الخط المستقيم:

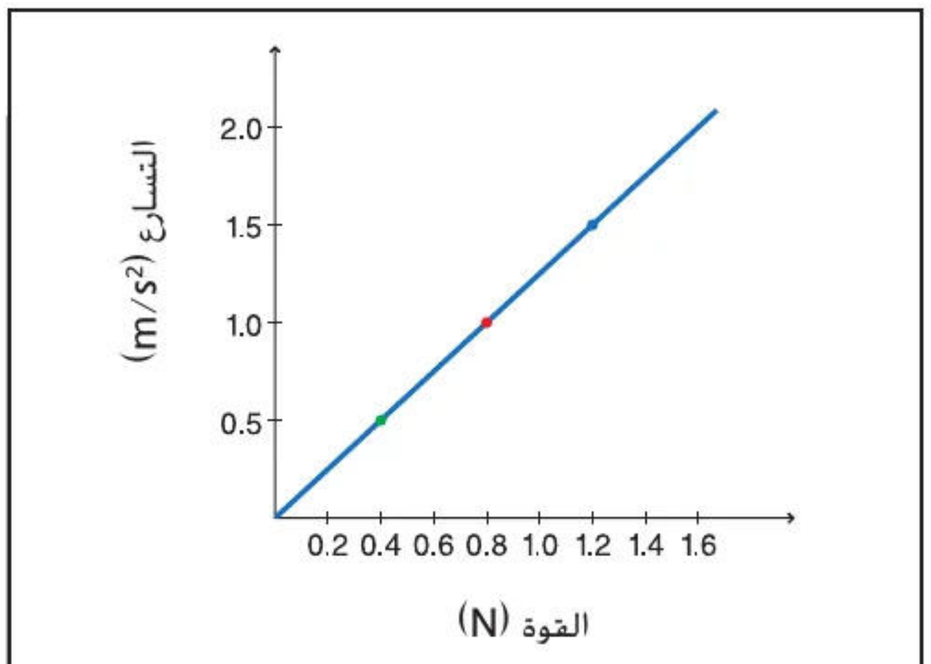
$$y = kx + b$$

مقطع y يساوي 0. لذلك يتم تبسيط المعادلة الخطية إلى $y = kx$. ويمثل المتغير y التسارع في حين يمثل المتغير x القوة. ومن ثمَّ يساوي التسارع ناتج ضرب ميل الخط المستقيم في القوة المحصلة المؤثرة.

التأثير بقوة ثابتة



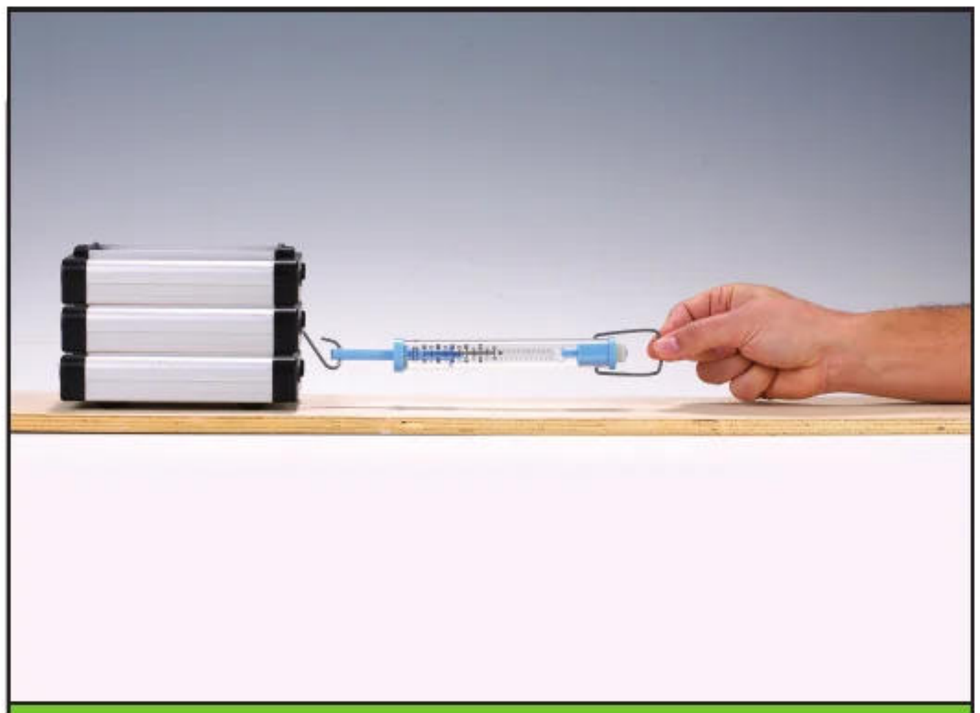
الرسومات البيانية للسرعة المتجهة – الزمن للقوى الثابتة



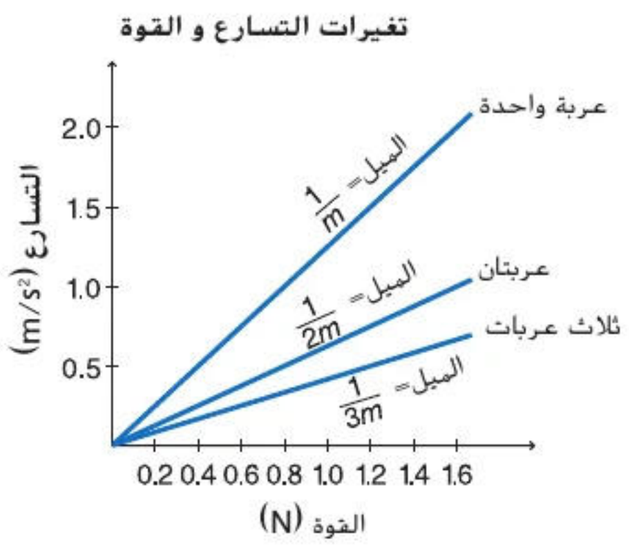
تغيرات تسارع جسم بتغير القوى المؤثرة فيه

الشكل 5 يؤثر الميزان الزنبركي بقوة ثابتة غير متوازنة في العربة. ينتج عن تكرار التحقق باستخدام قوى مختلفة رسومات بيانية للسرعة المتجهة - الزمن ذات ميول مختلفة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



تغيير كتلة النظام



التأثير بالقوة نفسها في كتل مختلفة

الشكل 6 يؤثر تغيير كتلة الجسم في تسارع ذلك الجسم.

قارن بين تسارع عربة واحدة وتسارع عربتين عند التأثير بقوة قدرها 1 N.

تفسير الميل ما المعنى الفيزيائي للميل في الرسم البياني للتسارع - القوة؟ هل يصف شيئًا ما عن الجسم الذي يتسارع؟ لمعرفة ذلك، غيِّر الجسم. افترض أنه يتم وضع عربة ثانية مماثلة فوق العربة الأولى ثم تتم إضافة عربة ثالثة كما في **الشكل 6**. سيسحب الميزان الزنبركي عربتين ثم ثلاث عربات. يعرض **الشكل 6** التمثيل البياني للقوة مقابل التسارع للعربة الواحدة والعربتان والثلاث عربات.

يوضح الرسم البياني أنه إذا تم التأثير بالقوة نفسها في كل حالة، فإن تسارع العربتين يساوي $\frac{1}{2}$ تسارع العربة الواحدة.

في حين يساوي تسارع العربات الثلاث $\frac{1}{3}$ تسارع العربة الواحدة. وهذا يعني أنه كلما زاد عدد العربات، نقص التسارع. أي أنه يلزم وجود قوة أكبر لإحداث التسارع نفسه. تتوقف ميول الخطوط المستقيمة في **الشكل 6** على عدد العربات، أي أن الميل يتوقف على الكتلة الكلية للعربات. في الواقع، يساوي الميل معكوس الكتلة (الميل = $\frac{1}{\text{الكتلة}}$). وباستخدام هذه القيمة للميل، تصبح المعادلة الرياضية $y = kx$ المعادلة الفيزيائية $a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$.

ما المعلومات الموجودة في المعادلة $a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$؟ وهذا يدل على أن القوة المحصلة المؤثرة في أحد الأجسام تتسبّب في تغير حركة ذلك الجسم - تتسبّب القوة في تسارع الجسم. ويدل أيضًا على أنه في حالة مضاعفة القوة المؤثرة في الجسم نفسه، يتضاعف تسارعه. وأخيرًا، إذا أثرت بالقوة نفسها في أجسام ذات كتل مختلفة، فسوف يكتسب الجسم ذو الكتلة الأكبر التسارع الأقل، ويكتسب الجسم ذو الكتلة الأقل التسارع الأكبر.

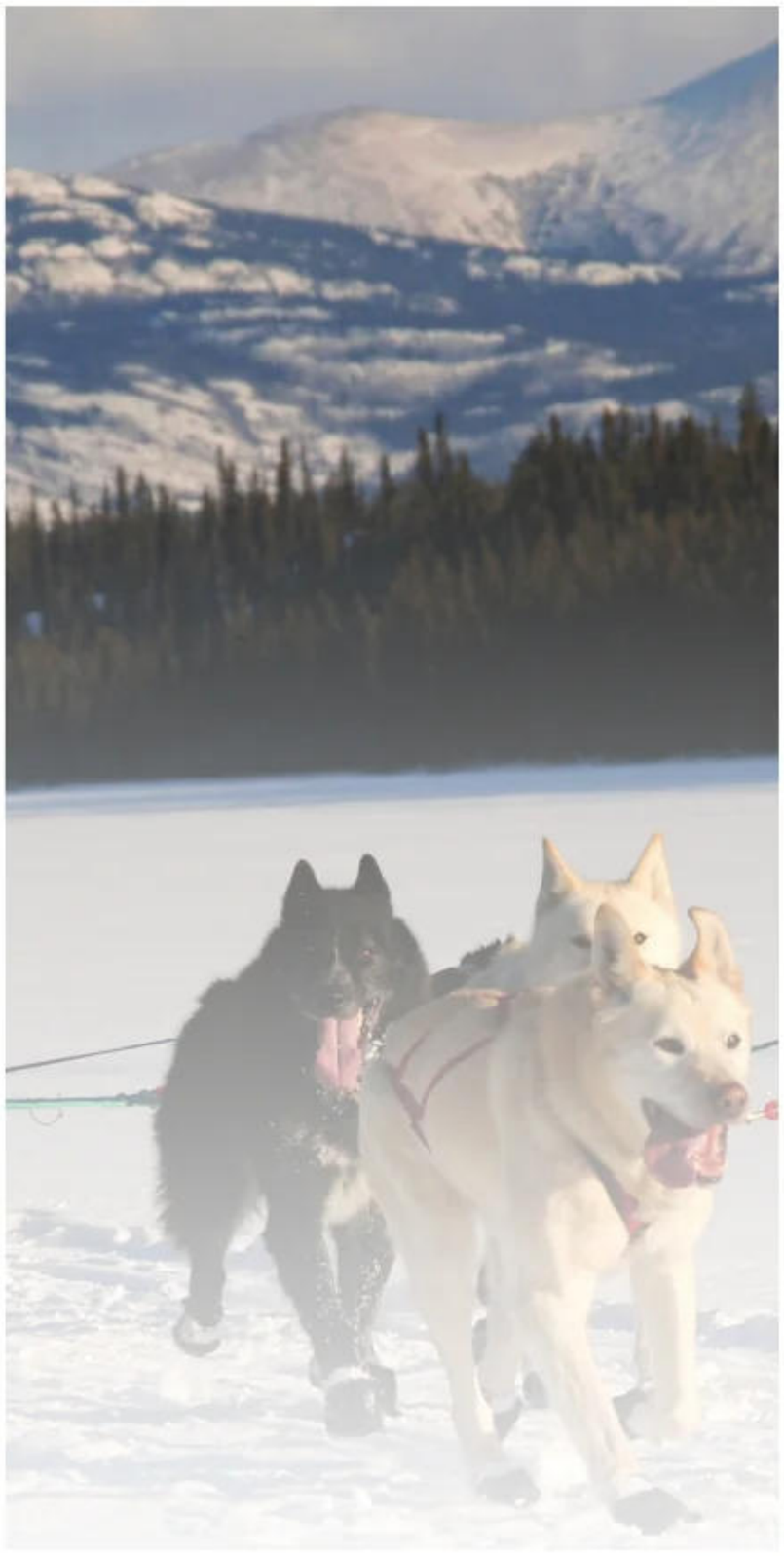
☑ **تأكد من فهمك** **حدّد** إلى أي مدى يجب أن يتم تغيير القوة المؤثرة في أحد الأجسام لتقليل تسارعه بمقدار النصف.

تذكّر أنه يتم قياس القوى بوحدة تُسمى النيوتن. نظرًا لأن $F_{\text{المحصلة}} = ma$، فإن النيوتن يساوي وحدة الكتل مضروبة في وحدة التسارع. لذلك، نيوتن واحد يساوي $1\ kg \cdot m/s^2$. للحصول على فكرة مقاربة عن مقدار 1 N، فكّر في القوة المؤثرة إلى أسفل التي تشعر بها عندما تمسك تفاحة في يدك. تساوي القوة التي تؤثر بها التفاحة في يدك نيوتن واحدًا تقريبًا. يُبيّن **الجدول 1** مقادير بعض القوى الأخرى الشائعة.

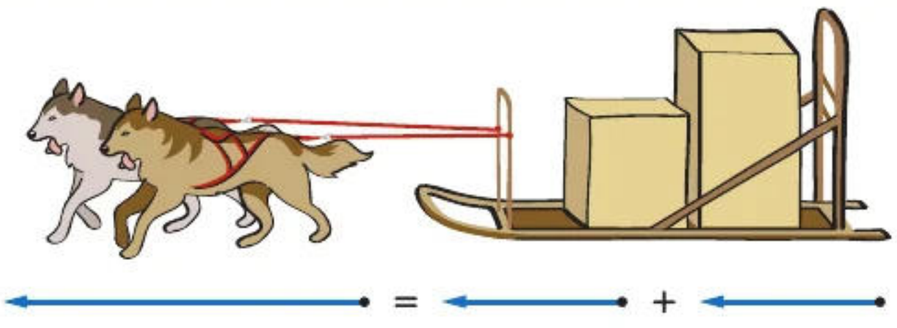
الجدول 1 القوى الشائعة

الوصف	F (N)
قوة الجاذبية المؤثّرة في قطعة نقد	0.05
قوة الجاذبية المؤثّرة في كيس من السكر كتلته 0.45 kg	4.5
قوة الجاذبية المؤثّرة في شخص كتلته 70 kg	686
القوة التي يؤثر بها الطريق في سيارة أثناء تسارعها	3000
قوة محرك صاروخ	5,000,000

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة



الشكل 7 تمثل القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما مجموع متجهات كل القوى المؤثرة في ذلك الجسم.



قانون نيوتن الثاني

يوضح **الشكل 7** كلبين يسحبان مزلجة. يسحب كل كلب بقوة قدرها 40 N. من التحقق الذي أُجري بالعربة والميزان الزنبركي، تعرف أن المزلجة تتسارع نتيجةً للقوة غير المتوازنة المؤثرة فيها. هل سيتغير التسارع إذا أثّر كلب واحد أكبر وأقوى بقوة مفردة قدرها 80 N في العربة بدلًا من الكلبين اللذين يؤثر كل منهما بقوة قدرها 40 N؟ عند التفكير في القوى والتسارع، من المهم إيجاد مجموع كل القوى التي تُسمى القوة المحصلة المؤثرة في النظام.

ينص قانون نيوتن الثاني على أنه يتناسب تسارع الجسم تناسبًا طرديًا مع القوة المحصلة ويتناسب تناسبًا عكسيًا مع كتلة الجسم. يقوم هذا القانون على الملاحظات حول كيفية تأثير القوى في الكتل ويتم تمثيله بالمعادلة التالية.

قانون نيوتن الثاني

تسارع الجسم يساوي ناتج قسمة محصلة القوى المؤثرة فيه على كتلته.

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

حل المسائل باستخدام قانون نيوتن الثاني يعد تحديد القوة المحصلة المؤثرة في الجسم إحدى الخطوات الأكثر أهمية في تطبيق قانون نيوتن الثاني بطريقة صحيحة. وكثيرًا ما تؤثر أكثر من قوة في الجسم. لذا يجب أن تجمع متجهات القوى لتحديد القوة المحصلة. ارسم مخطط الجسم الحر موضحًا الاتجاه والقوة النسبية لكل قوة تؤثر في النظام. ثم اجمع متجهات القوى لإيجاد القوة المحصلة. بعد ذلك، استخدم قانون نيوتن الثاني لحساب التسارع. وأخيرًا، إذا لزم الأمر، يمكنك استخدام ما تعرفه عن الحركة المتسارعة لإيجاد السرعة المتجهة أو موقع الجسم.

تطبيقات

6. يتم التأثير بقوتين أفقيتين مقداراهما 225 N و165 N في قارب. وفي الاتجاه نفسه، أوجد القوة المحصلة الأفقية المؤثرة في القارب.
7. إذا أثّرت نفس القوتان في المسألة السابقة في القارب في اتجاهين متعاكسين، فما القوة المحصلة الأفقية المؤثرة في القارب؟ تأكد من توضيح اتجاه القوة المحصلة.
8. **مسألة تحفيزية** تحاول ثلاثة كلاب سحب مزلجة على الجليد في ألاسكا. يسحب الأول إلى الشرق بقوة مقدارها 35 N. ويسحب الثاني إلى الشرق أيضًا بقوة مقدارها 42 N. ويسحب الثالث الضخم إلى الغرب بقوة مقدارها 53 N. فما القوة المحصلة التي تؤثر في المزلجة؟

McGraw-Hill Education مؤسسة حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح

مثال 1

التنازع على الوسادة تمسك مريم بوسادة كتلتها 0.30 kg في حين تقرر سارة أنها تريدها وتحاول أن تنتزعها من مريم. إذا سحبت سارة الوسادة أفقيًا بقوة قدرها 10.0 N وسحبت مريم بقوة أفقية قدرها 11.0 N، فما التسارع الأفقي للوسادة؟

1 حلّل المسألة وارسمها

- ارسم مخططًا للموقف.
- حدّد الوسادة كنظام وأن الاتجاه الذي تسحب فيه مريم موجب.
- ارسم مخطط الجسم الحر للوسادة وضَع تسميات القوى.

المعلوم	المجهول
$m = 0.30\ kg$	$a = ?$
$F_{\text{مريم في الوسادة}} = 11.0\ N$	
$F_{\text{سارة في الوسادة}} = 10.0\ N$	

2 إيجاد المجهول

$$F_{\text{المحصلة}} = F_{\text{مريم في الوسادة}} + (-F_{\text{سارة في الوسادة}})$$

استخدم قانون نيوتن الثاني.

$$a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$$

$$= \frac{F_{\text{مريم في الوسادة}} + (-F_{\text{سارة في الوسادة}})}{m}$$

◄ بالتعويض عن $m = 0.30\ kg$، $F_{\text{سارة في الوسادة}} = 10.0\ N$، $F_{\text{مريم في الوسادة}} = 11.0\ N$

$$= \frac{11.0\ N - 10.0\ N}{0.30\ kg}$$

$$= 3.3\ m/s^2$$

$a = 3.3\ m/s^2$ في اتجاه مريم

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** m/s^2 هي الوحدة الصحيحة للتسارع.
- هل الإشارة منطقية؟ يكون التسارع في اتجاه مريم نظرًا لأن مريم تسحب في اتجاه نفسها بقوة أكبر من القوة التي تسحب بها سارة في الاتجاه المعاكس.
- **هل المقدار واقعي؟** تساوي القوة المحصلة 1 N وتساوي الكتلة 0.3 kg، ومن ثمَّ يكون التسارع واقعيًا.

تطبيقات

9. يُستخدم الميزان الزنبركي للتأثير بقوة محصلة قدرها 2.7 N في عربة. إذا كانت كتلة العربة 0.64 kg، فما تسارعها؟

10. تتعلم كريمة كيفية التزحلق على الجليد. وترغب في أن تسحبها أمها حتى يكون تسارعها $0.80\ m/s^2$. إذا كانت كتلة كريمة 27.2 kg، فما القوة التي يجب على أمها أن تسحبها بها؟ (تجاهل أي مقاومة بين الثلج وزلاجات كريمة).

11. مسألة تحفيزية يتم التأثير بقوتين أفقيتين في صندوق كبير. القوة الأولى مقدارها 317 N تجاه اليمين. والقوة الثانية مقدارها 173 N تجاه اليسار.

A. رسم مخطط القوى المؤثرة في الصندوق.

B. ما القوة المحصلة التي تؤثر في الصندوق؟

C. يكون الصندوق ساكناً في البداية. وتكون سرعته المتجهة 6.5 m/s تجاه اليمين بعد خمس ثوان. فما كتلة الصندوق؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

قانون نيوتن الأول

كيف يتحرك جسم ما عندما تكون القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا؟ ينص قانون نيوتن الثاني على أنه إذا كانت $F_{\text{المحصلة}} = 0$، فإن التسارع يساوي صفرًا. تذكّر أنه إذا كان التسارع يساوي صفرًا، فلن تتغير السرعة المتجهة. ومن ثمَّ يظل الجسم الثابت الذي لا تؤثر فيه قوة محصلة في حالة السكون. ماذا عن جسم متحرك مثل كرة تتدحرج على سطح ما؟ إلى أي مدى ستتدحرج الكرة؟ سيتوقف ذلك على السطح. إذا كانت الكرة تتدحرج على سجادة سميكة تؤثر بقوة في الكرة، فستصل إلى السكون سريعًا. وإذا كانت تتدحرج على جسم صلب أملس يؤثر فيها بقوة ضئيلة للغاية مثل حارة البولينج، فسوف تتدحرج الكرة لفترة طويلة مع تغير قليل في السرعة المتجهة. أجرى جاليليو العديد من التجارب، واستنتج أنه إذا أمكنه التخلص من كل القوى التي تعوق الحركة، فلن تتوقف الحركة الأفقية. كان جاليليو أول من أدرك أن المبادئ العامة للحركة يمكن اكتشافها بتقدير النتائج التجريبية للحالة المُثلى.

في غياب القوة المحصلة، لا تتغير السرعة المتجهة للكرة المتحركة وعدم الحركة للجسم الساكن. وأدرك نيوتن هذا وعمّم نتائج جاليليو في عبارة واحدة. هذه العبارة هي "يظل الجسم الساكن ساكنًا ويظل الجسم المتحرك متحركًا في خط مستقيم بسرعة ثابتة فقط إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في ذلك الجسم تساوي صفرًا." وتُسمى **قانون نيوتن الأول**.

القصور الذاتي يُسمى قانون نيوتن الأول أحيانًا بقانون القصور الذاتي نظرًا لأن **القصور الذاتي** هو ميل الجسم إلى مقاومة التغيرات في السرعة المتجهة. توضح السيارة والمكعب الأحمر في **الشكل 8** قانون القصور الذاتي. في الشكل الأيمن، يتحرك كلا الجسمين ناحية اليمين. في الشكل الأيسر، يؤثر الصندوق الخشبي بقوة في السيارة مما يؤدي إلى توقفها. لا يخضع المكعب الأحمر للقوة التي يؤثر بها الصندوق الخشبي. ويستمر في التحرك إلى اليمين بالسرعة المتجهة نفسها كما في الشكل اليسرى.

هل يُعد القصور الذاتي قوة؟ لا. تنتج القوى من التفاعلات بين جسمين؛ وليست خصائص للأجسام المفردة، لذا لا يمكن أن يكون القصور الذاتي قوة. تذكّر أنه بسبب تضمُّن السرعة المتجهة كلًا من مقدار السرعة واتجاهها (اتجاه الحركة)، يلزم وجود قوة محصلة لتغيير مقدار السرعة أو اتجاه الحركة. إذا كانت القوة المحصلة تساوي صفرًا، فإنه وفقًا لقانون نيوتن الأول سيظل الجسم يتحرك بالسرعة نفسها وفي الاتجاه نفسه.

الشكل 8 تقترب السيارة والقالب من الصندوق الخشبي بالسرعة نفسها. بعد التصادم، يستمر القالب في الحركة بالسرعة الأفقية نفسها.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 9 يكون الجسم في حالة اتزان إذا لم تتغير سرعته المتجهة. في كلتا الحالتين المصورتين هنا، لا تتغير السرعة المتجهة، لذا من المؤكد أن القوة المحصلة تساوي صفرًا.

الاتزان وفقًا لقانون نيوتن الأول، تسبّب القوة المحصلة تغيرًا في السرعة المتجهة للجسم. إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا، فإن الجسم في حالة **اتزان**. يكون الجسم متّزناً إذا كان يتحرك بسرعة متجهة ثابتة. لاحظ أن البقاء في حالة السكون يمثل حالة خاصة للسرعة المتجهة الثابتة حيث $v = 0$. يعرّف قانون نيوتن الأول القوة المحصلة بأنها شيء ما يغير حالة الاتّزان. إذا لم توجد قوة محصلة مؤثرة في الجسم، فإن الجسم لا يكتسب تغيرًا في السرعة أو الاتجاه ويكون في حالة اتّزان. كما يوضح **الشكل 9**، على الأقل من حيث القوى المحصلة المؤثرة، لا يوجد فرق بين الجلوس على كرسي والسقوط بسرعة متجهة ثابتة أثناء القفز الحر بالمظلات - السرعة المتجهة لا تتغير، لذلك تكون القوة المحصلة صفرًا.

عند تحليل القوى والحركة، من المهم أن نضع في الحسبان أن العالم الواقعي مليء بالقوى التي تقاوم الحركة والتي تُسمى قوى الاحتكاك. وليس من السهل الحصول على عالَم نيوتن المثالي الخالي من الاحتكاك. إذا حلّلت حالة، واكتشفت أن النتيجة مختلفة عن تجربة مشابهة أجريتها سابقًا، فاسأل نفسك هل هذا بسبب وجود قوى الاحتكاك. على سبيل المثال، إذا دفعت كتابًا على طاولة، فسيتوقف سريعًا. للوهلة الأولى، يبدو أن قانون نيوتن الأول خاطئًا في هذه الحالة بسبب تغير السرعة المتجهة للكتاب بالرغم من عدم وجود قوة واضحة تؤثر في الكتاب. ومع ذلك، فإن القوة المحصلة المؤثرة في الكتاب هي قوة الاحتكاك بين الطاولة والكتاب في الاتجاه المعاكس للحركة.

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

الاتزان (Equilibrium)

- **الاستخدام العلمي**
  الحالة التي تكون فيها القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا.
  عندما يكون أحد الأجسام متوازنًا، تكون سرعته المتجهة ثابتة.
- **الاستخدام العام**
  حالة الاتزان
  أفسد التلوث توازن النظام البيئي.

القسم 1 مراجعة

12. **الفكرة الرئيسة** حدّد كلًا مما يلي بحرف **A** أو **B** أو **C**: الكتلة والقصور الذاتي ودفع اليد والاحتكاك ومقاومة الهواء وقوة ارجاع الزنبرك والجاذبية والتسارع.
    A. قوة تلامس
    B. قوة مجال
    C. ليست قوة
13. **مخطط الجسم الحر** ارسم مخطط الجسم الحر لكيس من السكر يتم رفعه بيدك بسرعة متزايدة. حدّد النظام بصفة خاصةً. استخدم النصوص السفلية لوضع تسميات لكل القوى ومسبّباتها. تذكّر أن ترسم الأسهم بالأطوال الصحيحة.
14. **مخطط الجسم الحر** ارسم مخطط الجسم الحر لدلو ماء يتم رفعه بحبل بسرعة متناقصة. حدّد النظام بصفة خاصةً. ضع تسميات لكل القوى بمسبّباتها وارسم الأسهم بالأطوال الصحيحة.
15. **التفكير الناقد** لا يؤثر في قالب ما إلا قوة أفقية قدرها 1 N. ويتم قياس التسارع الأفقي للقالب. عندما تؤثر القوة الأفقية نفسها في قالب ثانٍ، يكون التسارع الأفقي ثلاثة أمثال الأول. ماذا يمكنك استنتاجه عن كتلتي القالبين؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 2 الوزن والقوة المعيقة

الفكرة الرئيسة

يمكن استخدام قانون نيوتن الثاني لتوضيح حركة الأجسام الساقطة.

الأسئلة الرئيسة

- ما العلاقة بين وزن الجسم وكتلته؟
- ما أوجه اختلاف الوزن الحقيقي عن الوزن الظاهري؟
- ما تأثير الهواء على الأجسام أثناء سقوطها؟

مراجعة المفردات

اللزوجة مقاومة المائع للتدفق

مفردات جديدة

الوزن	weight
مجال الجاذبية	gravitational field
الوزن الظاهري	apparent weight
انعدام الوزن	weightlessness
القوة المعيقة	drag force
السرعة الحدية	terminal velocity

الفيزياء في حياتك

إذا كان قد سبق لك ركوب قطار الالعاب، فمن المحتمل أنك لاحظت الشعور بانعدام وزنك عندما تمر فوق تلة. ولكن تساوي قوة الجاذبية الأرضية في أعلى التلة قوة الجاذبية الأرضية في أسفل التلة افتراضيًا. فلماذا تشعر بانعدام الوزن؟

الوزن

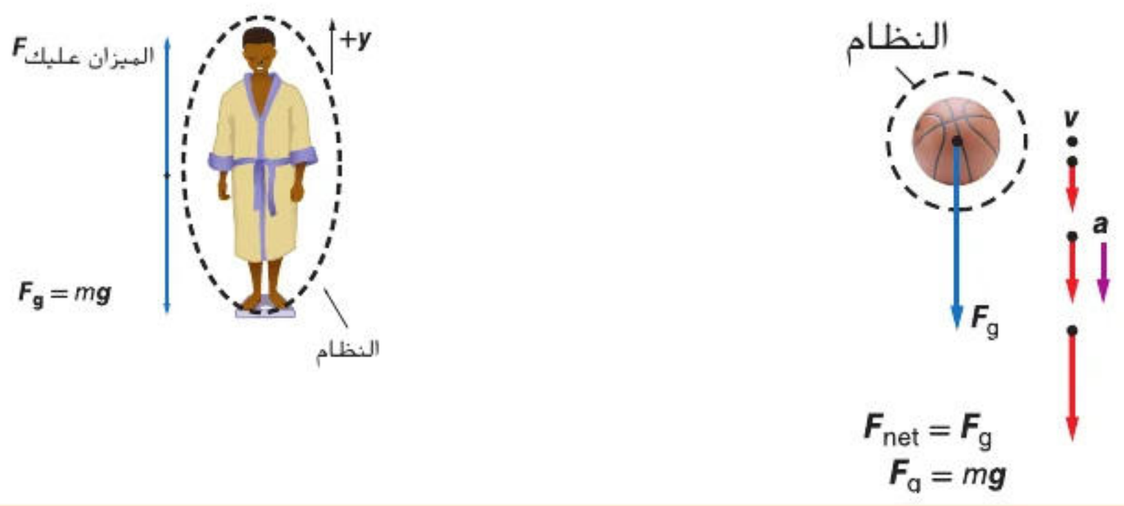
من قانون نيوتن الثاني، إذا كانت الكرة في **الشكل 10** تتسارع، فهذا يعني وجود قوى غير متّزنة تؤثر في الكرة. تمثل قوة الجاذبية الأرضية القوة الوحيدة التي تؤثر في الكرة بسبب كتلة الأرض. **وزن** الجسم قوة الجاذبية التي يخضع لها ذلك الجسم. وتُعد قوة الجاذبية هذه قوة مجال يتناسب قدرها طرديًا مع كتلة الجسم الذي يتأثر بالقوة. في صيغة معادلة، يمكن كتابة قوة الجاذبية التي تساوي الوزن كالتالي $F_g = mg$. حيث كتلة الجسم m ويسمى g **مجال الجاذبية** وهو كمية متجهة تربط بين كتلة الجسم وقوة الجاذبية التي يخضع لها في مكان محدد. بالقرب من سطح الأرض، تكون $g = 9.8\ N/kg$ تجاه مركز الأرض. تخضع الأجسام القريبة من سطح الأرض لقوة قدرها 9.8 N لكل كيلوجرام من الكتلة.

الموازين عندما تقف على ميزان كما هو موضح في الصورة اليسرى من **الشكل 10**، يؤثر الميزان فيك بقوة إلى أعلى. ونظرًا لأنك لا تتسارع، يجب أن تساوي القوة المحصلة التي تؤثر فيك صفرًا. ومن ثَمَّ يجب أن يكون مقدار قوة الدفع إلى أعلى التي يؤثر بها الميزان ($F_{\text{الميزان فيك}}$) مساوية لمقدار قوة السحب إلى أسفل التي تؤثر فيك F_g. داخل الميزان، توفر الزنبركات القوة إلى أعلى اللازمة لجعل القوة المحصلة تساوي صفرًا. تتم معايرة الميزان لتحويل تمدد الزنبركات إلى وزن. يتم التأثير في قياس الميزان بمجال الجاذبية على سطح الأرض. إذا كنت فوق كوكب مختلف له جاذبية g مختلفة، فسيؤثر الميزان بقوة مختلفة ليحافظ على توازنك، وستختلف قراءة الميزان. ونظرًا لأن الوزن قوة، فإن الوحدة المناسبة المستخدمة في قياس الوزن هي النيوتن.

الشكل 10 قوة الجاذبية التي تؤثر بها كتلة الأرض في الجسم تساوي كتلة الجسم مضروبة في مجال الجاذبية، ($F_g = mg$).

حدّد القوى التي تؤثر فيك عندما تكون متزنا أثناء الوقوف على الميزان.

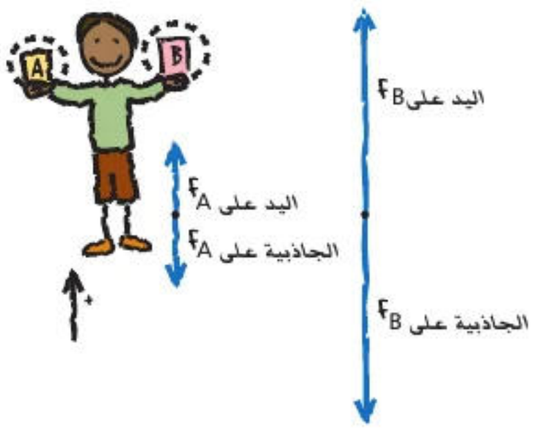
الوزن



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 2

مقارنة الأوزان يمسك أمجد أسطوانة نحاسية في كل يد. تبلغ كتلة الأسطوانة A 100.0 g وتبلغ كتلة الأسطوانة B 300.0 g. فما القوى المتجهة إلى أعلى التي تؤثر بها يداه للحفاظ على الأسطوانتين في حالة السكون؟ إذا أسقط الأسطوانتين بعد ذلك، فما التسارع الذي تسقطان به؟ (تجاهل مقاومة الهواء)



1 تحليل المسالة

- ارسم مخططًا للموقف.
- حدّد الأسطوانتين باعتبارهما نظامين واختر الاتجاه إلى أعلى باعتباره موجبًا.
- ارسم مخططات الجسم الحر وضَع تسميات القوى.

المعلوم	المجهول
$m_A = 0.1000\ kg$	$F_{A\ \text{في اليد}} = ?$
$m_B = 0.3000\ kg$	$F_{B\ \text{في اليد}} = ?$
$g = -9.8\ N/kg$	$a_B = ?\quad a_A = ?$

2 إيجاد المجهول

بالنسبة إلى الأسطوانة A:

$F_{\text{الجاذبية في A}} + F_{\text{اليد في A}} = F_{\text{المحصلة في A}}$

$F_{\text{الجاذبية في A}} + F_{\text{اليد في A}} = 0$

$F_{\text{اليد في A}} = -F_{\text{الجاذبية في A}}$

$F_{\text{اليد في A}} = -m_A g$

$= -(0.1000\ kg)(-9.8\ N/kg)$

$= 0.98\ N$ لأعلى

بالنسبة إلى الأسطوانة B:

$F_{\text{الجاذبية في B}} + F_{\text{اليد في B}} = F_{\text{المحصلة في B}}$

$F_{\text{الجاذبية في B}} + F_{\text{اليد في B}} = 0$

$F_{\text{اليد في B}} = -F_{\text{الجاذبية في B}}$

$F_{\text{اليد في B}} = -m_A g$

$= -(0.3000\ kg)(-9.8\ N/kg)$

$= 2.9\ N$ لأعلى

بعد إسقاط الأسطوانتين، تكون القوة الوحيدة المؤثرة في كل منهما قوة الجاذبية.

استخدم قانون نيوتن الثاني.

$a_B = \dfrac{F_{\text{المحصلة في B}}}{m_B}$ $\qquad$ $a_A = \dfrac{F_{\text{المحصلة في A}}}{m_A}$

► **بالتعويض عن** $F_{\text{المحصلة في A}} = m_A g$ **و** $F_{\text{المحصلة في B}} = m_B g$

$a_A = \dfrac{m_B\, g}{m_B} = g$ $\qquad$ $a_B = \dfrac{m_A\, g}{m_A} = g$

► **بالتعويض عن** $g = -9.8\ N/kg = -9.8\ m/s^2$.

$= -9.8\ m/s^2$ $\qquad$ $= -9.8\ m/s^2$

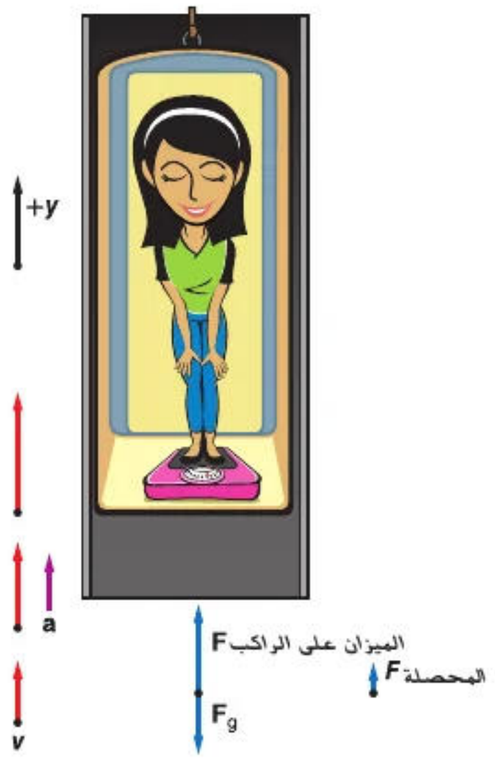
3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** N هي الوحدة الصحيحة للقوة. m/s^2 هي الوحدة الصحيحة للتسارع.
- **هل الإشارة منطقية؟** يكون اتجاه السقوط إلى أسفل، وهو الاتجاه السالب، ويتسارع الجسم، لذلك ينبغي أن يكون التسارع سالبًا.
- **هل المقدار واقعي؟** يقع مقدار القوة بين 0.5N – 1، وهي القوى المعتادة التي تؤثر بها الأجسام التي تبلغ كتلتها 1 kg أو أقل. يساوى تسارع كل منهما تسارع السقوط الحر.

تطبيقات

16. وضعت بطيخة على ميزان زنبركي مدرج للقياس بوحدات النيوتن. إذا كانت كتلة البطيخة 4.0 kg، فما قراءة الميزان؟
17. وضعت جهاز تليفزيون كتلته 22.50 kg على ميزان زنبركي. إذا كانت قراءة الميزان 235.2 N، فما مجال الجاذبية في ذلك المكان؟
18. يُرفع حجر كتلته 0.50 kg من الأرض. ما أقل قوة لازمة لرفعه؟ صِف الحركة الناتجة من هذه القوة.
19. **مسألة تحفيزية** يمكن لكيس بقالة أن يتحمل حدًا أقصى من الوزن قدره 230 N قبل أن ينقطع. فهل يتحمل كيس يحتوي على 15 kg من مواد البقالة ويتم رفعه من فوق كاونتر الدفع بتسارع قدره $7.0\ m/s^2$؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة



الشكل 11 إذا كنت تتسارع إلى أعلى، فمن المؤكد أن القوة المحصلة المؤثرة فيك ستكون إلى أعلى. يجب أن يؤثر الميزان بقوة إلى أعلى أكبر من قوة وزنك إلى أسفل.

الوزن الظاهري ما الوزن؟ نظرًا لأن قوة الوزن يتم تعريفها كالتالي $F_g = mg$، F_g تتغير عندما تتغيّر g. تكون g ثابتة تقريبًا على سطح الأرض أو بالقرب منه، لذلك لا يختلف وزن الجسم بشكل ملحوظ عندما يتحرك بالقرب من سطح الأرض. إذا كان الميزان المنزلي لا يوفر إلا القوة المؤثرة فيك إلى أعلى، فإنه يقرأ وزنك. ماذا يقرأ الميزان إذا وقفت بقدم واحدة عليه والأخرى على الأرض؟ ماذا لو ضغط صديق على كتفيك إلى أسفل أو دفع مرفقيك إلى أعلى؟ إذًا توجد قوى تلامس أخرى تؤثر فيك، ولن يقرأ الميزان وزنك.

ماذا يحدث إذا وقفت على الميزان داخل مصعد؟ طالما أنك لا تتسارع، فسيقرأ الميزان وزنك. ماذا يقرأ الميزان إذا تسارع المصعد إلى أعلى؟ يوضح **الشكل 11** النموذجين التصويري والفيزيائي لهذه الحالة. فأنت تمثل النظام، والاتجاه إلى أعلى هو الاتجاه الموجب. لأن اتجاه تسارع النظام يكون إلى أعلى، من المؤكد أن القوة المحصلة ستكون إلى أعلى. يجب أن تكون القوة التي يؤثر بها الميزان إلى أعلى أكبر من قوة وزنك إلى أسفل. ومن ثَمَّ تكون قراءة الميزان أكبر من وزنك.

إذا استقللت مصعدًا يتسارع إلى أعلى، فسوف تشعر كما لو كنت أثقل لأن أرضية المصعد تضغط بدرجة أقوى على قدميك. ومن ناحية أخرى، إذا كان المصعد يتسارع إلى أسفل، حينها ستشعر أنك أخف وزنًا وسيقرأ الميزان أقل من وزنك. تُعد القوة التي يؤثر بها الميزان مثالًا على **الوزن الظاهري**، الذي يمثل قوة الدعم المؤثرة في الجسم.

تأكد من فهمك **صِف** قراءة الميزان عندما يتسارع المصعد إلى أعلى من السكون وعندما يصل إلى سرعة ثابتة وعندما يبدأ بالتباطؤ حتى يتوقف.

تخيل أن الحبل الذي يمسك المصعد انقطع. ماذا يقرأ الميزان عندئذٍ؟ تتسارع أنت والميزان بمقدار $a = g$. ووفقًا لهذه الصيغة، يقرأ الميزان صفرًا ويكون وزنك الظاهري صفرًا. بمعنى أنك تكون عديم الوزن. ومع ذلك، لا يعني **انعدام الوزن** أن وزن الجسم يساوي صفرًا بالفعل، بل يعني عدم وجود قوى تلامس تؤثر في دعم الجسم وأن الوزن الظاهري يساوي صفرًا. بطريقة مشابهة للمصعد الذي يسقط، يخضع رواد الفضاء لانعدام الوزن في المدار نظرًا لأنهم ومركبتهم الفضائية في حالة سقوط حر. ستدرس الجاذبية وانعدام الوزن بتفاصيل أكثر في وحدة لاحقة.

استراتيجيات | حل المسائل

القوة والحركة

عند حل مسائل القوة والحركة، استخدم الإستراتيجيات التالية.

1. اقرأ المسألة بتمعّن وارسم نموذجًا مصورًا.
2. ضع دائرة حول النظام واختر نظام إحاثيات.
3. حدّد الكميات المعلومة والمجهولة.
4. أنشئ نموذجًا فيزيائيًا من خلال رسم مخطط الحركة مع توضيح اتجاه التسارع.
5. صمم مخطط الجسم الحر موضحًا كل القوى المؤثرة في الجسم.
6. استخدم قوانين نيوتن للربط بين التسارع والقوة المحصلة.
7. أعد ترتيب المعادلة لإيجاد الكمية المجهولة.
8. عوّض عن الكميات المعلومة بوحداتها في المعادلة وحل المعادلة.
9. تحقق من نتائجك لتتبين ما إذا كانت منطقية.

مختبر الفيزياء

القوى في المصعد

كيف يتغير الوزن الظاهري عند استقلال المصعد؟

تجربة مصغرة

الكتلة والوزن

ما العلاقة بين الكتلة والوزن؟

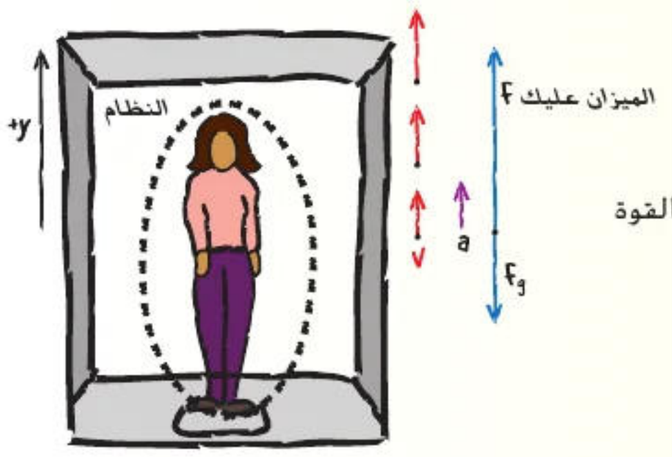
McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

مثال 3

الوزن الحقيقي والظاهري إذا كانت كتلتك 75.0 kg، وتقف على ميزان منزلي داخل مصعد. بدايةً من السكون، يتسارع المصعد إلى أعلى بمقدار $2.00\ m/s^2$ لمدة 2.00 s ثم يستمر بسرعة ثابتة. هل تكون قراءة الميزان أثناء التسارع أكبر من قراءة الميزان عندما يكون المصعد في حالة السكون أو مساوية لها أو أقل منها؟

1 تحليل المسألة

- ارسم مخططًا للموقف.
- اختر نظامًا إحداثيًا بحيث يكون الاتجاه الموجب إلى أعلى.
- ارسم مخطط الحركة لكل من v وa.
- ارسم مخطط الجسم الحر. يكون اتجاه القوة المحصلة هو اتجاه التسارع، وبالتالي تكون القوة للأعلى أكبر من القوة للأسفل



المعلوم	المجهول
$m = 75.0\ kg$	$F_{الميزان} = ?$
$a = 2.00\ m/s^2$	
$t = 2.00\ s$	
$g = 9.8\ N/kg$	

2 إيجاد المجهول

$F_{المحصلة} = ma$

$F_{المحصلة} = F_{الميزان} + (-F_g)$

► تكون F_g سالبة نظرًا لأنها في الاتجاه السالب الذي يحدده النظام الإحداثي.

أوجد قيمة $F_{الميزان}$.

$F_{الميزان} = F_{المحصلة} + F_g$

المصعد في حالة السكون:

$F_{الميزان} = F_{المحصلة} + F_g$

► لا يتسارع المصعد. لذلك، $F_{المحصلة} = 0.00\ N$.

► بالتعويض عن $F_{المحصلة} = 0.00\ N$.

$= F_g$

► بالتعويض عن $F_g = mg$.

$= mg$

► بالتعويض عن $m = 75.0\ kg$ و $g = 9.8\ N/kg$.

$= (75.0\ kg)(9.8\ N/kg)$

$= 735\ N$

المصعد يتسارع إلى أعلى:

$F_{الميزان} = F_{المحصلة} + F_g$

► بالتعويض عن $F_{المحصلة} = ma$، $F_g = mg$

$= ma + mg$

► بالتعويض عن $m = 75.0\ kg$، $a = 2.00\ m/s^2$، $g = 9.8\ N/kg$

$= (75.0\ kg)(2.00\ m/s^2) + (75.0\ kg)(9.8\ N/kg)$

$= 885\ N$

تكون قراءة الميزان أكبر عندما يتسارع المصعد (885 N) من قراءته عندما يكون المصعد في حالة السكون (735 N).

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** $kg \cdot m/s^2$ هي وحدة القوة، وتعادل N.
- **هل الإشارة منطقية؟** تتوافق الإشارة الموجبة مع النظام الإحداثي.
- **هل المقدار واقعي؟** تكون $F_{الميزان} = 885\ N$ أكبر مما هي عليه في حالة السكون عندما تكون $F_{الميزان}$ تساوي 735 N. ويكون مقدار الزيادة 150 N، الذي يمثل 20 في المئة تقريبًا من الوزن في حالة السكون. والتسارع إلى أعلى يساوي 20% تقريبًا من التسارع الناتج عن الجاذبية، لذلك يكون المقدار منطقيًا.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تطبيقات

20. يوضح ميزان موضوع على الأرض أنك تزن 585 N.

A. ما كتلتك؟

B. كم يقرأ الميزان على القمر $(g = 1.60\ N/kg)$؟

21. مسألة تحفيزية استخدم النتائج من مثال المسألة 3 للإجابة عن الأسئلة عن ميزان داخل مصعد على الأرض. ما القوة التي يؤثر بها الميزان في شخص في الحالات التالية؟

A. يتحرك المصعد إلى أعلى بسرعة ثابتة.

B. يتباطأ المصعد بمقدار $2.0\ m/s^2$ أثناء التحرك إلى أسفل.

C. يتسارع المصعد بمعدل $2.0\ m/s^2$ أثناء التحرك إلى أسفل.

D. يتحرك المصعد إلى أسفل بسرعة ثابتة.

E. في أي اتجاه تكون القوة المحصلة عندما يتباطأ المصعد ليتوقف أثناء تحركه إلى أسفل؟

مختبر الفيزياء

السرعة الحدية

PROBEWARE LAB ما تأثير مقاومة الهواء في الأجسام في حالة السقوط الحر؟

تجربة مصغرة

مظلة مقلوبة

كيف تتوقف السرعة الحدية على الكتلة؟

القوة المعيقة

من الصحيح أن الجزيئات الموجودة في الهواء حول الجسم تؤثر بقوى في ذلك الجسم. في الواقع، يؤثر الهواء بقوى ضخمة، ولكن في معظم الحالات يؤثر بقوى متوازنة في كل الجوانب، ولذلك لا يوجد له أثر كلي. هل يمكنك التفكير في أي تجارب تساعد على إثبات أن الهواء يمكنه التأثير بقوة؟ أحد الأمثلة أن تمسك بورقة على طول الذراع وتنفخ فيها بقوة. تتسارع الورقة استجابة للهواء الذي يصطدم بها، مما يعني أن الهواء يؤثر بقوة محصلة في الورقة.

حتى الآن، تجاهلت القوة التي يؤثر بها الهواء في جسم يتحرك فيه. في الواقع، عندما يتحرك جسم عبر أي مائع مثل الهواء أو الماء يؤثر المائع بقوة في الجسم المتحرك في الاتجاه المعاكس لحركة الجسم. **القوة المعيقة** القوة التي يؤثر بها المائع في جسم وتعوق الحركة خلال المائع. وتتوقف هذه القوة على حركة الجسم وخصائصه وخصائص المائع الذي يتحرك الجسم خلاله. على سبيل المثال، كلما زادت سرعة الجسم، زاد مقدار القوة المعيقة. ويؤثر حجم الجسم وشكله في القوة المعيقة أيضًا. كما تؤثر خصائص المائع مثل كثافته ولزوجته في القوة المعيقة أيضًا.

مسألة تحفيزية

يتم إسقاط حاوية طعام وماء كتلتها 415 kg من طائرة على ارتفاع 300 m. أولًا، فكّر في الحالة مع تجاهل مقاومة الهواء. احسب الحالة الأكثر واقعية مع تضمين القوة المعيقة التي تؤثر بها مظلة.

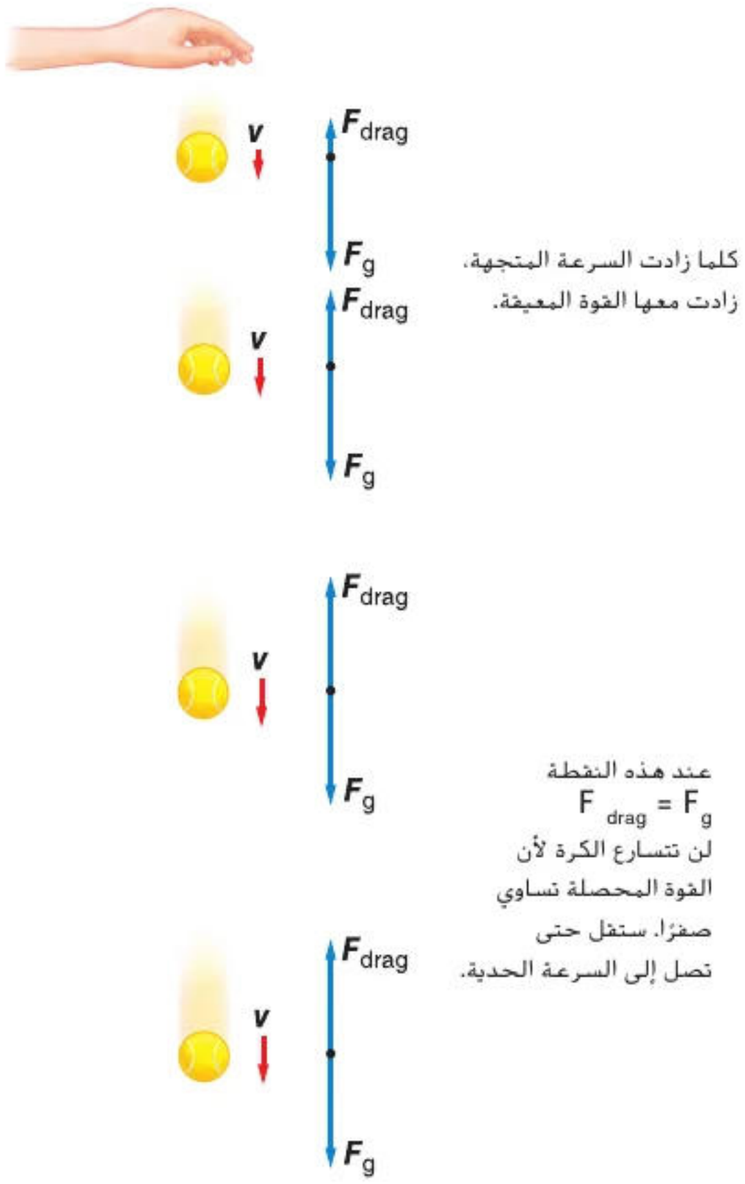
1. إذا تجاهلت مقاومة الهواء، فما المدة التي ستستغرقها الحاوية لتسقط مسافة 300 m إلى الأرض؟
2. مرة أخرى، بتجاهل مقاومة الهواء، ما سرعة الحاوية قبل الارتطام بالأرض مباشرة؟
3. تتصل الحاوية بمظلة مصمّمة لإحداث القوة المعيقة التي تسمح للحاوية بالوصول إلى سرعة متجهة ثابتة إلى أسفل مقدارها 6 m/s. ما مقدار القوة المعيقة عندما تسقط الحاوية بسرعة ثابتة 6 m/s إلى أسفل؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

السرعة الحدية إذا أسقطت كرة التنس كما في **الشكل 12**، يكون لها سرعة متجهة قليلة جدًا في البداية لذلك توجد قوة معيقة صغيرة. وتكون قوة الجاذبية إلى أسفل أكبر بكثير من القوة المعيقة إلى أعلى، لذلك يوجد تسارع إلى أسفل. ومع تزايد السرعة المتجهة للكرة، تزيد القوة المعيقة أيضًا. وبعد فترة وجيزة، تتساوى القوة المعيقة مع قوة الجاذبية. وعندما يحدث هذا، لا توجد قوة محصلة، ومن ثمَّ لا يوجد تسارع. تُسمى السرعة الثابتة التي يصل إليها الجسم عندما تتساوى القوة المعيقة مع قوة الجاذبية **بالسرعة الحدية**.

عندما تسقط الأجسام الخفيفة ذات مساحات الأسطح الكبيرة، يكون للقوة المعيقة أثر كبير في حركة هذه الأجسام. وتصل سريعًا إلى السرعة الحدية. ولا تتأثر الأجسام الأثقل ذات الأسطح الصغيرة كثيرًا بالقوة المعيقة. على سبيل المثال، تكون السرعة الحدية لكرة تنس الطاولة في الهواء 9 m/s والسرعة الحدية لكرة السلة 20 m/s والسرعة الحدية لكرة البيسبول 42 m/s. يزيد المتزلجون المتنافسون سرعاتهم الحدية بالعمل على إنقاص القوة المعيقة المؤثرة فيهم. يبقون أجسامهم في شكل بيضة، ويرتدون ملابس ملساء وخوذات انسيابية الشكل.

ويمكن للاعبي القفز الحر أن يزيدوا أو ينقصوا سرعتهم الحدية بتغيير اتجاه الجسم وشكله. يُحدث شكل النسر المجنح الأفقي السرعة الحدية الأكثر بطئًا التي تقدر بحوالي 60 m/s. وبعد فتح المظلة، يصبح لاعب القفز الحر جزءًا من جسم كبير للغاية له قوة معيقة كبيرة تتناسب مع حجمه وسرعة حدية مقدارها 5 m/s تقريبًا.



الشكل 12 تزداد القوة المعيقة المؤثرة في الجسم بزيادة سرعته المتجهة. عندما تساوي القوة المعيقة قوة الجاذبية، يكون الجسم متزنا لذلك لا يتسارع بعد ذلك.

القسم 2 مراجعة

22. **الفكرة الرئيسة** يسقط لاعب القفز الحر في **الشكل 13** بسرعة ثابتة في وضع النسر المجنح. بعد فتح المظلة مباشرةً، هل يتسارع لاعب القفز الحر؟ إذا كان الأمر كذلك، ففي أي اتجاه يتسارع اللاعب؟ اشرح إجابتك باستخدام قوانين نيوتن.

الشكل 13

23. **جاذبية القمر** قارن بين القوة اللازمة لحمل صخرة كتلتها 10.0 kg والقوة اللازمة لحملها على القمر. علمًا بأن مجال الجاذبية على القمر 1.6 N/kg.

24. **حركة المصعد** تستقل مصعد وأنت تحمل ميزانًا زنبركيًا يتعلق به جسم كتلته 1 kg. تنظر إلى الميزان وترى أنه يقرأ 9.3 N. ما الشيء الذي يمكنك استنتاجه عن حركة المصعد في ذلك الوقت، إن وجد؟

25. **الوزن الظاهري** تستقل مصعدًا سريعًا إلى أعلى بناء عالٍ ثم تستقله للنزول. في أي فترة من استقلالك المصعد سيتساوى وزنك الظاهري مع وزنك الحقيقي؟ في أي فترات من استقلالك المصعد سيكون وزنك الظاهري أقل من وزنك الحقيقي؟ أو أكثر من وزنك الحقيقي؟ ارسم مخطط الجسم الحر لدعم إجاباتك.

26. **التسارع** يقف خالد الذي تبلغ كتلته 65.0 kg في حلبة التزحلق على الجليد. يؤثر صديقه فيه بقوة قدرها 9.0 N. ما التسارع الناتج لخالد؟

27. **التفكير الناقد** تعمل في وظيفة في مستودع لحوم حيث تحمل المخزون إلى الشاحنات لشحنه إلى متاجر البقالة. ولكل شاحنة حد للوزن قدره 10,000 N للحمولة. تدفع كل صندوق لحم على سير متحرك منخفض المقاومة إلى الميزان وتزنه قبل وضعه في الشاحنة. وذات ليلة، بعد أن وزنت صندوقًا وزنه 1000 N، انكسر الميزان. صِف طريقة يمكنك بها تطبيق قوانين نيوتن لتحديد الكتل التقريبية للصناديق المتبقية.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 3

قانون نيوتن الثالث

الفيزياء في حياتك

إذا دفعت الحائط أثناء الجلوس على كرسي ذي عجلات، فستتسارع عبر الأرضية. ما الذي يؤثر بالقوة غير المتوازنة التي تسبّب تسارعك؟ يساعد قانون نيوتن الثالث على الإجابة عن هذا السؤال.

الفكرة الرئيسة

توجد كل القوى في أزواج تأثير متبادل.

الأسئلة الرئيسة

- ما هو قانون نيوتن الثالث؟
- ما المقصود بالقوة العمودية؟

مراجعة المفردات

التناظر symmetry التوافق بين الأجزاء على الجانبين المتضادين للخط الفاصل.

مفردات جديدة

زوجا التأثير المتبادل
interaction pair

قانون نيوتن الثالث
Newton's third law

الشد tension

القوة العمودية normal force

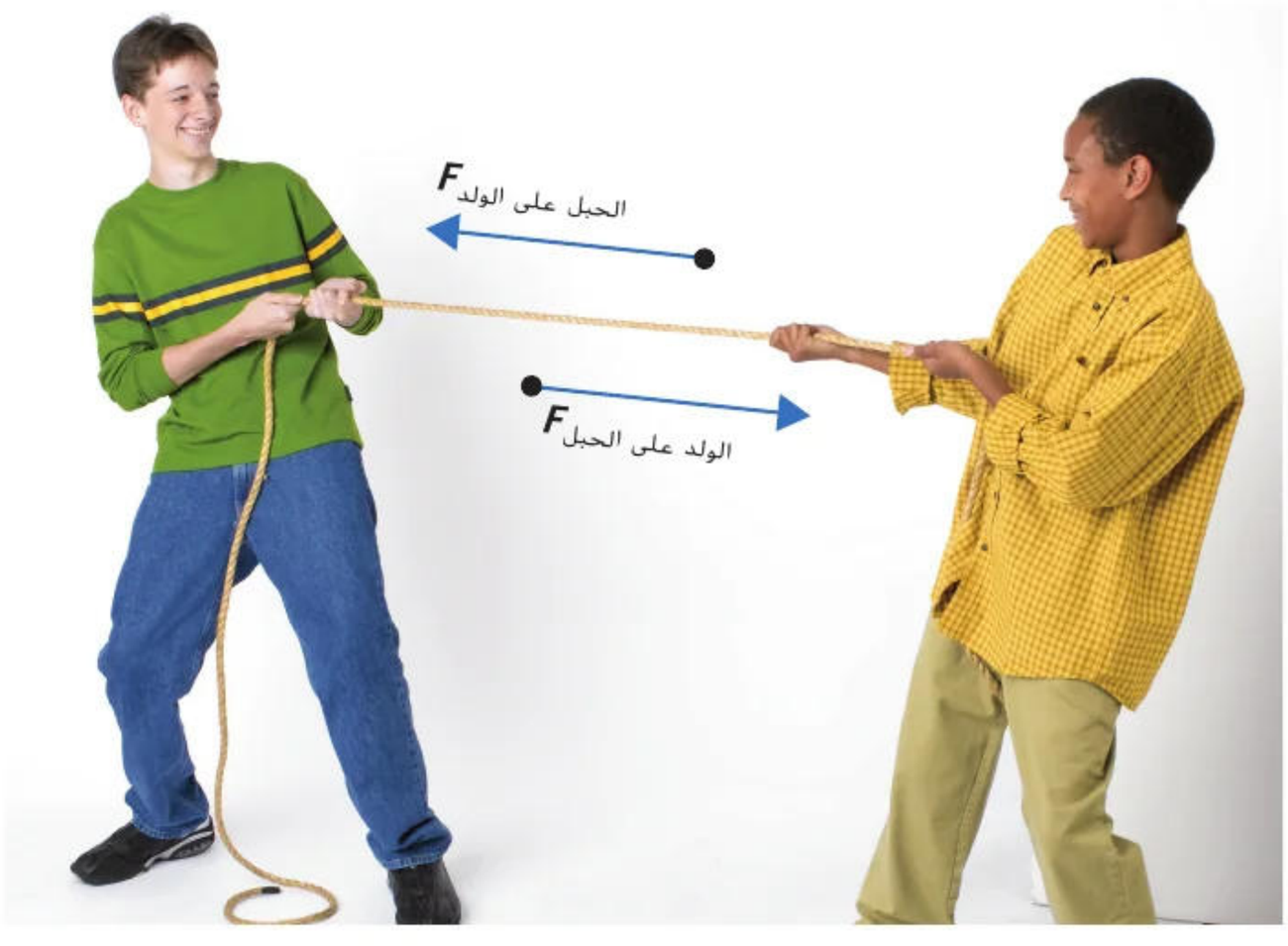
أزواج التأثير المتبادل

يوضح الشكل 14 فكرة القوى باعتبارها أزواج تأثير متبادل. توجد قوة يؤثر بها الولد على الحبل، وتوجد قوة تؤثر بها الحبل على الولد. تنشأ القوى، دائمًا، في أزواج مشابهة لهذا المثال. اعتبر الولد (A) نظامًا والحبل (B) نظامًا آخر. ما القوى التي تؤثر في كل من النظامين؟ بالنظر في رسمي القوة في **الشكل 14**، يمكنك رؤية أن كل نظام يؤثر بقوة في الآخر. القوتان F_A في B وF_B في A، هما قوتا التأثير المتبادل بين النظامين. لاحظ التناظر في النصوص السفلية: A في B وB في A.

تمثل القوتان F_A في B وF_B في A **زوجي التأثير المتبادل**، اللذين يكونان مجموعة من قوتين متضادتين في الاتجاه ومتساويتين في المقدار وتؤثران في جسمين مختلفين. أحيانًا، يُسمى زوجا التأثير المتبادل زوجي الفعل ورد الفعل. قد يوحي هذا بأن أحدهما يتسبّب في الآخر. ومع ذلك، هذا الأمر ليس صحيحًا. مثلًا، لا تتسبّب القوة التي يسحب بها الولد الحبل في سحب الحبل للولد. توجد القوتان معًا أو لا توجدان على الإطلاق.

تأكد من فهمك **توقع** مقدار القوة التي تؤثر فيك واتجاهها إذا دفعت شجرة بقوة قدرها 15 N في اتجاه اليسار.

تعريف قانون نيوتن الثالث في **الشكل 14**، القوة التي يؤثر بها الولد في الحبل مساوية في المقدار للقوة التي تؤثر بها الحبل في الولد ومضادة لها في الاتجاه. يُعد زوجا التأثير المتبادل هذين مثالًا على **قانون نيوتن الثالث**، الذي ينص على أن كل القوى تكون في شكل أزواج. تؤثر القوتان في زوج التأثير المتبادل في جسمين مختلفين وتكون القوتان متساويتين في المقدار ومتضادتين في الاتجاه.



الشكل 14 تُعد القوة التي يؤثر بها الحبل في الولد والقوة التي يؤثر بها الولد في الحبل زوجي التأثير المتبادل.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

قانون نيوتن الثالث

القوة التي تؤثر بها A في B مساوية للقوة التي تؤثر بها B في A في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه.

$$F_{\text{A في B}} = -F_{\text{B في A}}$$

استخدام قانون نيوتن الثالث فكّر في حالة الإمساك بكتاب في يدك. يمكنك رسم مخطط الجسم الحر لكل من يدك والكتاب. هل توجد أزواج تأثير متبادل؟ عند تحديد أزواج التأثير المتبادل، ضع في الحسبان أن أزواج التأثير تكون متبادلة بين جسمين مختلفين وهي ليست قوتان تؤثران على نفس الجسم كما يظهر في مخطط الجسم الحر، وأنه سيكون هناك تناظر في النصوص السفلية دائمًا كما هو مُلاحظ في الصفحة السابقة. في هذه الحالة، يكون زوجا التأثير المتبادل $F_{\text{الكتاب في اليد}}$ و$F_{\text{اليد في الكتاب}}$.

تتفاعل الكرة في **الشكل 15** مع الطاولة ومع الأرض. أولًا، حلّل القوى المؤثرة في نظام واحد، وهو الكرة. تؤثر الطاولة بقوة إلى أعلى في الكرة، وتؤثر كتلة الأرض بقوة الجاذبية إلى أسفل في الكرة. وبالرغم من أن هاتين القوتين في اتجاهين متضادين، فإنهما لا تمثلان زوجي تأثير متبادل لأنهما تؤثران في الجسم نفسه. والآن، فكّر في الكرة والطاولة معًا. بالإضافة إلى القوة إلى أعلى التي تؤثر بها الطاولة في الكرة، تؤثر الكرة بقوة إلى أسفل في الطاولة. ويمثل هذا زوجي تأثير متبادل.

لاحظ أيضًا أن للكرة وزنًا. إذا كانت الكرة تخضع لقوة بسبب كتلة الأرض، فمن المؤكد وجود قوة تؤثر في كتلة الأرض بسبب الكرة. بمعنى آخر، يمثلان زوجي تأثير متبادل.

$$F_{\text{الكرة في كتلة الأرض}} = -F_{\text{كتلة الأرض في الكرة}}$$

تسبّب القوة غير المتوازنة التي تؤثر في الأرض تسارع الأرض. ولكن التسارع يتناسب عكسيًا مع الكتلة. ونظرًا لأن كتلة الأرض ضخمة جدًا عند مقارنتها بكتل الأجسام الأخرى التي نفكر فيها، فإن تسارع الأرض ضئيل جدًا إلى درجة أنه يمكن إهماله. بمعنى آخر، كثيرًا ما يمكن معاملة الأرض كجزء من المحيط الخارجي بدلًا من كونها نظامًا ثانيًا. تلخص استراتيجيات حل المسائل أدناه كيفية التعامل مع أزواج التأثير المتبادل.

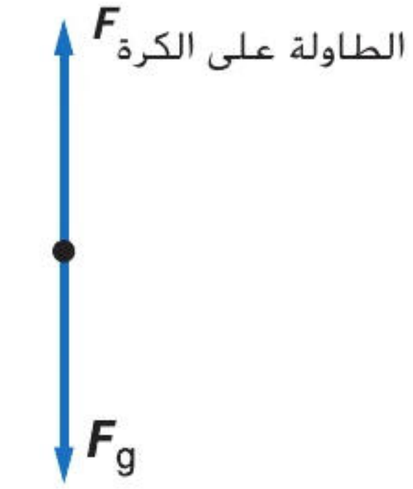
☑ **تأكد من فهمك** **اشرح** لماذا يكون تسارع الأرض عادةً صغيرًا للغاية مقارنةً بتسارع الجسم الذي يتفاعل مع الأرض.

استراتيجيات | حل المسائل

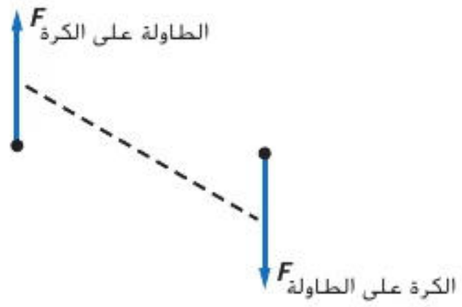
استخدم هذه الاستراتيجيات لحل المسائل التي يوجد فيها تأثير متبادل بين جسمين في نظامين مختلفين.

1. اعزل النظام أو الأنظمة عن المحيط الخارجي.
2. ارسم نموذجًا مصورًا يتضمن الأنظمة الإحدائية لكل نظام.
3. ارسم نموذجًا فيزيائيًا يتضمن مخطط الجسم الحر لكل نظام.
4. صل بين أزواج التأثير المتبادل بخطوط متقطعة.
5. لتحسب إجابتك، استخدم قانون نيوتن الثاني لإيجاد العلاقة بين القوة المحصلة والتسارع لكل نظام.
6. استخدم قانون نيوتن الثالث لوضع معادلة لمقادير أزواج التأثير المتبادل وتوضيح الاتجاه النسبي لكل قوة.
7. حلّ المسألة وتحقق من صحة وحدات الإجابات وإشاراتها ومقاديرها.

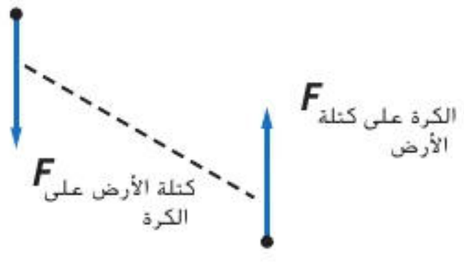
قانون نيوتن الثالث



القوتان اللتان تؤثران في الكرة هما $F_{\text{الطاولة في الكرة}}$ و$F_{\text{كتلة الأرض في الكرة}}$. لا تمثل هاتان القوتان زوجي تأثير متبادل.



زوجا قوة التأثير المتبادل بين الكرة والطاولة.



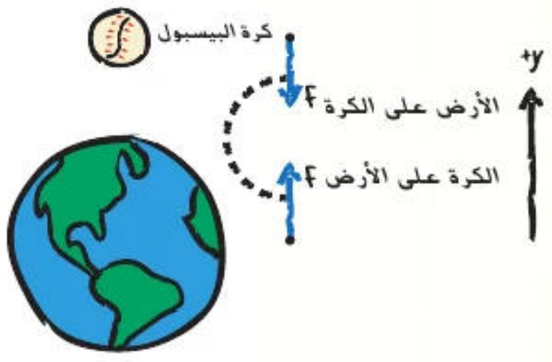
زوجا قوة التأثير المتبادل بين الكرة وكوكب الأرض.

الشكل 15 تمثل الكرة المستقرة فوق الطاولة جزءًا من زوجي التأثير المتبادل.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 4

تسارع الأرض تبلغ كتلة كرة لينة 0.18 kg. ما قوة الجاذبية التي تؤثر بها الكرة في الأرض. وما تسارع الأرض الناتج؟ كتلة الأرض تساوي 6.0×10^{24} kg.



1 تحليل المسألة

- ارسم مخطط الجسم الحر لكلٍّ من الكرة والارض.
- صل بين زوجي التأثير المتبادل بخط متقطع.

المعلوم	المجهول
$m_{\text{الكرة}} = 0.18\ \text{kg}$	$F_{\text{الأرض في الكرة}} = ?$
$m_{\text{الأرض}} = 6.0\times10^{24}\ \text{kg}$	$a_{\text{الأرض}} = ?$
$g = 9.8\ \text{N/kg}$	

2 إيجاد المجهول

استخدم قانون نيوتن الثاني لإيجاد وزن الكرة.

$$F_{\text{الأرض في الكرة}} = m_{\text{الكرة}}g$$

بالتعويض عن $m_{\text{الكرة}} = 0.18\ \text{kg}, g = -9.8\ \text{N/kg}$.

$$= (0.18\ \text{kg})(-9.8\ \text{N/kg})$$
$$= -1.8\ \text{N}$$

استخدم قانون نيوتن الثالث لإيجاد $F_{\text{الكرة في الأرض}}$.

$$F_{\text{الأرض في الكرة}} = -F_{\text{الكرة في الأرض}}$$

بالتعويض عن $F_{\text{الأرض في الكرة}} = -1.8\ \text{N}$.

$$= -(-1.8\ \text{N})$$
$$= +1.8\ \text{N}$$

استخدم قانون نيوتن الثاني لإيجاد $a_{\text{الأرض}}$.

$$a_{\text{الأرض}} = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m_{\text{الأرض}}}$$

بالتعويض عن $m_{\text{الأرض}} = 6.0\times10^{24}\ \text{kg}$, $F_{\text{المحصلة}} = 1.8\ \text{N}$.

$$= \frac{1.8\ \text{N}}{6.0\times10^{24}\ \text{kg}}$$

$$= 2.9\times10^{-25}\ \text{m/s}^2$$ اتجاه العجلة نحو مركز

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القوة بوحدات N والتسارع بوحدات m/s^2.
- **هل الإشارات لها معنى؟** ينبغي أن تكون إشارة القوة والتسارع موجبة.
- **هل المقدار واقعي؟** المقدار واقعي لأن تسارع الأرض ينبغي أن يكون متناهيًا في الصغر نظرًا لضخامة كتلة الأرض.

تطبيقات

28. ترفع بيدك كرة بولينج خفيفة نسبيًا، وتجعلها تتسارع إلى أعلى. ما القوى التي تؤثر في الكرة؟ ما القوى التي تؤثر بها الكرة؟ ما الأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى؟

29. يسقط قالب من القرميد من أعلى سقالة بناء. حدّد أي قوى تؤثر في القرميد. وأيضا، حدّد أي قوى يؤثر بها القرميد والأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى. (يمكن تجاهل مقاومة الهواء).

30. تستقر حقيبة سفر في عربة أمتعة المطار في وضع السكون كما في **الشكل 16**. ارسم مخطط الجسم الحر الذي يمثل كل جسم ووضّح أي زوجي تأثير متبادل بينهما.

31. مسألة تحفيزية قذفت كرة إلى أعلى في الهواء. ارسم مخطط الجسم الحر الذي يمثل الكرة بعد ارتفاعها عن يدك وأثناء حركتها إلى أعلى. حدّد أي قوى تؤثر في الكرة. وأيضًا، حدّد أي قوى تؤثر بها الكرة والأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى. بفرض تجاهل مقاومة الهواء.

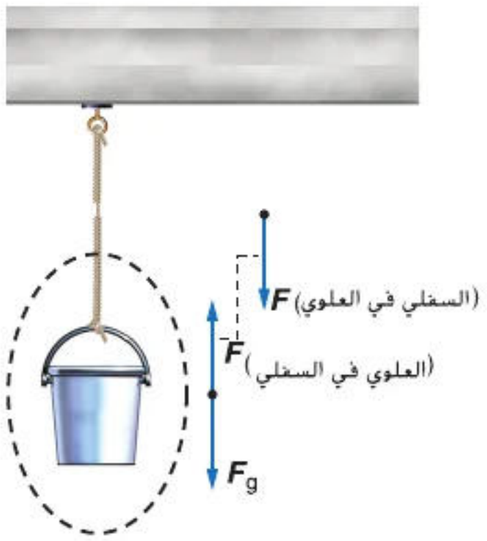
الشكل 16

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشد

الشد اسم محدد للقوة التي يؤثر بها خيط أو حبل. وللتبسيط في هذا الكتاب المدرسي سنعتبر أن كل الخيوط والحبال عديمة الكتلة. في **الشكل 17**، يوشك الحبل أن ينقطع في المنتصف. إذا انقطع الحبل، فسيسقط الدلو، ولكن قبل أن ينقطع، من المؤكد أنه توجد قوى تمسك جزأي الحبل معًا. تمثل القوة التي يؤثر بها الجزء العلوي من الحبل في الجزء السفلي $F_{\text{العلوي في السفلي}}$. ينص قانون نيوتن الثالث على أنه من المؤكد أن هذه القوة جزء من زوجي التأثير المتبادل. والعضو الآخر من الزوجين هو القوة التي يؤثر بها الجزء السفلي من الحبل في الجزء العلوي، وهي $F_{\text{السفلي في العلوي}}$. وتتضح هذه القوى المتساوية في المقدار والمتضادة في الاتجاه في **الشكل 17**.

فكّر في هذه الحالة بطريقة أخرى. قبل انقطاع الحبل، يكون الدلو في حالة توازن. وهذا يعني أنه يجب أن تساوي قوة وزنه إلى أسفل قوة الشد في الحبل إلى أعلى في المقدار وتعاكسها في الاتجاه. وبالمثل، إذا نظرت إلى النقطة في الحبل فوق الدلو مباشرة، فستجد أنها في حالة توازن أيضًا. ومن ثَمَّ يجب أن تكون قوة الشد في الحبل أدناها التي تسحب إلى أسفل مساوية في المقدار لقوة الشد في الحبل أعلاها التي تسحب إلى أعلى. يمكنك التحرك على طول الحبل إلى أعلى والتفكير في أي نقطة، لترى أن قوى الشد في أي نقطة في الحبل تسحب بالتساوي في كلا الاتجاهين. لذلك، يساوي الشد في الحبل وزن كل الأجسام أدناه.



الشكل 17 يساوي الشد في الحبل وزن كل الأجسام المعلقة به.

تفحص قوى الشد الموضحة في **الشكل 18**. إذا كان الفريق A يؤثر بقوة قدرها 500 N، ولا يتسارع الحبل، فمن المؤكد حينها أن الفريق B يسحب بقوة قدرها 500 N. ما مقدار الشد في الحبل؟ إذا كان كل فريق يسحب بقوة قدرها 500 N، فهل يكون مقدار الشد 1000 N؟ لتحديد ذلك، فكّر في الحبل باعتباره مقسومًا إلى نصفين. لا يتسارع الجانب الأيسر، لذلك تكون القوة المحصلة المؤثرة فيه صفرًا. لذلك، $F_{\text{الجانب الأيمن في الجانب الأيسر}}$ = 500 N = $F_{\text{في الجانب الأيسر A}}$. وبطريقة مشابهة، $F_{\text{الجانب الأيسر في الجانب الأيمن}}$ = 500 N = $F_{\text{في الجانب الأيمن B}}$. ولكن تمثل قوتا الشد $F_{\text{الجانب الأيمن في الجانب الأيسر}}$ و$F_{\text{الجانب الأيسر في الجانب الأيمن}}$، زوجي التأثير المتبادل، ومن ثَمَّ تكونان متساويتين في المقدار ومتضادتين في الاتجاه. لذلك، يساوي الشد في الحبل القوة التي يسحب بها كل فريق أو 500 N. وللتحقق من هذا، يمكنك قطع الحبل من المنتصف وربط النهايتين في ميزان زنبركي. يقرأ الميزان 500 N.

الشكل 18 لا يتسارع الحبل، لأن قوتي الشد متساوية للفريقين على جانبي الحبل.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 5

رفع الدلو يتم رفع دلو كتلته 50.0 kg بحبل. لن ينقطع الحبل إذا كان الشد 525 N أو أقل. بدأ الدلو من حالة السكون وبعد رفعه مسافة 3.0 m، بلغت سرعته 3.0 m/s. إذا كان التسارع ثابتًا، فهل يكون الحبل معرضًا للانقطاع؟

1 تحليل المسألة

- ارسم مخططًا للموقف.
- ارسم نظامًا إحداثيًا يشير المحور الموجب فيه إلى أعلى.
- ارسم مخطط الحركة مع تحديد v وa.
- ارسم مخطط الجسم الحر وضَع تسميات القوى.

المعلوم	المجهول
$m = 50.0\ \text{kg}$ $v_f = 3.0\ \text{m/s}$	$F_T = ?$
$v_i = 0.0\ \text{m/s}$ $d = 3.0\ \text{m}$	

2 إيجاد المجهول

تمثل $F_{\text{المحصلة}}$ مجموع القوة الموجبة للحبل التي تسحب إلى أعلى (F_T) وقوة الوزن السالبة $(-F_g)$ التي تسحب إلى أسفل كما هو محدد بالنظام الإحداثي.

$$F_{\text{المحصلة}} = F_T + (-F_g)$$

$$F_T = F_{\text{المحصلة}} + F_g$$

$$= ma + mg$$ ◄ بالتعويض عن $F_g = mg$ ،$F_{\text{المحصلة}} = ma$

v_i وv_f وd معلومة.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2d}$$

$$= \frac{v_f^2}{2d}$$ ◄ بالتعويض عن $v_i = 0.0\ \text{m/s}^2$.

$$F_T = ma + mg$$

$$= m\left(\frac{v_f^2}{2d}\right) + mg$$ ◄ بالتعويض عن $a = v_f^2 / (2d)$.

$$= (50.0\ \text{kg})\left(\frac{(3.0\ \text{m/s})^2}{2(3.0\ \text{m})}\right) + (50.0\ \text{kg})(9.8\ \text{N/kg})$$ ◄ بالتعويض عن $m = 50.0\ \text{kg}$، $v_f = 3.0\ \text{m/s}$، $d = 3.0\ \text{m}$، $g = 9.8\ \text{N/kg}$.

$$= 560\ \text{N}$$

الحبل معرض للانقطاع نظرًا لأن الشد يتجاوز 525 N.

3 تقييم الإجابة

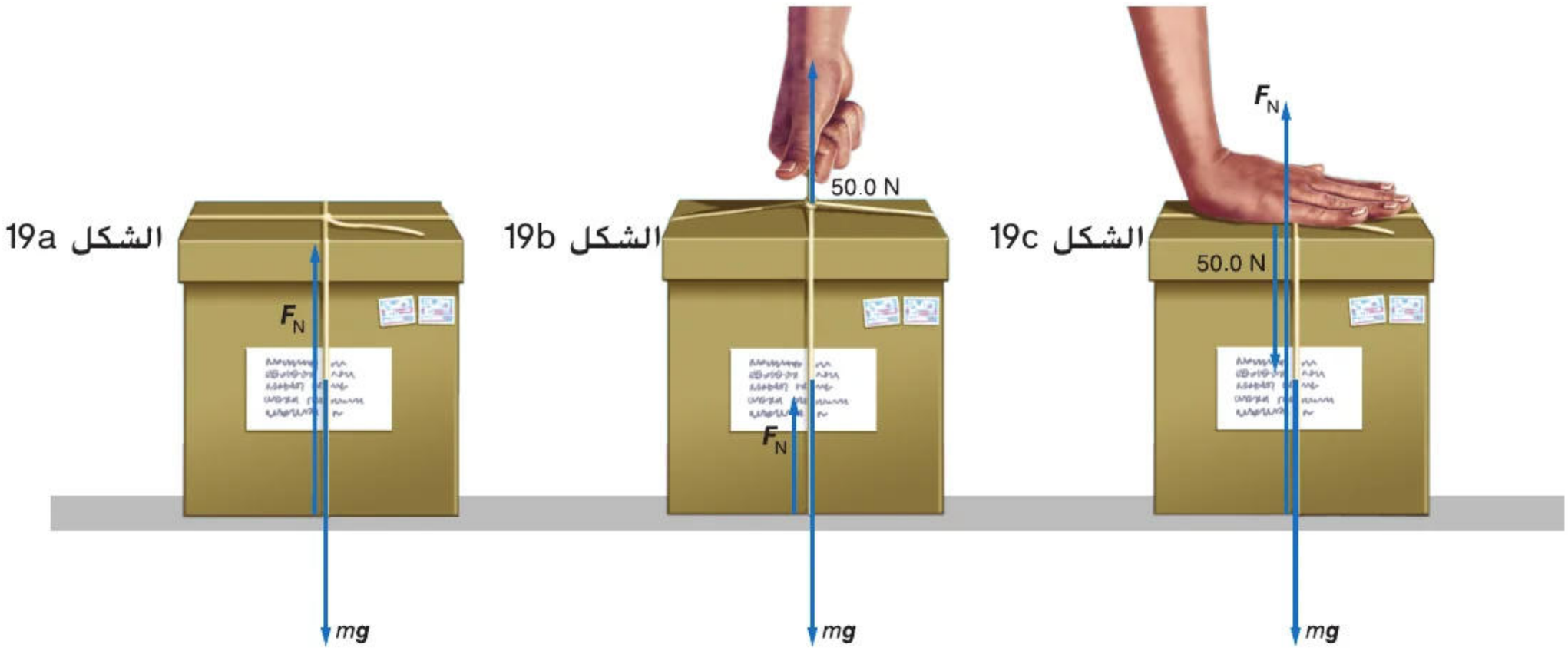
- **هل الوحدات صحيحة؟** يثبت التحليل البُعدي صحة $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$، وهي N.
- **هل الإشارة منطقية؟** ينبغي أن تكون القوة إلى أعلى موجبة.
- **هل المقدار واقعي؟** يُعد المقدار أكبر بقليل من 490 N، وهو وزن الدلو.
  $F_g = mg = (50.0\ \text{kg})(9.8\ \text{N/kg}) = 490\ \text{N}$

تطبيقات

32. يحاول علي ومالك إصلاح إطار في سيارة علي. لكنهما يواجهان صعوبة في فك الإطار. عندما يسحبان معًا في الاتجاه نفسه، مالك بقوة قدرها 23 N وعلي بقوة قدرها 31 N، أمكنهما بالكاد نزع الإطار من العجلة. ما مقدار القوة بين الإطار والدولاب؟

33. مسألة تحفيزية وضعت معدات في دلو بحيث اصبحت كتلته 45Kg فأذا رفع الدلو فوق سطح منزل بواسطة حبل يتحمل شدا لا يتجاوز 450 N. فما أقصى تسارع يمكن أن يكتسبه الدلو أثناء سحبه إلى أعلى السطح؟؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 19 لا تساوى القوة العمودية وزن الجسم دائمًا.

القوة العمودية

عندما يتلامس جسمان في أي وقت، يؤثر كل منهما في الآخر بقوة. فكّر في صندوق مستقر على طاولة. توجد قوة إلى أسفل تؤثر في الصندوق بسبب الجاذبية الأرضية. وأيضًا، توجد قوة إلى أعلى تؤثر بها الطاولة في الصندوق. يجب أن توجد هذه القوة نظرًا لأن الصندوق في حالة توازن. تمثل **القوة العمودية** قوة التلامس المتعامدة التي يؤثر بها سطح ما في سطح آخر.

تكون القوة العمودية متعامدة على مستوى التلامس بين الجسمين دائمًا، لكن هل تساوي وزن الجسم دائمًا؟ يوضح **الشكل 19** ثلاث حالات تتضمن صندوقًا بالوزن نفسه. ماذا لو ربطت خيطًا بالصندوق وسحبته إلى أعلى قليلًا، ولكن ليس بدرجة كافية ليتسارع الصندوق كما هو موضح في الشكل b من **الشكل 19**؟ عندما تطبق قانون نيوتن الثاني على الصندوق والقوى المؤثرة في الصندوق، نجد أن $F_N + F_{\text{الخيط في الصندوق}} - F_g = ma = 0\ N$. ويمكن إعادة ترتيبها لتصبح $F_N = F_g - F_{\text{الخيط في الصندوق}}$.

يمكنك أن تلاحظ أنه في هذه الحالة تكون القوة العمودية التي تؤثر بها الطاولة في الصندوق أقل من وزن الصندوق (F_g). وبالمثل، إذا ضغط على الصندوق الموجود على الطاولة إلى أسفل كما هو موضح في الشكل c من **الشكل 19**، فسوف تكون القوة العمودية أكبر من وزن الصندوق. سيكون إيجاد القوة العمودية مهمًا عند دراسة الاحتكاك بالتفصيل.

مختبر الفيزياء

قانون نيوتن الثالث ما أزواج التأثير المتبادل بين عربات القطار؟

القسم 3 مراجعة

34. **الفكرة الرئيسة** أمسك كرة ساكنة في يدك في الهواء كما في **الشكل 20**. حدّد كل قوة تؤثر في الكرة وزوجي التأثير المتبادل.

الشكل 20

35. **القوة** تخيل أنك تخفض الكرة لأسفل في **الشكل 20** بسرعة متزايدة. هل تتغير أي من القوى أو القوة الأخرى المقابلة لها في زوجي التأثير المتبادل؟ وضح ذلك.

36. **الشد** يتدلى من السقف ثقل مربوط بحبل عديم الكتلة. ويتم ربط ثقل ثان بالثقل الأول ويتدلى أسفله بقطعة حبل أخرى عديمة الكتلة. إذا كانت كتلة كل ثقل تساوي 5.0 kg. فما الشد في كل حبل؟

37. **الشد** يتدلى من السقف ثقل مربوط بحبل عديم الكتلة. ويتم ربط ثقل كتلته 3.0 kg بالثقل الأول ويتدلى أسفله بقطعة حبل أخرى مهملة الكتلة. مقدار الشد في الحبل العلوي يساوي 63.0 N. أوجد الشد في الحبل السفلي وكتلة الثقل العلوي.

38. **التفكير الناقد** توضع ستارة بين فريقي شد الحبل بحيث لا يرى كل فريق الآخر. ربط أحد الفريقين طرف الحبل من جهته بشجرة. إذا سحب الفريق الآخر بقوة قدرها 500 N. فما مقدار الشد في الحبل؟ اشرح.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

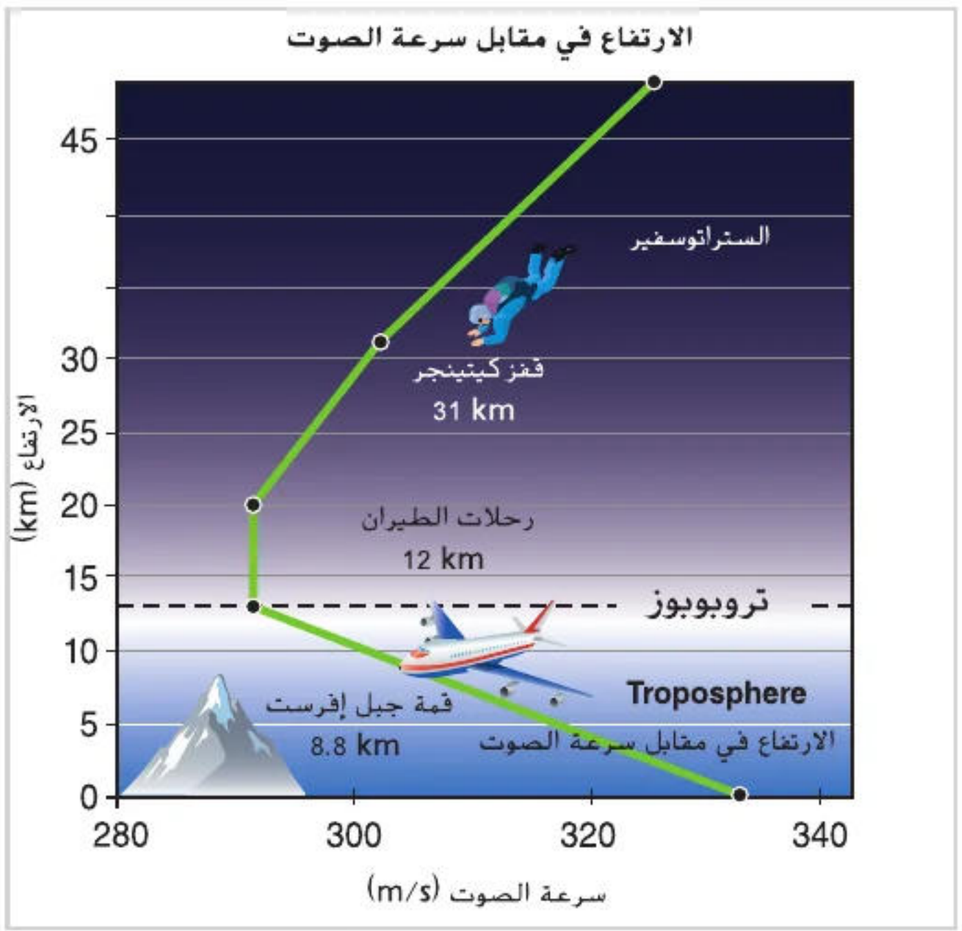
أسرع من الصوت؟

في 16 من أغسطس 1960، صعد جو كيتينجر مسافة 31.3 km في الغلاف الجوي (الستراتوسفير) داخل كبسولة متدلية من منطاد مملوء بالهيليوم...وخرج منها. وسقط لمدة 4 min 36 s ليصل إلى سرعة قدرها 274 m/s قبل فتح مظلته والنزول بأمان بعد 11 min أخرى.

خطوة واحدة صغيرة وصف كيتينجر التجربة فوق الواقعية للخروج لأول مرة من الكبسولة. حيث تملكه شعور بأنه يطفو في الفضاء، ولكن لم يكن ذلك إلا بسبب عدم وجود نقطة مرجعية يمكن لعينيه أن تقيس بها سرعته الفعلية، وكان يسقط أسرع من أي شخص سقط من قبل في الحقيقة. سجلت القفزة رقمًا قياسيًا لأسرع سقوط حر وأطول سقوط حر وأعلى قفزة مظلية. هيّأت قفزة كيتينجر الساحة للبرامج المعدة على المركبات الفضائية بإثبات أن البشر المزودين بالمعدات المناسبة يمكنهم البقاء على قيد الحياة في الظروف القاسية في هذه الارتفاعات الشاهقة.

السرعة الحدية تحدث السرعة الحدية عندما تساوي القوة المعيقة إلى أعلى قوة الجاذبية إلى أسفل. تتغير السرعة الحدية وفقًا لدرجة الحرارة وكثافة الهواء في ارتفاعات محددة. في القفزة العادية من ارتفاع قدره 3500 m تقريبًا، تكون أسرع سرعة يمكن للاعب القفز الحر تحقيقها 90 m/s تقريبًا (حوالي 200 mph). لكن بسبب كثافة الهواء المنخفضة التي يواجهها لاعب القفز في الارتفاعات الشاهقة، يمكنهم الوصول إلى سرعات قدرها 300 m/s (680 mph) أو أكثر.

السقوط بسرعة أكبر من سرعة الصوت كانت أقصى سرعة سقوط حر لكيتينجر تقدر بـ 274 m/s (614 mph) سريعة بدرجة كافية لاختراق حاجز الصوت. ولا تعد سرعة الصوت في الهواء ثابتة، بل إنها تعتمد على درجة حرارة الهواء في الارتفاع المحدد. عند سطح البحر، حيث تكون درجة الحرارة 15°C تقريبًا، ينتقل الصوت بسرعة 340 m/s. **توضح الشكل 1** أنه في الارتفاعات الشاهقة، حيث يكون الهواء أقل كثافة وأكثر برودة، ينتقل الصوت ببطء أكبر. يمثل تجاوز سرعة الصوت أثناء السقوط الحر أحد أهداف من يحاولون تحطيم الرقم القياسي الذي حققه كيتينجر.



الشكل 1 تتغير سرعة الصوت مع الارتفاع بسبب التغيرات في درجة حرارة الهواء وكثافته. تحمي البدل المشابهة لما يرتديه رواد الفضاء لاعبي القفز الحر المثير الذين يحاولون تجاوز حاجز الصوت أثناء السقوط الحر.

تجربة فيليكس

كرر المغامر السويسري (Felix Baumgartner) تجربة القفز هذه من ارتفاع أعلى من ذلك الذي قفز منه كيتينجر.

إبحث في الانترنت عن تلك القفزة ودوّن تاريخها، والارتفاع الذي قفز منه، وزمن تلك القفزة وأعلى سرعة وصلها.

صمّم شكلاً يشبه **الشكل 1** ولكن لقفزة فيليكس.

لمزيد من التعمق >>>

البحث مشاركة العقيد كيتينجر في مشروع إكسيلسيور ومشروع مانهاي. يُعد مشروع إكسيلسيور مثيرًا للاهتمام بصفة خاصة بسبب المشكلات الفنية أثناء القفزات التي تمت في المرحلة الأولى والثالثة من هذا المشروع.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 4 دليل الدراسة

الفكرة الرئيسة تسبب القوى المحصلة تغييرات في الحركة.

القسم 1 القوة والحركة

المفردات

- القوة force
- النظام system
- مخطط الجسم الحر free-body diagram
- القوة المحصلة net force
- قانون نيوتن الثاني Newton's second law
- قانون نيوتن الأول Newton's first law
- القصور الذاتي inertia
- الاتزان equilibrium

الفكرة الرئيسة تكون القوة إما دفعًا أو سحبًا.

- تكون القوة إما دفعًا أو سحبًا. القوة لها اتجاه ومقدار. وتكون إما قوة تلامس أو قوة مجال.
- ينص قانون نيوتن الثاني على أن تسارع النظام يساوي القوة المحصلة المؤثرة فيه مقسومة على كتلته.

$$a = \frac{F_{net}}{m}$$

- ينص قانون نيوتن الأول على أنه يظل الجسم الساكن ساكنًا ويظل الجسم المتحرك متحركًا في خط مستقيم بسرعة ثابتة، فقط إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في ذلك الجسم تساوي صفرًا. الجسم الذي تؤثر فيه قوة محصلة تساوي صفرًا يكون في وضع اتزان.

القسم 2 الوزن والقوة المعيقة

المفردات

- الوزن weight
- مجال الجاذبية gravitational field
- الوزن الظاهري apparent weight
- انعدام الوزن weightlessness
- القوة المعيقة drag force
- السرعة الحدية

الفكرة الرئيسة يمكن استخدام قانون نيوتن الثاني لتوضيح حركة الأجسام الساقطة.

- يعتمد وزن الجسم (F_g) على كتلته ومجال الجاذبية في موقع الجسم.

$$F_g = mg$$

- الوزن الظاهري لجسم ما يساوي مقدار قوة الدعم المؤثرة فيه. الجسم الذي ليس له وزن ظاهري يمر بحالة انعدام الوزن.
- يصل الجسم الساقط إلى سرعة متجهة ثابتة عندما تتساوى القوة المعيقة مع وزن الجسم. تسمى السرعة المتجهة الثابتة السرعة الحدية. تُحدد القوة المعيقة المؤثرة في جسم ما بحسب وزن الجسم وحجمه وشكله بالإضافة إلى المائع الذي يتحرك عبره.

القسم 3 قانون نيوتن الثالث

المفردات

- أزواج التأثير المتبادل interaction pair
- قانون نيوتن الثالث Newton's third law
- الشد tension
- القوة العمودية normal force

الفكرة الرئيسة توجد كل القوى في W أزواج تأثير متبادل.

- ينص قانون نيوتن الثالث على أن القوتين اللتين تشكلان زوجي تأثير متبادل متساويتان في المقدار ولكنهما متضادتان في الاتجاه وتؤثران على جسمين مختلفين. في زوجي التأثير المتبادل، A في F_B لا يتسبب في B في F_A. توجد القوتان معًا أو لا توجدان على الإطلاق.

$$F_{\text{A في B}} = -F_{\text{B في A}}$$

- القوة العمودية قوة دعم ناتجة عن التلامس بين جسمين. ودائمًا ما تكون متعامدة على سطح التلامس بين الجسمين.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 4 التقويم

القسم 1 القوة والحركة

إتقان المفاهيم

39. الفكرة الرئيسة عندما تركل كرة قدم عبر ملعب. فإنها تبطئ من حركتها حتى تتوقف. وعندما تطلب من أخيك الأصغر أن يشرح ماذا حدث للكرة. يقول: "انتقلت قوة قدمك إلى الكرة، مما جعلها تتحرك. عندما نفدت تلك القوة، توقفت الكرة". هل يتوافق هذا الشرح مع نيوتن؟ إذا لم يكن كذلك، ففسر كيف تشرح قوانين نيوتن هذا الأمر.

40. ركوب الدراجات تخيل أنك تركب دراجة ذات سرعة واحدة. لماذا يتعين عليك الدفع بقوة على الدواسات لتبدأ الدراجة في التحرك أكبر من القوة اللازمة لكي تظل تتحرك بسرعة متجهة ثابتة؟

إتقان حل المسائل

41. ما القوة المحصلة المؤثرة في كرة كتلتها 1.0 kg تتحرك بسرعة متجهة ثابتة؟

42. التزلج تمارس جميلة ووفاء رياضة التزلج. تدفع جميلة وفاء، البالغة كتلتها 40.0 kg، بقوة 5.0 N. ما التسارع الناتج الذي تكتسبه وفاء؟

43. تتباطأ سيارة كتلتها 2300 kg بمعدل $3.0\ m/s^2$ عندما تقترب من لوحة توقف. ما مقدار القوة المحصلة التي تتسبب في إبطائها؟

44. كسر عظمة الترقوة بعد عيد الأضحى، يستخدم راشد وعثمان عظمة ترقوة خروف الأضحية كلعبة. إذا سحبها راشد بقوة أكبر من القوة التي يسحبها بها عثمان في الاتجاه المعاكس بمقدار 0.17 N وكانت كتلة العظمة 13 g. فما هو التسارع العظمة؟

القسم 2 الوزن والقوة المعيقة

إتقان المفاهيم

45. افترض أن تسارع جسم ما يساوي صفرًا. هل يعني هذا أنه لا توجد قوى مؤثرة في الجسم؟ اذكر مثالًا باستخدام موقف يومي لدعم إجابتك.

46. كرة السلة عندما يقوم لاعب كرة السلة تثبيت الكرة، فإنها تسقط على الأرض وترتد إلى أعلى. هل يلزم وجود قوة لجعلها ترتد؟ ولماذا؟ وإذا كانت القوة ضرورية، فما العامل المتدخل في ذلك؟

47. عربة تؤثر فيها قوة محصلة أفقية في اتجاه اليمين. يقول عمر، إنها يجب أن تتحرك إلى اليمين. ويقول أمير، لا، قد تتحرك في أي من الاتجاهين. هل كلاهما صحيح؟ وإذا كان الأمر كذلك، فاشرحْ السرعة المتجهة للعربة وتسارعها (إن وجد) وصِفهما.

48. قبل أن تفتح لاعبة القفز الحر مظلة الهبوط قد تسقط بسرعة متجهة أكبر من السرعة الحدية التي ستسقط بها بعد فتح مظلة الهبوط.

a. صف ما يحدث لسرعتها المتجهة عندما تفتح مظلة الهبوط.

b. صف السرعة المتجهة للاعبة القفز الحر منذ أن تفتح مظلتها حتى تصبح على وشك الهبوط.

49. تم إسقاط ثلاثة أجسام في وقتٍ واحد من أعلى مبنى مرتفع: كرة حديدية وبالون مملوء بالهواء وكرة سلة.

a. رتب الأجسام بترتيب وصولها إلى السرعة الحدية من الأول حتى الأخير.

b. رتب الأجسام بترتيب وصولها إلى الأرض من الأول حتى الأخير.

c. ما العلاقة بين إجابتيك عن الفرعين **a** و**b**.

إتقان حل المسائل

50. ما وزنك بالنيوتن؟

51. ترفع مروحية إنقاذ شخصين باستخدام رافعة وحلقة إنقاذ كما هو موضح في **الشكل 21**.

a. بإمكان الرافعة بذل قوة بمقدار 2000 N. ما أقصى كتلة يمكنها رفعها؟

b. إذا كانت الرافعة ترفع بقوة مقدارها 1200 N، فما تسارع المنقذ والضحية؟ ارسم مخطط الجسم الحر للأشخاص الذين يتم رفعهم.

c. باستخدام التسارع من الفرع **b**، ما الزمن المستغرق لسحب الأشخاص إلى المروحية؟ افترض أن الأشخاص كانوا في وضع السكون في البداية.

الشكل 21

Military Collection/Alamy Stock photo
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

52. وضع ميزان داخل مصعد. ما القوة التي يؤثر بها الميزان في شخص يقف عليه كتلته 53 kg وذلك في الحالات الآتية:

a. يتحرك المصعد إلى أعلى بسرعة ثابتة.

b. تتباطأ سرعة المصعد بمقدار $2.0\ m/s^2$ أثناء التحرك إلى أعلى.

c. يتسارع المصعد بمعدل $2.0\ m/s^2$ أثناء التحرك إلى أسفل.

d. يتحرك المصعد إلى أسفل بسرعة ثابتة.

e. تتباطأ سرعة المصعد حتى يتوقف أثناء التحرك إلى أسفل بتسارع ثابت بمقدار $2.5\ m/s^2$.

53. علم الفلك على سطح عطارد، يبلغ مجال الجاذبية 0.38 مرة بالنسبة إلى الجاذبية الأرضية.

a. كم تزن كتلة مقدارها 6.0 kg على عطارد؟

b. إذا كان مجال الجاذبية فوق سطح بلوتو يساوي 0.08 مرة بالنسبة إلى مجال الجاذبية فوق عطارد، فكم تزن كتلة مقدارها 7.0 kg فوق بلوتو؟

54. يقفز غواص كتلته 65 kg من أعلى برج يبلغ ارتفاعه 10.0 m. بفرض تجاهل مقاومة الهواء.

a. أوجد السرعة المتجهة للغواص عند اصطدامه بالماء.

b. إذا توقف الغواص على عمق 2.0 m تحت سطح الماء. فأوجد القوة المحصلة التي يؤثر بها الماء.

القسم 3 قانون نيوتن الثالث

إتقان المفاهيم

55. عندما تسقط صخرة من أعلى جسر. تجذب الأرض الصخرة وتكسبها تسارعًا إلى أسفل. وفقًا لقانون نيوتن الثالث، تجذب الصخرة أيضًا الأرض ولكن لا يبدو أن الأرض تتسارع. اشرح.

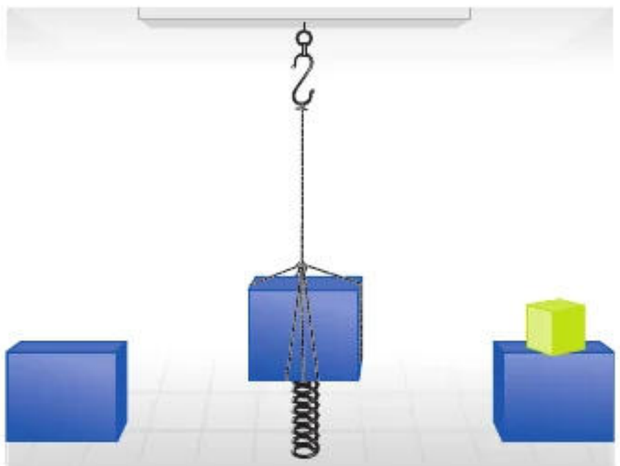
56. اشرح لماذا يكون الشد في حبل عديم الكتلة ثابتًا في جميع أجزاء الحبل.

57. يدفع رامي السرير كما هو موضح في **الشكل 22**. ارسم مخطط الجسم الحر للسرير وحدد كل القوى المؤثرة فيه. اكتب قائمة منفصلة بكل القوى التي يؤثر بها السرير في الأجسام الأخرى.

الشكل 22

58. كرة البيسبول يهز اللاعب المضرب ويضرب كرة البيسبول. ارسم مخطط الجسم الحر لكرة البيسبول والمضرب في لحظة تلامسهما. وضح على نحو محدد أي أزواج تفاعل بين المخططين.

59. مهمة الترتيب يبين **الشكل 23** ثقل في ثلاثة مواقف مختلفة. رتبها وفقًا لمقدار القوة العمودية بين الثقل (أو الزنبرك) والأرض، من الأكبر الأصغر. وضح أي روابط على وجه التحديد.



الشكل 23

إتقان حل المسائل

60. يستقر ثقل كتلته 6.0 kg فوق ثقل كتلته 7.0 kg، مستقر على طاولة أفقية.

a. ما القوة (المقدار والاتجاه) التي يؤثر بها الثقل الذي تبلغ كتلته 7.0 kg في الثقل الذي تبلغ كتلته 6.0 kg؟

b. ما القوة (المقدار والاتجاه) التي يؤثر بها ثقل كتلته 6.0 kg في ثقل كتلته 7.0 kg؟

61. المطر تسقط قطرة مطر كتلتها 2.45 mg على الأرض. أثناء سقوطها، ما مقدار القوة التي تؤثر بها في الأرض؟

62. يمكن لذكور الأسود والعدائين من البشر التسارع بمقدار $10.0\ m/s^2$. إذا كانت كتلة الأسد المتوسط 170 kg وكتلة العداء المتوسط 75 kg. فما الفرق في القوة التي تؤثر بها الأرض أثناء السباق بين هذين النوعين؟ (يجب حساب القوة للأمام والقوة العمودية).

63. تتسارع مروحية كتلتها 4500 kg إلى أعلى بمقدار $2.0\ m/s^2$. ما قوة الرفع التي يؤثر بها الهواء في المروحة؟

64. تتكدس ثلاث كتل فوق بعضها. تبلغ كتلة الكتلة العلوية 4.6 kg والوسطى 1.2 kg والسفلية 3.7 kg. حدد أي قوى عمودية بين الأجسام واحسبها.

تطبيق المفاهيم

65. إصابة الرقبة إذا كنت في سيارة تعرضت لضربة من الخلف، فقد تُصاب بإصابة خطيرة في الرقبة.

a. باستخدام قوانين نيوتن، اشرح سبب هذة الإصابة.

b. كيف يقلل مسند الرأس من إصابة الرقبة؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التقويم

66. عندما تنظر إلى ملصق المنتج في **الشكل 24** لتحصل على فكرة عن مقدار ما تحتويه العلبة، هل يدلك الملصق على الكتلة أم الوزن أم كليهما؟ هل تحتاج إلى إجراء أي تغييرات على هذا الملصق ليكون مناسبًا لاستهلاكه على القمر؟

الشكل 24

67. أسقطت كرتا تنس طاولة إحداهما ممتلئة بالهواء والأخرى بالماء من أعلى مبنى مرتفع. وتتعرض كلتاهما لمقاومة الهواء أثناء السقوط. أيٌّ من الكرتين تصل إلى السرعة الحدية أولًا؟ هل تصطدم كلتاهما بالأرض في الوقت ذاته؟

68. يمكن أن نقول إن 1 kg يساوي 2.21 lb. ماذا تعني هذه العبارة؟ وما الطريقة الصحيحة لإجراء المقارنة؟

69. عندما ترمي كرة في خط مستقيم إلى أعلى في الهواء. بفرض تجاهل مقاومة الهواء.

a. ارسم مخطط الجسم الحر للكرة عند ثلاث نقاط: في طريقها إلى أعلى وعند أعلى نقطة وفي طريقها إلى أسفل. حدد على المخطط القوى والعوامل المؤثرة في الكرة.

b. ما السرعة المتجهة للكرة عند أعلى نقطة في حركتها؟

c. ما تسارع الكرة عند هذه النقطة؟

70. عند تلقي تمريرة في مباراة كرة السلة، لا يثبت اللاعب يديه ولكنه يحركهما في اتجاه حركة الكرة. اشرح من حيث التسارع وقانون نيوتن الثاني لماذا يحرك اللاعب يديه بهذه الطريقة؟

مراجعة عامة

71. أكملت سيارة سباق شوطًا بمسافة 402.3 m (0.2500 mi) في 5.023 s. إذا كانت السيارة تسير بتسارع ثابت، فكم كان تسارعها وسرعتها المتجهة النهائية؟

72. محطة فضاء يزن باسل 588 N على الأرض ولكنه عديم الوزن حاليًا في محطة فضاء. إذا كان يدفع الحائط بتسارع رأسي مقداره $3.00\ m/s^2$، فحدد القوة التي يبذلها الحائط أثناء دفعه إياه.

73. طائرة نفاثة تستعد طائرة نفاثة تزن $2.75\times10^6\ N$ للإقلاع. إذا كان محرك الطائرة النفاثة يوفر قوة ثابتة نحو الأمام بمقدار $6.35\times10^6\ N$، فكم المسافة التي تحتاج إليها على مدرج الطيران لتصل إلى أدنى سرعة إقلاع لها بمقدار 285 km/h؟

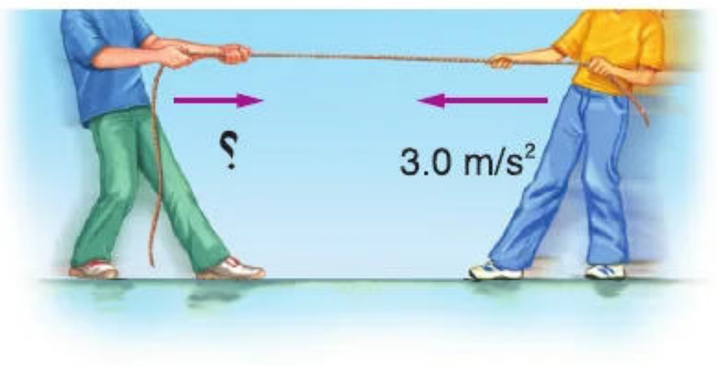
74. سيارة سباق انطلقت سيارة سباق كتلتها 873 kg من وضع السكون ووصلت سرعتها إلى 26.3 m/s خلال 0.59 s.

a. أوجد متوسّط تسارع سيّارة السباق.

b. ما مقدار متوسّط القوّة المحصّلة المؤثّرة في سيّارة السباق خلال هذا الزمن؟

c. ما القوّة الأفقيّة التي يؤثّر فيها المقعد على السائق إذا كانت كتلة السائق 68 kg؟

75. قطعت سيارة السباق في السؤال السابق مسافة 402.3 m خلال 4.936 s. وكان سرعتها عندما قطعت خطّ النهاية 126.6 m/s. هل فرضيّة التسارع الثابت صحيحة؟ ما المعلومات الضروريّة لتحديد ما إذا كانت التسارع ثابتًا؟



الشكل 25

76. صبيّان كتلة أحدهما 65 kg والآخر 45 kg يستخدمان حبلًا عديم الكتلة في لعبة شد الحبل على سطح جليدي عديم الاحتكاك كما في **الشكل 25**. إذا كان تسارع الصبي ذو القميص الاصفر تجاه الآخر يساوي $3{,}0 m/s^2$، فأوجد مقدار واتجاه تسارع الصبي الاخر.

77. كرة البيسبول أثناء التقاط كرة البيسبول، تتغير سرعتها من 30.0 m/s إلى 0.0 m/s في 0.0050 s تقريبًا. تبلغ كتلة كرة البيسبول 0.145 kg.

a. ما تسارع كرة البيسبول؟

b. ما مقدار واتجاه القوة المؤثرة فيها؟

c. ما مقدار واتجاه القوة المؤثرة في اللاعب الذي التقطها؟

78. تتسارع سيارة بانتظام من 0 إلى 24 m/s في 6.0 s. إذا كانت كتلة السيارة تبلغ $2.0\times10^3\ kg$. فما القوة التي تؤدي إلى تسارعها؟

79. الهوكي الهوائي تعمل طاولة الهوكي الهوائي عن طريق ضخ الهواء خلال آلاف الفتحات الدقيقة في الطاولة لدعم أقراص لعبة الهوكي الخفيفة. وهذا يسمح للأقراص بالتحرك على وسائد الهواء مع مقاومة ضئيلة للغاية. كتلة أحد هذه الأقراص 0.25 kg ويتم دفعه بقوة 12.0 N لمدة 0.90 s.

a. ما تسارع القرص؟

b. ما السرعة المتجهة النهائية للقرص؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

80. بالون الرصد الجوي الأدوات المعلقة في بالون الرصد الجوي في **الشكل 26** تبلغ كتلتها 8.0 kg. يتم إطلاق البالون ويبذل قوة نحو الأعلى تبلغ 98 N على الأدوات.

a. كم يبلغ تسارع البالون والأدوات؟

b. بعد تسارع البالون لمدة 10.0 s، يتم إطلاق الأدوات. كم تبلغ السرعة المتجهة للأدوات وقت إطلاقها؟

c. ما القوة المحصلة المؤثرة في الأدوات بعد إطلاقها؟

d. متى يصبح اتجاه السرعة المتجهة للأدوات لأسفل للمرة الأولى؟

الشكل 26

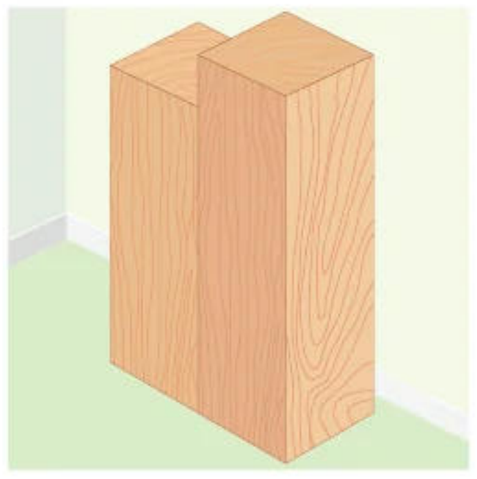
81. عندما تؤثر قوة أفقية مقدارها 4.5 N في ثقل فوق سطح عديم المقاومة، فإنها تؤدي إلى تسارع بمعدل $2.5\ m/s^2$. افترض أنه تم إسقاط ثقل آخر كتلته 4.0 kg على الثقل الأول. فما مقدار التسارع للثقلين إذا استمرت القوة نفسها في التأثير؟ مع افتراض أن الثقل الثاني لا ينزلق فوق الأول.

82. يعرض **الشكل 27** كتلتين، تبلغ كتلتاهما 4.3 kg و 5.4 kg. ويتم دفعهما على سطح عديم الاحتكاك بقوة أفقية تبلغ 22.5 N تؤثر في الكتلة البالغة كتلتها 4.3 kg.

a. ما مقدار تسارع الكتلتين؟

b. ما مقدار قوة الكتلة البالغة 4.3 kg على الكتلة البالغة 5.4kg؟

c. ما مقدار قوة الكتلة البالغة 5.4 kg على الكتلة البالغة 4.3kg؟



الشكل 27

83. يقف طالب على ميزان منزلي في مصعد في وضع السكون في الطابق 64 في أحد المباني. كانت قراءة الميزان 836 N.

a. أثناء تحرك المصعد إلى أعلى، تزيد قراءة الميزان لتصل إلى 936 N. أوجد تسارع المصعد.

b. أثناء اقتراب المصعد من الطابق 74، تنخفض قراءة الميزان لتصل إلى 782 N. فما مقدار تسارع المصعد؟

c. باستخدام النتائج التي حصلت عليها من الفرعين **a.** و**b.** اشرح أي تغير في السرعة المتجهة، البدء أو التوقف، يستغرق زمنًا أطول.

84. ثقلان، كتلة أحدهما 5.0 kg وكتلة الأخرى 3.0 kg. مربوطتان معًا بحبل عديم الكتلة كما في **الشكل 28**. وهذا الحبل مربوط على بكرة عديمة الكتلة وعديمة المقاومة. يتم إطلاق الثقلين من وضع السكون. أوجد ما يلي:

a. الشد في الحبل

b. تسارع الثقلين

تلميح: ستحتاج إلى حل معادلتين معًا.

الشكل 28

التفكير الناقد

85. مسألة عكسية اكتب مسألة فيزيائية تتضمن أجسامًا من الحياة اليومية تكون المعادلة التالية جزءًا من حلها:

$$F = (23\ kg)(1.8\ m/s^2)$$

86. صياغة النماذج كتلة مقدارها m_a = 2.0 kg وكتلة مقدارها m_b = 3.0 kg متصلتان بسلك خفيف الوزن يمر فوق بكرة عديمة الاحتكاك. تغير البكرة اتجاه القوة التي يبذلها الحبل فقط. والكتلتان المعلقتان حرتا الحركة. اختر نظامين إحداثيين للكتلتين على أن يكون الاتجاه الموجب لأعلى بالنسبة إلى الكتلة m_a. ولأسفل بالنسبة إلى الكتلة m_b.

a. ارسم نموذج تصويري.

b. ارسم مخططات الحركة والجسم الحر وحدّد اتجاه الحركة.

c. ما مقدار تسارع الكتلة الأصغر؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التقويم

87. استخدم النماذج افترض أن مقداري الكتلتين في المسألة السابقة أصبحا الآن 1.00 kg و4.00 kg. أوجد تسارع الكتلة الأكبر.

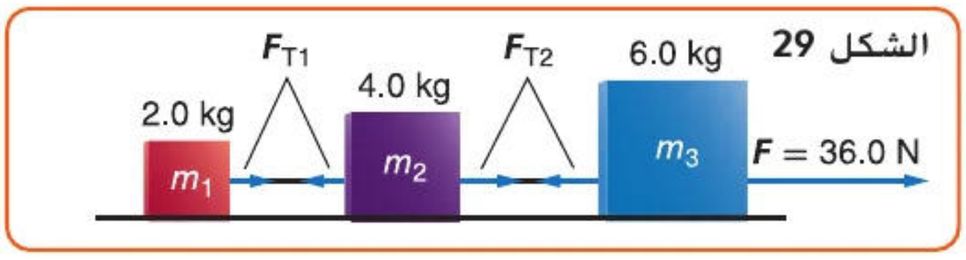
88. لاحظ واستدل يتم سحب ثلاث كتل متصلة بخيوط عديمة الكتلة على طول سطح عديم الاحتكاك بتأثير قوة أفقية. كما هو مبين في **الشكل 29**.

a. ما مقدار تسارع كل كتلة؟

b. ما مقدار قوى الشد في كل خيط؟

تلميح: ارسم مخطط الجسم الحر لكل كتلة على حدة.

الشكل 29



89. انقد اكتب حلا للمسألة التالية مستخدمًا أمثلة المسائل في هذه الوحدة كنماذج. يتعلق ثقل كتلته 3.46 kg في حبلين عموديين مربوطين في السقف. ما مقدار الشد في كل حبل؟

90. التفكير الناقد إذا كنت تعمل كمستشار علمي لمسلسل تليفزيوني جديد عن الخيال العلمي حول استكشاف الفضاء. وفي الحلقة الثالثة، طُلب من البطل، نجم البدري، أن يكون أول من يركب في سفينة جديدة للنقل بين الكواكب. وهو يريد التأكد من أن سفينة النقل ستأخذه بالفعل إلى الكوكب الذي يريد الذهاب إليه، وبالتالي هو بحاجة إلى جهاز لقياس قوة الجاذبية عند وصوله. لقياس قوة الجاذبية، يريد كُتاب الحوار أن يُجري نجم تجربة تتضمن استخدام ميزان. ومهمتك هي تصميم تجربة سريعة يمكن لنجم إجراؤها وتتضمن استخدام ميزان لتحديد الكوكب الذي يوجد عليه. صف التجربة واذكر النتائج التي يمكن الحصول عليها على كوكب الزهرة ($g = 8.9$ N/kg)، الذي من المفترض أن يذهب إليه، وعطارد ($g = 3.7$ N/kg)، الكوكب الذي ستنقله إليه سفينة النقل.

91. طبق المفاهيم أعد تجربة تستخدم كاشف الحركة وحاسبة أو برنامج كمبيوتر يرسم رسمًا بيانيًا للمسافة التي يقطعها جسم أثناء السقوط الحر في فترات زمنية متساوية. وارسم أيضًا رسمًا بيانيًا للسرعة المتجهة مقابل الزمن. قارن وقابل الرسومات البيانية. باستخدام الرسم البياني للسرعة المتجهة، حدد مجال الجاذبية. هل يساوي g؟

92. تأليف مسألة أكمل هذه المسألة لكي يكون من اللازم حلها باستخدام المفهوم المذكور أدناه: "أثناء تفريغ شاحنة، يدفع العامل صندوقًا كتلته 10 kg على الأرضية..."

a. قانون نيوتن الثاني

b. قانون نيوتن الثالث

الكتابة في الفيزياء

93. ابحث في إسهامات نيوتن في الفيزياء واكتب ملخصًا من صفحة واحدة. هل تعتقد أن قوانين الحركة الثلاثة كانت أعظم إنجازاته؟ اشرح لم أو لم لا.

94. راجع وحلل وانقد قانون نيوتن الأول. هل تستطيع إثبات هذا القانون؟ اشرح. تأكد من أخذ دور المقاومة في الحسبان.

95. يصنف علماء الفيزياء جميع القوى إلى أربع فئات أساسية: الجاذبية والكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة والنووية القوية. تحقق من هذه القوى وصف الحالات التي توجد فيها.

مراجعة تراكمية

96. التزلج لاختراق الضاحية يتدرب صديقك على سباق للتزلج على الجليد لاختراق الضاحية، واتفقت أنت وبعض أصدقائك الآخرين على توفير الغذاء والماء له على طول طريق التدريب. والطقس اليوم شديد البرودة، ولذلك لا يريد أيٌّ منكم الانتظار في الخارج لفترة أطول مما ينبغي. يتصل بك طارق، الذي سيتوقف عنده المتزلج قبل منزلك، في الساعة 8:25 A.M. ليخبرك أن المتزلج مر بمنزله للتو وأنه يخطط للتحرك بسرعة متوسطة 8.0 km/h. إذا كان منزلك يبعد عن منزل طارق بمقدار 5.2 km، فمتى يجب أن تتوقع مرور المتزلج بمنزلك؟

97. الشكل 30 يعرض رسمًا بيانيًا للموقع–الزمن لحركة سيارتين على الطريق.

a. في أي زمن (أزمان) تتجاوز إحدى السيارتين الأخرى؟

b. أي السيارتين تتحرك أسرع عند 7.0 s؟

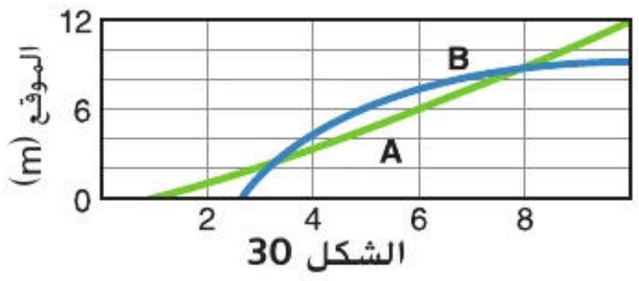
c. في أي زمن (أزمان) يكون للسيارتين السرعة المتجهة نفسها؟

d. في أي فترة زمنية تسرع السيارة B طوال الزمن؟

e. في أي فترة زمنية تُبطئ السيارة B طوال الزمن؟

الشكل 30

الرسم البياني للموقع مقابل الزمن



98. راجع **الشكل 30** لإيجاد السرعة اللحظية لكل مما يلي:

a. السيارة B عند 2.0 s

b. السيارة B عند 9.0 s

c. السيارة A عند 2.0 s

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

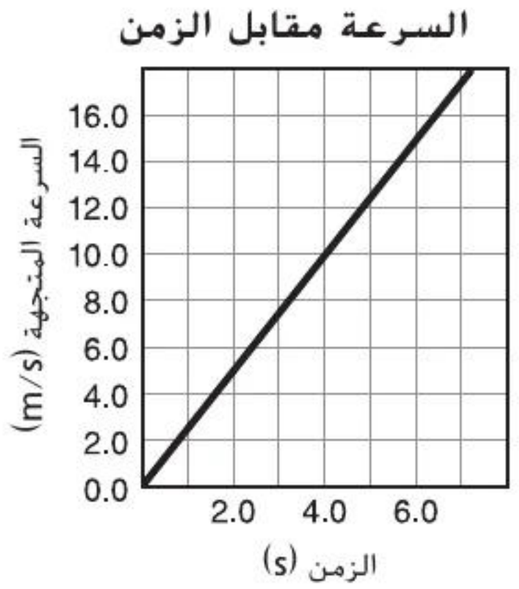
الوحدة 4 تدريب على الاختبار المعياري

اختيار من متعدد

1. ما تسارع السيارة المبينة في الرسم البياني التالي؟

a. $0.20\ m/s^2$ **c.** $1.0\ m/s^2$

b. $0.40\ m/s^2$ **d.** $2.5\ m/s^2$



2. ما المسافة التي يقطعها العداء في 4.0 s إذا كانت تسارع $25m/s^2$؟ بافتراض أن العداء بدأ من السكون.

a. 13 m **c.** 80 m

b. 20 m **d.** 90 m

3. إذا بدأت دراجة نارية من السكون وحافظت على تسارع ثابت بمقدار $3m/s^2$. فكم ستكون سرعتها المتجهة بعد 10 s؟

a. 10 m/s **c.** 90 m/s

b. 30 m/s **d.** 100 m/s

4. ما مدى تغير تسارع الجسم إذا تضاعفت القوة المحصلة المؤثرة في الجسم؟

a. ينقص التسارع بمقدار النصف.

b. لا يتغير التسارع.

c. يتضاعف التسارع.

d. يُضرب التسارع في أربعة.

5. ما وزن مسبار فضائي كتلته 225 kg على القمر؟ فرض أن مقدار تسارع الجاذبية على سطح القمر $1.62m/s^2$.

a. 139 N **c.** 1.35×10^3 N

b. 364 N **d.** 2.21×10^3 N

6. تقف امرأة كتلتها 73 kg على ميزان في مصعد. إذا كانت قراءة الميزان 810 N. ما مقدار واتجاه تسارع المصعد؟

a. $0.23\ m/s^2$ لأعلى **c.** $6.5\ m/s^2$ لأسفل

b. $1.3\ m/s^2$ لأعلى **d.** $11\ m/s^2$ لأسفل

7. يجلس طفل كتلته 45kg على أرجوحة مصنوعة من إطار سيارة كتلته 3.2kg. ما قوة الشد في الحبل المُعلق في فرع الشجرة؟

a. 310 N **c.** 4.5×10^2 N

b. 4.4×10^2 N **d.** 4.7×10^2 N

8. مال فرع الشجرة في المسألة السابقة واستقرت قدما الطفل على الأرض. إذا كانت قوة الشد في الحبل قد تناقصت لتصبح 220N. فما قيمة القوة العمودية المؤثرة على قدمي الطفل؟

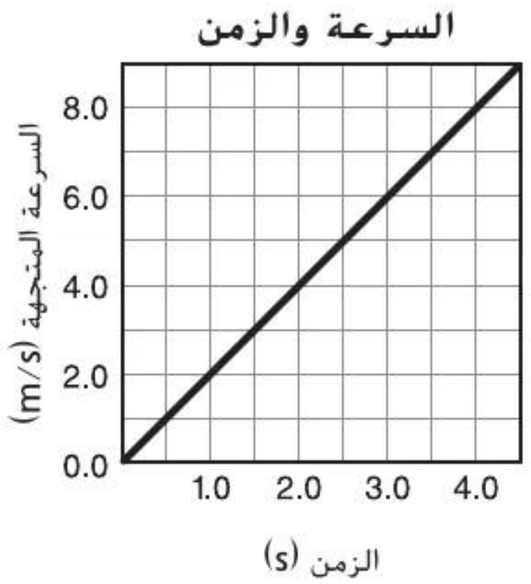
a. 2.2×10^2 N **c.** 4.3×10^2 N

b. 2.5×10^2 N **d.** 6.9×10^2 N

9. في الرسم البياني التالي، ما القوة المؤثرة على عربة كتلتها 16kg؟

a. 4 N **c.** 16 N

b. 8 N **d.** 32 N



أسئلة ذات إجابات مفتوحة

10. ارسم مخطط الجسم الحر لطفل يقف على ميزان في مصعد. ثم صف باستخدام الكلمات والمعادلات الرياضية ما يحدث لوزن الطفل الظاهري عندما يتسارع المصعد إلى أعلى وعندما يهبط المصعد بسرعة منتظمة إلى أسفل. وعندما يهبط المصعد في حالة سقوط حر.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 5

الاهتزازات والموجات

الفكرة الرئيسة الموجات والحركة التوافقية البسيطة من أمثلة الحركة الدورية.

الأقسام

1 الحركة الدورية

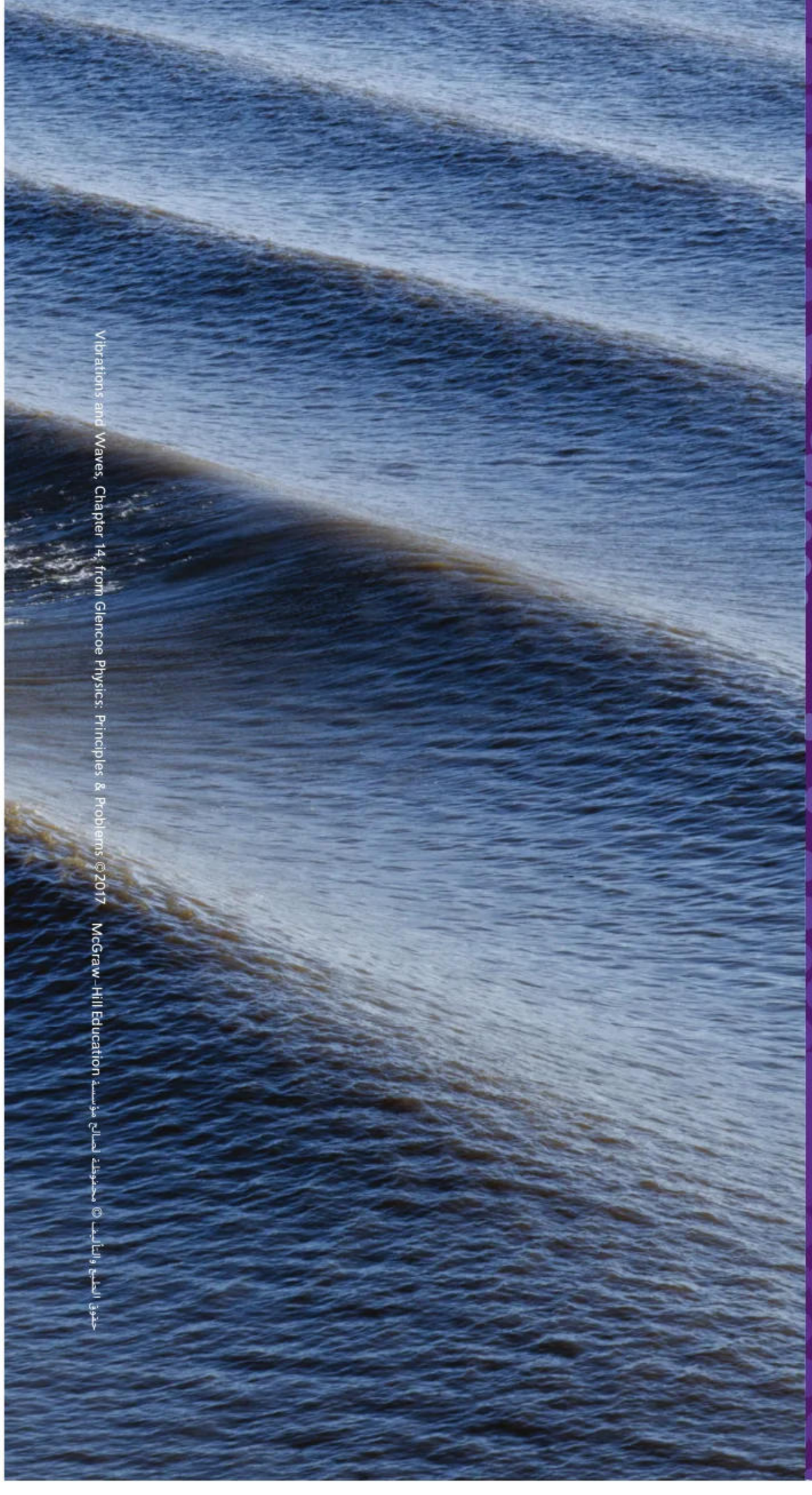
2 خصائص الموجات

3 سلوك الموجات

التجربة الاستهلالية

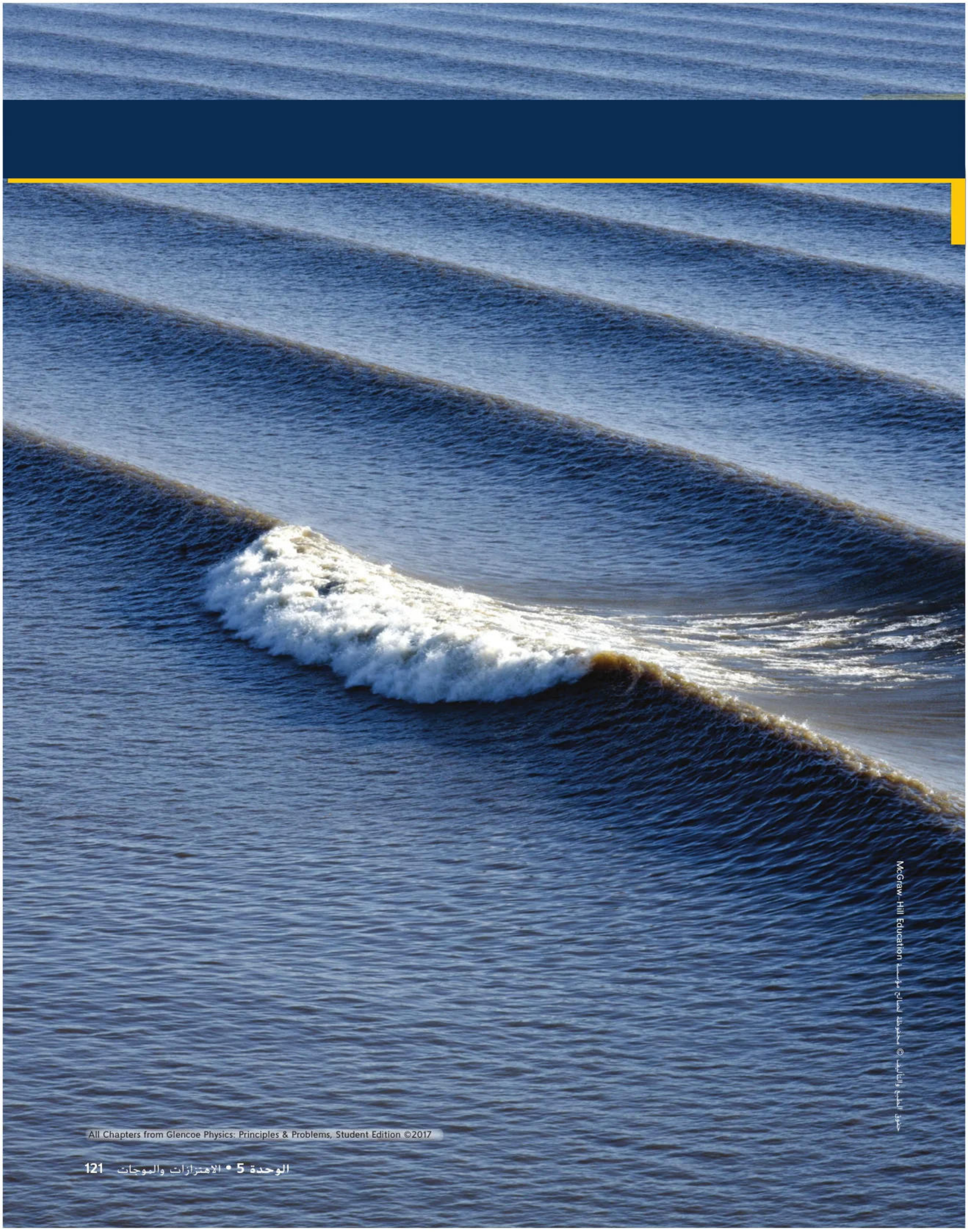
تفاعل الموجات

ما أنواع الموجات التي يمكن أن تُرسل عبر الزنبرك؟



Vibrations and Waves, Chapter 14, from Glencoe Physics: Principles & Problems © 2017 McGraw-Hill Education

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



All Chapters from Glencoe Physics: Principles & Problems, Student Edition ©2017

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 1

الحركة الدورية

الفيزياء في حياتك

لعلك شاهدت تنويمًا مغناطيسيًا باستخدام ساعة جيب قديمة، حيث كانت الساعة تعلق بوساطة خيط طويل نسبيًا ثم تُسحب جانبيًا بزاوية معينة وتُترك لتتحرك ذهابًا وإيابًا بإيقاع منتظم يشبه حركة البندول البسيط المستخدم في ساعات الحائط الكبيرة. إن حركة ساعة الجيب المعلقة أثناء اهتزازها وحركة البندول داخلها تسمى حركات دورية.

الفكرة الرئيسة

تتكرر الحركة الدورية في فترات زمنية متساوية.

الأسئلة الرئيسة

- ما الحركة التوافقية البسيطة؟
- ما مقدار الطاقة المختزنة في الزنبرك؟
- ما العوامل المؤثرة في النظام الدوري لبندول؟

مراجعة المفردات

مجال الجاذبية gravitational field *(g)*: هي القوة التي تؤثر بها الأرض في وحدة الكتل من الأجسام القريبة منها. وتساوي 9.8 N/kg تقريبًا بالقرب من سطح الأرض، واتجاهها في اتجاه مركز الأرض.

المفردات الجديدة

حركة دورية	periodic motion
الزمن الدوري	period
سعة	amplitude
حركة توافقية بسيطة	simple harmonic motion
قانون هوك	hooke's law
بندول بسيط	simple pendulum
رنين	resonance

الكتلة المعلقة في الزنبرك

إن حركة جسم فلزي مثبت في الطرف الحر لزنبرك معلق رأسيًا إلى أعلى وإلى أسفل وحركة أوتار الغيثارة المهتزة وحركة أغصان الشجر المتمايلة في مهب الريح تشبه إلى حد ما حركة البندول البسيط. وهذا النوع من حركة هذه الأجسام وغيرها تعد من الأمثلة على **الحركة الدورية**.

في الأمثلة السابقة وفي جميع الأجسام التي تتحرك حركة دورية منتظمة تكون محصلة القوى المؤثرة في الجسم صفرًا عند موضع ما، ويكون الجسم عندها في حالة اتزان. وعند سحب الجسم المهتز بعيدًا من موضع الاتزان تصبح محصلة القوى المؤثرة فيه لا تساوي صفرًا، وتعمل محصلة القوى هذه على إعادة الجسم المهتز إلى موضع اتزانه. يُعرف **الزمن الدوري** (T) بأنه الزمن الذي يستغرقه جسم لعمل دورة كاملة من الحركة. تُعرف **سعة أهتزاز الحركة A** بأنها الحد الأقصى للمسافة لإزاحة الجسم على أحد جانبي موضع الاتزان.

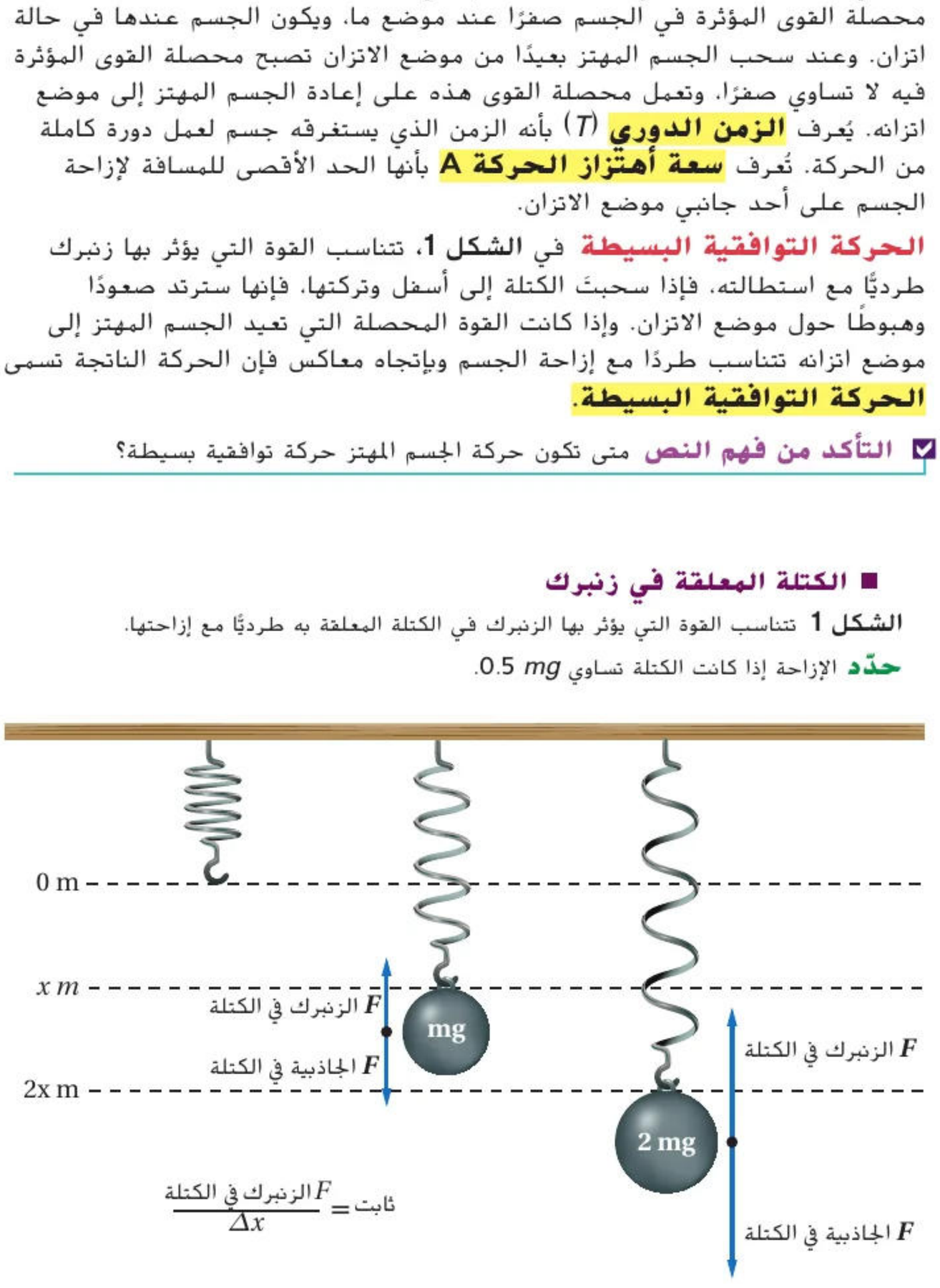
الحركة التوافقية البسيطة في **الشكل 1**، تتناسب القوة التي يؤثر بها زنبرك طرديًا مع استطالته، فإذا سحبتَ الكتلة إلى أسفل وتركتها، فإنها سترتد صعودًا وهبوطًا حول موضع الاتزان. وإذا كانت القوة المحصلة التي تعيد الجسم المهتز إلى موضع اتزانه تتناسب طردًا مع إزاحة الجسم وبإتجاه معاكس فإن الحركة الناتجة تسمى **الحركة التوافقية البسيطة**.

التأكد من فهم النص متى تكون حركة الجسم المهتز حركة توافقية بسيطة؟

■ **الكتلة المعلقة في زنبرك**

الشكل 1 تتناسب القوة التي يؤثر بها الزنبرك في الكتلة المعلقة به طرديًا مع إزاحتها.

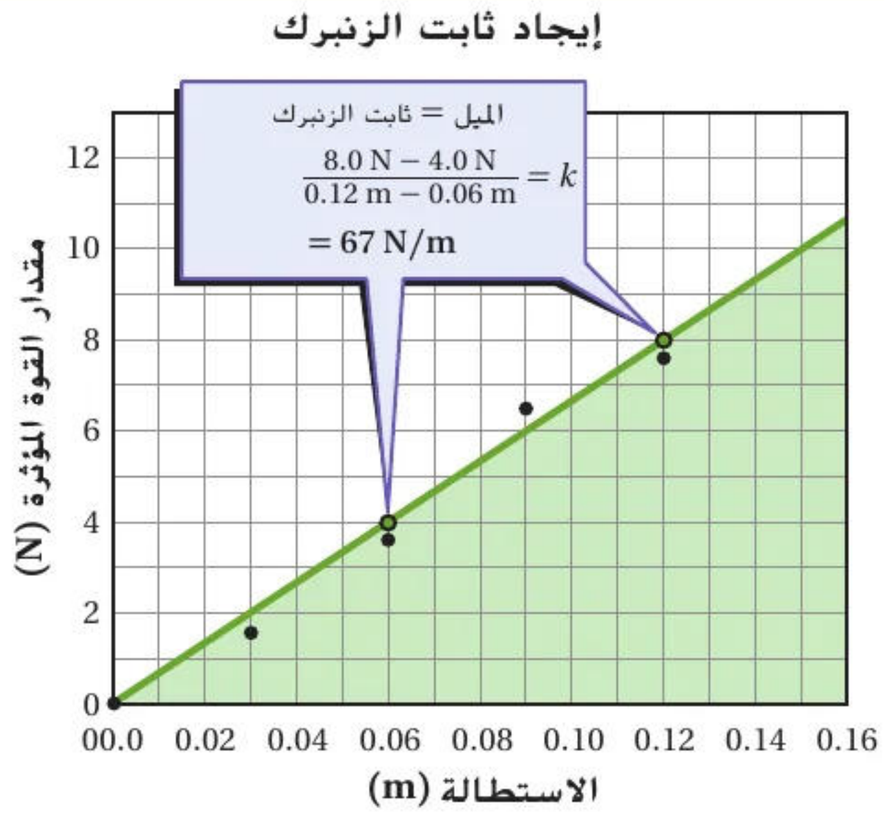
حدّد الإزاحة إذا كانت الكتلة تساوي $0.5\ mg$.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الجدول 1
مقدار القوة والاستطالة في الزنبرك

الاستطالة (m)	مقدار القوة المؤثرة في الزنبرك (N)
0.0	0.0
0.030	1.9
0.060	3.7
0.090	6.3
0.12	7.8



الشكل 2 يمكن ايجاد ثابت الزنبرك من حساب ميل المنحنى بين القوة والاستطالة. حيث إن المساحة المحصورة أسفل المنحنى تساوي طاقة الوضع المختزنة في الزنبرك.

قانون هوك

يوضّح **الجدول 1** نتائج تجريبية للعلاقة بين مقدار القوة التي تؤثر في زنبرك واستطالته. يبيّن **الشكل 2** المستقيم الأفضل تمثيلًا للبيانات. وتشير العلاقة الخطيّة المبيّنة في التمثيل إلى العلاقة الطردية بين مقدار القوة المؤثرة في الزنبرك، واستطالته. ويخضع الزنبرك الذي تؤثر فيه قوة تتناسب طرديًّا مع استطالته **لقانون هوك**.

قانون هوك
القوة المؤثرة في زنبرك تساوي حاصل ضرب ثابت الزنبرك في استطالته أو انضغاطه من موضع اتزانه.

$$F = -kx$$

حيث k ثابت الزنبرك الذي يعتمد على الصلابة وخصائص أخرى للزنبرك و x استطالة الزنبرك من موضع اتزانه. لاحظ أنّ k هو ميل المستقيم للخط البياني للعلاقة بين مقدار القوة والاستطالة للزنبرك. ويشير الميل الحاد إلى أن قيمة k تكون كبيرة. ويقاس ثابت هوك باستخدام وحدات القياس الدولية بالوحدة (N/m).

تشير الإشارة السالبة في قانون هوك إلى أن اتجاه القوة التي يؤثر بها الزنبرك تكون معاكسة لاتجاه الاستطالة أو الانضغاط للزنبرك، بينما يكون اتجاه القوة التي يؤثر بها الزنبرك باتجاه موضع الاتزان دائمًا.

التأكد من فهم النص **اشرح** دلالة الإشارة السالبة في قانون هوك.

قانون هوك و الزنبرك المرن ينطبق قانون هوك على زنبركات بشرط أن يبقى التناسب ثابتًا بين القوة المؤثرة والاستطالة. أما إذا أصبح التناسب غير ثابت فإنه لا يمكننا تطبيق قانون هوك. فهو لا ينطبق على الأشرطة المطاطية، لأن التناسب بين القوة والاستطالة غير ثابت. وبشكل عام فإن الزنبركات التي ينطبق عليها قانون هوك تُسمى زنبركات مرنة، بينما الزنبركات التي لا ينطبق عليها قانون هوك تسمى زنبركات غير مرنة. وفي الزنبرك الواحد نطبق قانون هوك عليه في حدود ثبات التناسب بين القوة والاستطالة، لكن عندما تزيد القوة على حد معين فإن استطالة الزنبرك تزداد بشكل كبير. عندها لا تكون الاستطالة متناسبة مع القوة فلا يمكن تطبيق قانون هوك. وعندها نقول إن الزنبرك قد تجاوز حد المرونة.

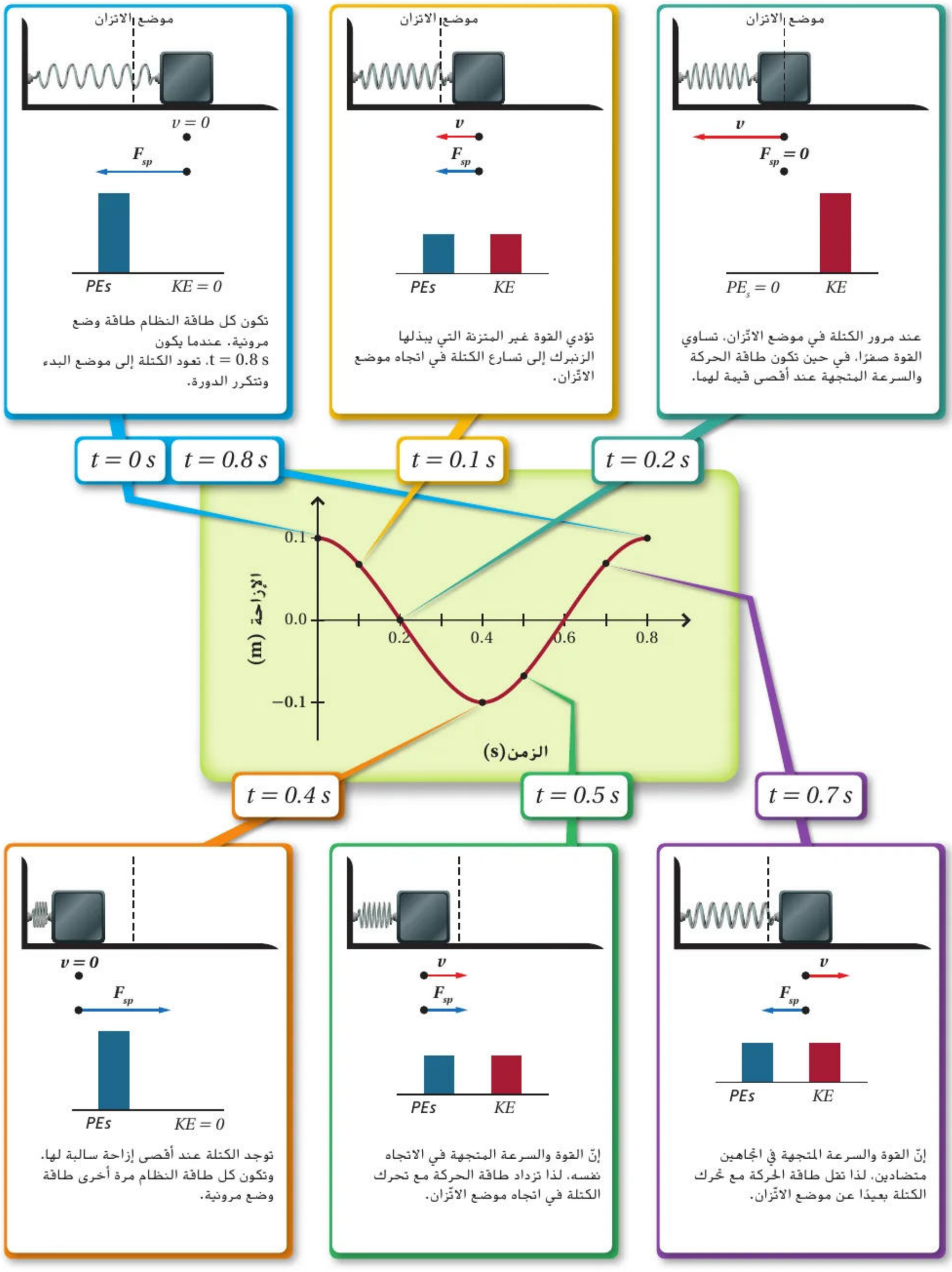
طاقة الوضع المرونية للزنبرك عندما يستطيل زنبرك فإنه يكتسب طاقة وضع مرونية. والشغل الذي تبذله القوة المؤثرة يساوي المساحة تحت المنحنى البياني للعلاقة بين القوة والاستطالة. ما مقدار الشغل المبذول لاستطالة الزنبرك؟ في **الشكل 2**، تمثل المساحة تحت المنحنى الشغل المبذول لاستطالة الزنبرك، ويساوي هذا الشغل طاقة الوضع المرونية المختزنة في الزنبرك. ولحساب طاقة الوضع المرونية في الزنبرك، أوجد مساحة المثلث، حيث تمثل قاعدته الازاحة x وارتفاعه يساوي مقدار القوة kx وفق قانون هوك. لذا يعبَّر عن طاقة الوضع المرونية المختزنة في الزنبرك من العلاقة التالية:

طاقة الوضع المرونية في الزنبرك
طاقة الوضع المرونية في الزنبرك تساوي نصف حاصل ضرب ثابت الزنبرك في مربع الإزاحة.

$$PE_{\text{الزنبرك}} = \frac{1}{2}kx^2$$

وكما يبيّن **الشكل 3** فإنه أثناء الحركة التوافقية البسيطة تتحول طاقة الوضع المرونية للزنبرك إلى طاقة حركة، ثم إلى طاقة وضع وهكذا.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



تكون كل طاقة النظام طاقة وضع مرونية. عندما يكون $t = 0.8\ s$، تعود الكتلة إلى موضع البدء وتتكرر الدورة.

تؤدي القوة غير المتزنة التي يبذلها الزنبرك إلى تسارع الكتلة في اتجاه موضع الاتّزان.

عند مرور الكتلة في موضع الاتّزان، تساوي القوة صفرًا، في حين تكون طاقة الحركة والسرعة المتجهة عند أقصى قيمة لهما.

توجد الكتلة عند أقصى إزاحة سالبة لها. وتكون كل طاقة النظام مرة أخرى طاقة وضع مرونية.

إنّ القوة والسرعة المتجهة في الاتجاه نفسه، لذا تزداد طاقة الحركة مع تحرك الكتلة في اتجاه موضع الاتّزان.

إنّ القوة والسرعة المتجهة في اتجاهين متضادين، لذا تقل طاقة الحركة مع تحرك الكتلة بعيدًا عن موضع الاتّزان.

الشكل 3 تبقى الطاقة الميكانيكية للنظام ثابتة أثناء الاهتزاز.

حدد في أي موضع تصبح طاقة الوضع في نظام الكتلة والزنبرك عند أقصى قيمة لها؟

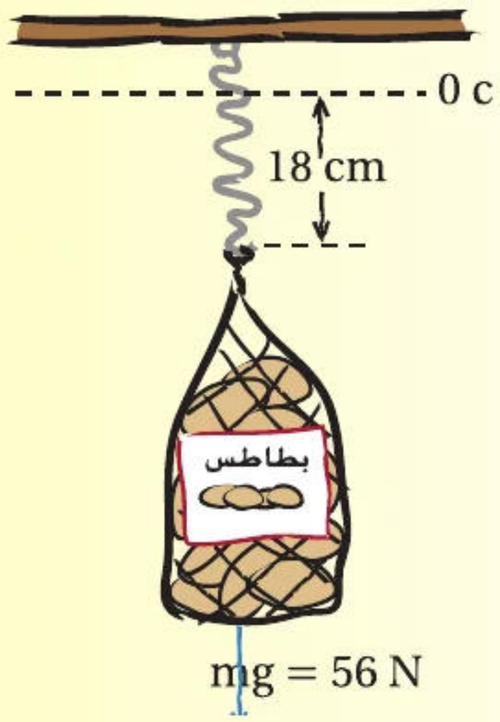
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 1

ثابت الزنبرك والطاقة المختزنة فيه يستطيل زنبرك بمقدار 18 cm عندما يُعلّق كيس من البطاطس يزن 56 N من طرفه.

a. احسب ثابت الزنبرك.

b. ما مقدار طاقة الوضع المرونية الكامنة في الزنبرك عندما يستطيل بمقدار هذه المسافة؟



1 تحليل المسألة

- ارسم رسما تخطيطياً.
- وضّح مسافة استطالة الزنبرك وموضع اتزانه وحددهما.

المعلوم	المجهول
$x = 18\ \text{cm}$	$k = ?$
$F = -56\ \text{N}$	$PE_{sp} = ?$

2 حساب المجهول

a. استخدم قانون هوك واكتبه بالصورة الآتية:

$$k = -\frac{F}{x}$$

$$= -\frac{-56\ \text{N}}{0.18\ \text{m}}$$

$$= 310\ \text{N/m}$$

◄ بالتعويض عن $F = -56\ \text{N}$, $x = 0.18\ \text{m}$. تصبح القوة بالسالب لأنها في الاتجاه المعاكس لـ x.

b. $PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$

$$= \frac{1}{2}(310\ \text{N/m})(0.18\ \text{m})^2$$

$$= 5.0\ \text{J}$$

◄ بالتعويض عن $k = 310\ \text{N/m}$, $x = 0.18\ \text{m}$.

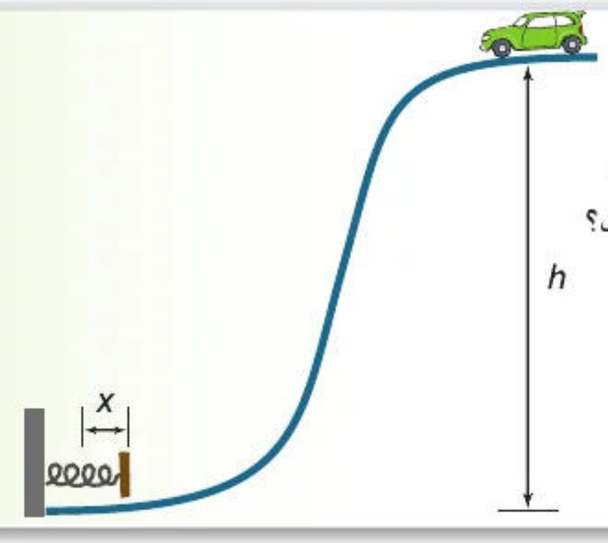
3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُعدّ N/m الوحدة الصحيحة لثابت الزنبرك. والوحدة الصحيحة للطاقة المختزنة هي: $(\text{N/m})(\text{m}^2) = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$.
- **هل المقدار حقيقي؟** يساوي متوسط مقدار القوة التي يؤثر بها الزنبرك 0 و 56 N. ويساوي الشغل المبذول $W = Fx = (28\ \text{N})(0.18\ \text{m}) = 5.0\ \text{J}$.

تطبيقات

1. ما مقدار ثابت زنبرك يستطيل بمقدار 12 cm عندما يُعلَّق به جسم يزن 24 N؟
2. ينضغط زنبرك ثابته $k = 144\ \text{N/m}$ بمقدار 16.5 cm. كم تبلغ طاقة الوضع المرونية للزنبرك؟
3. إذا كان ثابت زنبرك 56 N/m. ما مقدار استطالته عندما تُعلَّق كتلة تزن 18 N من طرفه؟
4. **تحد** زنبركٌ ثابته 256 N/m. ما مقدار المسافة التي يجب أن يستطيلها ليختزن طاقة وضع مرونية تساوي 48 J؟

مسألة تحفيزية



تقف سيارة كتلتها m أعلى تل ارتفاعه h قبل أن تهبط من دون احتكاك باتجاه حاجز اصطدام أسفل التل. يحتوي على زنبركٍ ثابته k، مصمم بحيث يوقف السيارة بأقل ضرر.

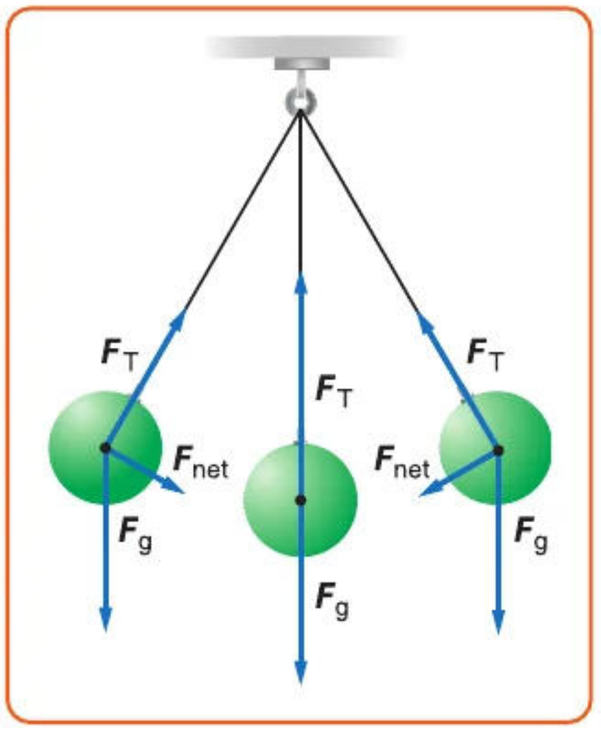
1. أوجد بدلالة لـ m و h و k و g، أقصى مسافة (x) لانضغاط الزنبرك عند اصطدامه بالسيارة.
2. إذا هبطت السيارة من تل يزيد ارتفاعه بمقدار الضعف، فما مقدار الزيادة في انضغاط الزنبرك؟
3. ماذا سيحدث بعد وقوف السيارة؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة Graw-Hill Education

البندول البسيط

من خلال حركة البندول البسيط فإنه يمكننا توضيح مفهوم الحركة التوافقية البسيطة، وذلك من خلال تأرجح الثقل المعلق بخيطه. **فالبندول** يتكَوَّن من جسم صلب مصمت ذي كثافة عالية يسمى ثقل البندول ويعلق في الطرف الحر لخيط أو سلك طوله ℓ. وعند سحب الثقل مبتعدًا عن موضع الاتزان، وتركه ليتحرك بحرية، فإنه يتأرجح ذهابًا وإيابًا في اتجاهين متعاكسين حول موضع الاتزان كما في **الشكل 4**. يؤثر الخيط بقوة شد مقدارها (F_T) في ثقل البندول، وتؤثر الجاذبية الأرضية أيضًا بقوة (F_g) ويتحرك الثقل بتأثير محصلة القوتين، وقد تم التعبير عنها في الرسم بثلاث مراحل. ففي الموضعين الأيمن والأيسر في **الشكل 4** تكون القوة المحصّلة المؤثرة في ثقل البندول وتسارعه أكبر ما يمكن والسرعة المتجهة صفرًا. بينما تكون القوة المحصلة ثم التسارع صفرًا عند موضع الاتزان وتكون السرعة المتجهة أكبر ما يمكن. ويمكنك ملاحظة أن القوة المحصلة تمثل قوة إرجاع، فتحاول إعادة الجسم المهتز إلى موضع الاتزان، وتكون دائمًا معاكسة لاتجاه الإزاحة.

عندما تكون زاوية الإزاحة صغيرة (أقل من 15° تقريبًا)، فإن قوة الإرجاع تتناسب طرديًا مع الإزاحة، وعندها يطلق على هذه الحركة، حركة توافقية بسيطة. ويسمى الزمن المستغرق لعمل اهتزازة كاملة بالزمن الدوري للحركة، ويحسب من خلال المعادلة التالية:



الشكل 4 تُعدّ حركة البندول مثالًا للحركة التوافقية البسيطة لأنّ قوة الإرجاع تتناسب طرديًا مع الإزاحة من موضع الاتزان.

الزمن الدوري للبندول

يساوي الزمن الدوري للبندول حاصل ضرب 2π في الجذر التربيعي لطول البندول مقسوما على عجلة الجاذبية الأرضية.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

لاحظ أنّ الزمن الدوري لا يعتمد إلا على طول البندول وعجلة الجاذبية الجاذبية وليس على كتلة الثقل أو سعة الاهتزازة. وثمة استخدام علمي للبندول وهو قياس g، الذي يمكن أن يختلف إلى حد ما في مواقع مختلفة على الأرض.

التأكد من فهم النص **وضّح** العلاقة بين الزمن الدوري للبندول البسيط وكتلة ثقل البندول.

مختبر الفيزياء

اهتزازات البندول

صمّم التجربة بنفسك كيف يمكن أن يوضّح البندول خصائص الموجات؟

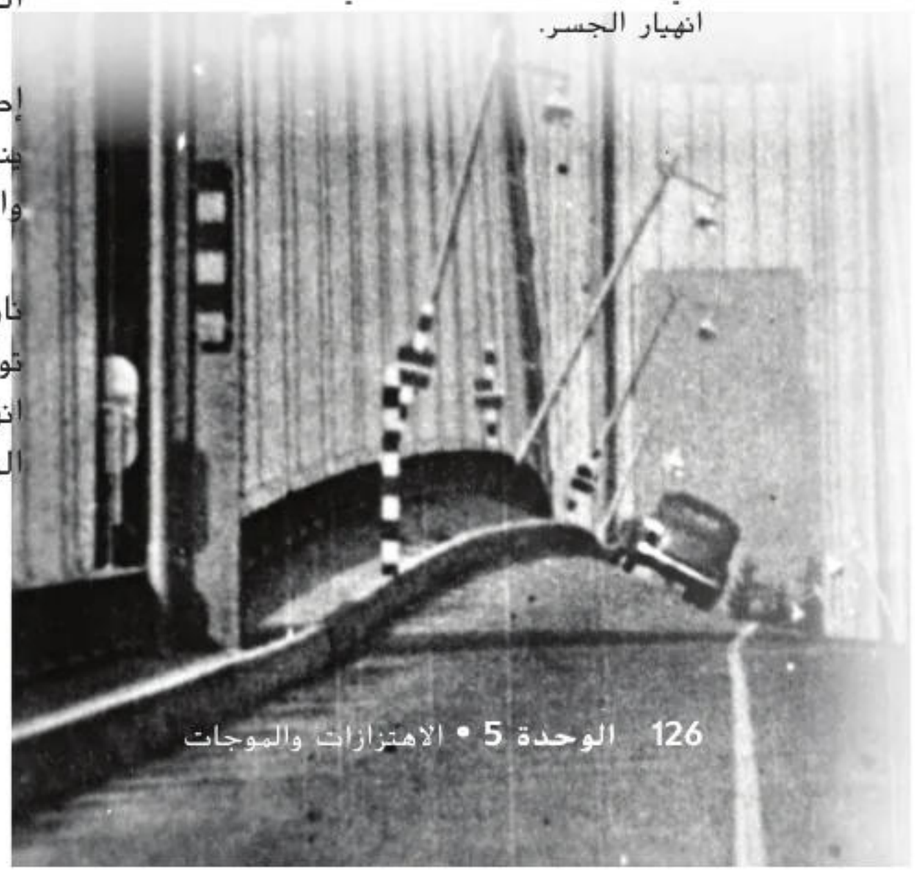
الرنين

لكي تستطيع التأرجح على أرجوحة وأنت جالس عليها، فلا بد من أن تقوم بدفعها عن طريق الانحناء إلى الخلف وسحب حبلها من النقطة نفسها في كل اهتزازة من الحركة، أو تطلب المساعدة من أحد الأشخاص ليدفعك دفعات متكررة وفي اللحظات المناسبة. يحدث **الرنين** عندما تؤثر قوى صغيرة في جسم متذبذب أو مهتز في فترات زمنية متساوية (منتظمة)، وهذا يؤدي إلى زيادة سعة اهتزاز الحركة أو الذبذبة وتكون الفترة الزمنية الفاصلة بين تطبيق القوة على الجسم مساوية للزمن الدوري للحركة (للذبذبة).

ومن الأمثلة الشائعة على الرنين تأرجح سيارة إلى الأمام والخلف من أجل تحرير إطاراتها المغروزة في الرمل، والقفز المتواتر عن منصات السباحة أو الغوص، وقد ينتج من السعة الكبيرة الناتجة من الرنين شعورًا بالإجهاد. وكذلك يستخدم في الآلات والأدوات الموسيقية لتضخيم الأصوات، وفي الساعات لزيادة دقتها.

في حالة شهيرة ومثيرة جدًا، أدّت القوى التي تولّدها الرياح إلى انهيار جسر تكوما ناروس الموضّح في **الشكل 5**. حيث أضافت القوى المتتالية والمتكررة بانتظام والتي تولدها الرياح، طاقة إلى تذبذب الجسر مما زاد من سعة اهتزازه بشكل كبير وأدى إلى انهياره. ولهذا فإنه يجب أن يهتم المعماريون والمهندسون اهتمامًا بالغًا عند تصميم المباني وإنشائها لضمان عدم تأثرها بالرنين.

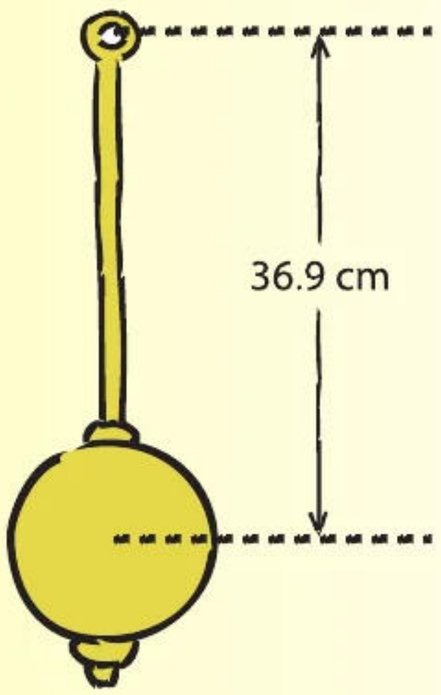
الشكل 5 ساعدت الرياح الموجودة حول جسر تكوما ناروس على تحرّك الجسر. عندما تحرّك، أدى تفاعل معقد بين القوى الموجودة في هيكل الجسر والقوى التي تولدها الرياح إلى انهيار الجسر.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 2

إيجاد g باستخدام البندول الزمن الدوري لبندول طوله 36.9 cm هو 1.22 s. فما تسارع الجاذبية الأرضية عند موضع البندول البسيط؟



1 تحليل المسألة

- ارسم رسما تخطيطياً.
- حدد طول البندول.

المعلوم

$\ell = 36.9\ \text{cm}$

$T = 1.22\ \text{s}$

المجهول

$g = ?$

2 حساب المجهول

► أوجد قيمة g.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

$$g = \frac{(2\pi)^2\ell}{T^2}$$

► بالتعويض عن $T = 1.22\ \text{s}$, $l = 0.369\ \text{m}$.

$$= \frac{4\pi^2(0.369\ \text{m})}{(1.22\ \text{s})^2}$$

$$= 9.78\ \text{m/s}^2 = 9.78\ \text{N/kg}$$

3 تقييم الإجابة

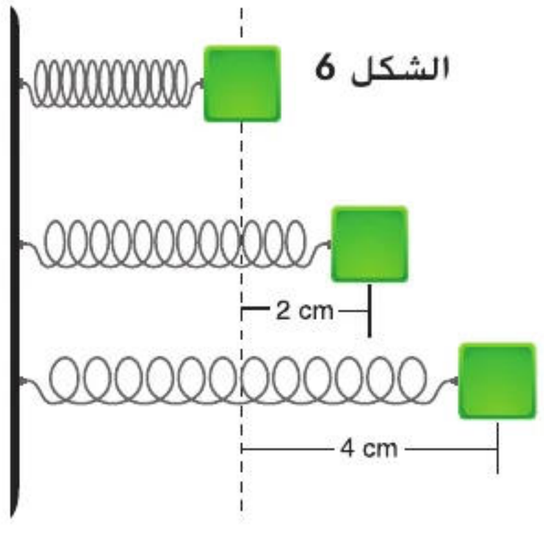
- **هل الوحدات صحيحة؟** تعد الوحدة N/kg صحيحة لمجال الجاذبية.
- **هل المقدار حقيقي؟** تقترب قيمة g المحسوبة من القيمة المعيارية 9.8 N/kg المقبولة. يمكن أن يكون هذا البندول على ارتفاع عالٍ فوق مستوى سطح البحر.

تطبيقات

5. ما مقدار الزمن الدوري لبندول يبلغ طوله 1.0 m؟
6. ما الطول المناسب لبندول على سطح القمر عندما يكون $g = 1.6\ \text{N/kg}$ حتى يكون زمنه الدوري 2.0 s؟
7. **تحد** إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 0.75 m يساوي 1.8 s على أحد الكواكب. فما مقدار g لهذا الكوكب؟

القسم 1 مراجعة

8. **الفكرة الرئيسة** اشرح لماذا يُعدّ البندول مثالًا للحركة الدورية.
9. **طاقة الزنبرك** إنّ الزنبركات الموضّحة في **الشكل 6** متطابقة. قارن بين طاقات الوضع في الزنبركين السفليين.



الشكل 6

10. **قانون هوك** قد يتشابه زنبركان ولكن يكون ثابت الزنبرك لكل منهما مختلفًا عن الآخر. كيف يمكنك تمييز الزنبرك الذي ثابته أكبر؟
11. **قانون هوك** تعلق أوزان مختلفة في شريط مطاطي بواسطة خطاف. فإذا كانت العلاقة ما بين هذه الأوزان واستطالة الشريط المطاطي عكسية. كيف يمكنك أن توضّح من خلال التمثيل البياني إذا كان الشريط المطاطي يخضع لقانون هوك؟
12. **البندول** إلى أي مدى يجب أن يتغيّر طول البندول حتى يتضاعف زمنه الدوري؟ كيف يجب أن يتغيّر الطول حتى يقل الزمن الدوري بمقدار النصف؟
13. **الرنين** إذا اختل توازن إطار سيارة، فإنها ستهتز بقوة عند سرعة محددة ولكن ليس بسرعة أكبر أو أقل. فسر ذلك.
14. **التفكير الناقد** قارن بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 2

خصائص الموجات

الفيزياء في حياتك

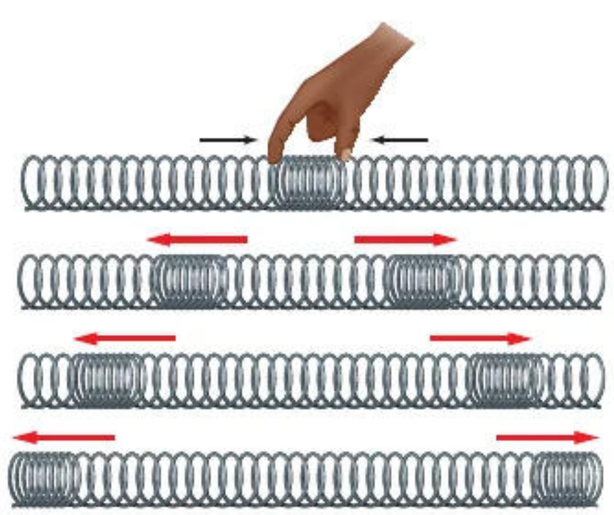
عندما ترمي كرة إلى أحد أصدقائك، وهي جسيم مادي، فسوف تنتقل إلى يده حاملة معها طاقة. أما إذا أمسكت أنت وزميلك بطرفي حبل وهززت الطرف الذي تمسكه بسرعة، فسيبقى الحبل في يدك ولا تنتقل مادته إلى زميلك، ولكن الطاقة تنتقل إليه عبر الحبل.

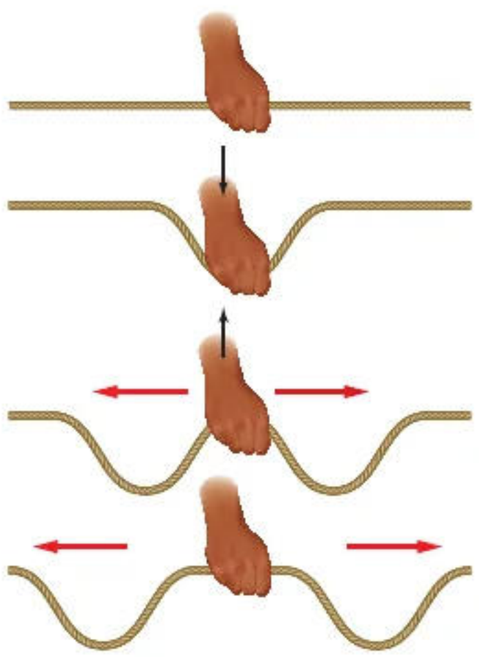
الموجات الميكانيكية

تُعرف **الموجة** أنها اضطراب ينقل الطاقة خلال المادة أو الفراغ من دون نقل المادة. درستَ كيف تحكم قوانين نيوتن للحركة وقانون بقاء الطاقة سلوك الجسيمات. تحكم هذه القوانين أيضًا سلوك الموجات. وتُعدّ موجات الماء والموجات الصوتية والموجات التي تنتقل على طول حبل أو زنبرك موجات ميكانيكية. وكما يمكن أن تنتقل الموجات الميكانيكية عبر وسط مادي مثل الماء أو الهواء أو الحبل.

الموجات المستعرضة إنّ **الموجة** هي اهتزازة مفردة أو اضطراب ينتقل عبر وسط ما. في الجزء الأيمن من **الشكل 7**، تُحدث الموجة اضطرابًا في الحبل في الاتجاه العمودي، ولكن تنتقل الموجة أفقيًّا. تُسمى الموجة التي تُحدث اضطرابًا في الجسيمات الموجودة في الوسط عموديًّا على اتجاه حركتها **الموجة المستعرضة**. وإذا استمرت الاهتزاز بمعدل ثابت، فستنشأ **موجة دورية**.

الموجات الطولية عندما تضغط لفات زنبرك بشكل متراص ثم تتركها فجأة، تتشكل موجة أو نبضة تنتشر في اتجاه اهتزاز حلقات زنبرك نفسه، في كلا الاتجاهين. وتسمى الموجات التي تنتشر بهذه الطريقة **الموجات الطولية** لأن الاضطراب ينتشر في اتجاه حركة الموجة نفسها. ومن الأمثلة الأخرى عليها موجات الصوت. حيث تنضغط الجسيمات وتتمدد بالتناوب على طول مسار الموجة.





الشكل 7 تنتج موجة مستعرضة وتنتشر أفقيًا في كلا الاتجاهين عند هزّ حبل إلى أعلى وإلى أسفل. بينما يَنتج من ضغط لفات زنبرك ثم تركها فجأةً، موجة طولية في كلا الاتجاهين.

وضّح أوجه الاختلاف بين الموجات المستعرضة والطولية.

الفكرة الرئيسة

تنقل الموجات الطاقة من دون نقل المادة.

الأسئلة الرئيسة

- ما الموجات؟
- ما وجه المقارنة بين الموجات المستعرضة والطولية؟
- ما العلاقة بين سرعة الموجة وطول الموجة والتردد؟

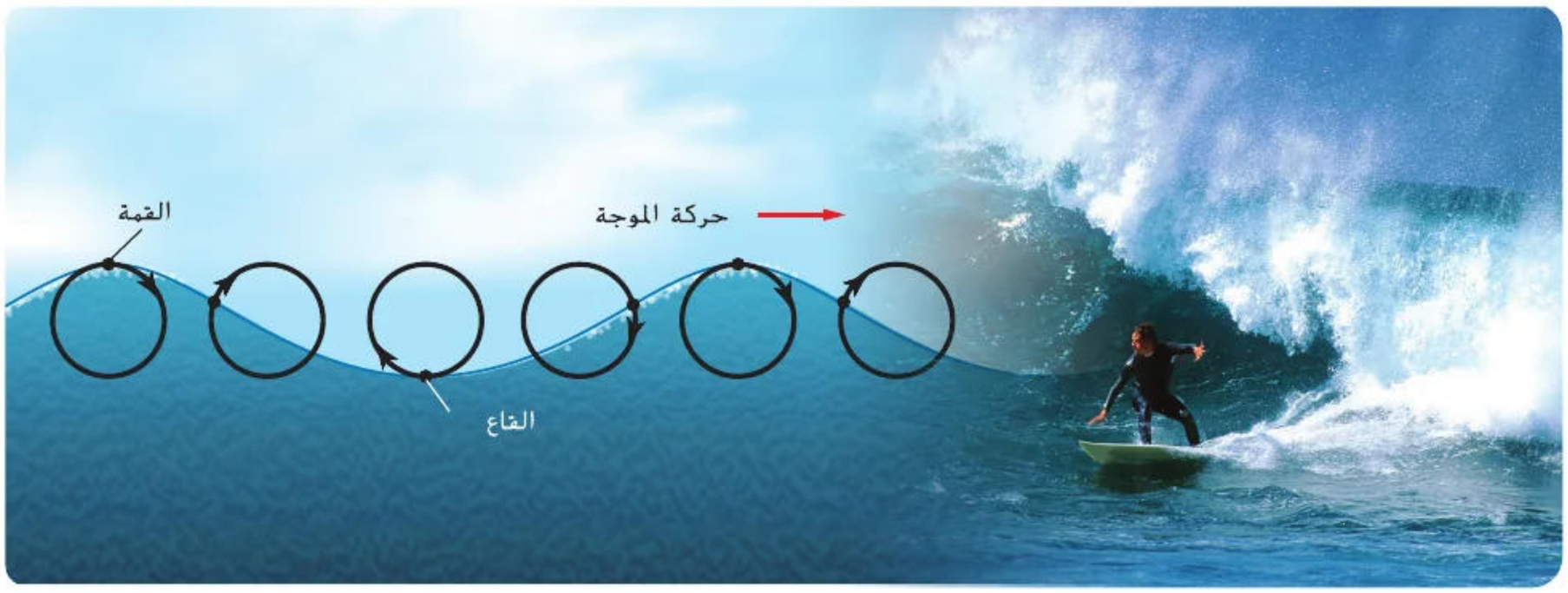
مراجعة المفردات

الزمن الدوري period: في الحركة الدورية، يُعدّ مقدار الزمن اللازم لجسم لتكرار دورة واحدة كاملة من الحركة

المفردات الجديدة

موجة	wave
نبضة	pulse
موجة مستعرضة	transverse wave
موجة دورية	periodic wave
موجة طولية	longitudinal wave
موجة سطحية	surface wave
قاع	trough
قمة	crest
طول موجة	wavelength
تردد	frequency

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 8 تُحدث الموجات السطحية في الماء حركة موازية لاتجاه حركة الموجة وعمودية عليها. وعندما تتفاعل هذه الموجات مع الشاطئ، تتوقف الحركة الدائرية المنتظمة وتنكسر الموجات على الشاطئ.

الموجات السطحية تُعدّ الموجات التي تنشأ في أعماق البحيرات أو المحيطات موجات طولية. بينما تتبع جسيمات الماء عند السطح مسارًا دائريًّا موازيًا لاتجاه حركة الموجة أحيانًا وعموديًّا على اتجاه حركة الموجة في أحيان أخرى، تسمى كل منها **موجة سطحية**، كما هو مبيّن في **الشكل 8**. تنتقل جسيمات الوسط المهتز (الماء في هذه الحالة) بالتوازي مع اتجاه حركة الموجة أعلى المسار الدائري وأسفله، وهذا ينطبق على الموجات الطولية. أما عند الجانبين الأيمن والأيسر للمسار الدائري فتتحرك الجسيمات إلى أعلى وأسفل، وهذه الحركة الصاعدة والهابطة تكون عمودية على اتجاه الموجة، كما يحدث في الموجة المستعرضة. لذا فإن كل موجة من هذه الموجات هي موجة سطحية لها خصائص كل من الموجات المستعرضة والموجات الطولية.

خصائص الموجة

تشترك الموجات في مجموعة من الخصائص، وتعتمد بعض الخصائص على كيفيّة تكوُّن الموجة، بينما تعتمد خصائص أخرى على طبيعة الوسط الذي تنتقل الموجة من خلاله.

السعة ما وجه الاختلاف بين الموجة الناجمة عن هزّ حبل بلطف والموجة الناجمة عن هزّه بعنف؟ إنّ هذا الاختلاف يشبه الاختلاف بين موجة تنشأ في بركة وموجة تنشأ في محيط حيث تكون سعتاهما مختلفتين. درست سابقًا أنّ سعة الحركة الدورية هي أقصى مسافة من موضع الاتزان. وبالمثل فكما هو موضّح في **الشكل 9**، إنّ سعة الموجة المستعرضة هي أقصى إزاحة للموجة من موضع الاتزان. ونظرًا إلى أنّ السعة عبارة عن مسافة، فهي دائمًا موجبة. ستعرف المزيد عن قياس سعة الموجات الطولية عند دراسة الصوت.

طاقة الموجة تتوقف سعة الموجة على طريقة حدوث الموجة. إذ يجب إضافة المزيد من الطاقة إلى النظام لإنتاج موجة ذات سعة أكبر. فعلى سبيل المثال، تنتج الرياح الشديدة موجات سعاتها أكبر من سعات الموجات التي تنتجها النسائم اللطيفة. فالموجات ذات السعات الكبيرة تنقل قدرًا كبيرًا من الطاقة، في حين تنقل الموجات ذات السعات الصغيرة قدرًا قليلًا من الطاقة. قد تحرك الموجة ذات السعة الصغيرة الرمال على الشاطئ بضعة سنتيمترات، بينما قد تقتلع الموجة العملاقة شجرة وتحركها.

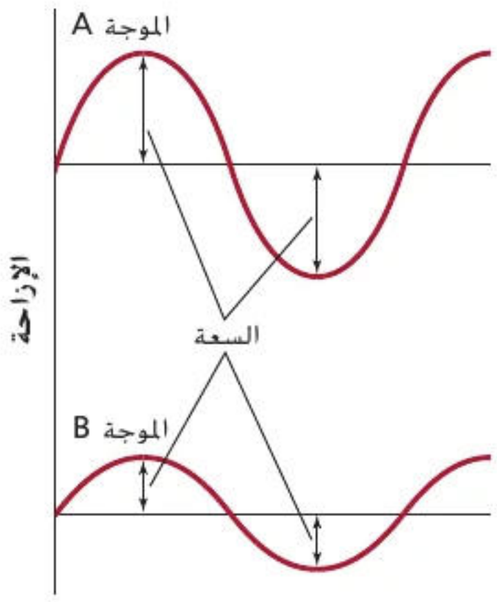
في ما يتعلق بالموجات التي تتحرّك بالسرعة نفسها، يتناسب معدل نقل الطاقة طرديًّا مع مربع السعة. بالتالي، تؤدي مضاعفة سعة الموجة إلى زيادة مقدار الطاقة التي تنقلها الموجة في الثانية الواحدة بمقدار أربعة أضعاف.

التأكد من فهم النص **توقّع** مقدار زيادة معدل نقل الطاقة في وحدة الزمن إذا زادت سعة الموجة إلى ثلاثة أمثال.

الفيزياء في الحياة اليومية

تسونامي ضرب حاجز مائي يبلغ ارتفاعه عشرة أمتار مناطق في الساحل الشرقي من اليابان في 11 مارس 2011 إنّ التسونامي عبارة عن سلسلة من موجات المحيطات التي يمكن أن يزيد طول موجتها على 100 km وزمنها الدوري على ساعة واحدة وتتراوح سرعتها الموجية بين 500 و 1000 km/h.

الشكل 9 تُقاس سعة الموجة من موضع الاتزان إلى أبعد نقطة على جانبي موضع اتزان.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

طول الموجة بدلًا من التركيز على نقطة واحدة على الموجة، تخيل أنّك تأخذ لقطة للموجة بحيث يمكنك رؤية الموجة بأكملها في لحظة واحدة من الزمن. توضّح الصورة الموجودة في الجزء العلوي من **الشكل 10** أنّ كل نقطة في أسفل الموجة المستعرضة تسمى **القاع** وأنّ كل نقطة في أعلى الموجة المستعرضة تسمى **قمة** الموجة. وتُسمى أقصر مسافة بين نقطتين يتكرر فيها نمط الموجة نفسه **طول الموجة**. فالمسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعَين متتاليين تساوي الطول الموجي (λ).

السرعة ما مقدار سرعة انتقال الموجة؟ يمكن إيجاد سرعة الموجة بالطريقة نفسها التي تستخدمها لتحديد سرعة سيارة متحرّكة. أولًا، قم بقياس مسافة حركة احدى القمم أو القيعان خلال فترة زمنية معينة (Δd). ثم اقسم الناتج على الفترة الزمنية (Δt) لإيجاد السرعة.

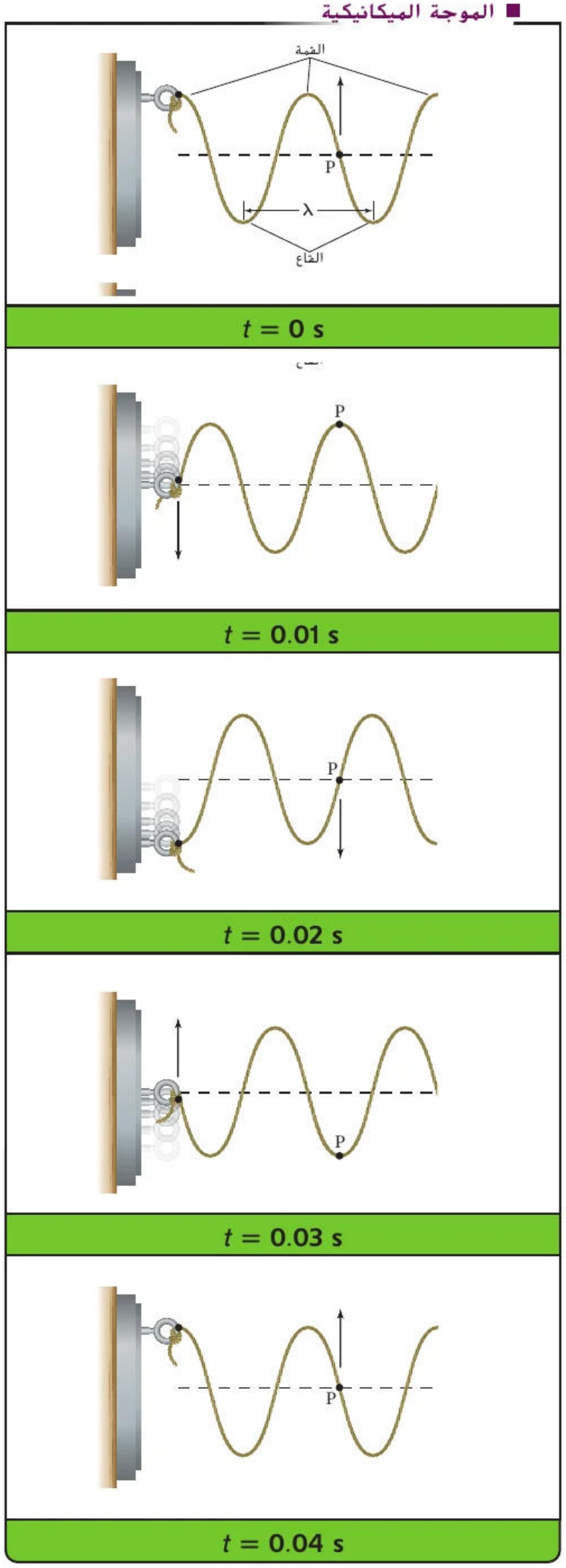
$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

في ما يتعلق بمعظم الموجات الميكانيكية المستعرضة والطولية على حد سواء باستثناء موجات الماء السطحية لا تتوقف سرعة الموجة على السعة أو التردد أو طول الموجة، لكنها تعتمد على الوسط الذي تنتقل الموجات من خلاله فقط.

التأكد من فهم النص **لخّص** مدى تأثير تغيير سعة الموجة أو ترددها أو طول موجتها في سرعتها.

طور الموجة يُطلق على نقطتين على الموجة يفصل بينهما طول موجي واحد أو مضاعفاته أنهما في الطور نفسه. والجسيمان الموجودان في الوسط نفسه يُعدان في طور واحد إذا كان لهما الإزاحة نفسها عن موضع الاتزان، ولهما السرعة نفسها. أما إذا كان الجسيمان في الوسط متعاكسين في الإزاحة وفي السرعة، فإنهما يكونان متعاكسين في الطور حيث يكون فرق الطور بينهما 180°. إن فرق الطور بين القمة والقاع للموجة يساوي 180°. وبناءً عليه فإن فرق الطور بين أي نقطتين على الموجة ينحصر بين 0° و 180° إحداهما بالنسبة إلى الأخرى. وبالتالي فإن فرق الطور يمكن أن ينحصر بين 0° و 360° درجة بين نقطتين في الوسط نفسه.

الزمن الدوري والتردد على الرغم من أنّ سرعة الموجة والسعة يمكنهما وصف أي موجة، إلا أن الزمن الدوري (T) والتردد ينطبقان فقط على الموجات الدورية. درستَ سابقًا أنّ الزمن الدوري للحركة التوافقية البسيطة، مثل حركة البندول البسيط، هو الزمن الذي الجسم لإتمام دورة واحدة كاملة. وهذا الجسم عادة يكون هو مصدر الموجة الدورية أو المسبب لها، ويكون الزمن الدوري للموجة مساويًا للزمن الدوري للمصدر. يوضح **الشكل 10** أن الزمن الدوري (T) يساوي 0.04 s وهو الزمن الذي يستغرقه المصدر لصنع دورة واحدة كاملة. وهو كذلك الزمن الذي تتطلّبه النقطة P الموجودة على الحبل حتى تعود إلى موضعها الأول وسرعتها المتجهة الأولى.



الشكل 10 يحرّك مولد الذبذبات الميكانيكي الطرف الأيسر من الحبل إلى أعلى وإلى أسفل لاستكمال اهتزازة في غضون 0.04 s.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

حساب التردد إنّ **تردد** الموجة (f) هو عدد الذبذبات الكاملة التي تُحدثها نقطة على هذه الموجة كل ثانية. يُقاس التردد بالهرتز (Hz). ويمثّل الهرتز الواحد ذبذبة واحدة في الثانية ويساوي 1/s أو s^{-1}. يرتبط التردد والزمن الدوري للموجة بالمعادلة التالية.

تردد الموجة

يساوي تردد الموجة مقلوب الزمن الدوري.

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

يعتمد كلّ من الزمن الدوري والتردد للموجة على مصدر الموجة فقط. ولا يعتمد كلّ منهما على سرعة الموجة أو الوسط.

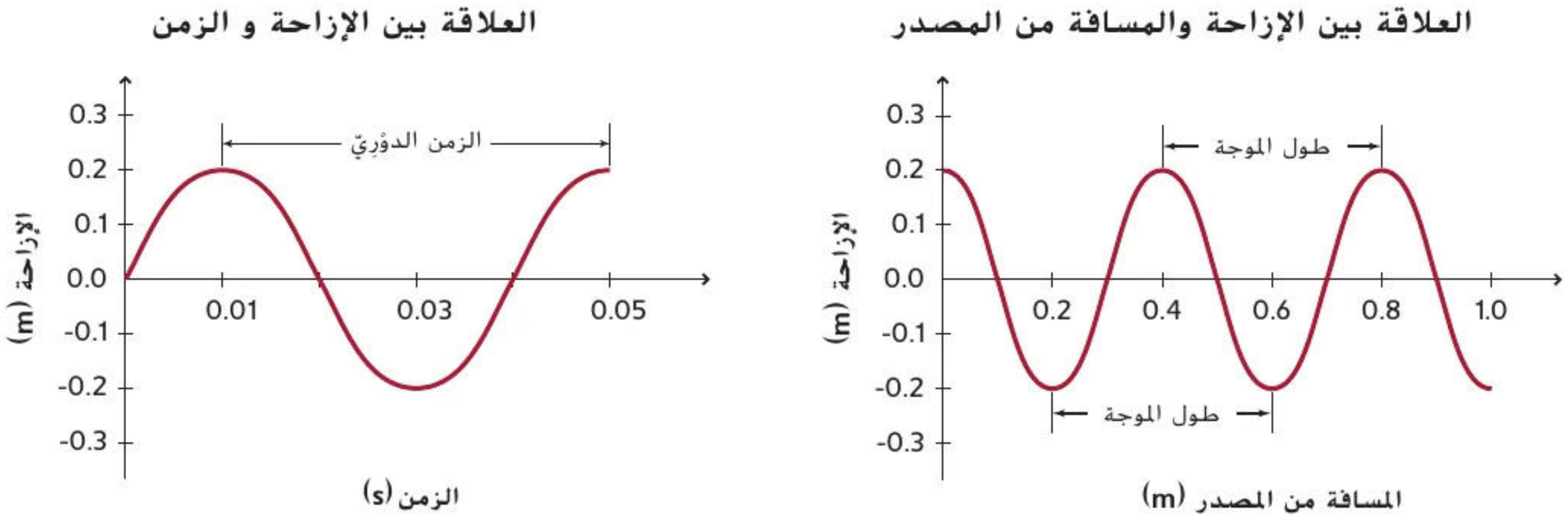
حساب طول الموجة يمكنك قياس طول الموجة مباشرة عن طريق قياس المسافة بين القمم أو القيعان المتجاورة. ويمكنك كذلك حسابه من معرفة كل من تردد الموجة وسرعتها، حيث إن الموجة تتحرك خلال فترة زمنية تساوي الزمن الدوري طولًا موجيًا واحدًا. لذا فإن الطول الموجي يساوي سرعة الموجة مضروبًا في زمنها الدوري، $\lambda = vT$. وحيث إن $f = \frac{1}{T}$، فإن:

طول الموجة

يساوي طول الموجة ناتج قسمة السرعة على التردد.

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

تمثيل الموجات بيانيًّا إذا أخذتَ صورة فوتوغرافية لموجة مستعرضة في حبل، فربما تجدها تشبه إحدى الموجات الموضّحة في **الشكل 10**. يمكن وضع هذه الصورة على ورقة تمثيل بياني لتوضيح المزيد من المعلومات عن الموجة، كما في الجزء الأيسر من **الشكل 11**. حيث يؤدي القياس من القمة إلى القمة المجاورة أو من القاع الى القاع المجاور على هذه اللقطة إلى معرفة طول الموجة. وبالمثل لو أنك رصدت حركة جسم واحد، مثل حركة النقطة P في **الشكل 10** فإنه يمكنك تمثيل هذه الحركة بيانيًا على ورقة رسم بياني، بحيث ترسم الإزاحة بوصفها متغيرًا مع الزمن كما في **الشكل 11** والذي من خلاله يمكن إيجاد الزمن الدوري، بقياس المسافة من القمة إلى القمة أو من القاع إلى القاع.



الشكل 11 يمكن تمثيل الموجات بيانيًا للحصول على المعلومات المختلفة.

حدّد الزمن الدوري للموجة الموضّحة في الرسم البياني للعلاقة بين الإزاحة والزمن.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 3

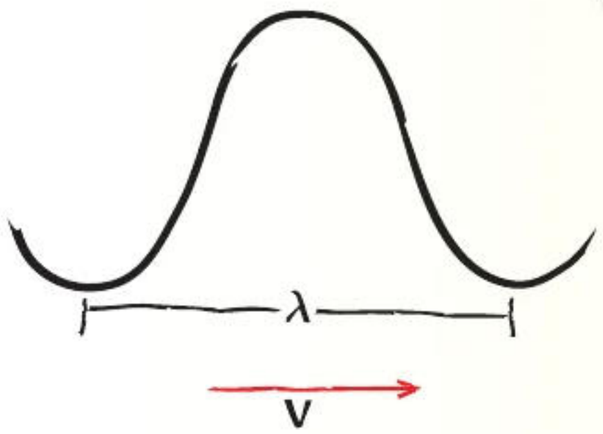
خصائص الموجة يبلغ تردد موجة صوتية 192 Hz وتقطع مسافة بطول ملعب كرة قدم يصل إلى 91.4 m خلال 0.271 s.

a. ما سرعة الموجة؟

b. ما الطول الموجي لهذه الموجة؟

c. ما الزمن الدوري للموجة؟

d. إذا تغيّر التردد إلى 442 Hz. فكم سيبلغ طول الموجة الجديد والزمن الدوري الجديد؟



1 تحليل المسألة

- ارسم مخططًا للموجة.
- ارسم متجه السرعة.

المعلوم	المجهول
$f = 192\ \text{Hz}$	$v = ?$
$\Delta d = 91.4\ \text{m}$	$\lambda = ?$
$\Delta t = 0.271\ \text{s}$	$T = ?$

2 حساب المجهول

a. استخدم تعريف المتجهة.

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

► بالتعويض عن $\Delta d = 91.4\ \text{m}, \Delta t = 0.271\ s$

$$= \frac{91.4\ \text{m}}{0.271\ \text{s}}$$

$$= 337\ \text{m/s}$$

b. استخدم العلاقة بين السرعة المتجهة للموجة وطول الموجة والتردد.

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

► بالتعويض عن $v = 337\ \text{m/s}, f = 192\ \text{Hz}$.

$$= \frac{337\ \text{m/s}}{192\ \text{Hz}}$$

$$= 1.76\ \text{m}$$

c. استخدم العلاقة بين الزمن الدوري والتردد.

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

► بالتعويض عن $f = 192\ \text{Hz}$.

$$= \frac{1}{\text{Hz}\ 192}$$

$$= \text{s}\ 0.00521$$

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

► بالتعويض عن $v = 337\ \text{m/s}, f = 442\ \text{Hz}$.

$$= \frac{337\ \text{m/s}}{442\ \text{Hz}}$$

$$= 0.762\ \text{m}$$

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

► بالتعويض عن $f = 442\ \text{Hz}$.

$$= \frac{1}{442\ \text{Hz}}$$

$$= 0.00226\ \text{s}$$

3 تقييم الإجابة

هل الوحدات صحيحة؟ بما أنّ Hz يتضمّن وحدة s^{-1}. إذًا $(\frac{\text{m}}{\text{s}})/\text{Hz} = (\frac{\text{m}}{\text{s}}) \cdot \text{s} = \text{m}$. وهي الوحدة الصحيحة لـ λ.

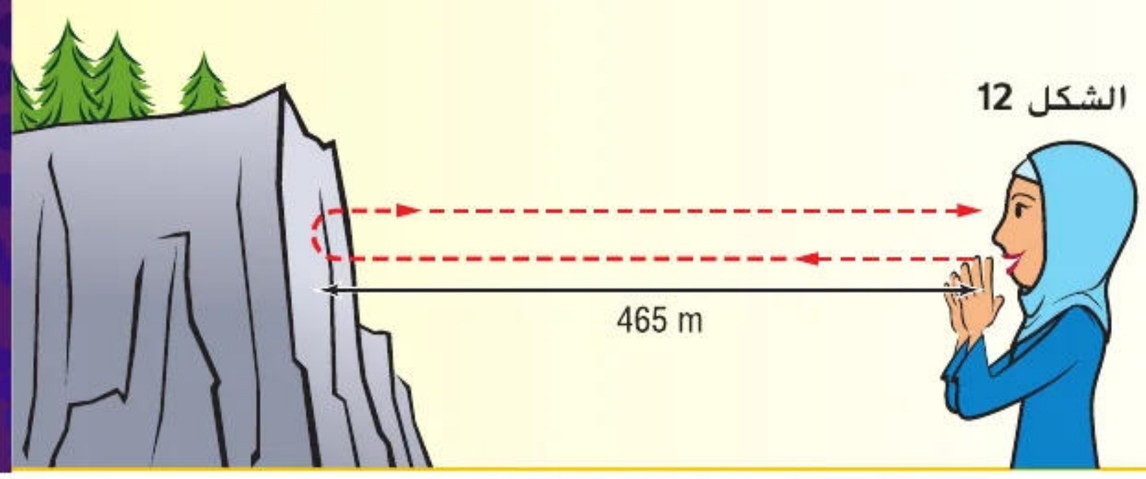
هل القيم حقيقية؟ بما أنّ الموجة الصوتية النموذجية تنتقل بسرعة 340 m/s في الهواء تقريبًا، إذًا فإنّ 337 m/s هي قيمة مناسبة. تُعدّ الترددات والأزمنة الدورية مناسبة للموجات الصوتية. يقترب التردد 442 Hz من A 440 Hz. وتقع A أعلى C المتوسطة في البيانو.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تطبيقات

15. يُسمع صوت الموجة الصوتية الذي تصدره دقات الساعة على بُعد 515 m بعد مرور 1.50 s.
    a. بناءً على هذه القياسات، ما سرعة الصوت في الهواء؟
    b. يبلغ تردد الموجة الصوتية 436 Hz. فكم يبلغ الزمن الدوري لهذه الموجة؟
    c. ما طول موجة صوت دقات الساعة؟ ؟
16. إذا كنت تريد زيادة أطول الموجات في الحبل، فهل ينبغي أن تهزّه بأعلى تردد أم بأقل تردد؟
17. كم تبلغ سرعة الموجة الدورية التي يبلغ ترددها 3.50 Hz وطول موجتها 0.700 m؟
18. كيف تؤثر زيادة طول الموجة بنسبة 50 % في تردد موجة على حبل؟
19. تبلغ سرعة موجة مستعرضة في وتر 15.0 m/s. إذا أحدث المصدر اهتزازا يبلغ تردده 6.00 Hz، فكم يبلغ طول موجته؟
20. تنشأ خمسة أطوال موجة كل 0.100 s في خزان ماء. كم تبلغ سرعة الموجة إذا كان طول الموجة السطحية 1.20 cm؟
21. تنتقل موجة طولية دورية يبلغ ترددها 20.0 Hz على طول لعبة بها زنبرك حلزوني. إذا كانت المسافة بين الانضغاطات المتتالية 0.600 m، فكم تبلغ سرعة الموجة؟
22. كيف يتغيّر تردد الموجة عندما يتضاعف زمنها الدوري؟
23. وضّح التغيّر الذي يطرأ على طول الموجة عندما يقل زمنها الدوري إلى نصف ماكان عليه.
24. إذا زادت سرعة الموجة بمقدار 1.5 مرة على سرعتها الأصلية وظل التردد ثابتًا، فما التغير الذي يطرأ على طولها الموجي ؟
25. **تحدي** أصدرت مريم صراخًا باتجاه منحدر رأسي كما هو موضّح في **الشكل 12**. فسمعت صدى الصوت بعد مرور 2.75 s.
    a. فما سرعة صوت مريم في الهواء؟
    b. يبلغ طول موجة الصوت 0.750 m. فما تردده؟
    c. ما الزمن الدوري للموجة؟

الشكل 12



القسم 2 مراجعة

26. **الفكرة الرئيسة** لنفترض أنّه طُلب منك وزميلك في المختبر توضيح أنّ الموجة المستعرضة تنقل الطاقة من دون نقل المادة. كيف يمكنكما فعل ذلك؟
27. **خصائص الموجة** إذا أردت إحداث موجات مستعرضة على حبل عن طريق هزّ يدك من طرف إلى آخر. وبدأت بهز الحبل أسرع من دون تغيير المسافة التي تتحرّك فيها يدك، ماذا يحدث لسعة الموجة وطول الموجة والتردد والزمن الدوري والسرعة المتجهة؟
28. **الموجات الطولية** صِف الموجات الطولية. ما أنواع الأوساط التي تنتقل من خلالها الموجات الطولية؟
29. **السرعة في الأوساط المختلفة** إذا سحبتَ طرفًا واحدًا من زنبرك، فهل ستصل الموجة إلى الطرف الآخر على الفور؟ ماذا يحدث عند سحب حبل؟ ماذا يحدث عند طرق نهاية ساق فلزية؟ قارن بين الموجات التي تنتقل من خلال هذه المواد الثلاث.
30. **التفكير الناقد** إذا سقطت قطرة مطر في بركة مياه، فإنها تُحدث موجات سعتها صغيرة. بينما إذا قفز سبّاح في بركة ماء، فسيُحدث موجات سعتها كبيرة. لماذا لا تُحدث الأمطار الغزيرة أثناء العواصف الرعدية موجات كبيرة؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 3

سلوك الموجات

الفكرة الرئيسة

يمكن أن تتداخل الموجات بعضها مع بعض عند وجود أكثر من موجة في الوسط نفسه.

الأسئلة الرئيسة

- كيف تنعكس الموجات وتنكسر عند الحد الفاصل بين وسطين؟
- كيف يُطبق مبدأ التراكب على ظاهرة التداخل؟

مراجعة المفردات

قوة الشد tension: القوة التي يبذلها خيط أو حبل

المفردات الجديدة

موجة ساقطة	incident wave
موجة منعكسة	reflected wave
مبدأ التراكب	principle of superposition
تداخل	interference
عقدة	node
بَطن	antinode
موجة مستقرة	standing wave
مقدمة الموجة	wavefront
شعاع	ray
عمود مقام	normal
قانون الانعكاس	law of reflection
انكسار	refraction

الفيزياء في حياتك

لعلك لاحظت الموجات الناتجة على سطح بحيرة عند رمي حجر فيها. ماذ سيحدث عند رمي حجرين في مكانين قريبين أحدهما من الآخر في اللحظة نفسها في البحيرة؟ كيف سيكون شكل هذه الموجات؟ وكيف ستتفاعل الموجات الناتجة من هاتين الصخرتين؟

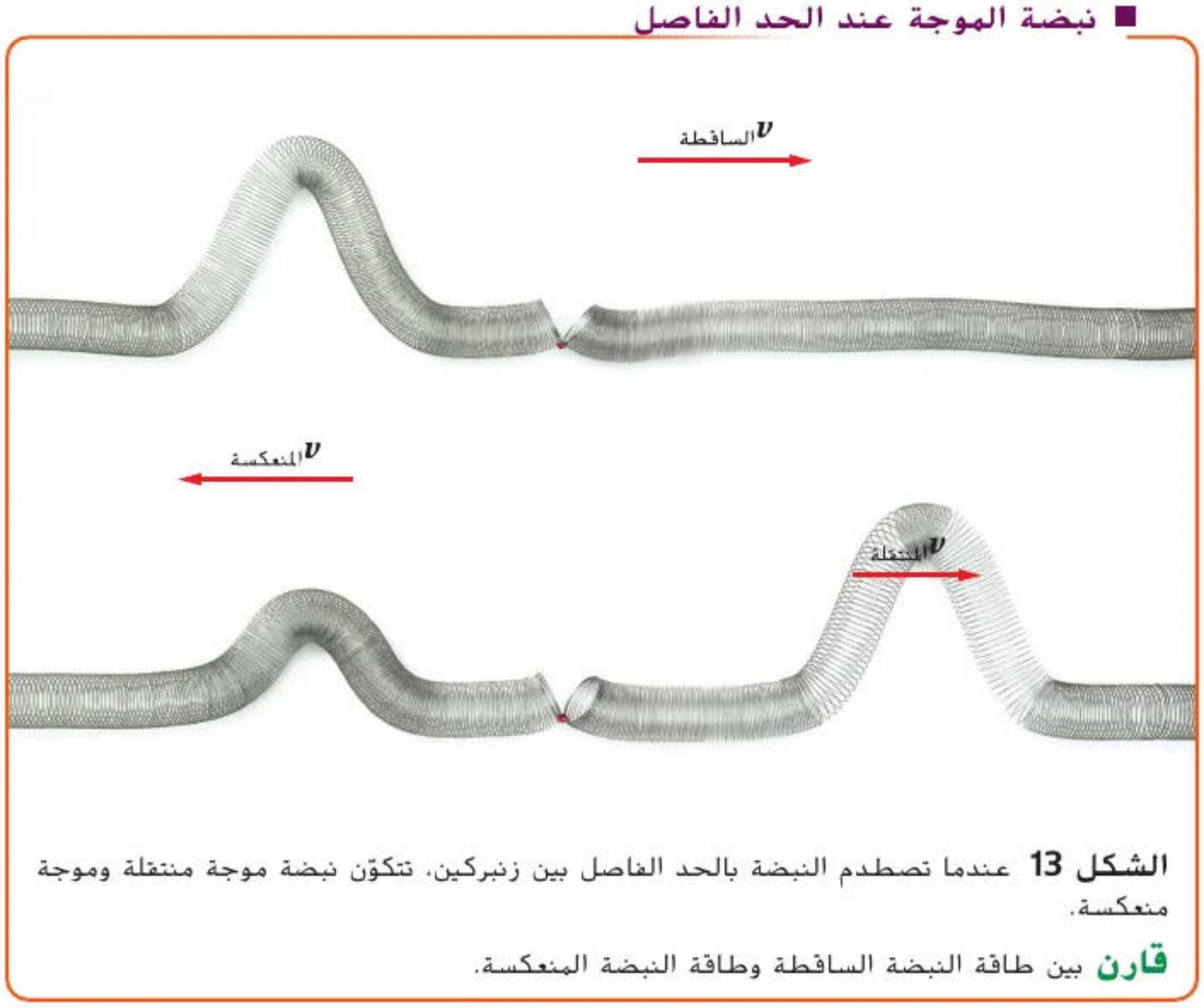
الموجات عند الحدود

عرفت سابقًا أنّ سرعة الموجة الميكانيكية تعتمد على خصائص الوسط الذي تنتقل من خلاله فقط، ولا تعتمد على سعة الموجة أو ترددها. فعلى سبيل المثال، يؤثر عمق الماء في سرعة موجات الماء المتكونة فيه، في حين تؤثر درجة حرارة الهواء في سرعة موجات الصوت التي تنتشر فيه. أما بالنسبة الى موجات الزنبرك فتعتمد سرعتها على مقدار قوة شدّه، وعلى كتلة وحدة أطواله.

بيّن ما الذي يحدث عند مرور نبضة من خلال حد فاصل يفصل بين وسطين كما هو الحال في زنبركين مختلفين في سماكتهما ومتصلين من طرفيهما. يوضّح **الشكل 13** النبضة التي تنتقل من الزنبرك الأكثر سماكة إلى الزنبرك الأقل سماكة، حيث تسمى نبضة الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين الزنبركين **الموجة الساقطة**. ستلاحظ أن هنالك اختلافًا في سرعة النبضة التي تنتقل من الزنبرك الأكثر سماكة إلى الزنبرك الأقل سماكة، حيث تستمر هذه النبضة المنتقلة، وتبقى متجهة نحو الأعلى.

ينعكس جزء من طاقة الموجة الساقطة نحو الخلف باتجاه الزنبرك الأكثر سماكة في صورة نبضة مرتدة تسمى **الموجة المنعكسة**. وتعتمد النبضة المنعكسة سواء أكانت معتدلة أم مقلوبة على خصائص الزنبركين. فعلى سبيل المثال، ستنقلب نبضة الموجة المنعكسة إذا كانت سرعة الموجات في الزنبرك الأقل سماكة أكبر، لأنه أثقل وأكثر صلابة.

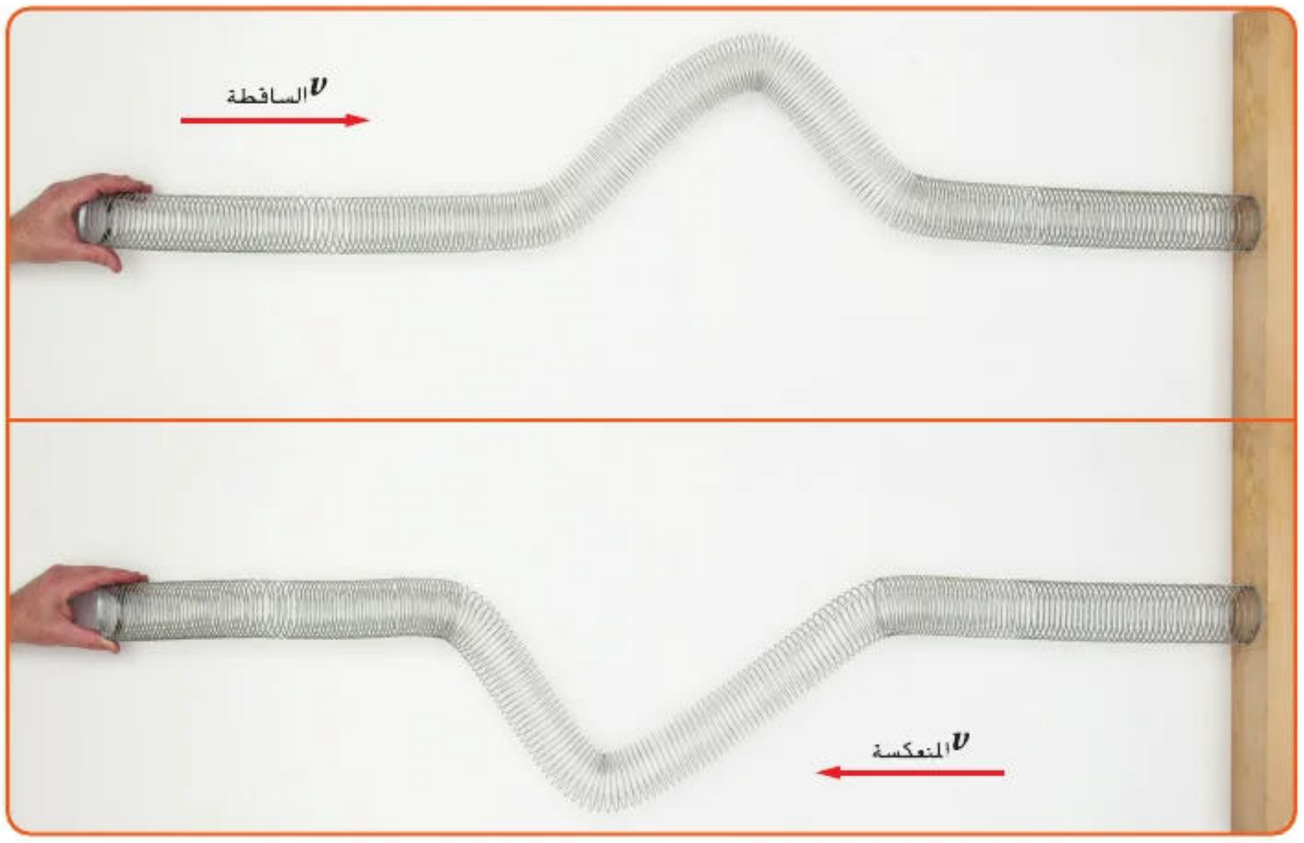
■ نبضة الموجة عند الحد الفاصل



الشكل 13 عندما تصطدم النبضة بالحد الفاصل بين زنبركين، تتكوّن نبضة موجة منتقلة وموجة منعكسة.

قارن بين طاقة النبضة الساقطة وطاقة النبضة المنعكسة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 14 عندما تصطدم الموجة بحد فاصل ثابت، تنعكس الموجة. لاحظ أنّ السعة لا تتغير. طرف الزنبرك ثابت بالحاجز.

تجربة مصغرة

انعكاس الموجة هل يغيّر الانعكاس سرعة الموجة؟

الحدود الثابتة عندما تصطدم موجة أو نبضة بحد فاصل صلب، تنعكس هذه الموجة أو النبضة عنه إلى الخلف، كما هو موضّح في **الشكل 14**. إذ يمثل الحائط هنا الحد الفاصل لوسط جديد تحاول الموجة المرور من خلاله، حيث تنعكس عن الحائط عوضًا عن مرورها من خلاله، وتكون سعة الموجة المرتدة مساوية لسعة الموجة الساقطة. لذا، تنعكس معظم طاقة الموجة نحو الخلف، في حين ينتقل القليل منها إلى الحائط. يمكنك ملاحظة أن الموجة قد انقلبت نحو الأسفل.

تداخل الموجات

لنفترض أنّ نبضة تنتقل على طول نابض تلاقت مع نبضة منعكسة من الحد الفاصل، كما هو موضّح في **الشكل 15**. ما الذي سيحدث في هذه الحالة؟ ستوجد هنالك نبضتان في الوسط في المكان والزمان نفسيهما. حيث ستؤثر كل نبضة منهما في الوسط بشكل مستقل عن الأخرى. يوضّح **مبدأ التراكب** أنّ إزاحة الوسط الناتجة من موجتين أو أكثر هي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة من كل موجة على حدة. بمعنى آخر، يمكن أن تتحد موجتان أو أكثر لتكوين واحدة جديدة. وإذا انتقلت الموجتان باتجاهين متعاكسين، فمن المحتمل أن تلغي كل منهما تأثر الأخرى، أو أن تنتج موجة لها سعة أكبر أو أصغر من سعة كل منهما. ويسمى الأثر الناتج من تراكب موجتين أو أكثر **التداخل**.

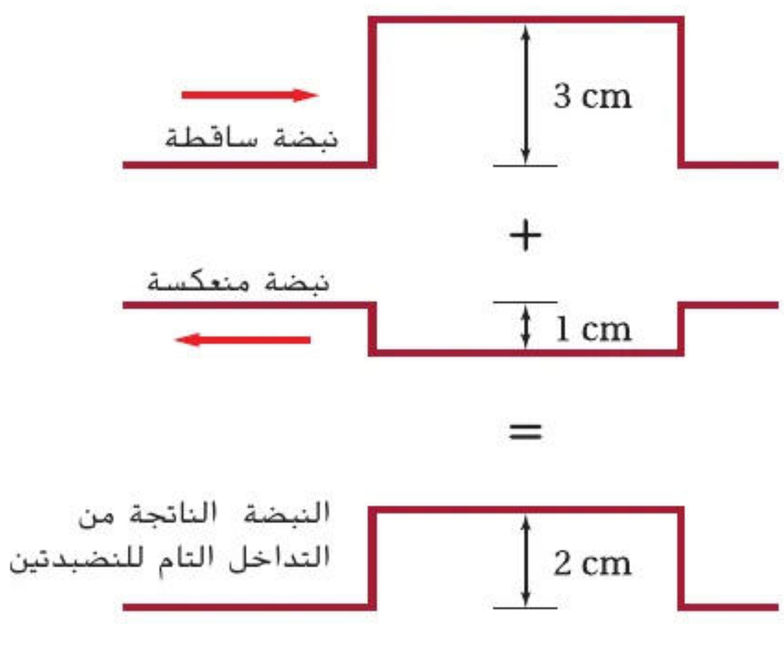
المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

التداخل interference

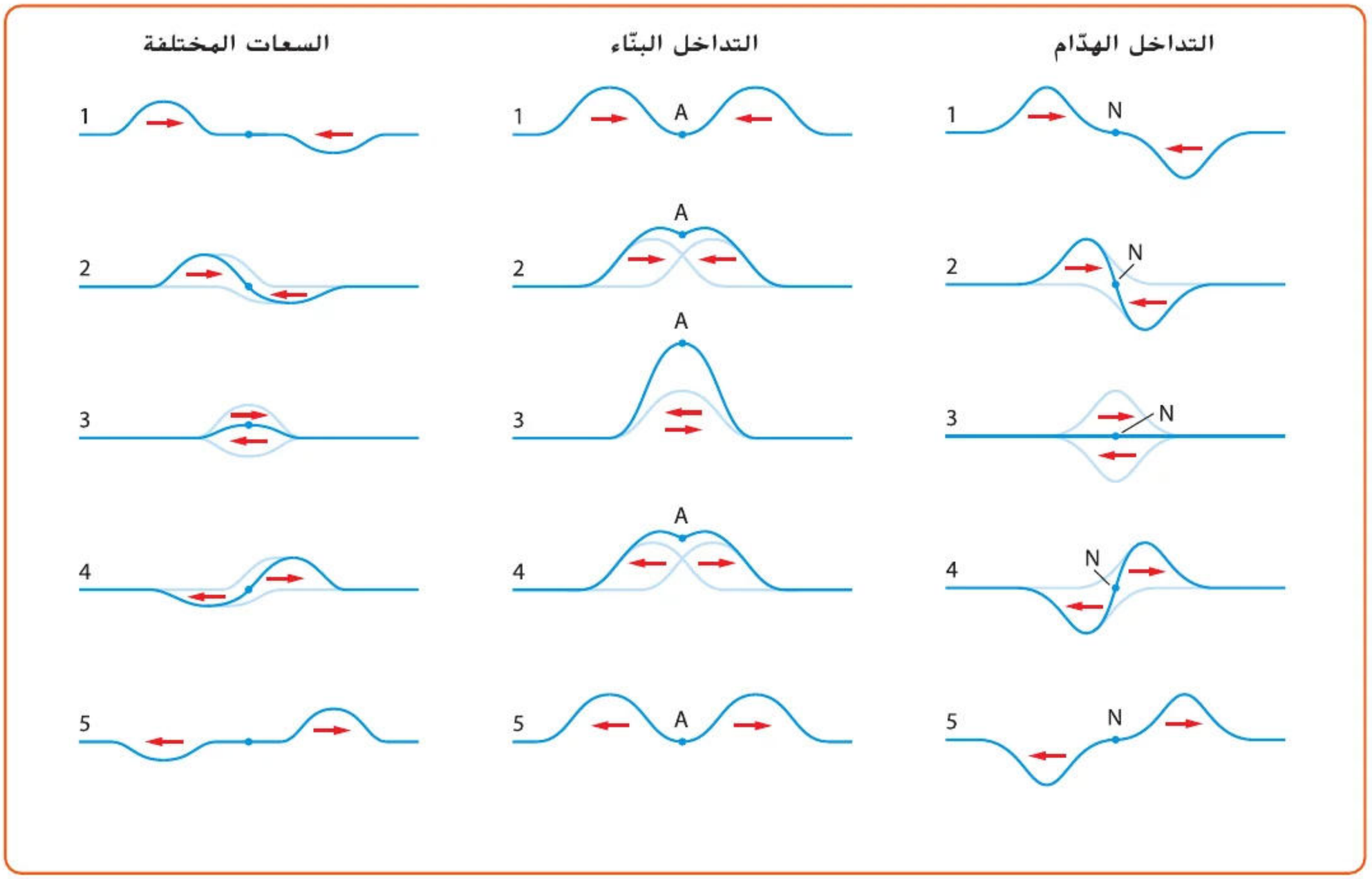
- **الاستخدام العلمي**
  نتيجة تراكب موجتين أو أكثر كانت سعة تداخل عدة موجات أكبر بكثير من سعة الموجات المنفردة.
- **الاستخدام العام**
  التدخل بطريقة مانعة أو معيقة طُرد مازن من المباراة بسبب ارتكابه مخالفة عند تداخله.

■ تداخل الموجات



الشكل 15 تُجمع الموجات أو النبضات جبريًا أثناء التراكب.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 16 عند جمع الموجات جبريًا، قد تكون الموجات المتراكبة الناتجة مختلفة إلى حد ما عن الموجات المنفردة.

تداخل الموجات يوجد التداخل في هيئتين، إما بنّاء أو هدّام. يوضّح الجزء الأيمن من **الشكل 16** التقاء موجتين متساويتين في السعة ومختلفتين في الاتجاه، حيث تقل إزاحة الوسط عند النقاط جميعها في منطقة التداخل، مما يُسبب التداخل الهدّام. فعندما تكون سعتا الموجتين متساويتين، سيساوي مقدار الإزاحة صفرًا. تُسمى النقطة N التي لا تتحرّك على الإطلاق **العقدة**. حيث تنتقل النبضات أفقيًّا وتعود إلى صورتها الأصلية في نهاية الأمر.

يحدث التداخل البنّاء عندما تكون إزاحات الموجات في الاتجاه نفسه. وينتج من ذلك موجة سعتها أكبر من سعة الموجات المنفردة. يوضح الجزء الأوسط من **الشكل 16**. ظهور نبضة أكبر عند النقطة A عند التقاء موجتين متساويتين. أي إنّ إزاحة النقطة A هي الأكبر وتُسمى **البَطن**. تنتقل النبضتان إحداهما من خلال الأخرى من دون تغيّرهما في الشكل أو الحجم. إذا كانت النبضتان سعتاهما غير متساويتين، فإنّ النبضة الناتجة عند التداخل ستساوي المجموع الجبري لإزاحتي النبضتين، كما هو موضّح في الجزء الأيسر من الشكل 16.

التأكد من فهم النص **قارن** بين إزاحة وسط الموجة عند العقدة وعند البَطن.

الانعكاس يمكنك تطبيق مفهوم تراكب الموجات للتحكم في تكوين الموجات ذات السعات الكبيرة. تخيل أنّك ربطّت أحد طرفي حبل أو زنبرك في نقطة ثابتة، مثل مقبض الباب، وابتعدت مسافة مقدارها L. ثم بدأت تهز الطرف الحر، ستنطلق موجة وتنتقل على طول الحبل إلى الطرف الثابت ثم تنعكس وترتد عند الطرف الثابت وتعود إلى يدك. وعندما تصل إلى يدك، ترتد الموجة المنعكسة وتنتقل مرة أخرى إلى أسفل الحبل. بالتالي، عندما تترك الموجة يدك في المرة الثانية، تصبح إزاحتها في اتجاه الإزاحة نفسه الذي كانت فيه عندما تركت يدك في المرة الأولى.

مختبر الفيزياء

التداخل والحيود كيف تتداخل الموجات بعضها مع بعض؟

تجربة مصغرة

تفاعل الموجات ماذا يحدث عند التقاء الموجات التي تنتقل في اتجاهات مختلفة؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

الموجات المستقرّة لنفترض أنّك ضبطت حركة يدك بحيث يساوي الزمن الدوري للاهتزاز الزمن الذي تستغرقه الموجة إكمال اهتزازة واحدة من يدك إلى الباب ذهابًا وإيابًا. عندها ستُجمع الإزاحة التي تولدها يدك إلى الحبل كل مرة مع إزاحة الموجة المنعكسة. نتيجة لذلك، سيكون اهتزاز الحبل أكبر بكثير من حركة يدك. تُعدّ هذه الاهتزازات ذات السعة الكبيرة مثالًا للرنين الميكانيكي.

يمثّل طرفا الحبل العقدتين وتوجد البَطن في منتصف النبضة، كما هو موضّح في الصورة العلوية في **الشكل 17**. حيث تُسمى الموجة التي تبدو أنها لا تزال ساكنة **الموجة المستقرّة**. وينبغي أن تلاحظ أنّ الموجة المستقرة عبارة عن تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين. إذا ضاعفتَ تردد الاهتزاز، فيمكنك الحصول على عقدة أخرى وبَطن آخر في الحبل، ويظهر أنّ الموجة تهتز في قسمين. عند زيادة تردد الاهتزاز أكثر، تحصل على عقد وبطون أكثر كما هو موضّح في الصورة السفلية في **الشكل 17**.

الموجات التي تنتقل في بُعدين

درستَ سابقًا الموجات التي تنتقل عبر حبل أو زنبرك، عندما تنعكس عن الحواجز ثابت حيث تصبح سعة الموجات صفرًا بسبب التداخل الهدّام. تتحرك هذه الموجات الميكانيكية في بُعد واحد فقط. أما موجات سطح الماء فتتحرك في بُعدين، وسوف تدرس لاحقًا أنّ الموجات الصوتية والموجات الكهرومغناطيسية تتحرك في ثلاثة أبعاد. كيف يمكن تمثيل الموجات في بُعدين؟

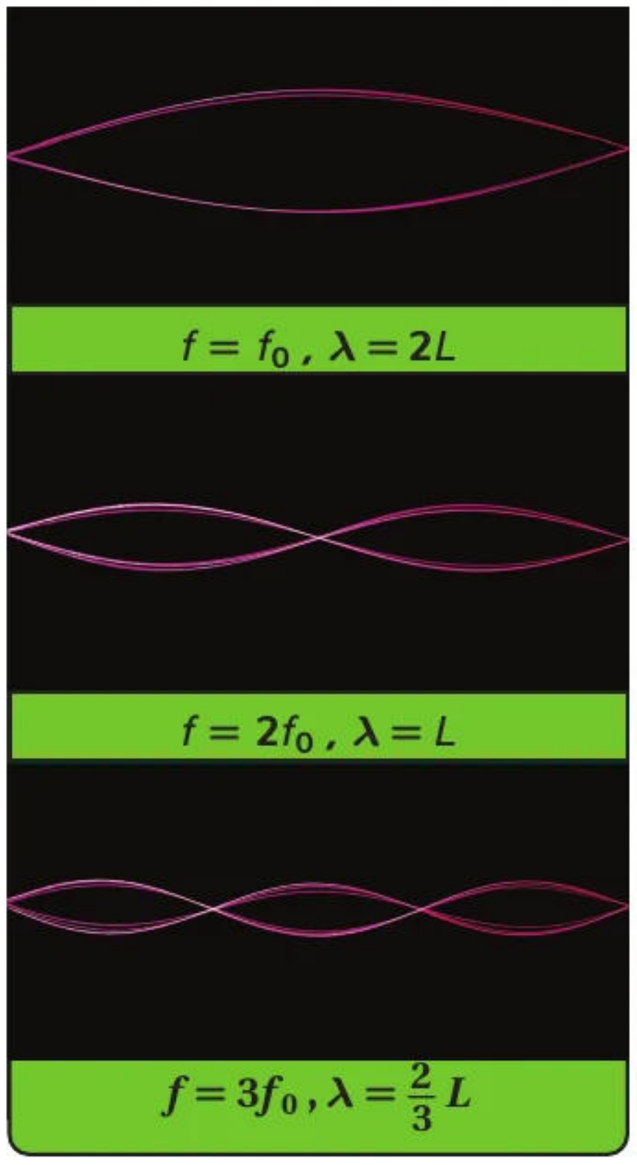
تمثيل الموجات التي تنتقل في بعدين عندما تلقي حجرًا صغيرًا في بركة ماء ساكنة، ترى القمم والقيعان للموجات الدائرية الناتجة تنتشر نحو الخارج في جميع الاتجاهات. يمكن تمثيل هذه الموجات عن طريق رسم دوائر يصل بين قمم الموجات الواصلة في الفترة الزمنية نفسها. فعندما تضع رأس إصبعك في الماء عدة مرات وتحركه بتردد ثابت، فإنّ الرسم التخطيطي الناتج سيكون عبارة عن سلسلة من دوائر متحدة في مراكزها، وتكون إصبعك مركز تلك الدوائر التي تُسمى مقدمات الموجات. إنّ **مقدمة الموجة** عبارة عن خط يصل بين قمم الموجات الواصلة في الفترة الزمنية نفسها في بُعدين. يمكن استخدام مقدمات الموجات لتوضيح الموجات بأي شكل كانت، بما في ذلك الموجات المستقيمة والدائرية. توضّح الصورة الموجودة في **الشكل 18** الموجات الدائرية في الماء، كما توضّح الدوائر المرسومة على الرسم التخطيطي مقدمات هذه الموجات التي تمثل موجات الماء هذه.

تتحرك الموجات في بعدين دائمًا في اتجاه متعامد مع مقدماتها أيًّا كان شكلها. يُمكن تمثيل هذا الاتجاه **بشعاع** على شكل خط يصنع زاوية قائمة مع الموجة. وإذا أردت توضيح اتجاه انتقال الموجة فقط، فمن الأنسب أن ترسم أشعة بدلًا من مقدمات الموجات. إنّ الأسهم الحمراء الموجودة في **الشكل 18** عبارة عن أشعة توضّح اتجاه حركة موجات الماء. يُعدّ توضيح طول الموجة أحد مزايا رسم مقدمات الموجة عند رسمها وفقًا لمقياس الرسم. في **الشكل 18**، حيث إن طول الموجة يساوي المسافة من الدائرة إلى الدائرة التي تليها.

شعاع

مقدمة الموجة

التأكد من فهم النص **حدد** العلاقة بين مقدمات الموجات والأشعة.



الشكل 17 ينتج عن التداخل موجات مستقرة عند ترددات معينة فقط.

توقع طول الموجة إذا كان التردد أربعة أضعاف أقل تردد.

الشكل 18 تنتشر الموجات بنمط دائري من مصدر التذبذب.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

العمود المقام normal

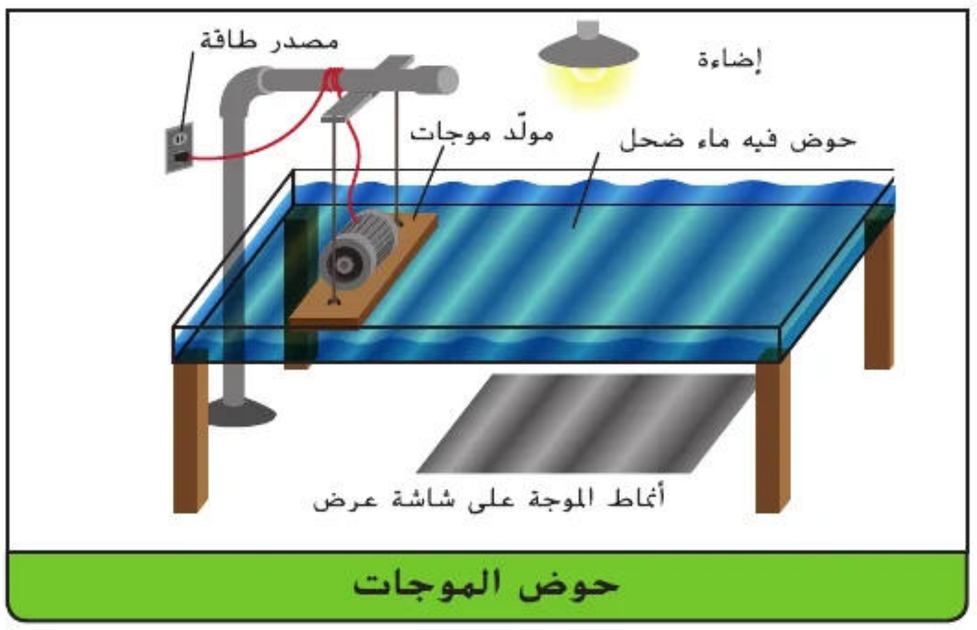
- **الاستخدام العلمي**
  خط على الرسم التخطيطي يُرسم عموديًا على السطح
  زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس عند قياسهما من العمود المقام.
- **الاستخدام العام**
  التوافق مع نوع أو معيار أو نمط منتظم
  درجات الحرارة الباردة هذه غير معتادة في يوليو.

إنشاء الموجات في بعدين يُعدّ حوض الموجات جزءًا من معدات المختبر التي تستخدم للتحقق من خصائص الموجات التي تنتشر في بعدين. وكما يبيّن **الشكل 19** أنه يحتوي على طبقة ماء ضحلة، وألواح اهتزاز تولد موجات ذات مقدمات موجية مستقيمة. يوجد مصباح فوق الحوض ينتج ظلالًا تتكون أسفل الحوض توضّح مواقع قمم الموجات وقيعانها. توضّح الصورة العلوية في**الشكل 19** موجة تنتقل عبر حوض الموجات. يُمثَّل اتجاه انتشار الموجة برسم مخطط شعاعي. حيث يمثل الشعاع المتجه الموجة الساقطة، في حين يمثل الشعاع المتجه الموجة المنعكسة.

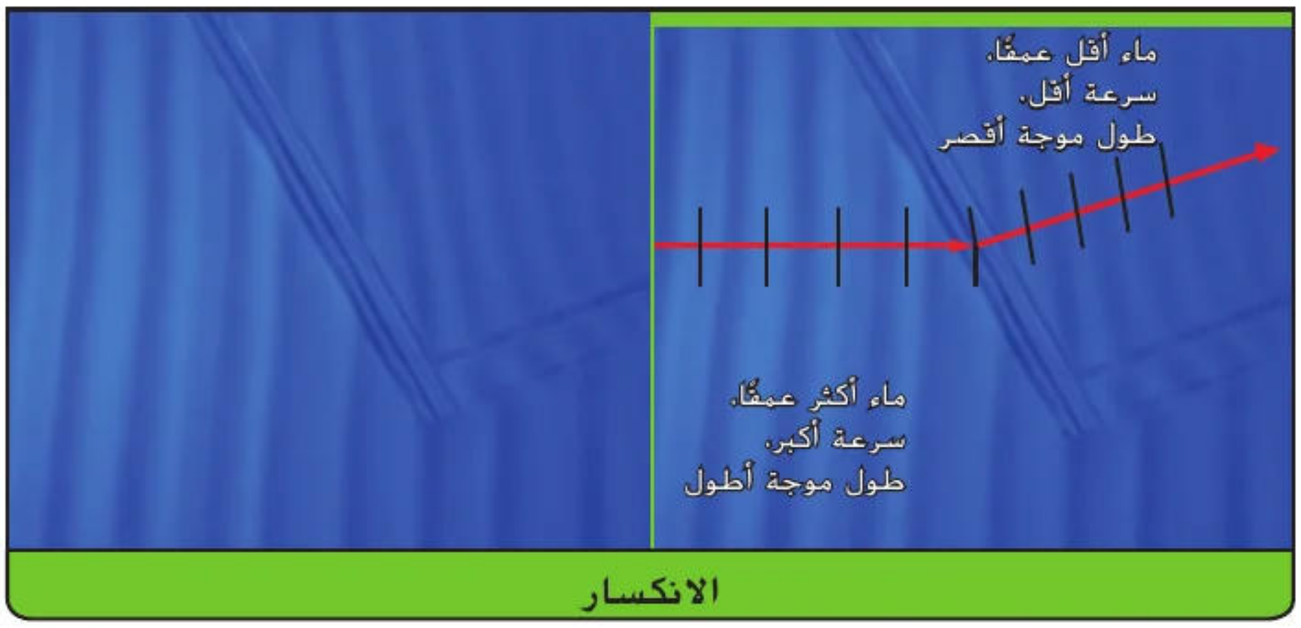
انعكاس الموجات في بعدين يوضّح الجزء السفلي في **الشكل 19** شعاعًا ساقطًا يعترض مساره حد فاصل ثابت عند زاوية على مسار الشعاع. ويُوضَّح اتجاه الحد بخط يُسمى **العمود المقام** يُرسم عموديًّا على الحد. تُسمى الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام زاوية السقوط ويُرمز إليها بالرمز θ_i في الرسم التخطيطي. وتُسمى الزاوية المحصورة بين العمود المقام والشعاع المنعكس زاوية الانعكاس ويُرمز لها بالرمز θ_r. ينص **قانون الانعكاس** على أنّ زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس. ينطبق قانون الانعكاس على أنواع مختلفة من الموجات، وليس على الموجات الموجودة في حوض الموجات فحسب.

التأكد من فهم النص **اشرح** كيف تُقاس كل من زاوية السقوط وزاوية الانعكاس.

الشكل 19 يُحدث حوض الموجات، موجاتٍ منتظمة تفيد في تمثيل سلوك الموجة.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة Graw-Hill Education



الشكل 20 تُغيّر الموجات الموجودة في حوض الموجات اتجاهها عندما تدخل الماء الضحل.

وضّح طريقة تغيّر طول الموجة عندما تنتقل الموجة إلى المياه الضحلة.

انكسار الموجات التي تنتقل في بُعدين يُمكن أن يُمثّل حوض الموجات سلوك الموجات أيضًا عندما تنتقل من وسط إلى آخر. يوضّح **الشكل 20** لوحًا زجاجيًّا موضوعًا أسفل الماء في حوض الموجات. وسُمك طبقة الماء الموجودة فوق اللوح الزجاجي أقل من سمك الماء الموجود في باقي الحوض. عندما تنتقل الموجات من الماء العميق إلى الماء الضحل، تقل سرعتها ويتغيّر اتجاهها. حيث تُعدّ هذه التغيّرات التي تحدث في السرعة عندما تنتقل الموجات من وسط إلى آخر.

ترتبط الموجات الموجودة في الماء الضحل بالموجات الموجودة في الماء العميق. نتيجةً لذلك، يتساوى تردد الموجات في كلا الوسطين. وفقًا للمعادلة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، ويعني الانخفاض في سرعة الموجات، أنّ طول الموجة يكون أقصر في الماء الضحل. يُسمى التغيّر الذي يحدث في اتجاه الموجات عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين **الانكسار**. يوضّح **الشكل 20** مقدمة الموجة ونموذج المخطط الشعاعي للانكسار. إذ سينكسر جزء من الموجة عند الحد الفاصل وينعكس جزء آخر.

التأكد من فهم النص **ما** المعامل الذي يتغير فيه طول الموجة إذا كانت سرعة الموجة المنكسرة تساوي نصف سرعة الموجة الساقطة.

يحدث الانعكاس والانكسار لعدة أنواع مختلفة من الموجات. ويعد صدى الأصوات مثالًا لانعكاس الموجات الصوتية عن السّطوح الثابتة، مثل جدران صالة الألعاب الرياضية الكبيرة أو سطح جرف صخري بعيد. وتتكون أقواس المطر نتيجة لانعكاس الضوء وانكساره. فعندما يمرّ ضوء الشمس عبر قطرات المطر، يحلل الانعكاس والانكسار الضوء إلى ألوانه المفردة وينتج قوس المطر. سيُناقش سلوك الصوت والضوء بمزيد من التفصيل في وحدات أخرى.

مختبر الفيزياء

الانعكاس والانكسار كيف يكون سلوك الموجات عند الحد الفاصل؟

القسم 3 مراجعة

31. **الفكرة الرئيسة** ما الخصائص التي تبقى ثابتة من دون تغيير عندما تعبر موجة من خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين: التردد والسعة وطول الموجة والسرعة والاتجاه أم أي منها؟
32. **تراكب الموجات** مثّل بالرسم موجتين تنتج من تداخلهما موجة سعتها أكبر من سعة الموجتين المنفردتين.
33. **انكسار الموجات** في **الشكل 20**، تُغيّر الموجة اتجاهها عندما تنتقل من وسط إلى آخر. هل يُمكن أن تعبر الموجة في بعدين حدًّا يفصل بين وسطين من دون أن يتغير اتجاهها؟ وضّح ذلك.
34. **الموجات المستقرة** ما العلاقة بين عدد العقد وعدد البطون في موجة مستقرة في زنبرك مثبت من الطرفين؟
35. **التفكير الناقد** لفهم انعكاس الموجات بطريقة أخرى، غطّ الجانب الأيمن من كل رسم في الجزء الأيمن في **الشكل 16** بقطعة من الورق، على أن تكون حافة الورقة موضوعة على النقطة N التي تمثل العقدة. الآن، ركّز على الموجة الناتجة التي تظهر باللون الأزرق الداكن. لاحظ أنها تنتقل كموجة منعكسة من أحد الحدود الفاصلة. هل هذا الحد الفاصل جدار ثابت؟ كرّر هذا التمرين مع الجزء الأوسط من **الشكل 16**.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

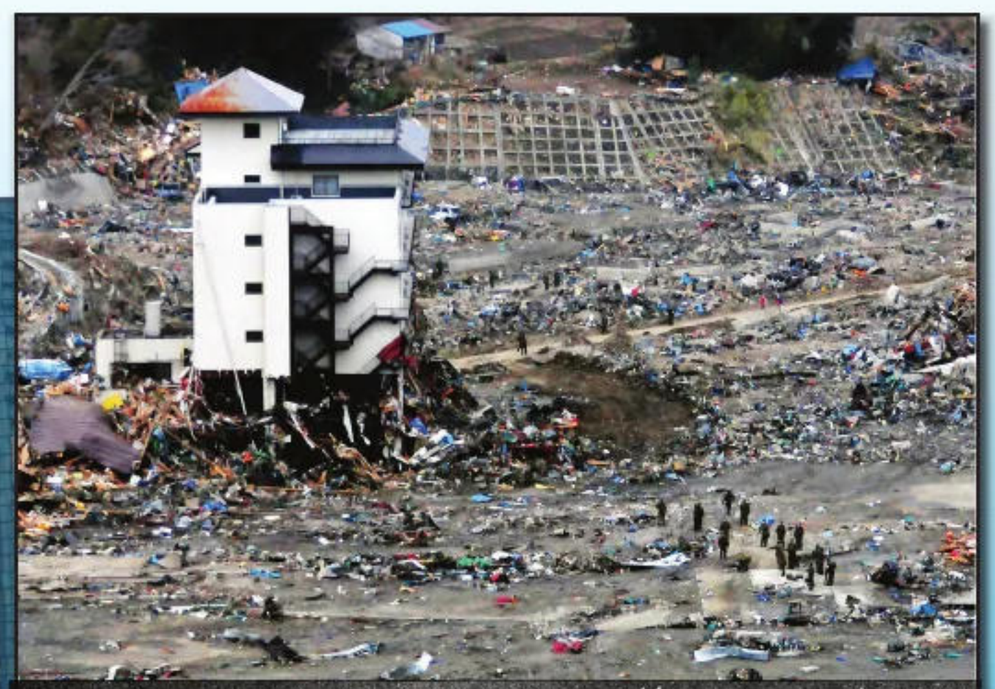
أحداث
ذات أهمية

شهدت اليابان زلازل متكررة وخطيرة ومدمرة في بعض الأحيان، مثل زلزال توهوكو الذي حدث في مارس 2011. ونتيجة لذلك، صمّم المهندسون وشيدوا ناطحات سحاب في اليابان يمكن أن تتحمل أسوأ الزلازل بأقل حد من الأضرار. ومن بين هذه المباني برج لاندمارك المكوّن من 73 طبقة الموجود في يوكوهاما.

1 يحوي برج لاندمارك نظامًا بندوليًا يوجَّه بالكمبيوتر تزن كتلته المتحركة 170 طنًا مخفيًا في الطبقة رقم 71 من برج لاندمارك. يمتص نظام البندول هذا الذبذبات من الموجات الزلزالية ويحدّ من التأرجح بنسبة تصل إلى 40% أثناء حدوث الزلازل.

2 يُستخدم هيكل مزدوج الأنبوب لإطار برج لاندمارك. ويمرّ الأنبوب الخارجي من خلال الجدار الخارجي للمبنى. يحيط الأنبوب الداخلي بمركز المبنى. ويمتص هذا الهيكل الذبذبات الجانبية من الموجات الزلزالية.

3 يتميّز البرج بقاعدة عريضة ويوجد جزء كبير من كتلته بالقرب من هذه القاعدة مقارنة بالمباني الأخرى التي لها ارتفاع مماثل. يساعد هذا التصميم على الحد من حركة الأساس أثناء حدوث زلزال.



لمزيد من التعمق <<<

أجرِ بحثًا عن المباني الأخرى المقاومة للزلازل في اليابان. ما التقنيات والتصميمات التي كانت أكثر فعالية في الحدّ من الأضرار أثناء حدوث زلزال توهوكو في مارس 2011؟

McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © جميع الحقوق والنشر

الوحدة 5 دليل الدراسة

الفكرة الرئيسة تُعدّ الموجات والحركة التوافقية البسيطة مثالين للحركة الدورية.

القسم 1 الحركة الدورية

المفردات

- حركة دورية periodic motion
- زمن دوري period
- سعة الموجة amplitude
- حركة توافقية بسيطة simple harmonic motion
- قانون هوك Hooke's law
- بندول بسيط simple pendulum
- رنين resonance

الفكرة الرئيسة تتكرر الحركة الدورية في فترات زمنية منتظمة.

- تنشأ الحركة التوافقية البسيطة عندما تتناسب قوة الإرجاع المؤثرة في جسم طرديًّا مع إزاحة الجسم من موضع الاتزان وفي اتجاه معاكس.
- تمثّل المعادلة التالية طاقة الوضع المرونية المختزنة في زنبرك يحقق قانون هوك:

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

- يتوقف الزمن الدوري للبندول على طول البندول وعجلة الجاذبية الأرضية المؤثّرة في موضع البندول. يمكن معرفة الزمن الدوري باستخدام المعادلة التالية:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

القسم 2 خصائص الموجات

المفردات

- موجة wave
- نبضة pulse
- موجة مستعرضة transverse wave
- موجة دورية periodic wave
- موجة طولية longitudinal wave
- موجة سطحية surface wave
- قاع trough
- قمة crest
- طول موجة wavelength
- تردد frequency

الفكرة الرئيسة تنقل الموجاتُ الطاقةَ دون نقلٍ لجزيئات المادة المسببة لتلك الموجات.

- تُعدّ الموجات اضطرابات تنقل الطاقة من دون نقل جزيئات المادة المسببة للموجات.
- في الموجات المستعرضة، تكون إزاحة الوسط عمودية على اتجاه حركة الموجة. أما في الموجات الطولية، فتكون إزاحة الوسط موازية لاتجاه حركة الموجة.
- تساوي السرعة للموجة تردد الموجة مضروبا في طول الموجة.

$$v = f\lambda$$

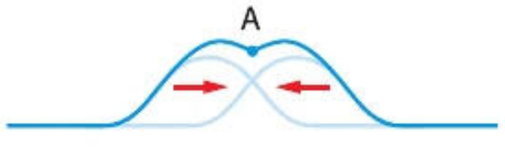
القسم 3 سلوك الموجات

المفردات

- موجة ساقطة incident wave
- موجة منعكسة reflected wave
- مبدأ التراكب principle of superposition
- تداخل interference
- عقدة node
- بَطن antinode
- موجة مستقرة standing wave
- مقدمة موجة wavefront
- شعاع ray
- عمود مقام normal
- قانون الانعكاس law of reflection
- انكسار refraction

الفكرة الرئيسة يمكن أن تتداخل الموجات بعضها مع بعض عند وجود اكثر من موجة في الوسط نفسه.

- عندما تنعكس الموجات الثنائية الأبعاد من الحدود، تكون زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس. يُسمى التغيّر الذي يحدث في اتجاه الموجات عند الحدود بين وسطين مختلفين الانكسار.
- يحدث التداخل عندما تنتقل موجتان أو أكثر عبر الوسط نفسه في الزمن نفسه. ينص مبدأ التراكب على أنّ إزاحة الوسط التي تنشأ من موجتين أو أكثر تساوي المجموع الجبري لإزاحات الموجات الفردية.



McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

الوحدة 5 التقويم

القسم 1 الحركة الدورية

إتقان المفاهيم

36. **الفكرة الرئيسة** ما الحركة الدورية؟ اذكر ثلاثة أمثلة للحركة الدورية.

37. ما الفرق بين التردد والزمن الدوري؟ كيف يرتبط كل منهما بالآخر؟

38. ما الحركة التوافقية البسيطة؟ اذكر مثالًا عليها.

39. إذا كان الزنبرك يخضع لقانون هوك، فما العلاقة التي تربط القوة المؤثرة مع استطالته؟

40. كيف يمكن تحديد ثابت الزنبرك من الرسم البياني للعلاقة بين مقدار القوة والاستطالة؟

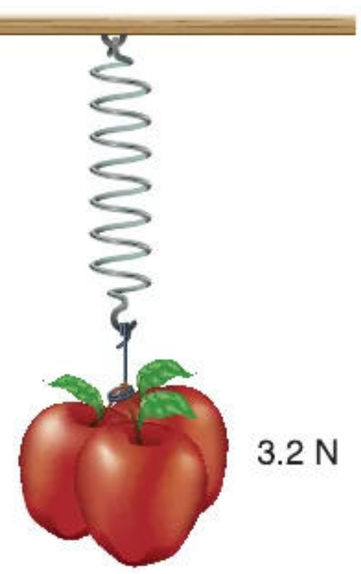
41. كيف يمكن تحديد طاقة الوضع المرونية المختزنة في الزنبرك من الرسم البياني للقوة والأستطالة؟

42. هل يعتمد الزمن الدوري للبندول على كتلة الثقل؟ أم طول البندول؟ أم سعة الذبذبة؟ ما الذي يعتمد عليه أيضًا الزمن الدوري؟

43. ما الشروط اللازمة لحدوث الرنين؟

إتقان حل المسائل

44. إذا استطال زنبرك مسافة 0.12 m عندما عُلّق في أسفله عدد من التفاحات وزنها 3.2 N كما في **الشكل 21**. فما مقدار ثابت الزنبرك؟



الشكل 21

45. **صدمات السيارات** تتضمن كل الزنبركات اللولبية لسيارة ثابت زنبرك يبلغ 25,000 N/m. ما مقدار انضغاط كل زنبرك عندما يحمل ربع سيارة وزنها 25,000 N؟

46. يستطيل زنبرك يبلغ ثابته 27 N/m لمسافة مقدارها 16 cm. كم تبلغ طاقة الوضع المرونية للزنبرك؟

47. **قاذفة الصواريخ** تتضمن لعبة قاذفة الصواريخ زنبرك يبلغ ثابته 35 N/m. ما المسافة التي يجب أن ينضغطها الزنبرك لتخزين 1.5 J من الطاقة؟

48. مُثّلت بيانات مقدار القوة والاستطالة لزنبرك في الرسم البياني الوارد في **الشكل 22**.

a. أوجد ثابت الزنبرك؟

b. أوجد طاقة الوضع المرونية للزنبرك عندما يستطيل 0.50 m؟

الشكل 22

49. ما مقدار الطول اللازم للبندول ليصبح زمنه الدوري 2.3 s على سطح القمر إذا كانت g = 1.6 N/kg؟

50. **مهمة الترتيب** رتّب البندولات التالية وفقًا للزمن الدوري من الأصغر إلى الأكبر.

A. الطول 10 cm، الكتلة = 0.25 kg

B. الطول 10 cm، الكتلة = 0.35 kg

C. الطول 20 cm، الكتلة = 0.25 kg

D. الطول 20 cm، الكتلة = 0.35 kg

القسم 2 خصائص الموجات

إتقان المفاهيم

51. اشرح كيف تختلف عملية نقل الطاقة المرتبطة بقذف كرة عن عملية نقل الطاقة المرتبطة بموجة ميكانيكية.

52. ما أوجه الاختلاف بين الموجات المستعرضة والطولية والسطحية؟

53. إذا انتقلت الموجات عبر زنبرك ثابت الطول، أجب عمّا يلي:

a. هل يمكن تغيير سرعة الموجات التي تنتقل عبر الزنبرك؟ اشرح.

b. هل يمكن تغيير تردد موجة تنتقل عبر الزنبرك؟ وضح ذلك.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

54. ما الطول الموجي لموجة؟

55. لنفترض أنّك أحدثتَ نبضة عبر حبل. ما وجه المقارنة بين موضع نقطة على الحبل قبل وصول النبضة وموضع النقطة بعد مرور النبضة؟

56. ما وجه الاختلاف بين الموجة والموجة الدورية؟

57. وضح الاختلاف بين تردد الموجة والسرعة للموجة.

58. لنفترض أنّك أحدثتَ موجة مستعرضة عن طريق هزّ أحد طرفي زنبرك من جانب إلى آخر. ما وجه المقارنة بين تردد حركة يدك وتردد الموجة؟

59. متي تكون نقطتان على الموجة في الطور نفسه، ومتى تصبح النقطتان متعاكستين في الطور؟ اذكر مثالًا لكل منهما.

60. وضح العلاقة بين سعة الموجة والطاقة التي تنقلها.

إتقان حل المسائل

61. **حركة بناية** يتأرجح برج ويليس في مدينة شيكاغو ذهابًا وإيابًا في مهب الريح بتردد 0.12 Hz تقريبًا. كم يبلغ الزمن الدوري للاهتزاز؟

62. **موجات المحيط** يبلغ طول موجة محيط 12.0 m. وتمر موجة بموقع ثابت كل 3.0 s. كم تبلغ سرعة الموجة؟

63. يبلغ طول الموجة لموجات الماء في طبق مسطح 6.0 cm. يتحرك الماء صعودًا وهبوطًا بمعدل 4.8 ترددات في الثانية.
    a. كم تبلغ سرعة الموجات؟
    b. كم يبلغ الزمن الدوري لهذه الموجات؟

64. تنتقل موجات الماء في بحيرة بمعدل 3.4 m خلال 1.8 s. يبلغ الزمن الدوري للذبذبة 1.1 s.
    a. كم تبلغ سرعة موجات الماء؟
    b. كم يبلغ طول موجتها؟

65. **السونار** يبلغ طول موجة إشارة سونار ترددها 1.00×10^6 Hz نحو 1.50 mm في الماء.
    a. كم تبلغ سرعة الإشارة في الماء؟
    b. كم يبلغ الزمن الدوري لها في الماء؟

66. تبلغ سرعة الصوت في الماء 1498 m/s. تُرسَل إشارة سونار من سفينة مباشرة إلى أسفل عند نقطة تحت سطح الماء مباشرة وكُشفت الإشارة المنعكسة بعد مرور 1.80 s. كم يبلغ عمق الماء؟

67. تحدث موجة صوتية طول موجتها 0.60 m وسرعتها 330 m/s خلال 0.50 s.
    a. ما تردد الموجة؟
    b. كم عدد الموجات الكاملة المُرسلة في هذه الفترة الزمنية؟
    c. بعد مرور 0.50 s، كم تبعد مقدمة الموجة عن مصدر الصوت؟

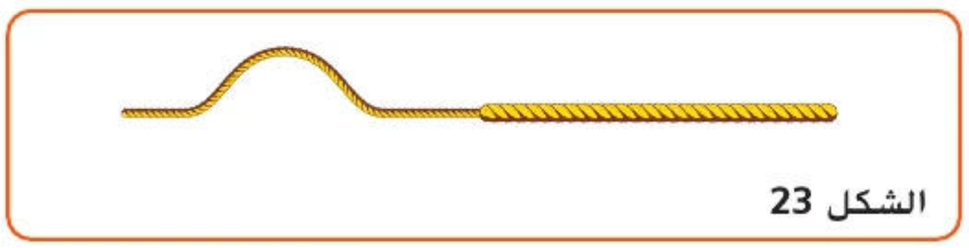
68. يستريح مازن وعبدالله على منصة بحرية بعد السباحة. قدّر كلاهما أنّ المسافة التي تفصل بين القاع والقمة المجاورة لكل موجة سطحية في البحيرة 3.0 m. عدّ كلاهما 12 قمة خلال 20.0 s. احسب مقدار السرعة التي تنتقل بها الموجات.

69. **الزلازل** تبلغ السرعة للموجات المستعرضة التي يُحدثها زلزال 8.9 km/s وتبلغ السرعة للموجات الطولية 5.1 km/s. يسجل جهاز قياس الزلازل وصول الموجات المستعرضة قبل الموجات الطولية بمقدار 68 s. ما مقدار المسافة التي يبعدها الزلزال؟

القسم 3 سلوك الموجات

إتقان المفاهيم

70. عندما تعبر موجة حدًّا فاصلًا بين حبل رفيع وحبل سميك كما هو موضّح في **الشكل 23**، يتغيّر طولها الموجي وسرعتها ولا يتغيّر ترددها. اشرح لماذا يبقى التردد ثابتًا.



الشكل 23

71. ما وجه الاختلاف بين نبضة موجة منعكسة من جدار ثابت والنبضة الساقطة؟

72. صِف حركة جسيمات وسط يقع عند عُقد موجات مستقرة.

73. **الموجات المستقرة** ثُبّتت لوحة من منتصفها، ونُثرت عليها كمية من السكر. عند النقر على وتر كمان بالقرب منها، تهتز حافة اللوحة، ويتجمع السكر في مناطق معينة ويبتعد عن مناطق أخرى. صِف هذه المناطق في ضوء الموجات المستقرة.

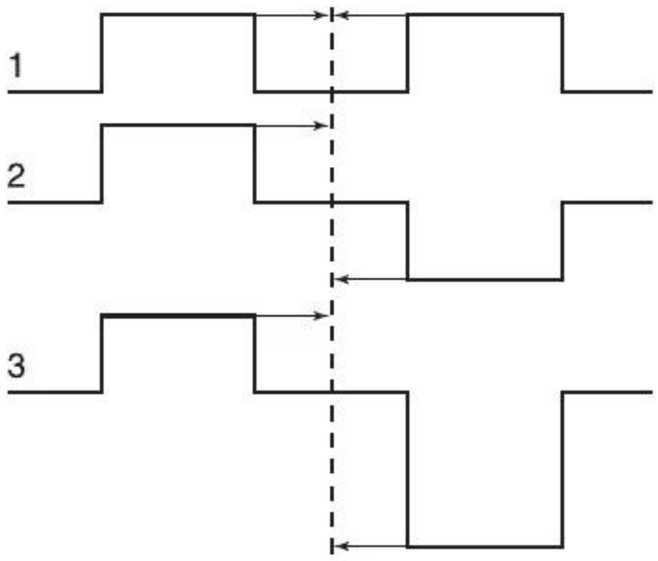
74. اذا اهتز وتر مشكلًا أربعة أقسام، ستستطيع لمس بعض النقاط عليه من دون أن تحدث اضطرابًا في حركته. ما عدد هذه النقاط؟

75. عبرت مقدمات موجات بزاوية من وسط إلى آخر وتحركت فيه بسرعة مختلفة. صِف التغيّرين اللذين حدثا في مقدمات الموجات. ما الذي لم يتغيّر؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

إتقان حل المسائل

76. مثّل بالرسم نتيجة كل حالة من الحالات الثلاث (1و2و3) الموضّحة في **الشكل 24**، عندما يقع مركزا النبضتين المتقاربتين على الخط المنقط بحيث تتداخل النبضتان تمامًا.



الشكل 24

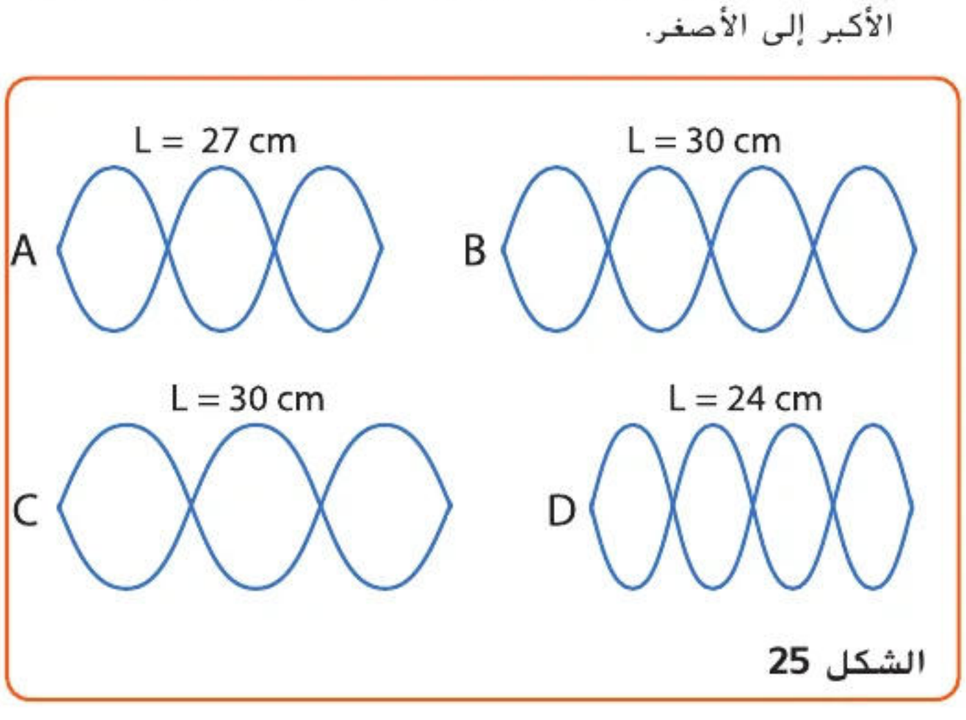
77. أجهزة الجيتار تبلغ سرعة الموجة في وتر الجيتار 265 m/s. ويبلغ طول الوتر 63 cm. وعندما حُرّك منتصف الوتر بسحبه إلى أعلى وتركه، انتقلت الموجات في كلا الاتجاهين وانعكست بعيدًا من طرفي الوتر.

a. ما المدة الزمنية التي تستغرقها الموجه لتنتقل إلى الوتر وتعود إلى المنتصف؟

b. عندما تعود الموجات، هل يوجد الوتر فوق موقعه المستقر أم أسفله؟

c. إذا حرّكتَ الوتر مسافة 15 cm من أحد طرفيه، فأين ستلتقي النبضتان؟

78. تنشأ موجات مستقرة في الأوتار الأربعة الموضّحة في **الشكل 25**. إنّ كتلة كل الأوتار هي نفسها لكل وحدة طول وتتأثر جميعها بقوة الشد نفسها.
إذا كانت أطوال الأوتار (L) معلومة، رتّب ترددات الموجات من الأكبر إلى الأصغر.



الشكل 25

تطبيق المفاهيم

79. تهتز كرة إلى أعلى وإلى أسفل معلقة بطرف زنبرك. وضّح تغيّرات الطاقة التي تحدث خلال اهتزازة واحدة كاملة. هل تتغيّر الطاقة الميكانيكية الكلية؟

80. هل يمكن استخدام ساعة بندولية في محطة الفضاء الدولية الدوّارة؟ وضح ذلك.

81. لنفترض أنّك تمسك ساقا فلزيا طوله 1 m بيدك وطرقتَ أحد طرفيه بمطرقة في اتجاه موازٍ لطوله في المرة الأولى وفي اتجاه عمودي على طوله في المرة الثانية. صِف الموجات الناتجة في كلتا الحالتين.

82. لنفترض أنّك وضعت إصبعك عدة مرات في حوض ممتلئ بالماء لصنع موجات دائرية. ماذا يحدث لطول الموجة عندما تُحرك إصبعك بوتيرة أسرع؟

83. ماذا يحدث للزمن الدوري لموجة عندما يزداد ترددها؟

84. ماذا يحدث لطول الموجة عندما يزداد ترددها؟

85. لنفترض أنّك أحدثتَ نبضة واحدة في زنبرك ممتد. ما مقدار الطاقة اللازمة لإحداث نبضة ثانية لها، سعتها مثلي السعة الأصلية؟

86. لا يمكنك أن تجعل الماء يتدفق ذهابًا وإيابًا في وعاء مسطح إلا إذا جعلت الوعاء يهتز بالتردد المناسب. وضح ذلك.

مراجعة عامة

87. احسب الزمن الدوري لبندول طوله 1.4 m؟

88. موجات الراديو تُبث إشارات راديو AM بترددات تتراوح بين 550 kHz (كيلوهرتز) و 1600 kHz بسرعة 3.0×10^8 m/s.

a. ما مدى أطوال موجات الإشارات؟

b. تتراوح ترددات FM بين 88 MHz (ميجاهرتز) و 108 MHz بالسرعة نفسها. ما مدى أطوال الموجة لموجات FM؟

89. إذا كان الزمن اللازم لتغيير موجة الماء من مستوى الاتزان إلى القمة 0.18 s. احسب:

a. طول الموجة

b. الزمن الدوري للموجة

c. تردد الموجة

90. عندما تُعلَّق كتلة 225 g في زنبرك، يستطيل الزنبرك مسافة مقدارها 9.4 cm. إذا سُحب الزنبرك والكتلة مسافة مقدارها 8.0 cm من موضع الاتزان الجديد هذا ثم تُركا، أوجد قيمة ثابت الزنبرك.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

91. إذا كنت تسبح بعيدًا من الشاطىء، بالرغم من أن نبضات الموجة تنتقل نحو الشاطىء، فإنها لا تنقلك بالقرب منه.

a. ما نوع الموجة التي تواجهها عندما تسبح في الماء؟

b. اشرح لماذا لا تنقلك الموجة بالقرب من الشاطئ.

c. إذا مرت عليك 10 موجات في غضون 15 s، كم يبلغ الزمن الدوري لهذه الموجات؟

d. احسب كم يبلغ تردد هذه الموجات؟

e. إذا قدّرت أنّ قمم الموجة تبعد إحداها من الأخرى مسافة 3 m. فما السرعة المتجهة للموجات؟

f. بعد العودة إلى الشاطئ، تعرف أنّ الموجات تنتقل بسرعة 1.8 m/s. كم يبلغ طول الموجة الفعلي لهذه الموجات؟

92. لاعب القفز بالحبال قفز أحد لاعبي القفز بالحبال كتلته 68 kg من منطاد هواء ساخن باستخدام حبل مطاطي طوله 540 m قابل للاستطالة. وعند اكتمال القفز كان اللاعب معلقًا بالحبل الذي أصبح طوله 1710 m. كم يبلغ ثابت المرونة للحبل المطاطي؟

93. لديك ميزان ميكانيكي لوزن السمك مزوّد بزنبرك ينضغط عند إضافة وزن إلى خطاف مثبّت أسفل الميزان. لسوء الحظ، أتلفت معايرة الميزان تمامًا. بالرغم من ذلك، لديك كتلة واحدة معلومة 500.0 g تجعل الزنبرك ينضغط مسافة مقدارها 2.0 cm.

a. ما ثابت الزنبرك؟

b. إذا تسببت سمكة بأن ينضغط الزنبرك مسافة مقدارها 4.5 cm، ما كتلة السمكة؟

94. تأرجح الجسر في الصيف فوق نهر نيو ريفر في فرجينيا الغربية، يتأرجح العديد من الأولاد باستخدام الحبال ثم يسقطون في النهر بعد بضعة تأرجحات ذهابًا وإيابًا.

a. إذا استخدم "حسام" حبلًا طوله 10.0 m، فما الزمن الذي يحتاج إليه ليعمل اهتزازة كاملة؟

b. إذا كانت كتلة "فهد" أكبر من كتلة "حسام" بمقدار 20 kg، فما توقعك لاختلاف الزمن الدوري لحركة تأرجحه عن حركة تأرجح "حسام"؟

c. عند أي نقطة في حركة التأرجح تبلغ طاقة الحركة أقصى مقدار لها؟

d. عند أي نقطة في حركة التأرجح تبلغ طاقة الوضع أقصى مقدار لها؟

e. عند أي نقطة في حركة التأرجح تبلغ طاقة الحركة أدنى مقدار لها؟

f. عند أي نقطة في حركة التأرجح تبلغ طاقة الوضع أدنى مقدار لها؟

95. زنبركات السيارات عندما تضيف حمولة مقدار 45 kg إلى صندوق سيارة صغيرة جديدة، ينضغط الزنبركان الخلفيان مسافة إضافية مقدارها 1.0 cm.

a. احسب الثابت لكل من الزنبركان.

b. ما مقدار الزيادة في طاقة الوضع المرونية المختزنة لكل من الزنبركين بعد إضافة الحمولة إلى صندوق السيارة؟

96. مدينة الألعاب إذا كانت لعبتك المفضلة في مدينة الالعاب هي عربة مثبتة في هيكل بحيث تتأرجح مثل البندول. وإذا كانت العربة تتأرجح من موضع إلى آخر ثماني مرات في 1 min بالضبط. أصبحت الآن تتأرجح ست مرات فقط في 1 min. أجب عن الأسئلة التالية.

a. ما الزمن الدوري الأصلي للعبة؟

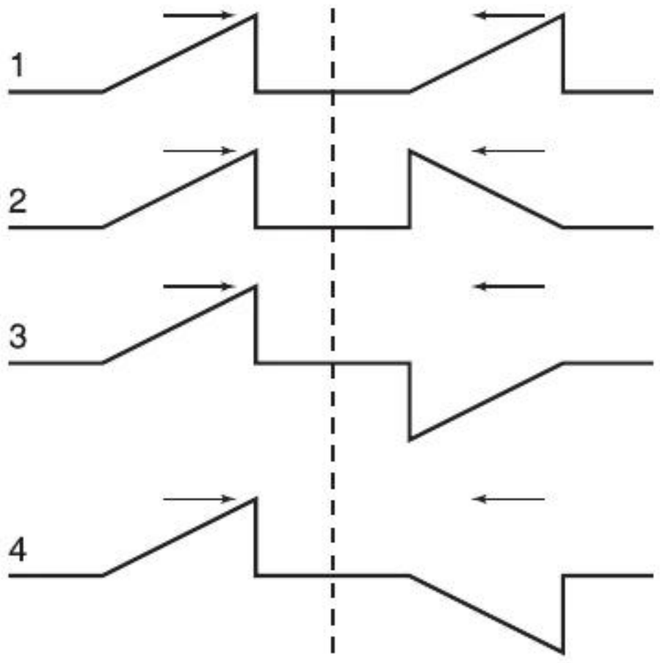
b. ما الزمن الدوري الجديد للعبة؟

c. احسب التردد الجديد.

d. ما طول الساق الذي يحمل العربة في اللعبة؟

e. إذا أراد أصحاب مدينة الالعاب مضاعفة الزمن الدوري للعبة، فما النسبة المئوية للزيادة التي يلزم إضافتها إلى طول الساق؟

97. مثّل بالرسم نتيجة كل من الحالات الأربع الموضّحة في **الشكل 26**، عندما يقع مركزا كل من النبضتين على الخط المنقط بحيث تتداخل النبضتان تمامًا.



الشكل 26

98. الساعات يتحكّم البندول المتأرجح في السرعة التي تعمل بها الساعة البندولية.

a. إذا وجدتَ أنّ الساعة تؤخر الوقت يوميًّا، فما التعديل الذي يلزم إجراؤه على البندول لضبط الوقت؟

b. إذا كان طول البندول حاليًا 15.0 cm، فما مقدار الطول اللازم تغييره حتى يكون الزمن الدوري أقل بمقدار 0.0400 s؟

c. يبلغ طول بندول ساعة أخرى 77.5 cm. تؤخر الساعة على مدار اليوم 5.00 min. ما مقدار الطول الذي ينبغي تغييره لضبط الوقت؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التقويم

99. تتوقف السرعة للموجة التي تنتقل عبر وتر على قوة الشد في الوتر والكتلة لكل وحدة طول للوتر. إذا كانت F_T هي قوة الشد في الوتر وμ هي الكتلة لكل وحدة طول، فيمكن تحديد السرعة (v) من خلال المعادلة التالية.

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

تبلغ كتلة جزء من الوتر طوله 5.30 m نحو 15.0 g. فكم يجب أن تكون قوة الشد في الوتر حتى يصبح طول موجة ترددها 125 Hz يساوي 120.0 cm؟

التفكير الناقد

100. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزيائية تتضمن أجسامًا من واقع الحياة وتُمثّل المعادلة التالية جزءًا من الحل المطلوب لها:

$$(9.8\ \text{N/kg})(1.65\ \text{kg}) = k\,(0.15\ \text{m})$$

101. طرح مسألة أكمل هذه المسألة بحيث يجب حلها باستخدام المفهوم الوارد أدناه: "عُلّقت كتلة رأسيا في زنبرك يبلغ ثابته 200 N/m ..."

a. بقاء الطاقة

c. التردد

102. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها عُلّقت عدة أوزان في زنبرك وقيست استطالات الزنبرك. يوضّح **الجدول 2** البيانات التي تم الحصول عليها.

الجدول 2 الأوزان المؤثرة في الزنبرك

مقدار القوة، F (N)	الاستطالة، x (m)
2.5	0.12
5.0	0.26
7.5	0.35
10.0	0.50
12.5	0.60
15.0	0.71

a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين مقدار القوة المبذولة على الزنبرك مقابل الاستطالة فيه، على أن ترسم القوة على محور الصادات y.

b. أوجد ثابت الزنبرك من التمثيل البياني.

c. باستخدام الرسم البياني، أوجد قيمة طاقة الوضع المرونية الكامنة في الزنبرك عندما يستطيل إلى 0.50 m.

103. التحليل والاستنتاج إذا لزمت قوة مقدارها 20 N لإحداث استطالة في الزنبرك مقدارها 0.5 m.

a. احسب ثابت الزنبرك

b. ما مقدار الطاقة الكامنة في الزنبرك؟

c. لماذا لا يساوي الشغل المبذول لتمدد الزنبرك القوة مضروبة في المسافة أو 10 J؟

104. تطبيق المفاهيم تتكون تموجات ترابية في الغالب على الطرق الترابية، ويكون بعضها متباعدًا عن بعض بصورة منتظمة، كما تكون هذه التموجات عمودية على الطريق كما في **الشكل 27**. وينتج هذا التموج بسبب حركة معظم السيارات بالسرعة نفسها واهتزاز الزنبركات المتصلة بعجلات السيارة بالتردد نفسه. فإذا كان بعد التموجات بعضها من بعض 1.5 m، وتتحرك السيارات على هذا الطريق بسرعة 5 m/s. فما تردد اهتزاز زنبركات السيارة ؟

الشكل 27

الكتابة في الفيزياء

105. أجرِ بحثًا عن أعمال كريستيان هيجينز المتعلقة بالموجات والخلاف بينه وبين نيوتن حول طبيعة الضوء. قارن وقابل بين تفسيراتهما لظواهر مثل الانعكاس والانكسار. أي النموذجين تؤيد؟ لماذا؟

مراجعة تراكمية

106. تقطع سيارة كتلتها 1400 kg مسافة 402 m خلال زمن مقداره 9.8 s. فإذا كانت سرعتها النهائية 112 m/s. فأجب عما يلي:

a. ما طاقة الحركة النهائية لهذه السيارة؟

b. ما مقدار الحد الأدنى للشغل الذي بذله محركها؟ لماذا لا يمكنك حساب مقدار الشغل الكلي المبذول؟

c. كم يبلغ متوسط التسارع لهذه السيارة؟

107. ما مقدار كمية الماء التي يجب أن تتبخر من محرك بخاري خلال 1 s لإنتاج 1 kW من الطاقة؟ لنفترض أنّ كفاءة المحرّك تصل إلى 20%.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 5 تدريب على الاختبار المعياري

الاختيار من متعدد

1. ما قيمة ثابت زنبرك تبلغ طاقة وضعه المرونية 8.67 J عندما يستطيل بمقدار 247 mm؟

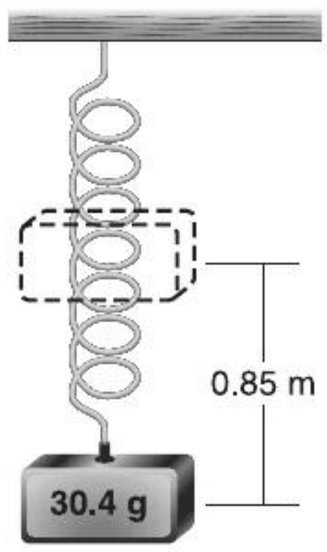
A. 70.2 N/m
B. 71.1 N/m
C. 142 N/m
D. 284 N/m

2. ما مقدار القوة التي تؤثر في زنبرك يبلغ ثابته 275 N/m ويستطيل بمقدار 14.3 cm؟

A. 2.81 N
B. 19.2 N
C. 39.3 N
D. 3.93×10^{30} N

3. إذا علقت كتلة في النهاية الطرف لزنبرك فاستطال بمقدار 0.85 m كما هو موضّح في الشكل التالي. كم يبلغ ثابت الزنبرك؟

A. 0.25 N/m
B. 0.35 N/m
C. 26 N/m
D. 3.5×10^{2} N/m



4. زنبرك ثابته يساوي 350 N/m يسحب بابًا لكي يغلقه. ما مقدار الشغل المبذول عندما يسحب الزنبرك الباب بسرعة ثابتة من استطالة s مقدارها 85.0 cm إلى استطالة مقدارها 5.0 cm؟

A. 110 N · m
B. 130 J
C. 220 N · m
D. 1.1×10^{3} J

5. ما طول بندول يبلغ زمنه الدوري 4.89 s؟

A. 5.94 m
B. 11.9 m
C. 24.0 m
D. 37.3 m

6. ما تردد موجة يبلغ زمنها الدوري 3 s؟

A. 0.3 Hz
B. 30 Hz
C. $\frac{\pi}{3}$ Hz
D. 3 Hz

7. اعتمادًا على معادلة الزمن الدوري للبندول ،أي الآتية معادلة صحيحة لطول بندول؟

A. $\ell = \frac{4\pi^2 g}{T^2}$
B. $\ell = \frac{gT}{4\pi^2}$
C. $\ell = \frac{T^2 g}{(2\pi)^2}$
D. $\ell = \frac{Tg}{2\pi}$

8. أي صفوف الجدول يمثل موجة مستقرة؟

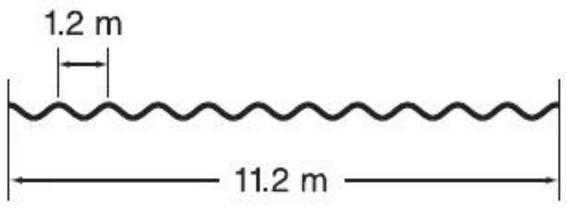
	الموجات	الاتجاه	الوسط
a	متماثلة	نفسه	نفسه
b	غير متماثلة	متعاكس	مختلف
c	متماثلة	متعاكس	نفسه
d	غير متماثلة	نفسه	مختلف

9. ما اسم الظاهرة الذي يُطلق على سلوك الموجة التي يتغيّر فيها اتجاه الموجة عند انتقالها من وسط إلى آخر؟

A. التداخل
B. التخلخل
C. الانعكاس
D. الانكسار

10. قطعت الموجة الموضّحة في الشكل التالي مسافة 11.2 m إلى جدار وانعكست مرة أخرى في 4 s. كم يبلغ تردد الموجة؟

A. 0.2 Hz
B. 2 Hz
C. 5 Hz
D. 9 Hz



أسئلة ذات إجابات مفتوحة

11. استخدم تحليل الوحدات للمعادلة $kx = mg$ لاشتقاق وحدة k.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 6

الصوت

الفكرة الرئيسة إنّ الموجات الصوتية عبارة عن تغيّرات في الضغط تنتقل في صورة موجات طولية ويمكن أن تستشعر أذن الإنسان الكثير منها.

الأقسام

1 خصائص الصوت والكشف عنه

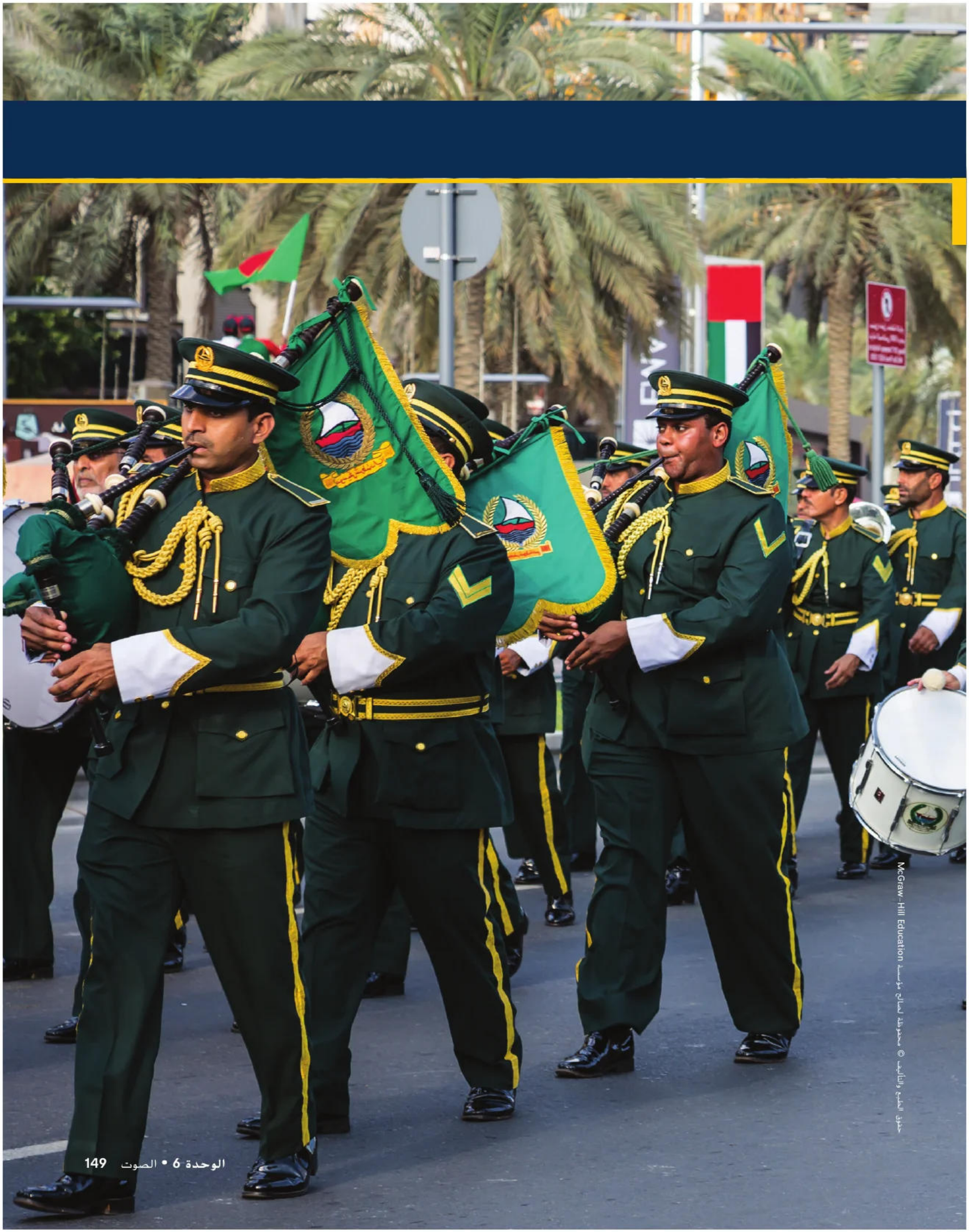
2 الفيزياء والموسيقى

التجربة الاستهلالية

إنتاج النغمات الموسيقية

كيف يمكن إنتاج نغمات موسيقية باستخدام أكواب عصير زجاجية ذات سيقان؟

Chapters sourced from Sound Chapter 15 from Glencoe Physics: Principles & ...
McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © حقوق الطبع والتأليف



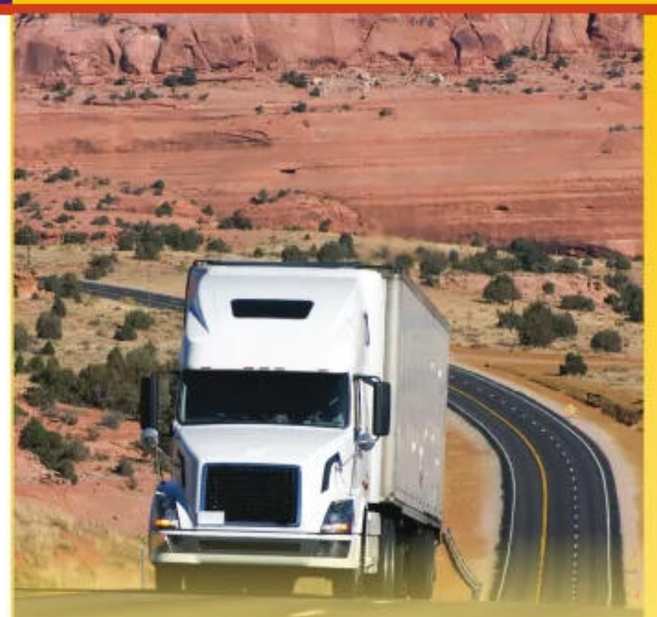
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 1

خصائص الصوت والكشف عنه

الفيزياء في حياتك

لعلك لاحظت أنّ صوت شاحنة ما قريبة منك مختلف عن صوت الشاحنة نفسها عندما تتحرّك مبتعدة عنك. يُطلق على هذا التأثير "تأثير دوبلر" وتمت دراسته أول مرة في العام 1845. لاحظ العالِم الهولندي سي إتش دي بويز بالوت تغيّرات في الصوت أثناء مرور أحد القطارات الذي يقلّ عازفي البوق.



الفكرة الرئيسة

يعتمد إدراكنا للموجة الصوتية على الخصائص الفيزيائية للموجة.

الأسئلة الرئيسة

- ما الخصائص التي تشترك فيها الموجات الصوتية مع الموجات الأخرى؟
- ما الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية التي ترتبط بإدراكنا للصوت؟
- ما المقصود بتأثير دوبلر؟
- ما اهم تطبيقات تأثير دوبلر؟

مفردات للمراجعة

الموجة wave: اضطراب ينقل الطاقة عبر المادة أو الفضاء دون أن ينقل المادة

مفردات جديدة

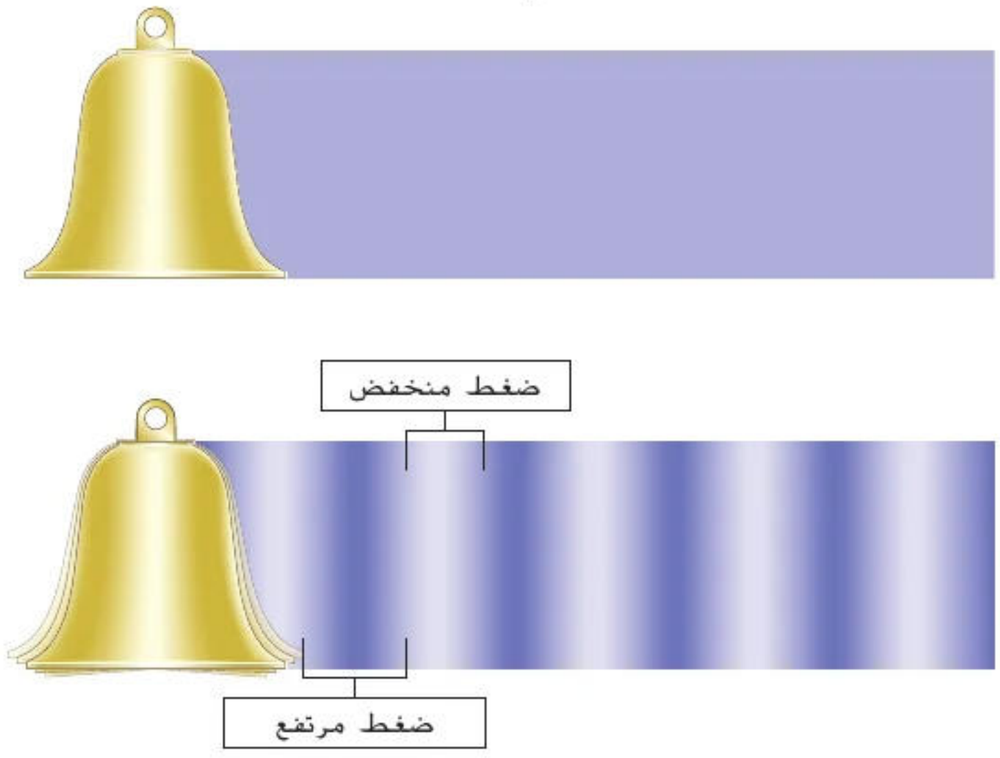
موجة صوتية	sound wave
جِدّة (أو درجة) الصوت	pitch
شدَّة الصوت	loudness
مستوى الصوت	sound level
ديسِبل	decibel
تأثير دوبلر	doppler effect

الموجات الصوتية

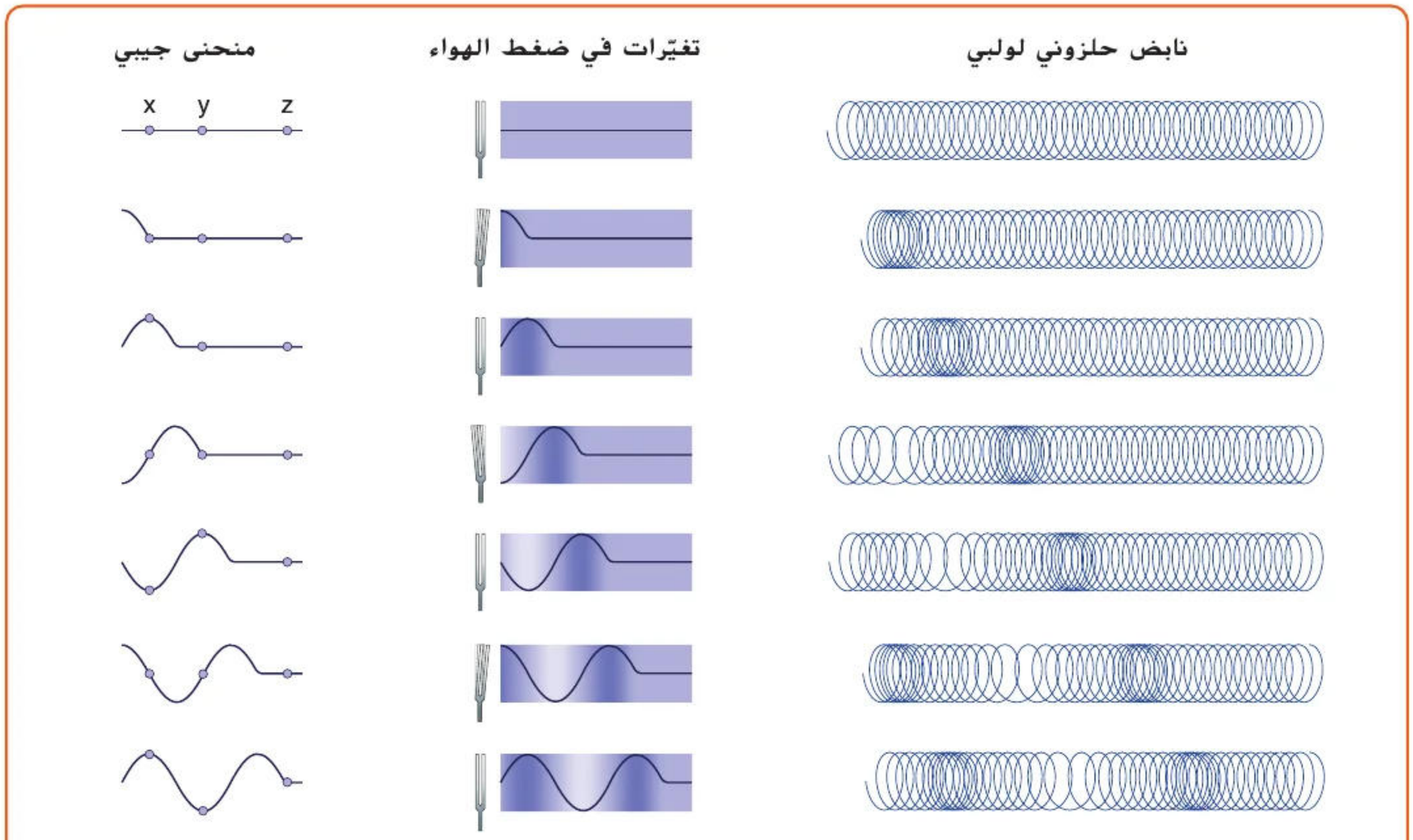
يعتبر الصوت شيئًا أساسيًا في حياة الإنسان والعديد من المخلوقات الحية الأخرى. إذ ينبّهنا صوت صافرة الإنذار بوجود خطرٍ ما وينبغي الوعي بالأشياء المحيطة بنا. بينما يجعلنا صوت الموسيقى نشعر بالهدوء والاسترخاء. ثمة العديد من خصائص الصوت المألوفة لديك في حياتك اليومية ومنها مستوى الصوت ونغمته وطبقته. يمكنك استخدام هذه الخصائص وغيرها لتصنيف العديد من الأصوات التي تسمعها. على سبيل المثال، تُعدّ بعض أنماط الصوت من ميزات الكلام، في حين يُعتبَر بعضها من ميزات فرقة موسيقية معينة. ستدرس في هذه الوحدة المبادىء الفيزيائية للصوت كأحد أنواع الموجات، وستستعين بما درسته سابقًا عن الموجات لوصف بعض خصائص الصوت وتفاعلاته.

تغيرّات الضغط ضع أصابعك على حنجرتك وأنت تهمهم أو تتكلم. هل تشعر بالاهتزازات؟ يوضّح **الشكل 1** جرسًا يهتز وهو يشبه أحبالك الصوتية أو مكّبر صوت (مسجّل) أو أي مصدر آخر للصوت. وعندما يهتز الجرس إلى الخلف والأمام، تصطدم حافة الجرس بجزيئات الهواء، فتدفع جزئيات الهواء إلى الأمام عندما تتحرّك الحافة إلى الأمام، بمعنى أنّ جزئيات الهواء ترتد عن الجرس بسرعة متجهة أكبر من السرعة المتجهة لارتدادها في حالة عدم تحرك الجرس. وعندما تتحرك الحافة إلى الخلف، ترتد جزيئات الهواء عن الجرس بسرعة متجهة أقل.

الشكل 1 عندما يكون الجرس في وضع سكون كما في الصورة العليا من الشكل، يكون ضغط الهواء المحيط متوسطًا. وعند قرع الجرس كما يظهر في الصورة السفلى، تُشكِّل الحافة المهتزة مناطق ذات ضغط مرتفع ومنخفض. ولتسهيل الفهم يوضح الرسم التخطيطي تحرك مناطق الضغط في اتجاه واحد، لكن في الواقع تتحرك الموجات المنبعثة عن الجرس في الاتجاهات جميعها.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 2 يمثّل نابض حلزوني لولبي التذبذبات التي تُحدِثها موجة صوتية. وبينما تنتقل الموجة الصوتية عبر الهواء، يرتفع ضغط الهواء وينخفض، ويمكن استخدام منحنيات الجيبية للتعبير عن تغيرات الضغط. لاحظ أن المواقع *x* و *y* و *z* تبين أنّ الموجة هي التي تنتقل وليست المادة.

تُشكِّل حركة الجرس إلى الأمام منطقة يكون فيها ضغط الهواء أعلى قليلًا من المتوسط، كما هو موضّح في **الشكل 1**. وتُشكِّل الحركة إلى الخلف منطقة ذات ضغط أقل قليلًا من المتوسط. كما تؤدي التصادمات بين جزيئات الهواء إلى انتقال تغيرات الضغط بعيدًا عن الجرس في الاتجاهات كلها. وإذا ركزت على بقعة واحدة، فستجد أنّ مستوى ضغط الهواء يرتفع وينخفض وبهذه الطريقة، تنتقل تغيّرات الضغط عبر المادة.

وصف الصوت يُطلَق على انتقال التذبذبات الناتجة عن تغيرات الضغط عبر المادة اسم **الموجة الصوتية**. تنتقل الموجات الصوتية عبر الهواء لأنّ مصدر الاهتزاز يُنتِج اهتزازات أو تذبذبات منتظمة في ضغط الهواء، فتتصادم جزئيات الهواء وتنقل تغير الضغط بعيدًا عن مصدر الصوت. يبين **الشكل 2** تذبذب ضغط الهواء حول متوسط الضغط، فيساوي تردد الموجة عدد الذبذبات في الضغط في كل ثانية، بينما يمثّل طول الموجة المسافة بين المناطق المتتالية للضغط المرتفع أو المنخفض. ويُعدّ الصوت موجة طولية لأن حركة الجزيئات في الهواء موازية لاتجاه حركة الموجة.

وكما في الموجات الأخرى، تعتمد سرعة الصوت على الوسط الذي ينتقل خلاله؛ وتتغير سرعة الصوت في الهواء باختلاف درجة حرارته، حيث تزداد بمعدل 0.6 m/s لكل زيادة في درجة حرارة الهواء مقدارها 1°C. وسرعة الصوت في الهواء الذي له درجة حرارة الغرفة (20°C) وضغط مساو للضغط الجوي عند مستوى سطح البحر، تساوي 343 m/s. وسنعتمد على هذه الظروف في حل المسائل الواردة في الكتاب، ما لم يذكر خلاف ذلك.

التأكد من فهم النص **قدّر** سرعة الصوت عبر الهواء عند مستوى سطح البحر إذا كانت درجة الحرارة تصل إلى 25°C.

مختبر الفيزياء

ينتقل الصوت عبر الهواء

ما السرعة التي ينتقل بها الصوت في الهواء؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تكون سرعة الصوت عمومًا في الأجسام الصلبة والسوائل أكبر منها في الغازات. يبين **الجدول 1** سرعات الموجات الصوتية في أوساط متعددة. لاحظ أنه لا يُمكِن للصوت أن ينتقل في الفراغ لأنه لا توجد جسيمات لكي تتصادم وتنقل الموجات الصوتية.

تشترك الموجات الصوتية مع الموجات الأخرى في خصائصها العامة. فعلى سبيل المثال، تنعكس الموجات الصوتية عن الأجسام الصلبة كجدران الغرفة مثلًا. وتسمى الموجات الصوتية المنعكسة بالصدى. ويمكننا الاستفادة من معرفة الوقت اللازم لعودة الصدى إلى مصدر الصوت في إيجاد المسافة بين المصدر والجسم الذي انعكس عنه. تستفيد الخفافيش وبعض الكاميرات وبعض السفن التي تستخدم السونار من هذا المبدأ. يمكن أن تتداخل موجتان صوتيتان مما يتسبب في تكوين مناطق تُدعى مناطق الخفوت عند العقد حيث يكون الصوت عندها ضعيفًا جدًا. وكما عرفت سابقًا فإنّ تردد الموجة وطولها يرتبطان بسرعتها من خلال المعادلة التالية $\lambda = v/f$.

الجدول 1
سرعة الصوت في أوساط متعددة

الوسط (عند درجة حرارة معينة)	m/s
الهواء (0°)	331
الهواء (20°)	343
الهيليوم (0°)	965
الماء (25°)	1497
ماء البحر (25°)	1535
النحاس (20°)	4760
الحديد (20°)	4994

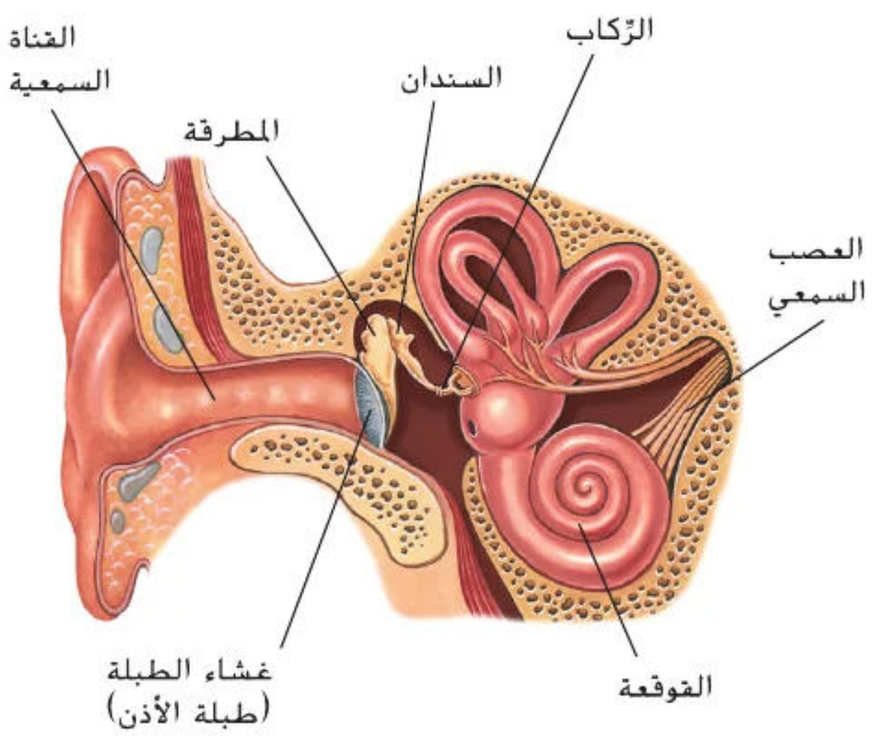
الكشف عن موجات الضغط

تُحوّل مراقبات الصوت الطاقة الصوتية – طاقة حركة الجزيئات المهتزة للوسط الذي يُنتقَل خلاله – إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. يُعدّ الميكروفون أحد المراقبات الشائعة حيث يحوّل الطاقة الصوتية إلى طاقة كهربائية. ويتكوّن الميكروفون من قرص رقيق يهتز استجابة للموجات الصوتية. فينشأ عن ذلك إشارة كهربائية.

أذن الإنسان كما هو موضّح في **الشكل 3**، تُعدّ أذن الإنسان مراقبًا صوتيًا يستقبل موجات الضغط ويُحوّلها إلى نبضات كهربائية. عندما تدخل الموجات الصوتية القناة السمعية، يهتز الغشاء الطبلي الذي يُطلق عليه طبلة الأذن. ثم تنقل ثلاث عظام صغيرة في الأذن الوسطى هذه الاهتزازات إلى سائل في القوقعة. تلتقط شعيرات صغيرة تُبطِّن القوقعة الحلزونية ترددات معيّنة في السائل المتذبذب. وتُنشِّط هذه الشعيرات الخلايا العصبية التي ترسل بدورها نبضات إلى المخ وتولّد الإحساس بالصوت.

تستشعر الأذن الموجات الصوتية لمدى واسع من الترددات وهي حساسة لمدى كبير جدًا من السعات. بالإضافة إلى ذلك، تستطيع حاسة السمع لدى الإنسان التمييز بين العديد من الأنواع المختلفة للصوت. لذا يتطلب فهم آلية عمل الأذن وتعقيداتها معرفة بعلم الفيزياء والأحياء. ويُعدّ تفسير الأصوات في الدماغ أمرًا معقدًا ولم يُفهَم تمامًا.

أذن الإنسان



الشكل 3 إنّ أذن الإنسان هي أحد الأعضاء الحسية التي تترجم اهتزازات الصوت من البيئة الخارجية إلى سيالات عصبية تُرسَل إلى الدماغ لتفسيرها. عندما تدخل الموجات الصوتية القناة السمعية، تهتز طبلة الأذن. يوجد ثلاث عظام في الأذن الوسطى هي المطرقة والسندان والركاب وتتحرّك هذه العظام نتيجة للاهتزازات. وبعد ذلك تُنقل الاهتزازات إلى الأذن الداخلية حيث تتسبب في حدوث سيالات عصبية في الدماغ.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

إدراك الصوت

تعتمد الطريقة التي يدرك بها الإنسان الصوت جزئيًا على الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية مثل التردد والسعة.

درجة (حدة) الصوت كان مارين ميرسن وجاليليو أول من توصلا إلى أنّ طبقة الصوت التي نسمعها تعتمد على تردد الاهتزاز. تُعرف **حدة الصوت** بأنها ارتفاع الصوت أو انخفاضه. تستخدم طبقة الصوت في الموسيقى بالسلم الموسيقي. فمثلاً يبلغ تردد النغمة المعروفة بـ C، وهي الطبقة الوسطى، 262 Hz. ويبلغ تردد أعلى نغمة على البيانو 4186 Hz. وأُذُن الإنسان ليست حساسة بالتساوي للترددات كلها. فلا يستطيع أغلب الأشخاص أن يسمعوا أصواتًا تقل ترددتها عن 20 Hz أو تزيد عن 16,000 Hz. كما أن معظم الحيوانات مثل القطط والفيلة والخفافيش تستطيع سماع الأصوات عند ترددات لا يستطيع الإنسان سماعها.

شدَّة الصوت يُعدّ التردد وطول الموجة من الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية. وتُعتبَر السعة خاصية فيزيائية أخرى للموجات الصوتية. والسعة هي مقياس لتغيّر الضغط في الموجة. **وشدة الصوت** هي خاصية الصوت التي تدركها الأُذُن ويفسرها الدماغ. وتعتمد شدة الصوت بشكل أساسي على سعة موجة الضغط.

تُعدّ أذن الإنسان شديدة الحساسية للتغيّرات في شدة الموجات الصوتية. فأنت تعرف أنّ الضغط الجوي الذي مقداره 1 atm يساوي 1.01×10^5 Pa، ولكن تستطيع الأذن تحسس سعات موجات الضغط التي تقل عن واحد من المليار من الغلاف الجوي أو 2×10^{-5} Pa. وبالمقابل تسبب تغيرات الضغط المقاربة من 20 Pa ألمًا للأذن. ومن المهم أن تعلم أن الأذن تتحسس تغيرات الضغط عن ترددات معينة فقط. فالصعود إلى الجبل يغيّر من مقدار الضغط الواقع على أذنيك بمقدار الآلاف من الباسكال، ولكن لا يؤثر في الترددات المسموعة.

نظرًا إلى أنّ الإنسان يستطيع تحسس مدى واسع من درجات شدة الصوت، لذا فإنها تقاس على مقياس لوغاريتمي يسمى **مستوى الصوت**. ووحدة قياس مستوى الصوت الأكثر شيوعًا هي **ديسِبل** (dB). يعتمد مستوى الصوت على نسبة شدة موجة صوتية معيّنة إلى نسبة أضعف الأصوات المسموعة، ويقاس أضعف صوت عند 0 dB. ويكون مستوى الصوت الذي تزيد شدته بمقدار بمعامل 100 مساويًا 20 dB، ومستوى الصوت الذي تزيد شدته بمقدار بمعامل 100 أخرى مساويًا 40 dB. يدرك معظم الأشخاص زيادة قدرها 10 dB في مستوى الصوت وهو ما يعادل مثلَي شدة الصوت الأصلي. يوضّح **الشكل 4** مستوى الصوت لعدة أصوات مختلفة. بالإضافة إلى شدة الصوت، يمكن وصف التغيّرات في الضغط وقدرة الموجات الصوتية بمقاييس الديسِبل.

المفردات

حدة (درجة) الصوت pitch

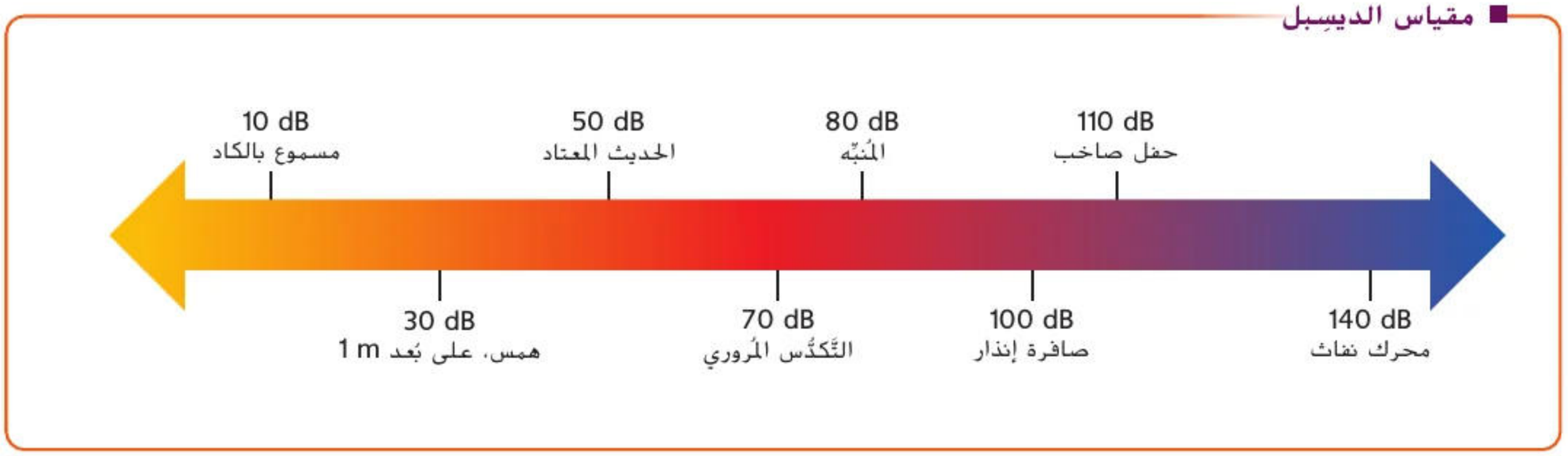
- **الاستخدام العلمي**
  ارتفاع الصوت أو انخفاضه الذي يعتمد على تردد الاهتزاز
  يُصدِّر الناي والتوبا طبقات صوتية مختلفة جدًا.

تجربة مصغرة

خصائص الصوت

ما العوامل الفيزيائية التي تحدد الصوت؟

الشكل 4 يوضّح مقياس الديسِبل هذا مستوى الصوت لعدة أصوات مختلفة.
استدلّ كم مرة تزيد شدة الصوت الصادر من منبه سيارة عن الصوت الصادر من شاحنة كبيرة؟



McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

بعد التعرض لأصوات صاخبة في شكل ضوضاء أو موسيقى، يمكن للأذن أن تفقد قدرتها على السمع خاصة للأصوات ذات الترددات العالية. كلما تعرض الشخص لأصوات عالية لفترة أطول، ازداد تأثر الأذن. يستطيع الشخص التعافي من أثر التعرّض لفترة قصيرة خلال ساعات، ولكن يؤدي التعرّض لفترة طويلة إلى مستويات الصوت التي تصل إلى 100 dB أو أكبر إلى تلف دائم في خلايا السمع. قد يَنتِج فقدان السمع أيضًا عن الموسيقى الصاخبة التي تُنقل عن طريق سماعات رأس الستيريو المتصلة بأجهزة الراديو الشخصية ومشغّلات الأقراص المضغوطة. في بعض الحالات، يغفل المستمعون عن مستويات الصوت العالية. وللتقليل من أثر الأصوات الصاخبة، يمكن استخدام سدادات الأذن القطنية لخفض مستوى الصوت بمقدار 10 dB فقط. كما يمكن أن تخفّض ملحقات معيّنة للأذن مستوى الصوت بمقدار 25 dB. وكذلك تخفّض واقيات الأذن والملحقات التي صُمِمت خصيصًا، كما هو مبيّن في **الشكل 5**، مستوى الصوت بمقدار يصل إلى 45 dB.

الشكل 5 يسبب التعرض المستمر للأصوات الصاخبة إلى فقدان السمع. لذا يرتدي العمال في العديد من المهن، مثل التشييد، أدوات لحماية الأذن. يبلغ مستوى الصوت الصادر من الهمر الذي يستخدمه هذا العامل 130 dB.

تأثير دوبلر

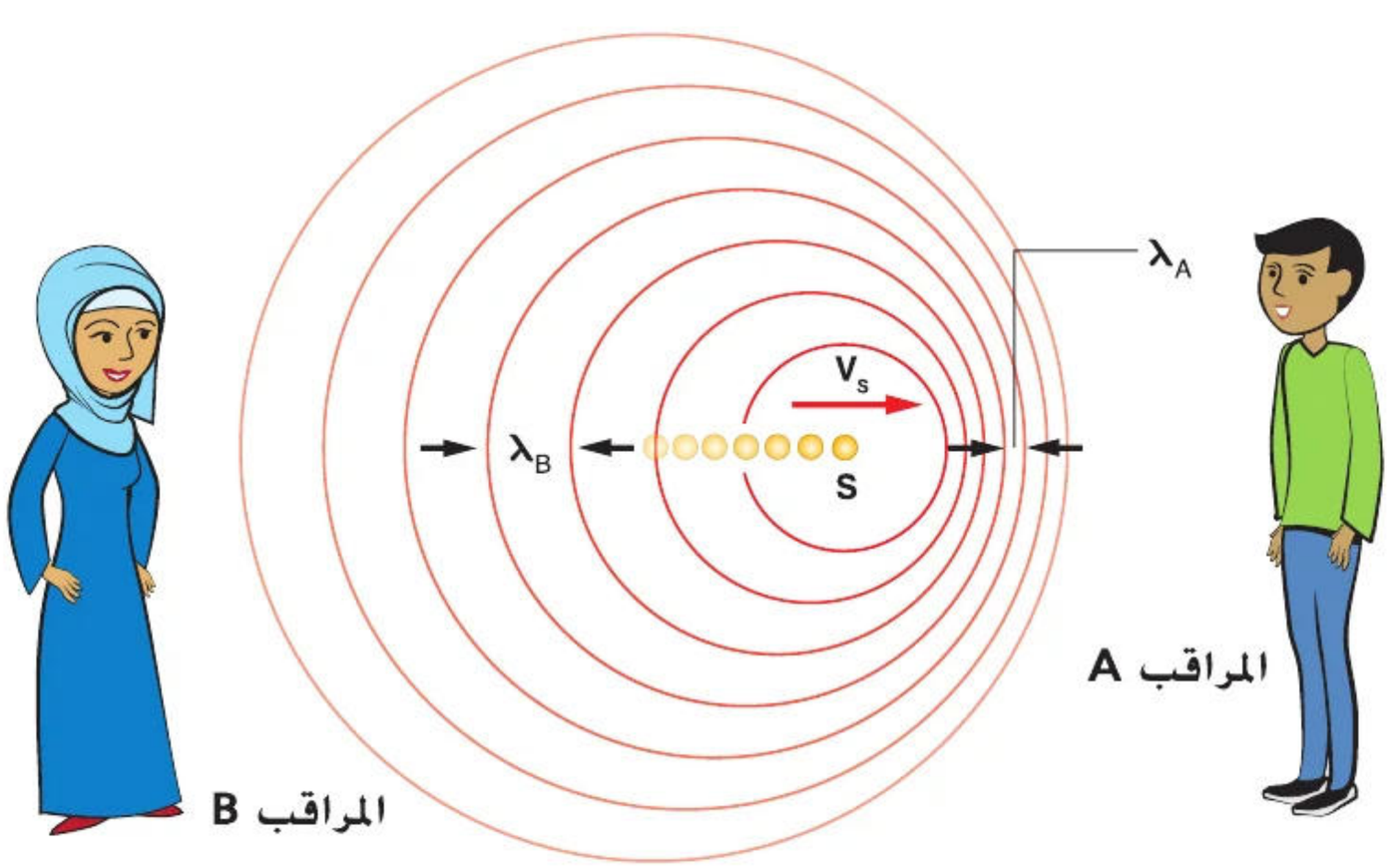
هل لاحظت أنّ حدة الصوت الصادر من سيارة سريعة تغيّرت عند مرور السيارة بجانبك؟ كانت طبقة الصوت أعلى عندما كانت السيارة تتحرّك تجاهك، ثم انخفضت حدة الصوت عندما تحركت السيارة بعيدًا عنك. يُطلق على التغيّر في تردد الصوت الذي تُحدِثه حركة مصدر الصوت أو المراقب أو كلاهما اسم **تأثير دوبلر** الموضّح في **الشكل 6**. يتحرّك مصدر الصوت (S) إلى اليمين بسرعة v_s. وتنتشر الموجات المنبعثة من المصدر في دوائر مركزها المصدر في الوقت الذي تُنتَج فيه الموجات. كلما تحرّك المصدر تجاه مراقب الصوت، وهو المراقب A في **الشكل 6**، تقاربت موجات عديدة في المنطقة التي تقع بين المصدر والمراقب. فيقل طول الموجة ويصبح λ_A. ونظرًا إلى عدم تغيّر سرعة الصوت، تصل قمم أكثر إلى أذن المراقب كل ثانية، وهذا يعني زيادة تردد الصوت الذي كُشِف عنه. عندما يتحرّك المصدر بعيدًا عن المراقب، وهو المراقب B في **الشكل 6**، يزداد طول الموجة ويصبح λ_B، وتصل قمم أقل إلى أذن المراقب B كل ثانية ويقل تردد الصوت الذي كُشِف عنه.

يحدث تغيّر دوبلر أيضًا إذا كان المراقب متحركًا والمصدر ثابتًا. وكلما اقترب المراقب من مصدر ثابت، واجه العديد من قمم الموجات كل ثانية أكثر مما لو كان ساكنًا، ويتم سماع صوت بتردد أكبر. أما إذا ابتعد المراقب عن المصدر، فستقل القمم التي تصل إليه كل ثانية مما يؤدي إلى انخفاض تردد الصوت المسموع.

مختبر الفيزياء

ما الديسِبل؟

كيف يمكنك قياس مستوى الصوت؟



الشكل 6 عند تحرك مصدر الصوت في اتجاه المراقب A، يَقِل طول الموجة ويصبح λ_A. أما إذا تحرك المصدر بعيدًا عن المراقب B، ازداد طول الموجة وأصبح λ_B.

صِف ما الاختلاف النسبي في تردد الصوت الذي يسمعه لكل مراقب؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

عند وجود مصدر متحرّك ومراقب متحرّك، يمكن حساب التردد الذي يسمعه المراقب باستخدام العلاقة الواردة أدناه.

تأثير دوبلر

يساوي التردد الذي يسمعه مراقب معين السرعة المتجهة للمراقب بالنسبة إلى السرعة للموجة مقسومة على السرعة للمصدر بالنسبة إلى السرعة للموجة، والمقدار كله مضروبًا في تردد الموجة.

$$f_d = f_s \frac{v - v_d}{v - v_s}$$

يمثّل v في معادلة تأثير دوبلر السرعة للموجة الصوتية ويمثّل v_s السرعة المتجهة لمصدر الصوت ويمثّل v_d السرعة للمراقب الذي يسمع الصوت. يمثل f_s تردد الموجة المنبعثة من المصدر و f_d التردد الذي يسمعه المراقب. يستخدم الرمز السفلي d بدلًا من الحرف o لمنع الخلط بينه وبين العدد صفر. وتستخدم الرموز السفلية للإشارة إلى الترددات التي تمثلها.

تعريف النظام الإحداثي بينما تحل مسائل باستخدام المعادلة أعلاه، تأكد من تعريف النظام الإحداثي بحيث يكون الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب. وستصل الموجات الصوتية إلى المراقب من المصدر، بحيث تكون السرعة المتجهة للصوت موجبة دائمًا. حاول أن ترسم رسومًا تخطيطية لكي تتحقق من أنّ المقدار $\frac{v - v_d}{v - v_s}$ يعطي النتائج التي تتوقعها في ضوء ما تعلمته عن تأثير دوبلر. لاحظ أنّه بالنسبة إلى مصدر يتحرّك باتجاه المراقب (الاتجاه الموجب الذي يؤدي إلى مقام أصغر مقارنة بمصدر ثابت) وبالنسبة إلى مراقب يتحرّك باتجاه المصدر (الاتجاه السالب الذي يؤدي إلى زيادة قيمة البسط مقارنة بمراقب ثابت)، فإن التردد الذي يستقبله المراقب (f_d) يزداد. بالمثل، إذا تحرّك المصدر بعيدًا عن المراقب أو إذا تحرّك المراقب بعيدًا عن المصدر، يقل f_d. "اقرأ ربط الرياضيات بالفيزياء" الموضّح أدناه لتعرف كيفية اختصار معادلة تأثير دوبلر عندما يكون المصدر أو المراقب ثابتًا.

ربط الرياضيات	بالفيزياء
اختصار المعادلات عندما يساوي عنصر صفرًا في معادلة، قد تختصر المعادلة في صورة أكثر سهولة لاستخدامها.	
مراقب ثابت، مصدر متحرّك: $v_d = 0$	مصدر ثابت، مراقب متحرّك: $v_s = 0$
$f_d = f_s \frac{v - v_d}{v - v_s}$ $= f_s \frac{v}{v - v_s}$ $= f_s \frac{\frac{v}{v}}{\frac{v}{v} - \frac{v_s}{v}}$ $= f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$	$f_d = f_s \frac{v - v_d}{v - v_s}$ $= f_s \frac{v - v_d}{v}$ $= f_s \frac{\frac{v}{v} - \frac{v_d}{v}}{\frac{v}{v}}$ $= f_s \frac{1 - \frac{v_d}{v}}{1}$ $= f_s \left(1 - \frac{v_d}{v}\right)$

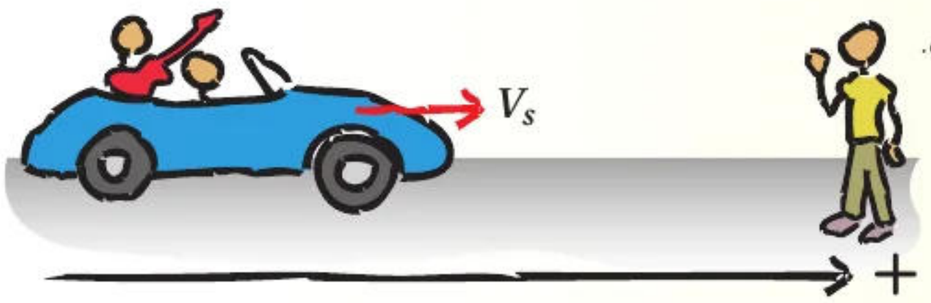
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 1

تأثير دوبلر يصدر الجيتار الذي يستخدمه العازف النغمة C التي تقع فوق النغمة C الوسطى (523 Hz) وذلك في أثناء ركوب هذا العازف بسيارة مكشوفة سرعتها 24.6 m/s. ما التردد الذي ستسمعه إذا كانت السيارة تتحرّك تجاهك؟ افترض أنّ درجة الحرارة تساوي 20°C.

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الموقف.
- حدّد محور الإحداثيات. تأكد من أنّ الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب.
- وَضّح السرعات المتجهة للمصدر والمراقب.



المعلوم	المجهول
$v = +343\ \text{m/s}$	$f_d = ?$
$v_s = +24.6\ \text{m/s}$	
$v_d = 0\ \text{m/s}$	
$f_s = 523\ \text{Hz}$	

2 حساب المجهول

استخدم $f_d = f_s \frac{v - v_d}{v - v_s}$ مع $v_d = 0\ \text{m/s}$.

$$f_d = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

◄ عوض عن $v = +343\ \text{m/s}$ و $v_s = +24.6\ \text{m/s}$ و $f_s = 523\ \text{Hz}$

$$= 523\ \text{Hz} \left(\frac{1}{1 - \frac{24.6\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}} \right)$$

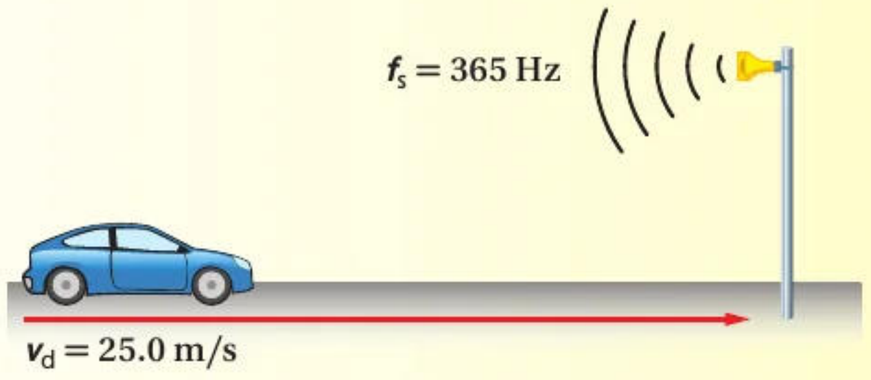
$$= 564\ \text{Hz}$$

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التردد بوحدة الهرتز.
- **هل المقدار منطقي؟** يتحرّك المصدر تجاهك، لذا ينبغي أن يزداد التردد.

تطبيقات

1. أعد حل المسألة أعلاه مع تحرّك السيارة مبتعدة عنك.
2. افترض أنّك تركب السيارة الموجودة في **الشكل 7**. وتتحرّك في اتجاه صافرة انذار المثبتة على السارية. إذا كان تردد صوت الصافرة يساوي 365 Hz. فما التردد الذي تسمعه؟ علمًا بأنّ سرعة الصوت تساوي 343 m/s.
3. افترض أنّك تركب سيارة تسير بسرعة قدرها (24.6 m/s). وتتحرّك سيارة ثانية في اتجاهك بالسرعة نفسها ويصدر بوقها صوتًا تردده 475 Hz. ما التردد الذي تسمعه؟ علمًا بأنّ سرعة الصوت تساوي 343 m/s.
4. تتحرّك غواصة في اتجاه غواصة أخرى بسرعة 9.20 m/s. وتصدر موجات فوق صوتية ترددها يساوي 3.50 MHz. ما التردد الذي ستلتقطه الغواصة الثانية وهي ساكنة؟ علمًا بأنّ سرعة الصوت في عمق الماء الذي تتحرّك فيه الغواصتان تساوي 1482 m/s.
5. **تحفيز** يصدر بوق نغمة C الوسطى (262 Hz). ما السرعة التي يجب أن يتحرّك بها لتزيد درجة الصوت إلى النغمة C المرتفعة (277 Hz)؟ علمًا بأنّ سرعة الصوت تساوي 343 m/s.



الشكل 7

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 8 تستخدم الخفافيش تأثير دوبلر لتحديد موقع الحشرات الطائرة والتقاطها بعملية تسمى تحديد الموقع باستخدام الصدى مثل العثة الموضحة هنا. عندما يمسك الخفاش العثة، يزداد تردد موجات الصوت المنعكسة.

تطبيقات تأثير دوبلر يحدث تأثير دوبلر في كل حركة موجية في الموجات الميكانيكية والموجات الكهرمغناطيسية وله عدة تطبيقات. فمثلًا تستخدم كواشف الرادار تأثير دوبلر لقياس سرعة كرات البيسبول والمركبات. ويراقب علماء الفلك الضوء المنبعث من المجرات البعيدة ويستخدمون تأثير دوبلر لقياس سرعاتها. وكما يتحقق الأطباء من سرعة حركة جدار قلب الجنين باستخدام تأثير دوبلر عن طريق الموجات فوق الصوتية.

الربط بعلم الأحياء تستخدم الخفافيش تأثير دوبلر لاكتشاف الحشرات الطائرة والتقاطها. عندما تطير الحشرة بسرعة أكبر من الخفاش، يَقِل تردد الموجة المنعكسة عنها، ولكن عندما يمسك الخفاش الحشرة، كما هو مبيّن في **الشكل 8**، يزداد تردد الموجة المنعكسة عنها. لا تستخدم الخفافيش الموجات الصوتية فقط للانتقال وتحديد موقع فريستها ولكنها تستخدمها غالبًا لاكتشاف وجود خفافيش أخرى. هذا يعني أنها تميّز موجاتها التي تُرسِلها وانعكاساتها عن أصوات الترددات الأخرى. يستمر العلماء في دراسة الخفافيش وقدرتها المدهشة على استخدام الموجات الصوتية.

القسم 1 مراجعة

6. **الفكرة الرئيسة** ما الخاصية الفيزيائية التي ينبغي تغييرها لموجة صوتية لتغيير حدة (درجة) الصوت؟ ولتغيير شدَّة الصوت؟
7. **رسم بياني** تتحرّك طبقة الأذن إلى الخلف وإلى الأمام استجابة لتغيّرات ضغط موجة صوتية. مثِّل بيانيًا العلاقة بين إزاحة طبلة الأذن والزمن لاهتزازتين لنغمة ترددها 1.0 kHz ولاهتزازتين لنغمة ترددها 2.0 kHz.
8. **تأثير الوسط** اذكر خاصيتين من خصائص الصوت تتأثران بالوسط الذي ينتقل فيه، وخاصيتين لا تتأثران بالوسط الذي ينتقل فيه.
9. **مقياس الديسِبل** كم عدد المرات التي يزيدها مستوى ضغط الصوت المسموع في حفل صاخب (110 dB) عن محادثة عادية (50 dB)؟
10. **الكشف المبكر** في القرن التاسع عشر، كان الأشخاص يضعون آذانهم على مسار السكة الحديدية ليسمعوا صوت القطار. لماذا كانت هذه الطريقة مجدية؟
11. **الخفافيش** يُرسِل الخفاش نبضات صوتية قصيرة بتردد عالٍ ويستقبل الصدى.
    a. ما الطريقة التي يقارن بها الصدى المرتد عن الحشرات الكبيرة والصدى المرتد عن الحشرات الصغيرة إذا كانت تبعد المسافة نفسها عنه؟
    b. ما الطريقة التي يميِّز بها بين الصدى المرتد من الحشرة الطائرة في اتجاهه عن الحشرة التي تطير بعيدًا عنه؟
12. **التفكير الناقد** هل يستطيع شرطي استخدام مراقب رادار على أحد جانبي الطريق لتحديد سرعة سيارة في اللحظة التي تمر فيها أمامه؟ اشرح ذلك.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الفيزياء والموسيقى

الفكرة الرئيسة

تنتج الموسيقى من موجات صوتية معقدة تَصدُر عن الأجسام المهتزة.

الأسئلة الرئيسة

- ما أصل كلمة الصوت؟
- ما خصائص الرنين في أعمدة الهواء؟
- ما خصائص الرنين في الأوتار؟
- ما سبب وجود اختلافات في جودة الصوت بين الآلات؟
- كيف تصدر الضربات؟

مراجعة المفردات

التردد frequency: عدد الذبذبات الكاملة التي تصدرها موجة معينة كل ثانية ويقاس بوحدة الهرتز

المفردات

أنبوب رنين مغلق الطرف
closed-pipe resonator

أنبوب رنين مفتوح الطرفين
open-pipe resonator

التردد الأساسي
fundamental frequency

التوافقيات	harmonics
نشاز	dissonance
تناغم	consonance
الضربة	beat

الفيزياء في حياتك

فكر في العديد من الآلات الموسيقية التي تشاهدها يوميًا أو تستمتع بالنغمات الصادرة عنها، كالكمان والمزامير والطبول والعديد من الآلات الأخرى. كيف يؤثر شكل الآلة أو حجمها أو المواد المصنوعة منها في الأصوات والنغمات التي تصدر عنها؟

مصادر الصوت

في منتصف القرن التاسع عشر، درس عالم الفيزياء الألماني هيرمان هيلمهولتز تكوّن الصوت في الآلات الموسيقية وصوت الإنسان. وفي القرن العشرين، طوّر العلماء والمهندسون أدوات إلكترونية لا تسمح بدراسة مفصلة للصوت فحسب، بل تسمح أيضًا بابتكار آلات موسيقية إلكترونية وأجهزة تسجيل تتيح لنا الاستماع إلى الموسيقى في الوقت وفي المكان الذي نريده.

عرفت أنّ الصوت يَصدُر من الجسم المهتزّ، وتؤدي اهتزازات الجسم إلى تحريك الجسيمات التي بدورها تسبب تذبذب في ضغط الهواء. ويوجد مخروط في مكبر الصوت مصمم ليهتز بواسطة التيارات الكهربائية، فيولّد سطح المخروط الموجات الصوتية التي تنتقل إلى أذنك وتُمكِّنك من سماع الموسيقى. كما تُعدّ الآلات الموسيقية مثل الصنوج والطبول أمثلة أخرى على الأسطح المهتزة التي تمثّل مصادر للصوت.

ينتج صوت الإنسان عن اهتزاز الأحبال الصوتية وهما غشاءان موجودان في الحنجرة. عندما يندفع الهواء من الرئتين مارًا بالحنجرة، تبدأ الأحبال الصوتية في الاهتزاز. وتتحكم عضلات الشد الموجودة على الأحبال الصوتية بتردد الاهتزاز.

كلما زاد الشد على الأحبال الصوتية، زادت سرعة اهتزازها مما ينتج عنه صوت طبقته أعلى. أما إذا كانت الأحبال الصوتية مرتخية بصورة أكبر، فإنها تهتز بدرجة أبطأ وتُصدِر أصواتًا طبقتها منخفضة.

عند العزف على الآلات النحاسية مثل البوق والتوبا والنفير، تهتز شفتَا العازف كما هو مبيّن في **الشكل 9**. أما في آلات النفخ الخشبية كالكلارينيت والساكسوفون يوجد شريط رفيع يسمى القصبة تهتزّ نتيجة للهواء الذي نُفِخ عبرها، كما هو موضّح في **الشكل 9**. في المزامير وأنابيب الأرغن يُدفَع الهواء عبر فتحة في أنبوب ويتسبب الهواء الذي ينتقل بسرعة عبر فتحات الأنبوب في اهتزاز عمود الهواء الموجود داخل الآلة.

الشكل 9 يُحدَّد الصوت الذي تصدره آلة ما جزئيًا من خلال جزء الآلة الخاص بالفم.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تُصدِر الآلات الوترية مثل البيانو والجيتار والكمان أصواتًا عن طريق اهتزاز الأسلاك أو الأوتار الموجودة فيها. ويولد الاهتزاز من خلال الضرب على الأوتار في البيانو والنقر عليها في الجيتار. أما في الكمان، فإن احتكاك القوس يتسبب في اهتزاز الأوتار. وترتبط الأوتار في لوحة صوتية تهتز مع الأوتار، ويَنتِج عن اهتزازات لوحة الصوت ذبذبات الضغط في الهواء التي نسمعها على هيئة صوت. فضلًا عن ذلك، تَستخدِم آلات الجيتار الكهربائي أجهزة إلكترونية للكشف عن اهتزازات أوتار الجيتار وتضخيمها.

الرنين في أنابيب الهواء

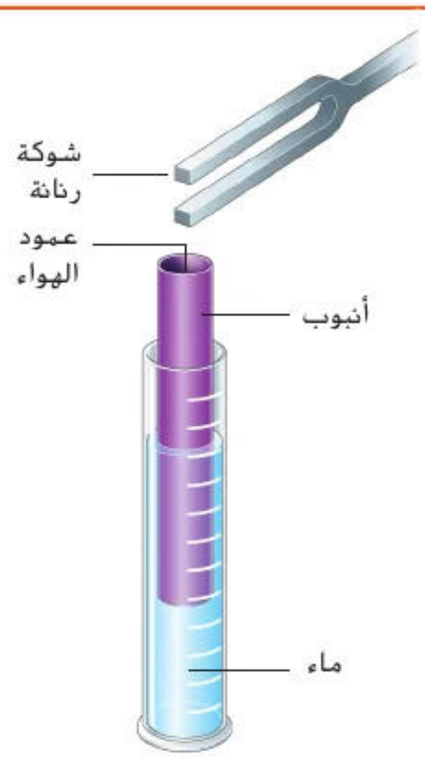
إذا سبق لك أن استخدمت آلة نحاسية أو آلة نفخ، فستكون على علم بأنه عندما يصدر صوت نتيجة لاهتزاز شفتيك أو اهتزاز القصبة، يصبح من الصعب التحكّم بطبقة الصوت. لذا يجب وصل الأنبوب الطويل الموجود في الآلة لكي ينتج صوت موسيقي. عندما يُعزف بالآلة، يهتز الهواء داخل هذا الأنبوب بالتردد نفسه أو برنين يتوافق مع اهتزاز الشفتين أو القصبة. تذكر أنّ الرنين يزيد سعة الاهتزاز من خلال بذل قوة خارجية صغيرة بصورة متكررة على جزيئات الهواء المهتزة بالتردد الطبيعي لأنبوب الهواء. كما يُحدِد طول أنبوب الهواء ترددات الهواء المهتز التي ستُصدِر رنينًا. بالنسبة إلى آلات النفخ والآلات النحاسية مثل المزامير والأبواق وآلات الترمبون، يتسبب تغيُّر طول أنبوب الهواء المهتز في تغيّر طبقة الصوت الصادر من الآلة. يُنتِج مبسم الآلة ببساطة خليطًا من الترددات المختلفة. ويعمل عمود الهواء في حالة الرنين على تضخيم مجموعة من الترددات لتضخيم نغمة منفردة، وتحويل الضجيج إلى موسيقى.

يُمكِن للشوكة الرنانة الموجودة أعلى الأنبوب المجوف أن تحدث رنينًا، في عمود الهواء كما هو موضّح في **الشكل 10**. وعند وضع الأنبوب في الماء بحيث يكون الطرف السفلي منه تحت سطح الماء. ويُسمى الأنبوب الذي في حالة رنين والذي يُغلَق أحد طرفيه بالنسبة إلى الهواء **انبوب رنين مغلق الطرف**. كما يمكن تغيير طول أنبوب الهواء عن طريق ضبط ارتفاع الجزء العلوي من الأنبوب فوق سطح الماء. وإذا طُرِق على شوكة رنانة بمطرقة مطاطية، فسيعلو الصوت وينخفض بالتناوب، نتيجة لتغير طول عمود الهواء من خلال تحريك الأنبوب إلى أعلى وأسفل في الماء. يكون الصوت عاليًا عندما يُحدِث أنبوب الهواء رنينًا مع الشوكة الرنانة، لأنّ أنبوب الهواء في حالة الرنين يزيد من شدة صوت الشوكة الرنانة.

مختبر الفيزياء

سرعة الصوت

كيف يمكنك تحديد سرعة الصوت؟



الشكل 10 أثناء رفع الأنبوب أو خفضه، يتغيّر طول عمود الهواء ما يسبب تغيرًا في ارتفاع الصوت.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

موجة الضغط المستقرة كيف يحدث الرنين؟ تُصدِر الشوكة الرنانة المهتزة موجة صوتية، وتتحرّك هذه الموجة ذات الذبذبات منخفضة ومرتفعة الضغط أسفل أنبوب الهواء. عندما تصطدم الموجة بسطح الماء، تنعكس إلى أعلى مرة أخرى نحو الشوكة الرنانة، كما هو موضّح في **الشكل 11**. فإذا وصلت موجة الضغط المرتفع المنعكسة إلى الشوكة الرنانة في اللحظة نفسها التي تُنتِج فيها الشوكة الرنانة موجة أخرى ذات ضغط مرتفع، ففي ذلك الحين تعزز الموجتان المنبعثة والمرتدة كل منهما الأخرى، وتنشأ موجة مستقرة عن تعزيز الموجات هذا، ويحدث رنين.

إنّ **انبوب رنين مفتوح الطرفين** عبارة عن أنبوب مفتوح الطرفين ويكون في حالة رنين مع مصدر الصوت. وفي هذه الحالة، لا تنعكس موجة الصوت من الطرف المغلق بل من الطرف المفتوح. فإذا اصطدم جزء مرتفع الضغط من الموجة بالطرف المفتوح، فسيكون ضغط الموجة المرتدة منخفضًا عند تلك النقطة، كما هو موضّح في **الشكل 11**.

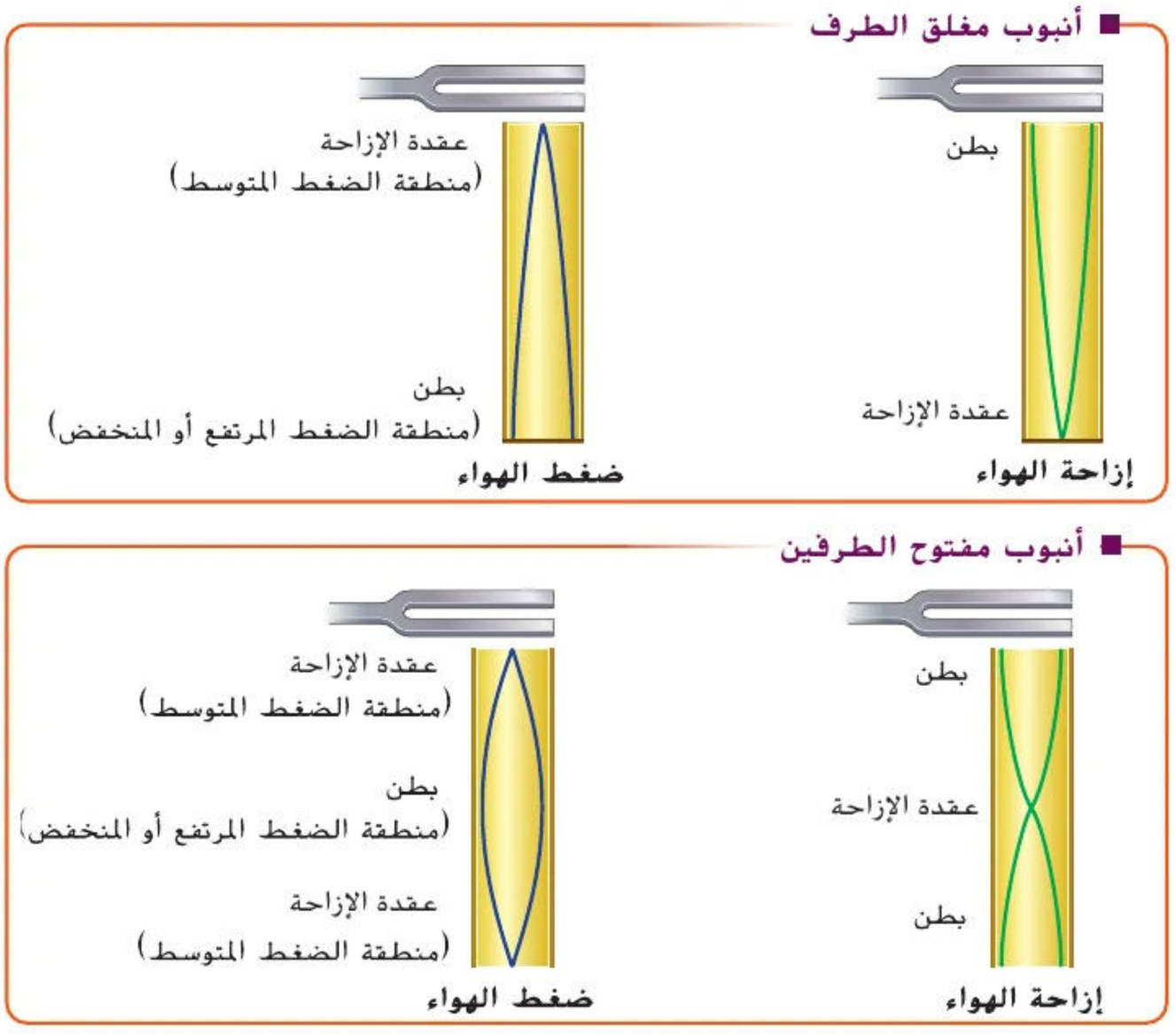
طول عمود هواء الرنين يوضّح **الشكل 12** موجة صوتية مستقرة في أنبوب وممثلة بموجة جيبية. يمكن أن تُمثِّل الموجات الجيبية ضغط الهواء أو إزاحة جزيئات الهواء. تذكر أنّ الموجات المستقرة لها عُقد وبطون. إنّ العقدة هي النقطة الثابتة التي تلتقي عندها نبضتان موجيتان متساويتان وتكونان في الموقع نفسه. والبَطن هي مكان أكبر إزاحة عند التقاء نبضتين موجيتين. لذا في التمثيل البياني للضغط، تمثّل العقد مناطق الضغط الجوي المتوسط، بينما يتأرجح الضغط عند البطون بين قيمتيه العظمى والصغرى. في حالة التمثيل البياني للإزاحة، تمثّل البطون مناطق الإزاحة الأعلى وتمثّل العقد مناطق الإزاحة الأقل. في كلتا الحالتين، تكون المسافة بين بطنين (أو عقدتين) متجاورتين مساوية لنصف طول الموجة.

التأكد من فهم النص **وضّح** أوجه الاختلاف بين عقدة وبطن على التمثيل البياني للإزاحة.

الأنابيب المغلقة: ينعكس الضغط المرتفع على هيئة ضغط عالٍ.

الأنابيب المفتوحة: ينعكس الضغط المرتفع على هيئة ضغط منخفض.

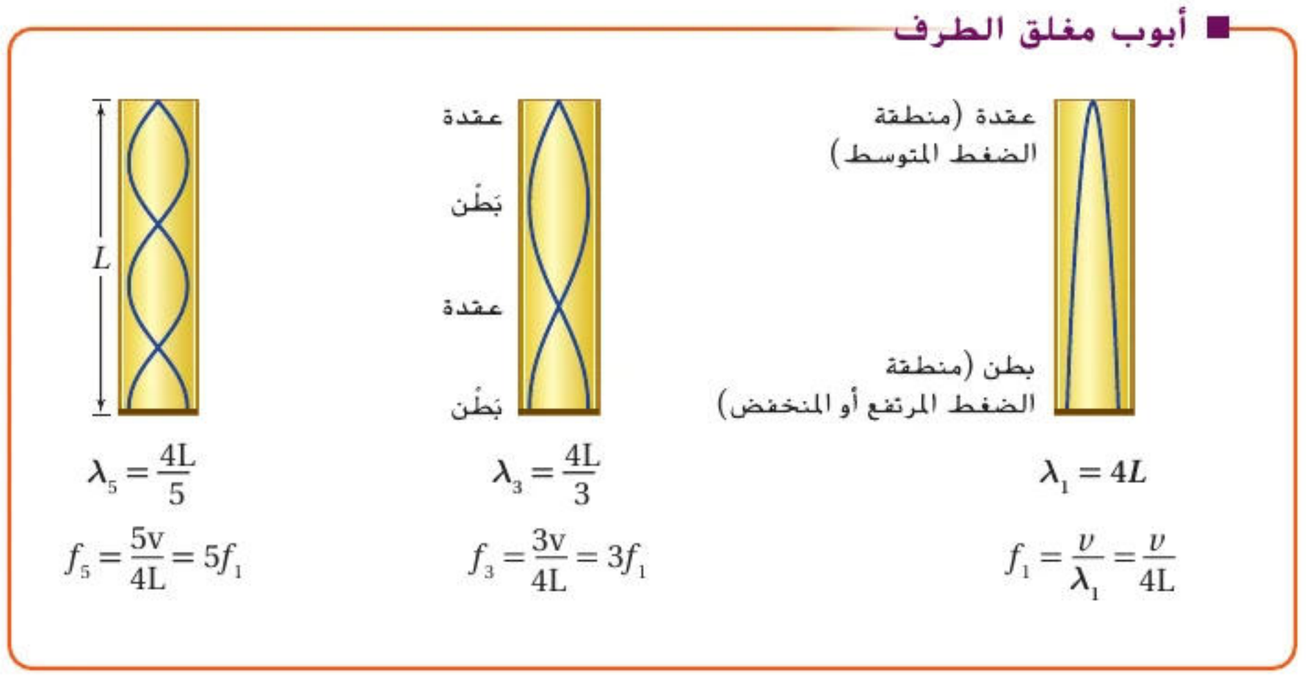
الشكل 11 في الأنابيب المغلقة، تنعكس الموجة الصوتية من الطرف المغلق، وتنعكس الموجات مرتفعة الضغط على هيئة ضغط مرتفع. أما في الأنابيب المفتوحة، تنعكس الموجة الصوتية من الطرف المفتوح، إذ تنعكس الموجات مرتفعة الضغط على هيئة ضغط منخفض.



12 يمكن تمثيل الموجات المستقرة في الأنابيب بمنحنى جيبي.

حدّد مناطق الضغط الجوي في الرسوم البيانية لضغط الهواء.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 13 يُحدِث الأنبوب المغلق الطرف رنينًا عندما يساوي طوله عددًا فرديًا من مضاعفات ربع الطول الموجي.

ترددات الرنين في الأنبوب مغلق الطرف في حال تكوُّن عقدة عند الطرف المغلق وتكوُّن بطن عند الطرف المفتوح، ما أقصر عمود هواء سيُصدِر رنينًا في الأنبوب المغلق؟ يوضّح **الشكل 13** أنه يجب أن يساوي ربع طول الموجة. وكلما زاد التردد، تتكون أطوال رنين إضافية عند فترات مساوية لنصف الطول الموجي.

بالتالي، ستكون الأعمدة ذات الأطوال $\frac{\lambda}{4}$ و$\frac{3\lambda}{4}$ و$\frac{5\lambda}{4}$ و$\frac{7\lambda}{4}$ ...وهكذا، جميعًا في حالة رنين مع شوكة رنانة تُصدِر صوتًا طول موجته λ.

وعمليًا، يكون طول الرنين الأول أطول قليلًا من ربع طول الموجة وذلك لأنّ التغيرات في الضغط لا تنخفض إلى الصفر تمامًا عند طرف الأنبوب المفتوح. في الواقع، تبعد العقدة عن الطرف 0.4 قطر الأنبوب. وتتباعد أطوال الرنين الإضافية عن بعضها بمقدار نصف طول الموجة بالضبط. يمكن استخدام قياسات التباعد بين أطوال الرنين لإيجاد السرعة المتجهة للصوت في الهواء، كما في "مثال المسألة 2".

ترددات الرنين في الأنبوب المفتوح يبلغ طول أقصر عمود هواء يمكن أن يكون له عقد عند طرفيه نصف طول الموجة، كما هو موضّح في **الشكل 14**. وكلما زاد التردد، تواجدت أطوال رنين إضافية عند فترات تساوي نصف طول الموجة. وبالتالي ستكون أطوال الأعمدة $\frac{\lambda}{2}$ وλ و$\frac{3\lambda}{2}$ و 2λ ... وهكذا، في حالة رنين مع شوكة رنانة.

في حال استخدام أنبوبين متساويين في الطول، أحدهما مفتوح والآخر مغلق كمصادر رنين، سيكون الطول الموجي لصوت الرنين في الأنبوب المفتوح نصف الطول الموجي لصوت الرنين في الأنبوب المغلق. وبالتالي، سيساوي تردد الأنبوب المفتوح ضعف تردد الأنبوب المغلق. تتباعد أطوال الرنين في كلا الأنبوبين بفترات مقدارها نصف طول الموجة.

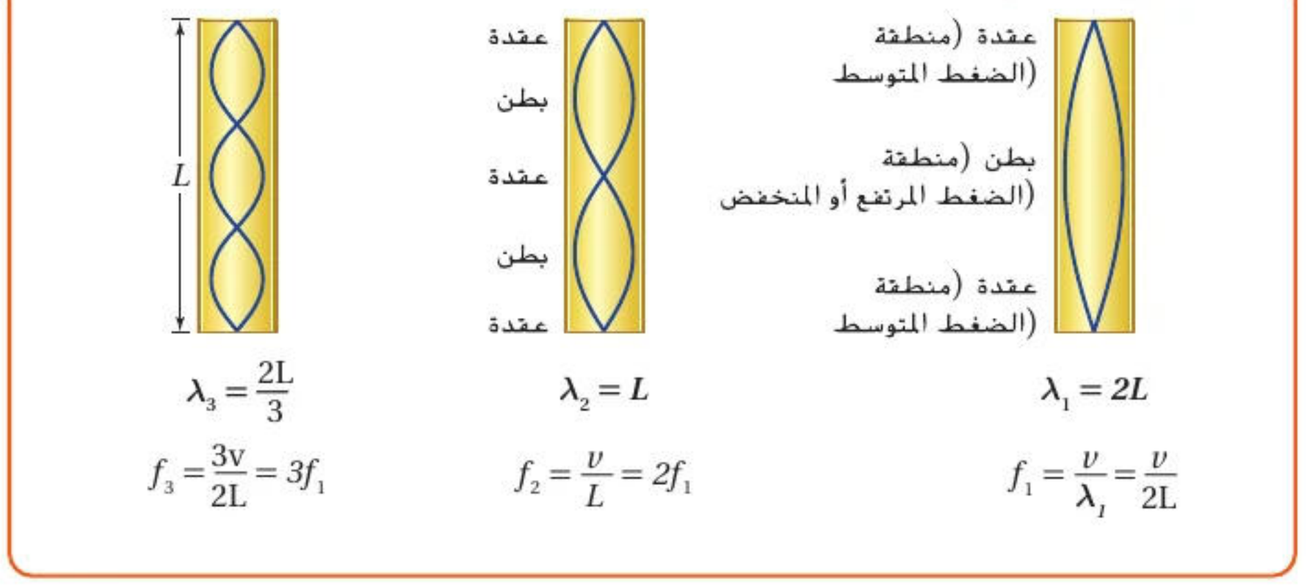
الفيزياء في حياتك

السماع والتردد تعمل القناة السمعية للإنسان كمصدر رنين ذي أنبوب مغلق الطرف، يزيد من حساسية الأذن لترددات تتراوح بين 2000 وHz 5000، ولكن يمتد المدى الكلي للترددات التي يسمعها الناس من 20 إلى 20,000 Hz. بينما تسمع القطة ترددات عالية تصل إلى 100,000 Hz.

مختبر الفيزياء

ما سرعة انتقال الصوت؟

كيف يمكنك قياس سرعة الصوت باستخدام مصدر رنين ذي أنبوب مفتوح؟



الشكل 14 يُحدِث الأنبوب مخفتوح الطرفين رنينًا عندما يساوي طوله عددًا زوجيًا من مضاعفات ربع الطول الموجي.

وضّح كيف يختلف الطول الذي يُحدِث عنده الأنبوب مفتوح الطرفين رنينًا عن الطول الذي يُحدِث عنده الأنبوب مغلق الطرف رنينًا؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

أنبوب مفتوح الطرفين (المزمار)

أنبوب مغلق الطرف (الماريبا)

أنبوب مغلق الطرف (الصدَفة)

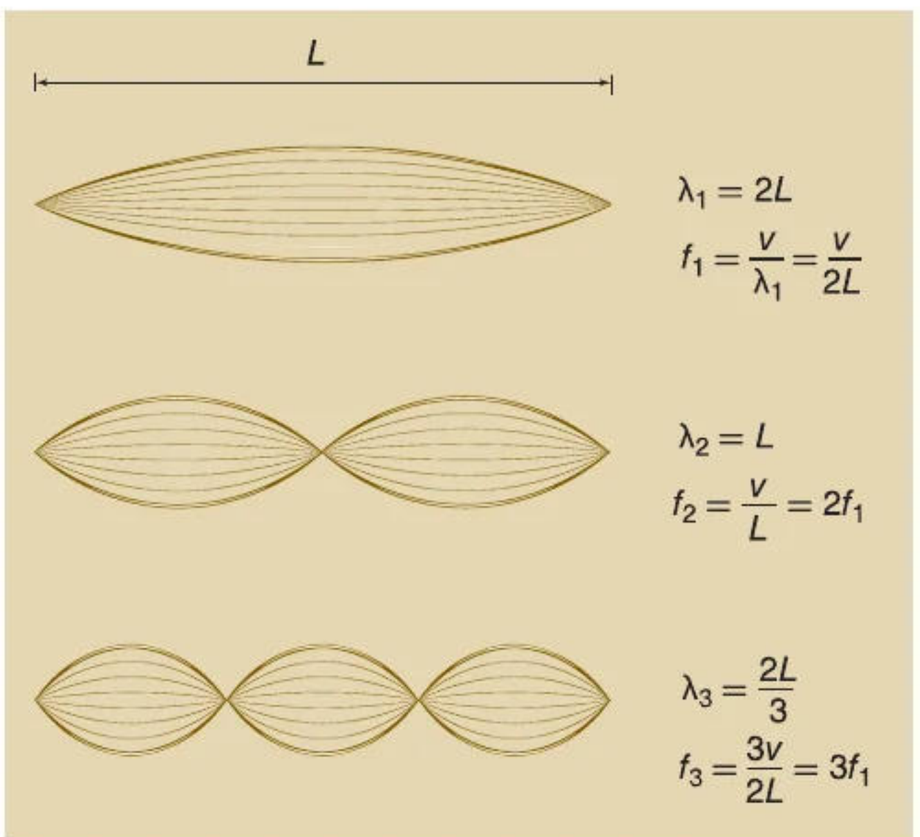
الشكل 15 يُعدّ المزمار مثالًا على مصدر رنين ذي أنبوب مفتوح. وتُعتبَر أنابيب الماريبا المعلّقة والأصداف أمثلة على مصادر الرنين ذات الأنابيب المغلقة.

سماع الرنين تَستخدِم الآلات الموسيقية الرنين لزيادة شدة صوت نغمات موسيقية معيّنة. وتوجد مزامير في مصادر الرنين ذات الأنابيب المفتوحة كما هو مبيّن في **الشكل 15**. تُعدّ آلات المزمار والأنابيب المعلقة في الجزء السفلي من آلات الماريبا وآلات الإكسليفون أمثلة على مصادر الرنين ذات الأنابيب المغلقة. إذا صرخت داخل نفق طويل، فإن الصوت المدوّي الذي تسمعه يصدر بسبب قيام النفق بدور مصدر رنين. وتُمثّل الصدَفة في **الشكل 15** أيضًا مصدر رنين ذا أنبوب مغلق.

الرنين في الأوتار

بالرغم من أن الضرب على الأوتار أو شدها يسبب اختلافًا في أشكال الموجات، إلا أن لها خصائص عديدة مشتركة مع الموجات المستقرة المتكونة في النوابض والحبال. ويكون الوتر في آلة مشدودًا من الطرفين، لذا فإنه عندما يهتز يكون له عقدة عند كل طرف من طرفيه. ويمكنك أن تلاحظ من **الشكل 16**، أن النمط الأول للاهتزاز له بطن عند المنتصف، وطوله يساوي نصف الطول الموجي. ويحدث الرنين التالي عندما يكون طول الوتر مساويًا لطول موجي واحد. وتظهر موجات مستقرة إضافية عندما يبلغ طول الوتر $\frac{3\lambda}{2}$ و 2λ و $\frac{5\lambda}{2}$ ...وهكذا. كما في حالة الأنبوب مفتوح الطرفين، تساوي ترددات الرنين مضاعفات العدد الكلي لأقل تردد.

الشكل 16 يُحدِث الوتر رنينًا مع الأمواج المستقرة عندما يساوي طوله عددًا صحيحًا من مضاعفات نصف طول الموجة.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تذكّر أنّ سرعة الموجة تعتمد على الوسط. أما بالنسبة إلى الوتر، تعتمد سرعة الموجة على قوة الشد فيه، وكتلة وحدة طوله. لذا، كلما كان الوتر مشدودًا أكثر، تكون سرعة حركة الموجه عليه أكبر، ما يؤدي إلى ازدياد تردد موجاته المستقرة. وهذا يجعل من الممكن ضبط نغمة الآلات الوترية عن طريق تغيير درجة شد أوتارها.

بسبب صِغر مساحة المقطع العرضي للأوتار إلى حد كبير، فإنها تُحرّك كمية قليلة جدًا من الهواء عند اهتزازها. لذلك من الضروري ربطها في لوحة الصوت التي تنقل اهتزازها إلى الهواء مما ينتج عنه موجة صوتية أقوى. على عكس الأوتار نفسها، إذ لا ينبغي للوحة الصوت أن تُحدث رنينًا عند تردد أحادي، لأن الغرض منها هو نقل اهتزازات كل الأوتار إلى الهواء، ولهذا ينبغي أن تهتزَّ جيدًا عند كل الترددات التي تُصدِرها الآلة. وبسبب التفاعلات المعقدة بين الأوتار ولوحة الصوت والهواء، يُعدّ تصميم الآلات الوترية وتركيبها عمليتَين معقدتَين، يراها الكثيرون فنًا بقدر ما هو علم.

☑ **تأكد من فهمك** **صِف** العلاقة بين قوة شدّ الوتر وسرعة الموجة أثناء انتقالها على طول الوتر.

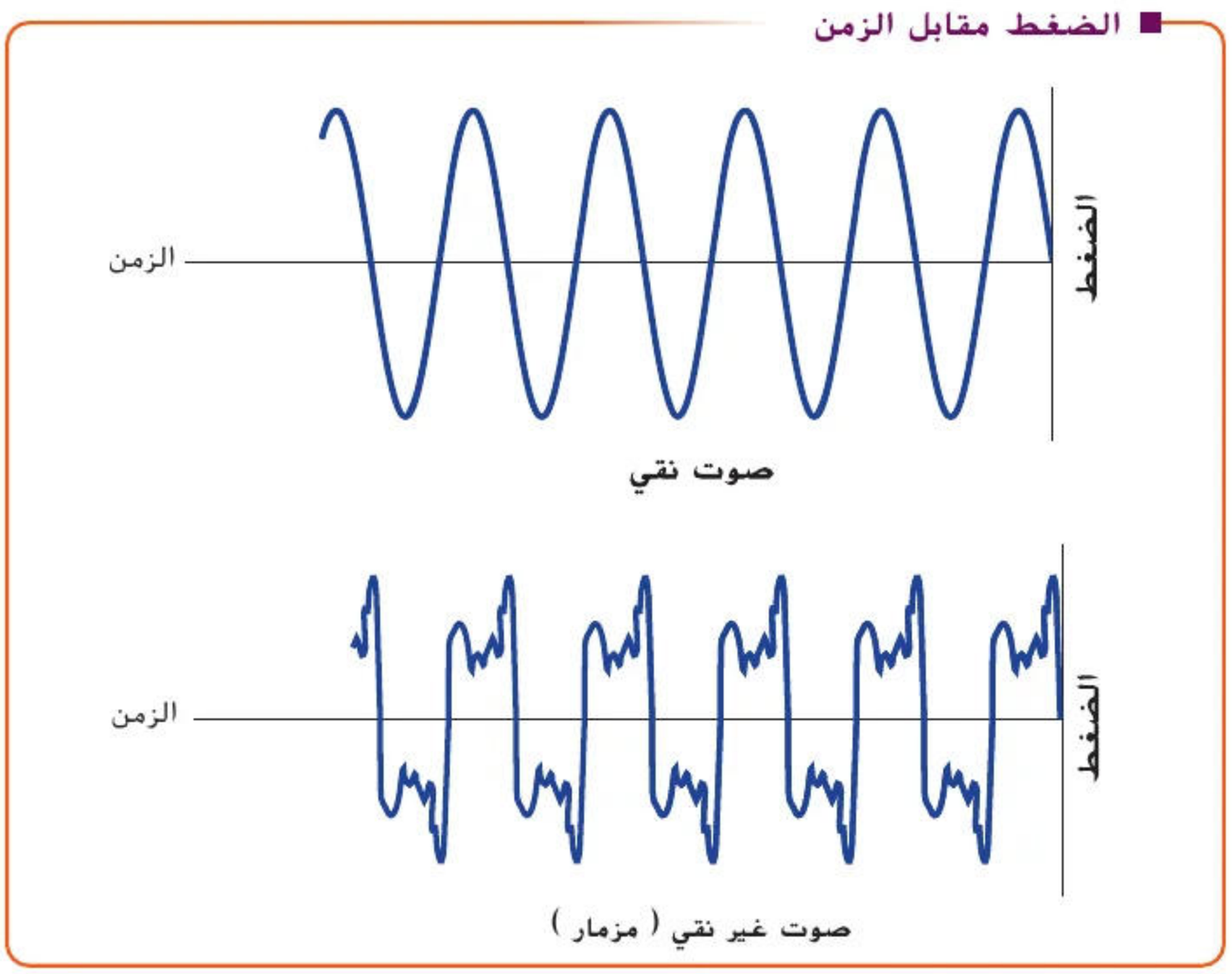
جودة الصوت

تُصدر الشوكة الرنانة صوتًا ناعمًا ومتجانسًا لأنّ طرفاها يهتزان بحركة توافقية بسيطة ويُنتِجان موجة جيبية كالموضحة في الجزء العلوي من التمثيل البياني في **الشكل 17**. وتُعدُّ الأصوات التي يصدرها الإنسان والآلات الموسيقية أكثر تعقيدًا، كالموجة في الجزء السفلي من التمثيل البياني في **الشكل 17**. وقد تتشابه كلتا الموجتين في التردد وطبقة الصوت، ولكن الصوتين مختلفين إلى حد كبير. وفي الحقيقة، تُعدّ موجة الصوت المعقدة تركيبًا من موجات ذات ترددات مختلفة. يعتمد شكل الموجة على السِعات النسبية لهذه الترددات، وتُكَوِّن مصادر الصوت المختلفة تراكيب ترددات مختلفة، ويُطلق على الاختلاف بين موجات الآلات الموسيقية اسم طابع الصوت أو جودة النغمة أو لونها.

تجربة مصغرة

جودة الأصوات

كيف يمكنك تحديد ما إذا كانت الآلة تمثّل مصدر رنين ذا أنبوب مفتوح الطرفين أم مصدر رنين ذا أنبوب مغلق الطرف؟

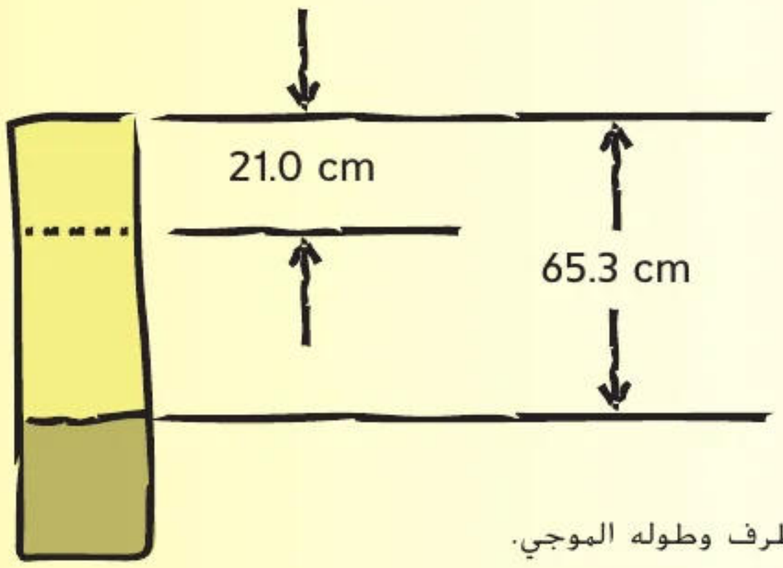


الشكل 17 يبين موجةً جيبيةً بسيطة تمثل صوتًا نقيًا تُصدِره شوكة رنانة. والجزء السفلي من التمثيل البياني يمثل صوتًا أكثر تعقيدًا تنتجه آلة مزمار.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 2

إيجاد سرعة الصوت باستخدام الرنين عند استخدام شوكة رنانة ترددها 392 Hz مع مصدر رنين ذي أنبوب مغلق الطرف، يُسمع أعلى صوت عندما يكون طول العمود 21.0 cm و 65.3 cm. كم تبلغ سرعة الصوت في هذه الحالة؟ هل درجة الحرارة أعلى أم أقل من درجة الحرارة العادية للغرفة والتي تساوي 20°C؟ وضح إجابتك.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مصدر رنين ذا أنبوب مغلق الطرف.
- حدّد اطوال عمود هواء الرنين.

المعلوم	المجهول
$f = 392\ \text{Hz}$	$v = ?$
$L_A = 21.0\ \text{cm}$	
$L_B = 65.3\ \text{cm}$	

2 حساب المجهول

أوجد قيمة الطول الموجي باستخدام المعادلة التي تربط بين طول أنبوب مغلق الطرف وطوله الموجي.

$$L_B - L_A = \frac{1}{2}\lambda$$

$$\lambda = 2(L_B - L_A)$$

► أعد ترتيب معادلة λ.

$$= 2(0.653\ \text{m} - 0.210\ \text{m})$$

► عوّض عن $L_B = 0.653\ \text{m}$, $L_A = 0.210\ \text{m}$.

$$= 0.886\ \text{m}$$

علمًا بأنّ $\lambda = \frac{v}{f}$

$$v = f \cdot \lambda$$

► أعد ترتيب معادلة v.

$$= (392\ \text{Hz})(0.886\ \text{m})$$

► عوّض عن $f = 392\ \text{Hz}$, $\lambda = 0.886\ \text{m}$.

$$= 347\ \text{m/s}$$

تكون السرعة أكبر قليلًا من سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20°C، وهذا يشير إلى أنّ درجة الحرارة أعلى قليلًا من درجة الحرارة العادية للغرفة.

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** $(\text{Hz})(\text{m}) = \left(\frac{1}{\text{s}}\right)(\text{m}) = \text{m/s}$. وحدات الإجابة صحيحة.
- **هل المقدار منطقي؟** تكون السرعة أعلى قليلًا من 343 m/s التي تمثّل سرعة الصوت عندما تكون درجة الحرارة 20°C.

تطبيقات

13. تُستخدَم شوكة رنانة ترددها 440 Hz مع عمود رنين لتحديد السرعة للصوت في غاز الهيليوم. إذا كان التباعد بين أطوال الرنين يساوي 110 cm، فكم تبلغ السرعة للصوت في غاز الهيليوم؟

14. إذا كان تردد شوكة رنانة غير معلوم، ولمعرفته استعمل طالب أنبوب هواء في درجة حرارة تصل إلى 27°C ووجد أنّ مقدار التباعد بين أطوال الرنين يساوي 20.2 cm. فما تردد هذه الشوكة الرنانة؟ استخدم سرعة الصوت في الهواء، في درجة الحرارة 27°C، المحسوبة في مثال "المسألة 2".

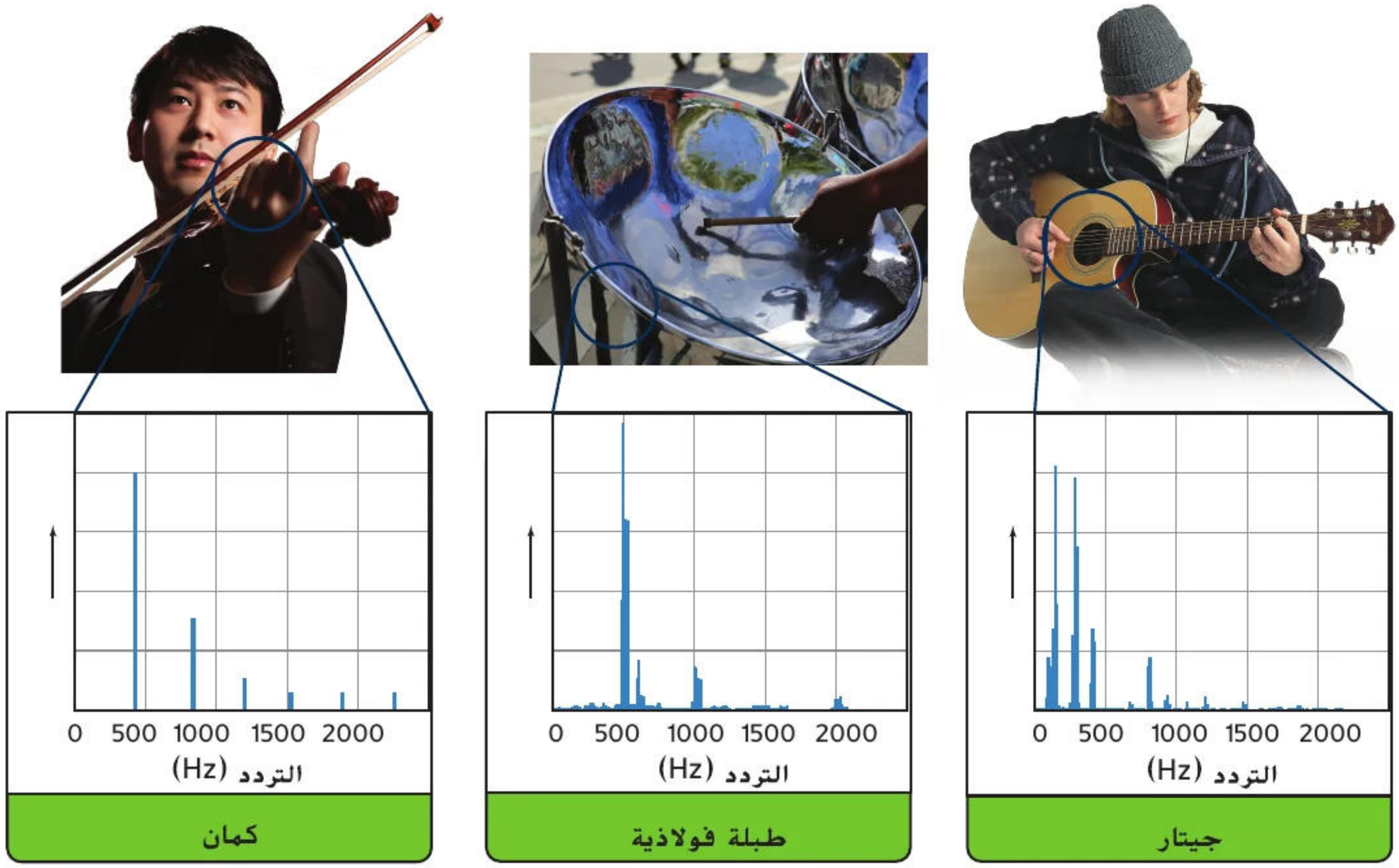
15. وُضِعَت شوكة رنانة ترددها 440 Hz فوق أنبوب مغلق الطرف. أوجد المسافات بين أطوال الرنين عندما تساوي درجة حرارة الهواء 20°C.

16. **تحفيز** يمكن اعتبار البوق أنبوبًا مفتوح الطرفين، إذا تم وضعه بشكل رأسي، سيكون طوله 2.65 m.

a. إذا كانت سرعة الصوت تساوي 343 m/s. أوجد أقل تردد لرنين البوق (تجاهل الأطراف).

b. أوجد ترددَي الرنين التاليين للبوق.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

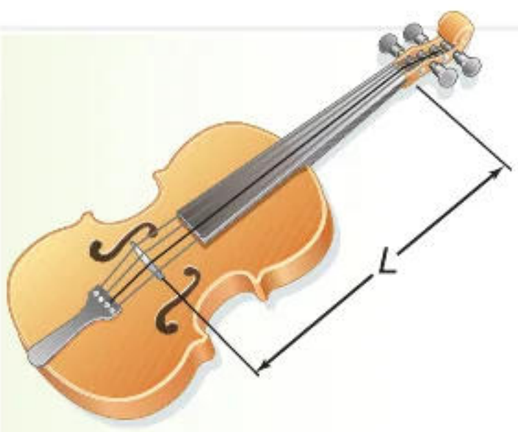


الشكل 18 تُصدِر آلات الجيتار والطبلة الفولاذية والكمان أطيافًا صوتية مميزة. ويكون كل طيف فريدًا من نوعه كما هو الحال في نغمة الآلة.

الطيف الصوتي: التردد الأساسي والتوافقيات نتجت الموجة الصوتية المعقدة الموضحة في **الشكل 17** عن آلة المزمار. لماذا يُنتِج المزمار مثل هذه الموجة الصوتية؟ يعمل أنبوب الهواء في المزمار كأنبوب مغلق الطرف. انظر مرة أخرى إلى **الشكل 13**، الذي يوضّح ثلاثة ترددات لرنين أنبوب مغلق الطرف. يعمل المزمار كأنبوب مغلق الطرف، لذا المزمار الذي طوله L، يكون أقل تردد للرنين (f_1) يساوي $\frac{v}{4L}$. وبالنسبة إلى الآلة الموسيقية، يُطلَق على أقل تردد للصوت يُحدِث رنينًا اسم **التردد الأساسي**. سيُحدث الأنبوب المغلق الطرف رنينًا عند $3f_1$ و $5f_1$ ...وهكذا. وهذه الترددات المرتفعة، هي مضاعفات فردية من التردد الأساسي، وتسمى **التوافقيات**. وإضافة هذه الإيقاعات معًا يعطي الصوت طابعًا مميزًا يسمى الجرس (نوع الصوت) Timber.

تعمل بعض الآلات مثل المزمار كمصادر رنين ذات أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون ترددها الأساسي الذي يمثّل أيضًا التوافقية الأولى هو $f_1 = \frac{v}{2L}$ مع توافقيات لاحقة عند $2f_1$ و $3f_1$ و $4f_1$... وهكذا. وتعطي التشكيلات المختلفة لهذه التوافقيات صوتًا مميزًا لكل آلة. يسمى الجرس (نوع الصوت) Timber ويكون لكل توافقية سعة مختلفة، ويُسمى التمثيل البياني لتغيرات سعة الموجة والتردد بالطيف الصوتي (النغمة الموسيقية). يوضّح **الشكل 18** الطيف (النغمة الموسيقية) للآلات الثلاث.

التحدي في الفيزياء



1. أوجد مقدار الشد، F_T، في وتر كمان كتلته m وطوله L ويصدر التردد الأساسي عند التردد نفسه الذي يصدره أنبوب مغلق الطرف طوله L. عبّر عن إجابتك بدلالة بـ m و L وسرعة الصوت في الهواء، v. استخدم معادلة سرعة موجة في وترٍ الآتية:

$$v_{\text{وتر}} = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

حيث F_T هي قوة الشد في الوتر و μ هي الكتلة لكل وحدة طول للوتر.

2. ما مقدار قوة الشد في وتر كتلته 1.0 g وطوله 40.0 cm ويُصدر النغمة نفسها كأنبوب مغلق الطرف له الطول نفسه؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

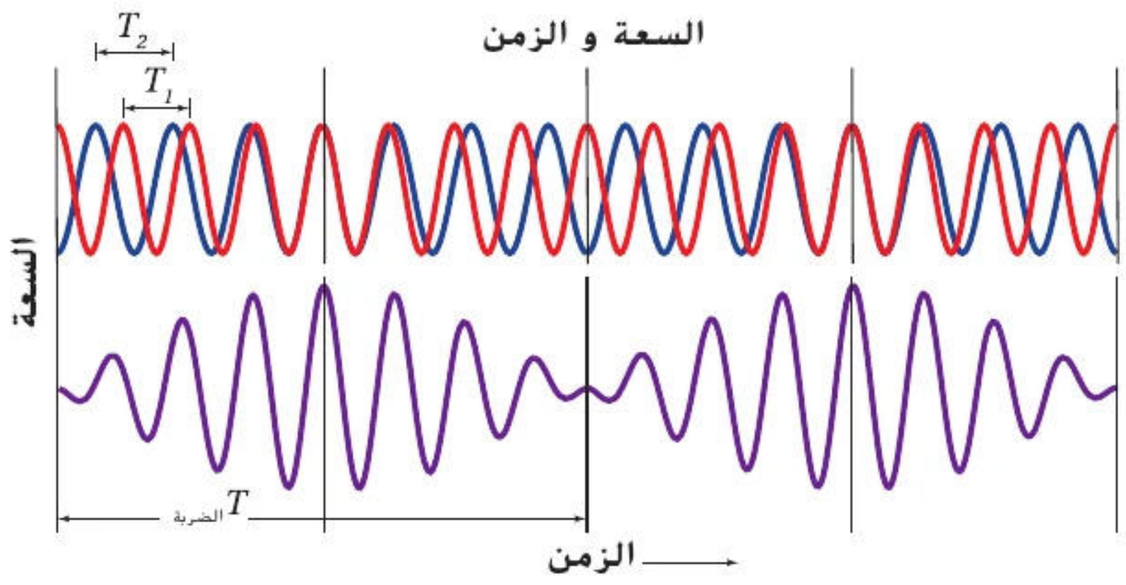
التناغم والنشاز عندما تُعزَف طبقتا صوت مختلفتان في الوقت نفسه، يكون الصوت الناتج ممتعًا أو منفرًا. وفي الموسيقى يطلق على طبقات الصوت التي تُعزف معًا اسم النغمات المتآلفة، وتسمى مجموعة طبقات الصوت المزعجة **بالنشاز**. إذا كان المزج بين طبقات الأصوات ممتعًا، يقال إنّ الأصوات في حالة **تناغم**. يختلف مدى الإعجاب بالأصوات بين الثقافات، ولكن تستند معظم الموسيقى الغربية إلى ملاحظات فيثاغورس في الحضارة اليونانية القديمة، حيث لاحظ أنّ الأصوات الممتعة تَنتِج عندما تكون أطوال الأوتار بنسب صغيرة لأعداد صحيحة، مثل 1:2 أو 2:3 أو 3:4. ويعني هذا أنّ طبقات أصواتها (تردداتها) ستكون أيضًا بنسب صغيرة لأعداد صحيحة.

الفواصل الموسيقية يقال عن النغمتين التي ترتبط ترددانهما بنسبة 1:2 أنهما تتختلفان بمقدار جواب (ثامن درجة في السلم الموسيقي). على سبيل المثال، إذا كان تردد نغمة موسيقية يساوي 440 Hz، فسيكون تردد النغمة الموسيقية الأعلى بمقدار جواب واحد يساوي 880 Hz. يرتبط التردد الأساسي وتوافياته بالجوابات، حيث تكون التوافقية الأولى أعلى من التردد الأساسي بمقدار جواب واحد، بينما تكون التوافقية الثانية أعلى بمقدار جوابين وما إلى ذلك. ويُحدَّد الفاصل الموسيقي بنسبة ترددين وليس بحجم الفاصل (التباعد) بينهما.

قد تقترب نغمة من أخرى في فواصل موسيقية أخرى. فعلى سبيل المثال، تكون نسبة ترددات "الثالثة إلى الأساسية" 4:5. ومن الأمثلة على ذلك، النغمتان الموسيقيتان C و E. بما أنّ تردد النغمة الموسيقية C هو 262 Hz، إذًا سيكون تردد E هو $\left(\frac{5}{4}\right)(262\ \text{Hz}) = 327\ \text{Hz}$. وبالطريقة نفسها، تكون نسبة تردد النغمات في "النغمة الرابعة" (C و F) هي 3:4، ونسبة التردد في "النغمة الخامسة" (C و G) هي 2:3. كما يمكن لأكثر من نغمتين تصدران صوتًا معًا أن تُحدِثا تناغمًا. فمثلاً تُنتِج النغمات الموسيقية الثلاث التي تُسمى "دو" و"مي" و"صول" نغمة رئيسة متآلفة. ومنذ 2500 سنة على الأقل، أقرت الموسيقى الغربية بأنّ هذه النغمة أجمل النغمات الموسيقية الثلاث، حيث تبلغ نسبة ترددها 4:5:6.

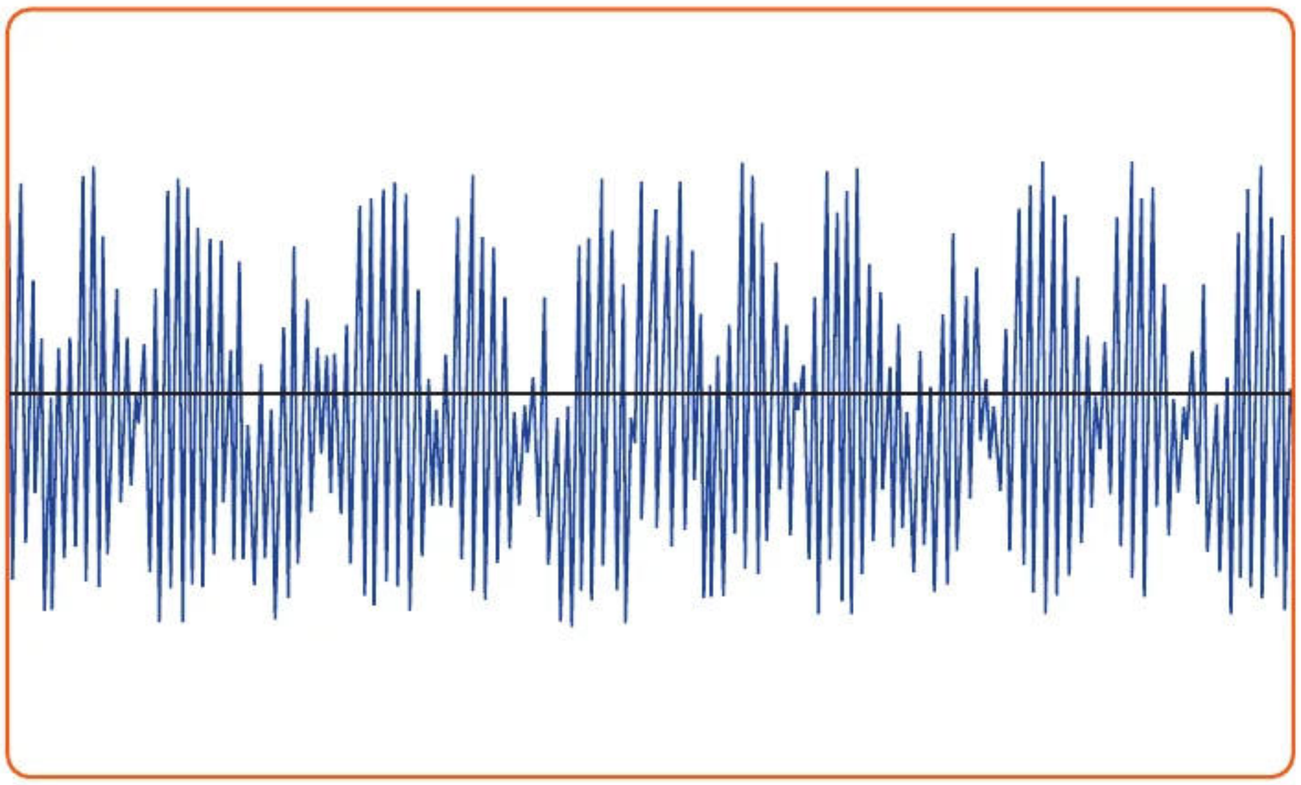
الضربات

لاحظت أنّ التناغم يُحدد من حيث نسبة الترددات. فعندما تكون تصبح النسبة 1:1 تقريبًا، تصبح الترددات قريبة جدًا بعضها من بعض. وإذا كان هنالك ترددان متماثلان تقريبًا، فإنهما يتداخلان لإنتاج مستويات صوتية مرتفعة ومنخفضة تسمى **الضربة**. تتضح هذه الظاهرة في **الشكل 19**. إذ أن تردد الضربة هو مقدار الفرق بين ترددات الموجتين، $f_{\text{ضربة}} = |f_A - f_B|$ وعندما يكون الفرق أقل من 7 Hz، تستشعر الأذن هذا الصوت على هيئة نبض لشدة الصوت. وغالبًا ما تُضبَط نغمات الآلات الموسيقية عن طريق تشغيل صوت آلة مقابل الأخرى وضبط تردد واحدة منهما لحين اختفاء الضربة.



الشكل 19 تحدث الضربات نتيجة لتراكب موجتين صوتيتين لهما ترددات مختلفة قليلًا.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 20 تتكوّن موجة الضجيج من العديد من الترددات المختلفة وتكون جميعها بالسعة نفسها تقريبًا.

مونتاج الصوت والضجيج

عندما تستمع إلى فرقة موسيقية بصورة مباشرة تسمع موسيقى تصدر مباشرة من صوت إنسان أو آلات موسيقية. وربما أنك ترغب في سماع الموسيقى في صورة مباشرة في كل مرة تريد أن تستمع فيها إلى الموسيقى. ولكنك في أغلب الأحيان تستمع إلى الموسيقى التي تم تسجيلها ويتم تشغيلها عبر أنظمة إلكترونية. ولإعادة إنتاج الصوت المسجل بصورة واضحة، يجب أن يلائم النظام الترددات كلها بالتساوي. ويحافظ نظام الستريو الجيد على سعات الترددات التي تتراوح بين 20 و 20,000 Hz وضمن مدى مقداره 3 dB.

أما نظام الهاتف فيحتاج إلى نقل المعلومات باللغة المنطوقة فقط. وتكون الترددات التي تتراوح بين 300 و 3000 Hz كافية. ويساعد تقليل عدد الترددات الموجودة على الحد من الضجيج. ويوضح **الشكل 20** موجة ضجيج، يظهر فيها العديد من الترددات بالسعة نفسها تقريبًا. على الرغم من أنّ الضجيج في نظام الهاتف غير مضر، يدَّعي بعض الأشخاص أنّ الضجيج الأبيض له تأثير مهدئ. ولهذا السبب، يستخدم بعض أطباء الأسنان الضجيج لمساعدة مرضاهم على الاسترخاء.

☑ **التأكد من فهم النص** **صِف** موجة الضجيج.

القسم 2 مراجعة

17. **الفكرة الرئيسة** أي الآتية يهتز ويصدر أصواتا؟
    a. صوت الإنسان
    b. المزمار
    c. الناي
    d. الكمان
18. **الرنين في أعمدة الهواء** ما السبب في أنّ الأنبوب المصنوع منه آلة الناي أطول بكثير من أنبوب آلة البوق؟
19. **الرنين في الأنابيب المفتوحة** كم ينبغي أن يكون طول أنبوب مفتوح الطرفين بالمقارنة مع الطول الموجي للصوت، لحدوث الرنين الأول؟
20. **الرنين في الأوتار** يُصدِر الكمان نغمة F ترددها 370 Hz. ما ترددات التوافقيات الثلاثة اللاحقة التي تَنتِج في هذه النغمة الموسيقية؟
21. **الرنين في الأنابيب مغلقة الطرف** يبلغ طول أحد الأنابيب مغلقة الطرف في آلة الأرغن 2.40 m.
    a. ما تردد النغمة الموسيقية المعزوفة بواسطة هذا الأنبوب؟
    b. عندما يُستخدم أنبوبٌ ثانٍ في العزف في الوقت نفسه، تُسمع نغمة موسيقية ترددها 1.40 Hz. ما مقدار في طول الأنبوب الثاني في فترة العزف؟
22. **النغمة** لماذا تُصدِر الآلات المتنوعة أصواتًا مختلفة حتى عندما تعزف النغمة الموسيقية نفسها؟
23. **الضربات** تُنتِج شوكة رنانة ثلاث ضربات في الثانية مع شوكة رنانة ثانية ترددها 392 Hz. ما تردد الشوكة الرنانة الأولى؟
24. **التفكير الناقد** اطرق شوكة رنانة بمطرقة مطاطية ثم أمسك الشوكة وذراعك ممدودة، اضغط بها من خلال مقبضها على طاولة، وباب، وخزانة، وغيرها من الأجسام الأخرى. ماذا تسمع؟ لماذا؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

نقاء الصوت

الصوتيات في المسرح

يتكوّن المسرح اليوناني القديم في إبيدوراس، الظاهر في **الشكل 1**، من 55 صفًا منحنيًا من المقاعد المصنوعة من الحجر الجيري ويمكنه استيعاب 14,000 شخص. حيث شُيد في القرن الرابع قبل الميلاد، وأثار لغز كبير اهتمام علماء الصوتيات: كيف يمكن سماع أصوات الممثلين بدرجة واضحة جدًا في مقاعد الصف الخلفي للمسرح بدون الاستعانة بمكبرات الصوت؟

يكمن اللغز بأكمله في المقاعد. افترض البعض أنّ الموسيقى والأصوات كانت تُنقل إلى مسافة بعيدة مقارنة بالمسارح الأخرى نظرًا إلى الرياح السائدة المحلية. اعتقد آخرون أنّ اليونانيين استخدموا أقنعة خاصة ساعدت على إبراز أصوات الممثلين. وفكّر الكثيرون أيضًا في أنّ ميل مقاعد المسرح ساهم بطريقة ما في الصوتيات المذهلة الصادرة من المسرح.

الأبحاث الحديثة تبين أنّ المقاعد تؤدي دورًا كبيرًا في ذلك. واكتشف الباحثون أنّ شكل المقاعد ووضعها والمواد التي صنعت منها تتمتع كلها بخصائص صوتية مفيدة. تمتص المقاعد الموجودة في هذا المسرح الترددات الصوتية الصادرة من لغط الجمهور والأصوات الأخرى كصوت الرياح. وفي الوقت نفسه، تعكس مقاعد الصف الأمامي أصوات الممثلين في اتجاه مقاعد الصف الخلفي. إن هذا الجمع بين طرح الأصوات غير المرغوب فيها وإبراز الأصوات المرغوب فيها يعني أنه بإمكانك الاستمتاع بالمسرحية حتى في المقاعد "الأقل تكلفة".

الشكل 1 لا يزال بإمكان أفراد الجمهور الذين يجلسون في الصفوف الخلفية الأكثر بُعدًا عن المسرح سماع أصوات الممثلين على خشبة المسرح، بدون الاستعانة بميكروفونات. ويرجع ذلك إلى الصوتيات المميزة في المسرح.

اكسبو 2020

الابتكارات المتقاربة هل يمكنك التفكير في أمثلة أخرى من الأفكار أو المشاريع أو الحلول التي تستخدم أنواعًا مختلفة من الابتكارات معًا؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 6 دليل الدراسة

الفكرة الرئيسة إنّ الموجات الصوتية عبارة عن تغيّرات في الضغط ويمكن أن تستشعر أذن الإنسان الكثير منها.

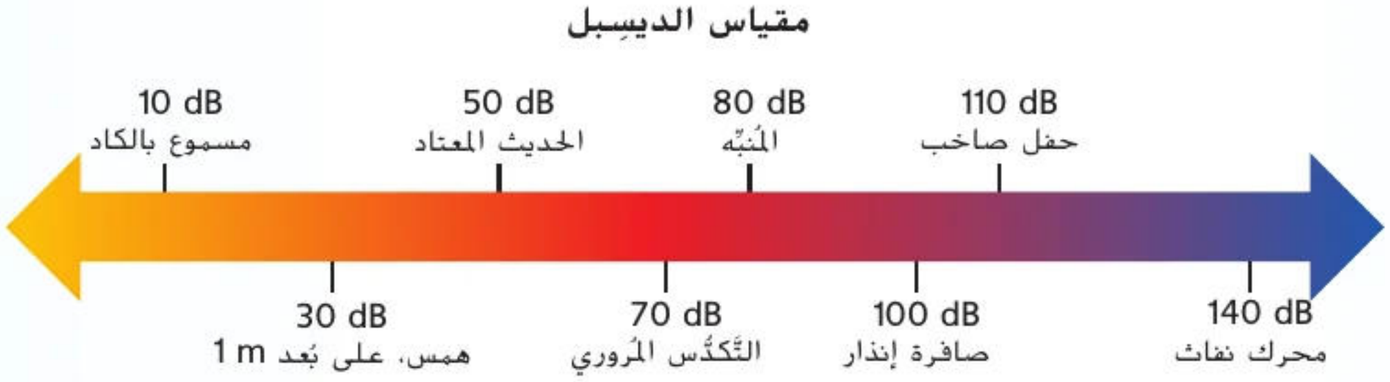
القسم 1 خصائص الصوت والكشف عنه

المفردات

- الموجة الصوتية sound wave
- درجة (حدة) الصوت pitch
- ارتفاع الصوت loudness
- مستوى الصوت sound level
- ديسِبل decibel
- تأثير دوبلر doppler effect

الفكرة الرئيسة يعتمد إدراكنا للموجة الصوتية على الخصائص الفيزيائية للموجة.

- إنّ الصوت عبارة عن تغيّرات في الضغط تنتقل عبر المادة في هيئة موجة طولية. يكون لموجة الصوت تردد وطول موجي وسرعة وسعة. تنعكس الموجات الصوتية وتتداخل مع بعضها.
- تُحوّل كاشفات الصوت الطاقة التي تحملها موجة صوتية إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. تُعدّ أذن الإنسان كاشفًا ذا كفاءة عالية وحساسية شديدة للموجات الصوتية. تعتمد حدة الصوت اعلى تردد الموجة الصوتية. وتعتمد شدة الصوت بصورة أساسية عندما يدركها كل من الأذن والدماغ على سعتها. يمكن قياس سعة ضغط الموجة الصوتية بوحدة الديسِبل (dB).



- يُعرف تأثير دوبلر بأنه تغيّر في تردد الصوت الناتج عن حركة المصدر أو المراقب.
- يُستخدَم تأثير دوبلر في الرادار والأجهزة الطبية للموجات فوق الصوتية ومن قِبل علماء الفلك. تَستخدِم الخفافيش أيضًا تأثير دوبلر للكشف عن الحشرات الطائرة والتقاطها.

القسم 2 الفيزياء والموسيقى

المفردات

- الرنين في انبوب مغلق الطرف closed-pipe resonator
- الرنين في انبوب مفتوح الطرفين open-pipe resonator
- التردد الأساسي fundamental
- التوافقيات harmonics
- النشاز dissonance
- تناغم consonance
- الضربة beat

الفكرة الرئيسة تتكوّن الموسيقى من موجات صوتية وتَصدُر عن الأجسام المهتزة.

- يَصدُر الصوت عن جسم مهتز في وسط ما.
- يمكن لعمود الهواء أن يُحدِث رنينًا مع مصدر صوت مما يزيد من سعة الصوت. يُصدِر الأنبوب مغلق الطرف رنينًا عندما يبلغ طوله $\frac{\lambda}{4}$ و $\frac{3\lambda}{4}$ و $\frac{5\lambda}{4}$ وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات فردية للتردد الأساسي. يُصدِر الأنبوب مفتوح الطرفين رنينًا عندما يبلغ طوله $\frac{\lambda}{2}$ و $\frac{2\lambda}{2}$ و $\frac{3\lambda}{2}$ ...وهكذا. تكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي.
- يكون للوتر المُثَبت عقدة عند كل طرف ويُصدِر رنينًا عندما يبلغ طوله $\frac{\lambda}{2}$ و $\frac{2\lambda}{2}$ و $\frac{3\lambda}{2}$ ...وهكذا. كما يحدث مع الأنبوب مفتوح الطرفين. تكون ترددات رنين الوتر مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي.
- تُحدِد ترددات الموجات المعقدة الناتجة من آلة موسيقية ودرجات شدتها الجرس (نوع الصوت) الذي يُعدّ أحد خصائص هذه الآلة.
- تتداخل موجتان لهما التردد نفسه تقريبًا لتكوين الضربات.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 1

خصائص الصوت والكشف عنه

إتقان المفاهيم

25. ما الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية؟

26. عند قياس زمن الجري لمسافة مقدارها 100 m. يُطلب من المراقبين عند خط النهاية تشغيل ساعات الإيقاف في اللحظة التي يرون فيها دخانًا منبعثًا من المسدس الذي يُطلِق إشارة الانطلاق لا في اللحظة التي يسمعون فيها صوت الإطلاق منه. فسر ذلك. ماذا سيحدث للأزمنة التي يجري خلالها العداؤون في حال البدء في قياسها عند سماع الصوت المنطلق من المسدس؟

27. **الفكرة الرئيسة** اذكر نوعين من أنواع إدراك الصوت والخصائص الفيزيائية المرتبطة معها.

28. هل يحدث انزياح دوبلر لبعض أنواع الموجات فقط أم لأنواع الموجات كلها؟

29. الموجات فوق السمعية ذات ترددات أعلى من الترددات التي تسمعها أذن الإنسان، وينقلها جسم الإنسان. كيف يمكن استخدام الموجات فوق السمعية لقياس سرعة تدفق الدم في الشرايين والأوردة؟ بيّن كيف تتغير الموجات لتجعل هذا القياس ممكنًا.

إتقان حل المسائل

30. إذا سمعت صوت إطلاق النار من مدفع بعيد بعد رؤية الوميض المنبعث منه بفترة قدرها 5.0 s. فكم يبعد عنك المدفع؟

31. إذا صرخت في وادٍ وسمعت صدى الصوت بعد مرور 3.0 s، فما مقدار بعد حافة الوادي عنك؟

32. موجة صوتية ترددها 4700 Hz. إذا انتقلت عبر ساق فولاذي، وكانت المسافة بين التضاغطات المتتالية 1.1 m، كم تبلغ سرعة الموجة؟

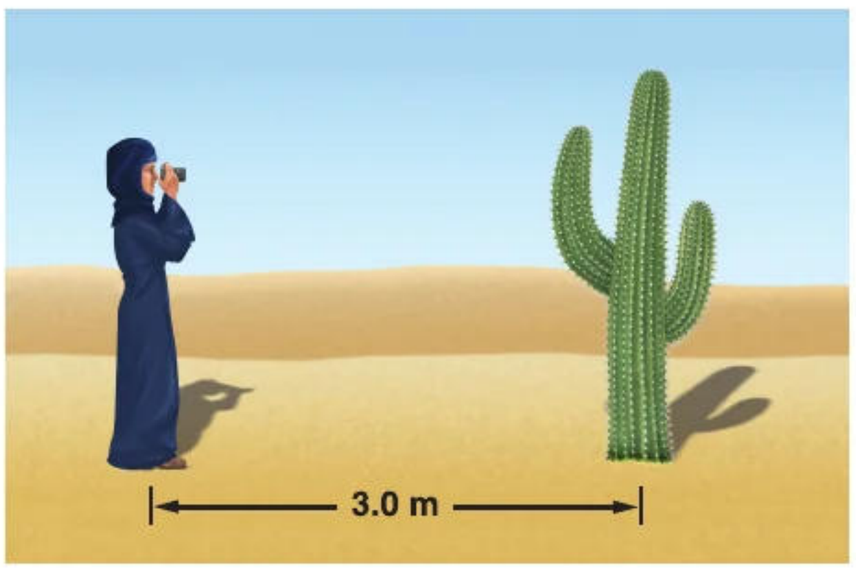
33. **الخفافيش** إذا كان الطول الموجي للموجات الصوتية التي تُطلقِها الخفافيش يساوي 3.5 mm. فكم يبلغ تردد الصوت في الهواء؟

34. صوت تردده 261.6 Hz ينتقل في ماء درجة حرارته 25°C. أوجد الطول الموجي للموجات الصوتية في الماء. لا تخلط بين الموجات الصوتية التي تتحرّك في الماء والموجات السطحية التي تتحرّك فيه.

35. الطول الموجي لصوت تردده 4.40×10^2 Hz يساوي 3.30 m. فكم تبلغ سرعة الصوت في الماء العذب؟

36. سيارة إطفاء تتحرّك بسرعة 35 m/s وتتحرّك سيارة أخرى أمام سيارة الإطفاء في الاتجاه نفسه بسرعة 15 m/s. إذا انطلق صوت صافرة سيارة الاطفاء بتردد 327 Hz، فما التردد الذي يسمعه سائق السيارة التي أمامها؟

37. **التصوير الفوتوغرافي** تستطيع بعض الكاميرات أن تحدد بعد الجسم عن طريق إرسال موجة صوتية وقياس الزمن اللازم لعودة الصدى إلى الكاميرا، كما هو مبين في **الشكل 21**. فما الزمن الذي استغرقته الموجة الصوتية للعودة إلى مثل هذه الكاميرا إذا كان الجسم يبعد 3.00 m؟



الشكل 21

38. ينتقل صوت تردده 442 Hz عبر ساق حديدية. أوجد الطول الموجي للموجات الصوتية في الحديد.

39. **الطائرة** مازن هو أحد الموظفين الذين يعملون في المطار بالقرب من طائرة نفاثة على وشك الإقلاع. تعرّض لمستوى صوت مقداره 150 dB.

a. إذا كان مازن يرتدي أدوات حماية للأذن لتقليل مستوى الصوت إلى مستوى الصوت 110dB؟

b. إذا سمع مازن بعد ذلك صوتًا ما مثل الهمس الذي يكاد يُسمع بصعوبة. فما الصوت الذي سيسمعه شخص لا يرتدي أدوات لحماية الأذن؟

40. **الموسيقى** فرقة موسيقية تُنشِد بصوت مستواه 80 dB. ما مقدار الزيادة في ضغط الصوت الصادر من فرقة موسيقية أخرى تعزف عند كل من مستويات الصوت التالية؟

a. 100 dB

b. 120 dB

41. يهتز نابض حلزوني للعبة بتردد مقداره 4.0 Hz بحيث تتم ملاحظة موجات مستقرة طولها الموجي 0.50 m. ما سرعة انتشار الموجة؟

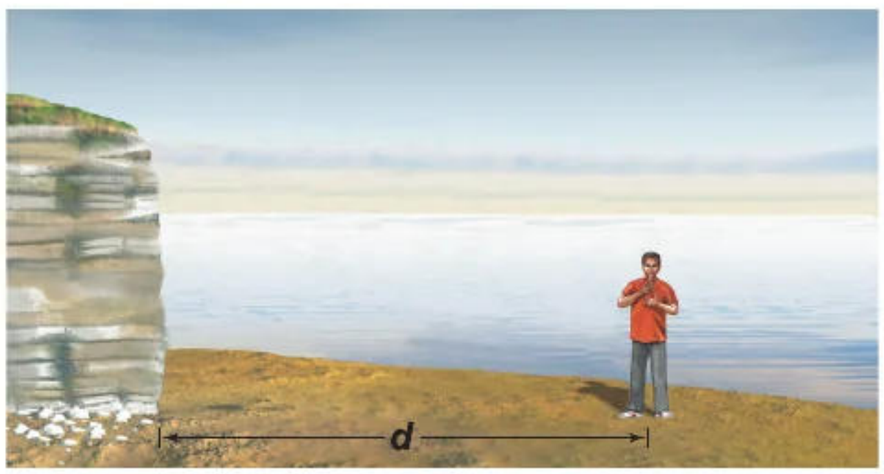
42. **سرعة الصوت** يجلس أحد مشجعي مباراة كرة البيسبول في يوم صيف دافئ درجة حرارته (30°C) على المدرجات بعيدًا عن دائرة وسط الملعب بمسافة 152 m.

a. ما سرعة الصوت في الهواء عندما تبلغ درجة الحرارة 30°C؟

b. ما الفترة الزمنية التي يحتاج إليها المشجع ليسمع صوت الضربة بعد مشاهدة ضرب اللاعب لها؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

43. وقف شخص على بُعد (d) من جرف صخري، كما هو موضّح في **الشكل 22**، وكانت درجة الحرارة 15°C وصفق بيديه، فسمع صدى صوته بعد 2.0 s. كم يبعد عن الجرف؟



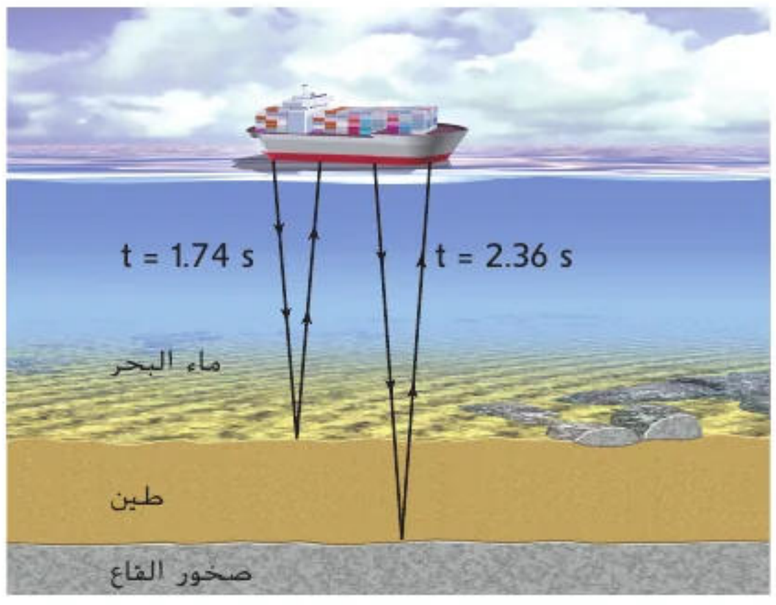
الشكل 22 (الرسم ليس مقياسًا)

44. التصوير الطبي يمكن استخدام الموجات فوق السمعية ذات التردد 4.25 MHz لالتقاط صور لجسم الإنسان. إذا كانت سرعة الصوت في الجسم هي نفسها في الماء المالح، وتساوي 1.50 km/s، فما الطول الموجي لموجة ترددها 4.25 MHz في الجسم؟

45. السونار تمسح سفينة قاع المحيط وتُرسِل موجات سونار مباشرة من السطح إلى قاع البحر. وكما هو موضّح في **الشكل 23**، تستقبل السفينة الانعكاس الأول عن الطين عند قاع البحر بعد زمن 1.74 s من إرسال الموجات. ويصل الانعكاس الثاني عن الصخور تحت الطين بعد زمن 2.36 s. إذا كانت درجة حرارة ماء البحر 25°C، وتبلغ سرعة الصوت في الطين 1875 m/s.

a. ما عمق الماء؟

b. ما سُمك طبقة الطين؟



الشكل 23 (الرسم ليس مقياسًا)

46. حدد مقدار الزيادة في ضغط الصوت في محادثة تُجرى عند مستوى صوت يصل إلى 60 dB مقارنة بأرق صوت مسموع.

47. تحرّك قطار في اتجاه مراقب بسرعة 31.0 m/s وأطلق صافرة ترددها 305 Hz. فما التردد الذي يستقبله المراقب في كل من الحالات التالية؟

a. قطار ثابت

b. قطار يتحرّك في اتجاه القطار الأول بسرعة 21.0 m/s

48. إذا تحرك القطار في المسألة السابقة بعيدًا عن المراقب. فما التردد الذي يستقبله في كل من الحالات التالية؟

a. قطار ثابت

b. قطار يتحرك بعيدًا عن القطار الأول بسرعة 21.0 m/s

القسم 2 الفيزياء والموسيقى

إتقان المفاهيم

49. ماذا يلزم لإنتاج الصوت وانتقاله؟

50. الصوت كيف يُمكِن لنغمة موسيقية معينة في حفل أن تتسبب في تحطيم زجاج كريستال؟

51. المشاة في الجيش، عندما يقترب جنود المشاة من الجسر، يُصدَر أمر يتيح لهم "السير". بحركات غير منتظمة بينما يعبرون الجسر. اشرح سبب ذلك.

52. الآلات الموسيقية لماذا لا تبدو معظم الآلات الموسيقية مثل الشوكات الرنانة؟

53. الآلات الموسيقية ما الخاصية التي تميّز النوتات الموسيقية التي تُعزف على البوق ومزمار بعضهما عن بعض إذا كانت درجة الصوت وشدته واحدة بالنسبة إليهما؟

54. آلات الترومبون اشرح طريقة تغيير انزلاق الترومبون، كما هو موضّح في **الشكل 24**، درجة الصوت في أنبوب الرنين في آلة الترمبون.

الشكل 24

إتقان حل المسائل

55. إذا كان تردد صوت شوكة رنانة يساوي 445 Hz. وعند النقر على شوكة ثانية، تُصدِر نغمات ترددها 3 Hz. فما الترددان المحتملان للشوكة الثانية؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التقويم

56. أنبوب في وضع رأسي مملوء بالماء وله صنبور عند قاعدته. تهتز شوكة رنانة فوق فوهته. إذا سُمِع صوت رنين عندما انخفض مستوى الماء بمقدار 17 cm وإذا سمع صوت رنين مرة أخرى عندما انخفض مستوى الماء عن فوهة الأنبوب بمقدار 49 cm. فما تردد الشوكة الرنانة؟

57. السمع لدى الإنسان تعد القناة السمعية التي تؤدي إلى طبلة الأذن أنبوبًا مغلقًا طوله 3.0 cm. أوجد القيمة التقريبية لأقل تردد للرنين.

58. إذا أمسكت ساقا من الألمنيوم طوله 1.2 m من المنتصف ونقرت على أحد طرفيه بمطرقة، فهتز كأنه أنبوب مفتوح الطرفين. ونظرًا إلى توافق بطون الضغط مع عُقد الحركة الجزيئية، يتكون بطن عند منصف الساق، وإذا كانت سرعة الصوت في الألمنيوم تساوي 6420 m/s. ما أقل تردد لتذبذب الساق؟

59. مهمة التصنيف صنِّف النغمات التالية وفقًا للطول الموجي من الأصغر إلى الأكبر. .

A. 35 Hz	**D.** 100 Hz
B. 50 Hz	**E.** 140 Hz
C. 83 Hz	

60. آلات المزمار يشبه المزمار أنبوبًا مغلق الطرف. إذا أصدرت آلة المزمار نغمة بدرجة صوت ترددها 370 Hz، فما ترددات التوافقيات الثلاث الأولى التي تُنتِجها هذه الآلة؟

61. الآلات الوترية إذا كان طول وتر جيتار يساوي 65.0 cm ويتم ضبطه ليصدر أقل تردد 196 Hz.

a. فما سرعة الموجة على الوتر؟

b. ما أعلى ترديين متتاليين للرنين الذي يُنتِجه هذا الوتر؟

62. الآلات الموسيقية إذا كان تردد أقل نغمة على آلة الأرغن يساوي 16.4 Hz.

a. ما أقصر أنبوب مفتوح الطرفين في الأرغن سيُحدِث هذا التردد؟

b. ما درجة الصوت التي ستَنتِج إذا كان أنبوب الأرغن نفسه مغلقًا؟

63. الآلات الموسيقية تُصدِر آلتان موسيقيتان النغمة A (440.0 Hz). عند العزف عليهما، يُسمع صوت تردده 2.5 Hz. إذا افترضنا أنّ آلة واحدة تُصدِر درجة الصوت الصحيحة، فما تردد درجة الصوت التي تُصدِرها الآلة الثانية؟

64. الآلات الموسيقية يبلغ طول أنبوب مفتوح الطرفين في آلة الأرغن 836 mm. إذا كانت درجة صوت الأنبوب الثاني المفتوح إحدى نغمات النغمة الثالثة العليا، كم سيبلغ طول الأنبوب الثاني؟

65. يوضّح **الشكل 25** أنبوبًا بلاستيكيًا مرنًا طوله 0.85 m. عندما يهتز، ينتج نغمة درجة صوتها أقل من درجة صوت أنبوب مفتوح الطرفين بهذا الطول. ما تردد النغمة؟

الشكل 25

66. إذا اهتز الأنبوب في المسألة السابقة بسرعة أكبر وأنتج درجة صوت أعلى، فما التردد الجديد للنغمة؟

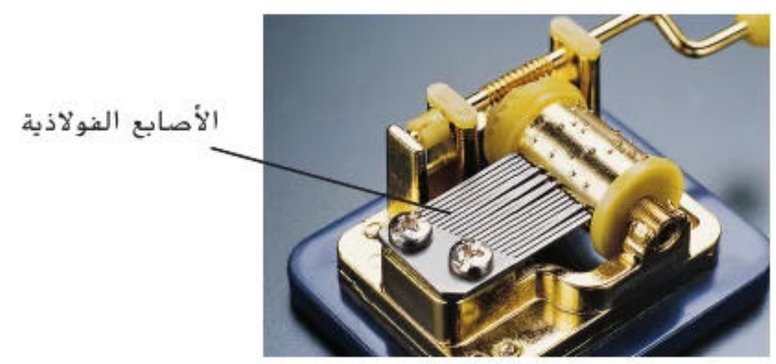
67. سعة موجة ضغط أثناء محادثة عادية هي 0.020 Pa.

a. إذا كانت مساحة طبلة الأذن تساوي $0.52\ cm^2$، فما القوة المؤثرة في الطبلة؟

b. إذا كانت الفائدة الميكانيكية للعظام الثلاث الموجودة في الأذن الوسطى تساوي 1.5. إذا انتقلت القوة في الفقرة السابقة a كاملة إلى العظام، فما القوة التي تؤثر بها العظام في الفتحة البيضاوية التي تمثل الغشاء الذي ترتبط به العظمة الثالثة؟

c. إذا كانت مساحة الفتحة البيضية تساوي $0.026\ cm^2$. فما مقدار الزيادة في الضغط الذي يُنقَل إلى السائل في القوقعة؟

68. يوضّح **الشكل 26** صندوقًا موسيقيًا يحتوي على مجموعة من الأصابع الفولاذية المربوطة عند أحد الطرفين ويتم النقر عليها من الطرف الآخر بدبابيس على أسطوانة دوارة. ما سرعة الموجة على إصبع طوله 2.4 cm ويصدر نغمة ترددها 1760 Hz؟



الشكل 26

تطبيق المفاهيم

69. تزداد سرعة الصوت بمقدار 0.6 m/s لكل درجة سيليزية عندما ترتفع درجة حرارة الهواء. ماذا يحدث لكل مما يلي بالنسبة إلى صوت معين عندما تزداد درجة الحرارة؟

a. التردد

b. طول الموجة

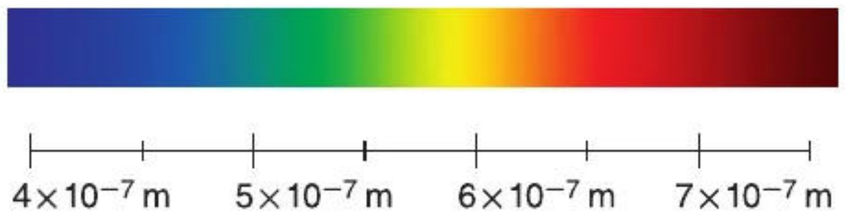
70. لصوت مستوًى يبلغ 40 dB هل معامل التغير في ضغطه 100 أم 40 مقارنة في ضغط صوت عند عتبة السمع؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

71. **التقدير** لتقدير المسافة بينك وبين وميض البرق بالكيلومترات، قم بعدّ الثواني بين وميض البرق الذي تشاهده والرعد الذي تسمعه واقسمها على 3. اشرح كيف تُعدّ هذه القاعدة مجدية. ابتكر قاعدة أخرى للأميال.

72. **الأفلام** انفجر قمر صناعي في فيلم خيال علمي. سمع طاقم سفينة فضائية قريبة صوت الانفجار وشاهدوه على الفور. في حال تم تعيينك مستشار، ما الخطآن الفيزيائيان اللذان تلاحظهما وتعيّن عليك تصحيحهما؟

73. **الانزياح نحو الأحمر** لاحظ علماء الفلك أنّ الضوء المنبعث من المجرات البعيدة يبدو أكثر احمرارًا عن الضوء المنبعث من المجرات القريبة. يمكنك الاستعانة **بالشكل 27** الذي يوضّح الطيف المرئي لتفسير السبب وراء استنتاج العلماء أنّ المجرات البعيدة تتحرّك مبتعدة عن الأرض.



الصورة 27

74. **مسألة معكوسة** اكتب مسألة فيزيائية تتضمن أجسامًا من واقع الحياة، وعلى أن تمثل المعادلة التالية جزءًا من الحل المطلوب لها:

$$440\ \text{Hz} = \frac{442\ \text{Hz}\ (343\ \text{m/s} - v_d)}{343\ \text{m/s}}$$

75. إذا زادت درجة الصوت، فما التغيّر الذي يحدث لكل مما يلي؟

a. التردد

b. طول الموجة

c. السرعة للموجة

d. السعة

76. **تغيّرات في درجة الحرارة** إذا كانت سرعة الصوت تزداد بزيادة درجة الحرارة. فهل ستزداد درجة صوت أنبوب مغلق الطرف أم ستقل عندما ترتفع درجة الحرارة في الهواء؟ افترض أنّ طول الأنبوب لم يتغيّر.

77. **الفرق الموسيقية العسكرية** يُلحِّن عازفان على مزمارين. إذا كنت تسمع تردد النبضة يزداد، فهل تردد المزمارين سيتقارب أم سيتباعد؟

78. **الآلات الموسيقية** تُصدر آلة أرغن مغطاة نغمة معينة. في حال إزالة الغطاء ليصبح الأنبوب مفتوح الطرفين، هل ستزداد درجة الصوت أم ستقل؟

79. **الآلات الوترية** يوضّح **الشكل 28** قيثارًا فيه أوتار طويلة تُصدر نغمات منخفضة، وأوتارًا قصيرة تُصدر نغماتٍ مرتفعة. ويوضح **الشكل 28** أيضًا جيتارًا أوتاره متساوية في الطول. كيف يمكن أن تُصدِر هاتان الآلتان ألحانًا بدرجات صوت مختلفة؟

الشكل 28

مراجعة عامة

80. **طرح المسألة** أكمل هذه المسألة بحيث تُحَل باستخدام تأثير دوبلر: "ظل بوق سيارة يُصدِر صوتا تردده 500 Hz لفترة طويلة. . . ."

81. إذا ألقيت حجرًا في بئر عمقها 122.5 m كما هو موضّح في **الشكل 29**، فما الفترة الزمنية التي ستسمع بعدها ارتطام الحجر بقاع البئر؟

الشكل 29

82. في أمريكا الشمالية، إذا كانت إحدى درجات الحرارة المرتفعة التي سُجِلت في الخارج هي 57°C وكانت درجة الحرارة المنخفضة هي 62°C−. فما سرعات الصوت في درجات الحرارة هذه؟

83. تستخدم سفينة موجات سونار بتردد 22.5 kHz. إذا كانت سرعة الصوت في ماء البحر تساوي 1533 m/s. فما مقدار التردد الذي يصل إلى السفينة بعد انعِكاسه من حوت يتحرّك مبتعدًا عن السفينة بسرعة 4.15 m/s؟ افترض أنّ السفينة ساكنة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

84. في العام 1845، اختبر العالم الهولندي كرستوف بويز بالوت تأثير دوبلر. ووجد شخصًا يعزف على بوق وأصدر الصوت A (440 Hz) أثناء ركوبه في عربة مكشوفة يجرها قطار. وفي الوقت نفسه، كان هناك شخص آخر ثابت في مكانه يعزف على بوق النغمة نفسها التي عزفها الشخص الراكب. إذا كان بويز بالوت قد سمع 3.0 ضربات كل ثانية. فما السرعة التي كان يتحرك بها القطار المتجه إليه؟

85. حاول أن تكرر تجربة بويز بالوت الواردة في المسألة السابقة. خطط للتجربة، بحيث يكون لديك بوق يعمل في سيارة تسير بسرعة، بدلًا من الاستماع إلى نغمات الضربات. كما يجب أن تسير السيارة بسرعة تجعل صوت البوق المتحرك يزيد بمعامل الثلث عن البوق الثابت.

a. ما السرعة التي يجب أن تسير بها السيارة؟

b. هل ستحاول إجراء هذه التجربة؟ وضح إجابتك.

86. أوتار الجيتار تقاس سرعة موجة على وتر بالمعادلة التالية: $v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$، حيث F_T تمثّل الشد في الوتر وμ هي الكتلة لكل وحدة طول في الوتر. إذا كانت كتلة الجيتار 3.2 g وطوله 65 cm. ما مقدار الشد الذي يجب بذله في الوتر لإنتاج نغمة ترددها الأساسي يساوي 147 Hz؟

التفكير الناقد

87. يبيّن **الجدول 2** أدناه الأطوال الموجية للموجات الصوتية التي تُصدِرها مجموعة من الشوكات الرنانة.

a. مثّل بيانيًا العلاقة بين الطول الموجي والتردد (متغيّر مستقل). ما نوع العلاقة التي يوضّحها هذا التمثيل البياني؟

b. مثّل بيانيًا الطول الموجي ومقلوب التردد $\left(\frac{1}{f}\right)$. ما نوع العلاقة التي يوضحها هذا الرسم البياني؟ حدد سرعة الصوت من هذا الرسم البياني.

الجدول 2 الشوكات الرنانة

التردد (Hz)	طول الموجة (m)
262	1.31
294	1.17
330	1.04
349	0.98
392	0.87

88. افترض أنّ تردد بوق السيارة يساوي 300 Hz عندما تكون ثابتة. هل يمكنك إعداد رسم تقريبي توضح فيه كيف ستبدو العلاقة بين التردد والزمن عندما تقترب السيارة منك ثم تتحرك مبتعدة عنك؟

89. حلل واستنتج صِف كيف تستخدم ساعة إيقاف لتقدير سرعة الصوت إذا كنت على بُعد 200 m من حفرة كرة جولف، حيث تقوم مجموعة من اللاعبين بتسديد كراتهم. هل سيكون تقديرك لسرعة الصوت كبيرًا أم صغيرًا؟

90. طبّق المفاهيم وجد علماء الفلك أنّ الضوء القادم من نقطة على الحافة اليسرى للشمس تردده أعلى قليلًا من الضوء القادم من الحافة اليمنى. ما الذي تخبرك به هذه القياسات عن حركة الشمس؟

91. صمم تجربة صمم تجربة تختبر فيها معادلة سرعة موجة على وتر. ووضح عمليات القياس التي ستقوم بها، وطريقة القيام بها وطريقة استخدامها لاختبار هذه المعادلة.

الكتابة في الفيزياء

92. ابحث في طريقة تصمّم من خلالها آلة موسيقية مثل الكمان أو البوق الفرنسي. ما العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار بالإضافة إلى طول الأوتار أو الأنبوب؟ ما الفرق بين آلة عالية الجودة وآلة أقل تكلفة؟ كيف تُختبر جودة النغمة التي تُصدِرها هاتان الآلتان؟

93. ابحث في استخدام تأثير دوبلر في دراسة علم الفلك. ما دوره في نظرية الانفجار العظيم؟ كيف يستخدم في الكشف عن الكواكب حول النجوم الأخرى، ودراسة حركات المجرات؟

مراجعة تراكمية

94. إذا كانت كتلة الكرة A تساوي 1.0 kg وتتدحرج نحو الغرب بسرعة 3.0 m/s بينما الكرة B كتلتها 2.0 kg وثابتة في مكانها. وبعدما اصدمت الكرة A بالكرة B، تحركت الكرة A نحو الجنوب بسرعة مقدارها 2.0 m/s.

a. مثّل برسم تخطيطي يوضّح السرعات المتجهة وكميات الزخم قبل التصادم وبعده.

b. احسب الزخم والسرعة المتجهة للكرة B بعد التصادم.

95. يحمل أيوب علبة من الحليب ووزنها 10 N إذا كان يسير بسرعة متجهة ثابتة على امتداد مسافة أفقية 3.5 m. فما مقدار الشغل الذي يبذله أيوب على العلبة؟

96. قفزت ممثلة في فيلم من مبنى مألف من خمسة طوابق (ارتفاعه 22 m) على وسادة كبيرة في الطابق الأرضي. فخففت الوسادة من وطأة سقوطها بحيث لا يزيد تسارعها عن 3.0 m/s^2.

a. إذا كان وزنها يساوي 480 N، فما مقدار الطاقة التي يجب أن تمتصه الوسادة؟

b. ما مقدار القوة الذي تبذله الوسادة عليها؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 6 تدريب على الاختبار المعياري

الاختيار من متعدد

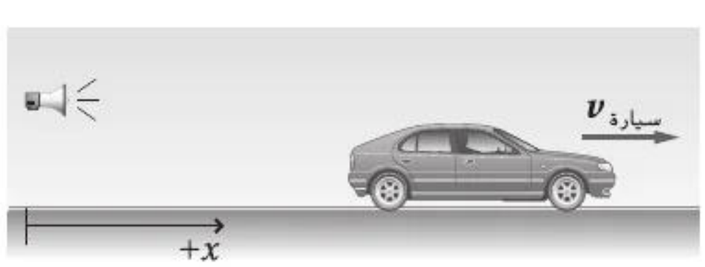
1. كيف ينتقل الصوت من مصدره إلى أذنك؟
   - **A.** عن طريق التغيّرات في ضغط الهواء
   - **B.** عن طريق الاهتزازات في الأسلاك أو الأوتار
   - **C.** عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية
   - **D.** عن طريق موجات الأشعة تحت الحمراء

2. يستمع أحمد إلى موسيقى كلاسيكية تَصدُر من مكبرات الصوت المثبتة في بركة السباحة الخاصة به. إذا وصلت إلى أذنه نغمة موسيقية ترددها 330 Hz أثناء تواجده تحت الماء. ما الطول الموجي للموجة الصوتية التي تصل إلى أذن أحمد؟ علمًا بأنّ سرعة الصوت في الماء تساوي 1493 m/s.
   - **A.** 2.19 nm
   - **B.** 4.88×10^{-5} m
   - **C.** 2.19×10^{-1} m
   - **D.** 4.52 m

3. ينتقل الصوت الصادر من بوق بسرعة 351 m/s في الهواء. إذا كان تردد النغمة 294 Hz، فما الطول الموجي للموجة الصوتية؟
   - **A.** 9.93×10^{-4} m
   - **B.** 0.849 m
   - **C.** 1.19 m
   - **D.** 1.05×10^{5} m

4. يجذب صوت بوق سيارة ما انتباه مراقب ثابت. إذا كانت السيارة تقترب من المراقب بسرعة 60.0 km/h ويصدر البوق صوتًا تردده 512 Hz، فما تردد الصوت الذي يصل المراقب؟ علمًا بأنّ سرعة الصوت في الهواء تساوي 343 m/s.
   - **A.** 488 Hz
   - **B.** 512 Hz
   - **C.** 538 Hz
   - **D.** 600 Hz

5. كما هو موضّح في الرسم أدناه، تبتعد سيارة بسرعة 72 km/h عن صافرة إنذار ثابتة. إذا كان تردد صوت صافرة الإنذار 657 Hz، فما تردد الصوت الذي يصل السائق؟ علمًا بأنّ سرعة الصوت تساوي 343 m/s.
   - **A.** 543 Hz
   - **B.** 620 Hz
   - **C.** 647 Hz
   - **D.** 698 Hz

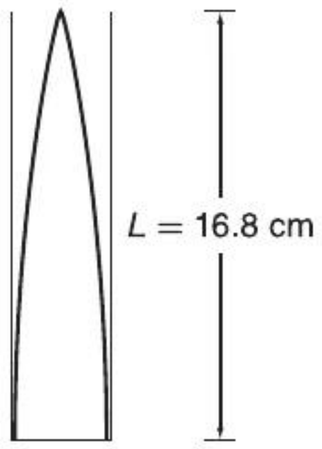


6. تسمع ريما 20 ضربة في 5.0 s في أثناء عزفها نغمتين على البيانو. كما أنّها على يقين بأنّ تردد النغمة الأولى يساوي 262 Hz. ما الترددات المحتملة للنغمة الثانية؟
   - **A.** 242 Hz أو 282 Hz
   - **B.** 258 Hz أو 266 Hz
   - **C.** 260 Hz أو 264 Hz
   - **D.** 270 Hz أو 278 Hz

7. أي من أزواج الآلات التالية لها ترددات رنانة عند ضرب أقل تردد لها في عدد صحيح؟
   - **A.** وتر مثبت وأنبوب مغلق
   - **B.** وتر مثبت وأنبوب مفتوح
   - **C.** أنبوب مفتوح وأنبوب مغلق
   - **D.** أنبوب مفتوح وآلة نفخ خشبية

أسئلة ذات إجابات طويلة

8. يوضّح الشكل أدناه الرنين الأول لأنبوب هوائي مغلق الطرف. إذا كان تردد الصوت 488 Hz، فما سرعة الصوت؟

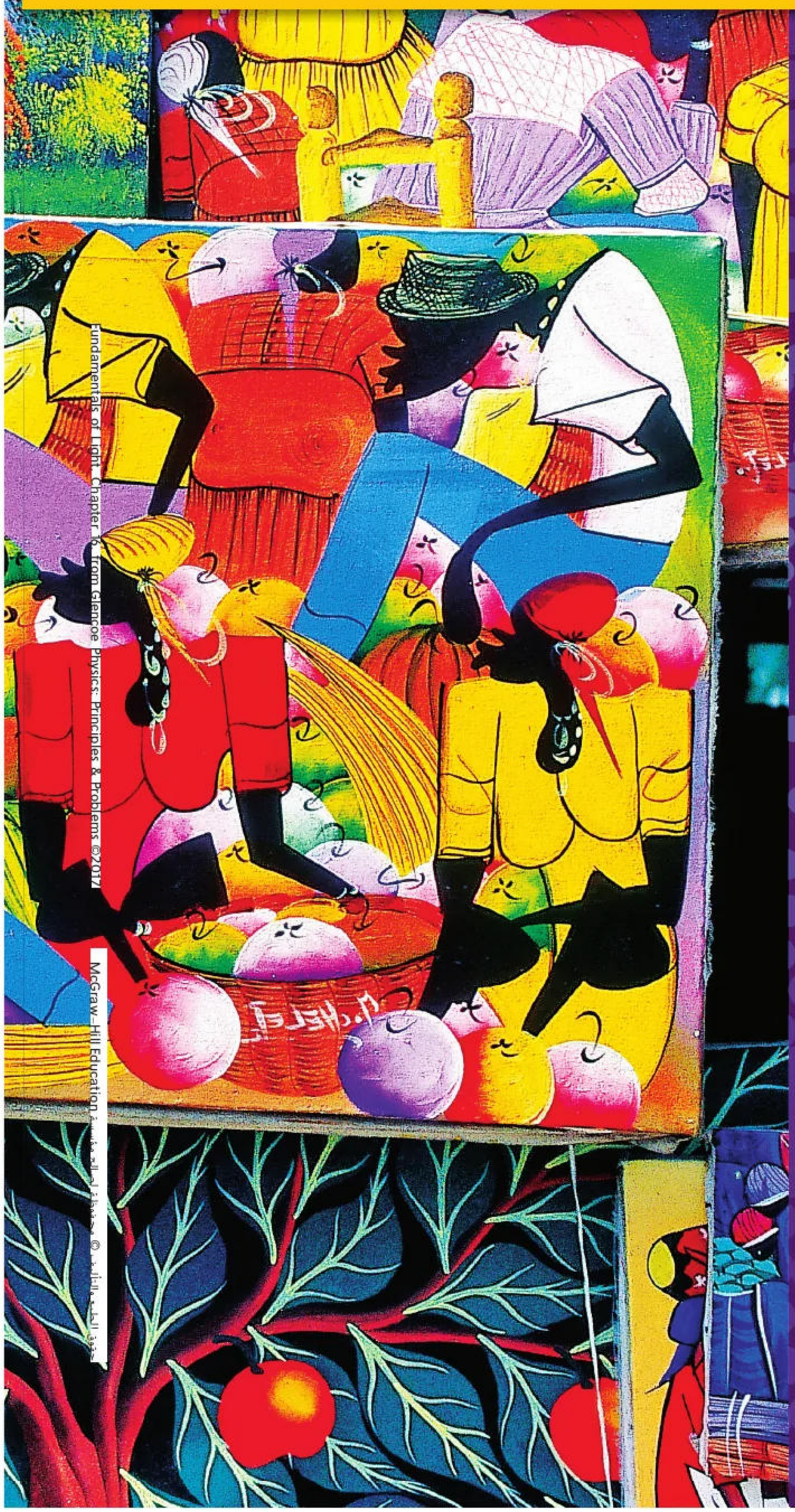


حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 7

أساسيات الضوء

الفكرة الرئيسة يسلك الضوء سلوك الأمواج ويمكن استكشافه بالعين المجردة.



الأقسام

1 الاستضاءة

2 الطبيعة الموجية للضوء

التجربة الاستهلالية

مسار الضوء

هل يمكن تحديد مسار الضوء في الهواء؟ استعن بمواد من البيئة المحيطة لكي تجيب عن ذلك.

McGraw-Hill Education © حقوق الطبع والنشر محفوظة لصالح شركة

القسم 1

الاستضاءة

الفيزياء في حياتك

لا يصل ضوء الشمس إلى المناطق الأكثر عمقًا في البحر، إلا أنّ الأسماك المتلألئة بيولوجيًا التي تعيش فيها تُضيئها. وتعتبر أسماك أبي الشص مثالاً على ذلك؛ إذ يتصل برأسها شيء مضيء يشبه صنارة الصيد، يساعدها في جذب الفرائس.

الفكرة الرئيسة

تسير أشعة الضوء في خطوط مستقيمة، ويمكن أن تغيّر اتجاهها فقط عندما تنتقل من وسط إلى آخر.

الأسئلة الرئيسة

- ما نموذج الشعاع الضوئي؟
- ما العلاقة بين المسافة والإضاءة؟
- كيف حُدِّدت سرعة الضوء؟

مراجعة المفردات

الدقة precision: تعبر عن مدى دقة قياس خاصية معينة

مفردات جديدة

نموذج الشعاع الضوئي ray model of light

المصدر المضيء luminous source

وسط معتم opaque

وسط شبه شفاف translucent

وسط شفاف transparent

التدفق الضوئي luminous flux

الاستضاءة illuminance

مسار الضوء

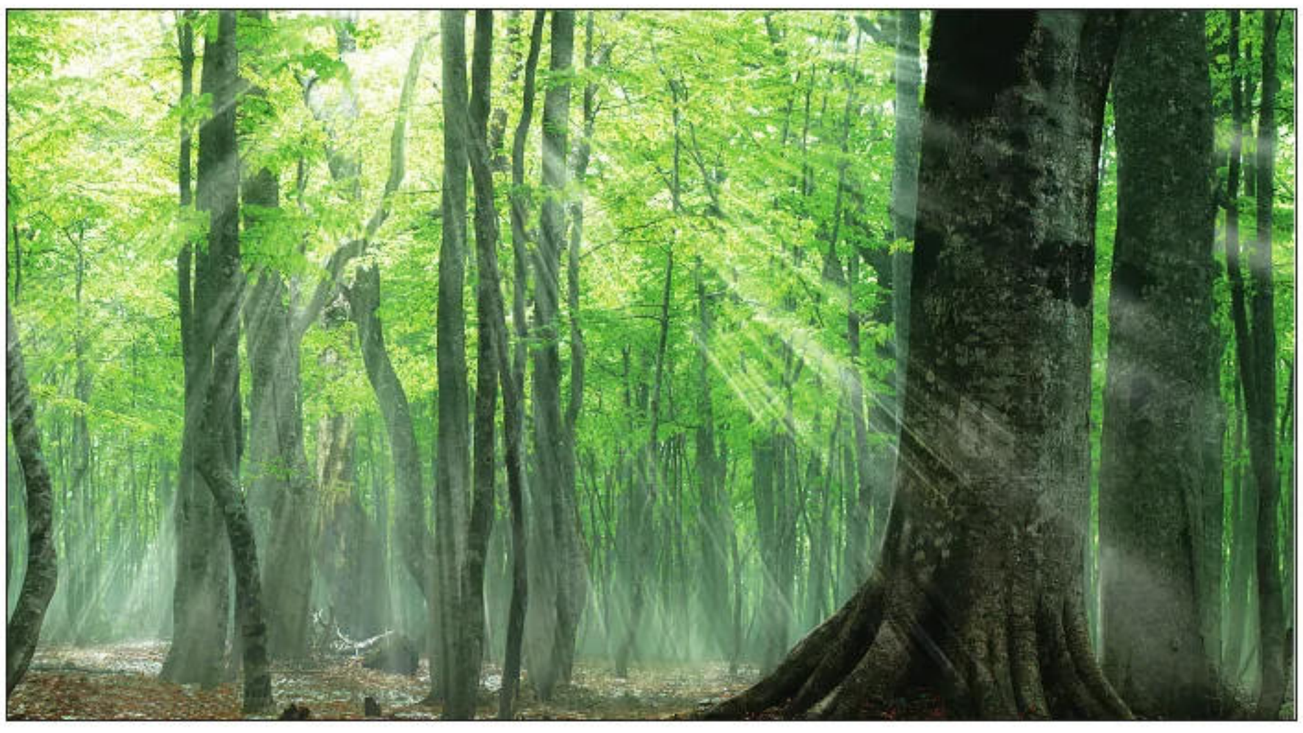
كيف تستقبل أجسامنا المعلومات؟ يجيب معظم الناس عن هذا السؤال بأنّ الجسم يستقبل المعلومات عن طريق الحواس الخمس. فالضوء والصوت وسيلتان يمكننا أن نحصل منهما على المعلومات، إذ تستطيع العين البشرية تحسّس التغيرات البسيطة في حجم الجسم وموقعه وسطوعه، إضافة إلى لونه. كما تميز أعيننا عادةً بين الأجسام والظلال، وتستطيع أن تميز أحيانًا بين الأجسام وانعكاساتها. ستتعلم في هذا القسم عن مصادر الضوء وكيف تضيء الكون من حولنا.

الخط المستقيم كيف ينتقل الضوء؟ عندما تدخل حزمة ضوئية ضيقة، مثل تلك الخاصة بضوء المصباح اليدوي أو ضوء الشمس. لعلك لاحظت أنه عند مرور شعاع ضوئي من أشعة الشمس أو مصباح ضوء عبر الهواء، فإن دقائق الغبار الموجودة في الهواء تجعلك تشاهد هذا الشعاع على هيئة خط مستقيم. وعندما يعترض جسمك ضوء الشمس يتكون له ظل، ويرجع السبب في ذلك أن الضوء يسير في خط مستقيم. انظر **الشكل 1**.

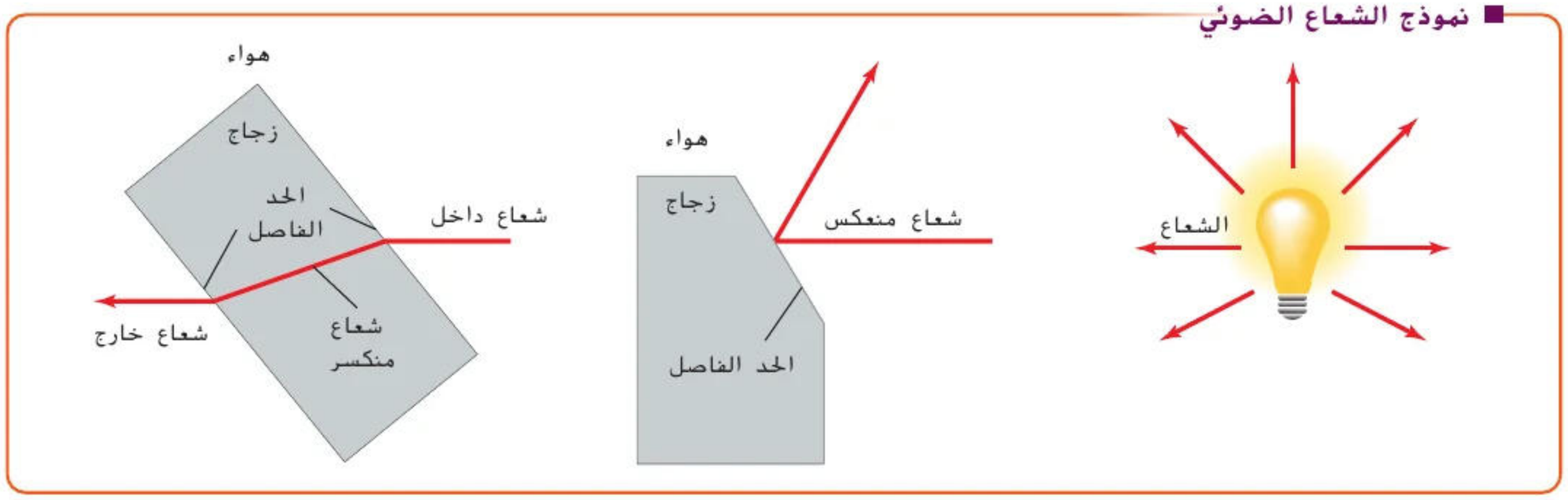
وعندما تتحرك باتجاه جسم أمام عينيك، فإنك تسير في مسار مستقيم، لأن الضوء المنعكس عنه يسير في خط مستقيم؛ ولكي ترى الأشياء ينبغي أن ينتقل الضوء منها إلى عينك في خط مستقيم. وقد طورت النماذج التي تصف سلوك الضوء بناءً على هذه المعلومة المتعلقة بانتقال الضوء.

☑ **تأكد من فهمك** **اذكر** أدلة من تجاربك اليومية تثبت أنّ الضوء يسير في خط مستقيم.

الشكل 1 يتّضح سير أشعة الضوء في خطوط مستقيمة في حالات عديدة.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 2 يُوضّح المسار الخطي المستقيم للضوء بنموذج الشعاع الضوئي. يتغيّر اتجاه أشعة الضوء عند انعكاسها أو انكسارها بواسطة حاجز ما. وفي كلتا الحالتين، تواصل أشعة الضوء السير في مسار مستقيم.

دلالة الألوان

الأشعة الضوئية ← باللون الأحمر

نموذج الشعاع الضوئي

تخيّل أنك موجود في غرفة فارغة ومظلمة، ثم أضيء مصباح صغير في وسط الغرفة. ستتمكن من رؤية جميع أنحاء الغرفة ورؤية المصباح عند النظر إليه. وهذا يدل على أن المصباح يبعث الضوء في جميع الاتجاهات. يمكنك أن تتصور أنّ الضوء المنبعث من المصباح عبارة عن عدد لانهائي من الأسهم التي تتحرك بعيدًا منه في خطوط مستقيمة في جميع الاتجاهات. ويمثّل كل سهم شعاعًا ضوئيًا يسير في خط مستقيم حتى يصل إلى حاجز، كما هو موضّح في **الشكل 2**.

بعد أن يصل الشعاع الضوئي إلى حاجز، فإنه يتفاعل معه ويغير اتجاهه إلا أنه يبقى يسير في خط مستقيم. وتشكل هذه المبادئ الأساسية **نموذج الشعاع الضوئي**. تُسمى دراسة تفاعل الضوء مع المادة ببصريات الأشعة أو البصريات الهندسية.

مصادر الضوء ما الفرق بين ضوء الشمس وضوء القمر؟ ضوء الشمس أكثر سطوعًا من الضوء الذي يصلنا من القمر، كما يوجد فارق أساسي آخر بينهما؛ وهو أن الشمس مصدر مضيء يبعث الضوء من ذاته؛ أما القمر فجسم مرئي يعكس ضوء الشمس.
وتصنف جميع الأشياء من حولنا على أنها أجسام تبعث ضوءًا من ذاتها كالشمس، **مصادر مضيئة** أو أجسام مرئية تعكس الضوء الساقط عليها، مصادر مستضيئة.

تشمل المصادر المضيئة مصادر طبيعية مثل الشمس واللهب والشرر وبعض أنواع الحشرات مثل اليراع. وتعتبر الأجهزة المصنّعة من قبل الإنسان مصادر أخرى للضوء، مثل شاشات التلفاز وشاشات الحاسوب وأجهزة الليزر والصمامات الثنائية المتناهية الصغر الباعثة للضوء. ويظهر في **الشكل 3** أحد المصادر المضيئة وهو المصابيح الفلوريسنتية التي تنتج الضوء من الطاقة الكهربائية. أما الأشياء الأخرى في الغرفة فهي أجسام مستضيئة لانعكاس ضوء المصابيح عنها. ولا يمكنك على الإطلاق رؤية أي شيء في غرفة لا يوجد فيها ضوء.

الشكل 3 إنّ الأجسام الموجودة في الغرفة مرئية بسبب انعكاس الضوء عنها.
توقع إن لم يكن هنالك مصدر مضيء في الغرفة، ما الأشياء المستضيئة فيها؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 4 ينتقل الضوء عبر حاملتي الشمع الشفافة وشبه الشفافة. لا يمكن رؤية الشمعة بوضوح في حاملة الشمع المعتمة بسبب امتصاصها للضوء.

الضوء والمادة يمكن أن تمتص الأجسام الضوء أو تعكسه أو تمرره من خلالها. وتُسمى الأجسام التي تعكس الضوء وتمتصه ولكن لا ينفذ منها **الوسط المعتم**. ومنها: الكتب والأشخاص وحقائب الظهر. وكما تُسمى الأوساط التي تنقل الضوء وتعكسه ولكن لا تسمح برؤية الأجسام بوضوح من خلالها **الأوساط شبه الشفافة**. ويعتبر الزجاج المصنفر المبين في **الشكل 4** مثالًا عليها. أما الوسط **الشفاف** كالهواء أو الزجاج. فينفذ معظم الضوء منه. يوضّح **الشكل 4** أمثلة للأوساط المعتمة وشبه الشفافة والشفافة. على الرغم من أن الأوساط الشفافة ينفذ معظم الضوء عبرها، فإنها تعكس بعض أشعة الضوء أيضًا. فعندما تضع شمعة ضوء على حاملة زجاجية فإنك تشاهدها، وهذا يعني أنها تعكس الضوء.

عادةً تمتص الأوساط الثلاثة بعض أشعة الضوء، إلا أن هنالك عوامل مختلفة تحدد مقدار امتصاصها للضوء، ولكن غالبًا ما تمتص الأجسام المعتمة القدر الأكبر من الضوء.

تأكد من فهمك **اشرح** لماذا يمكن رؤية كل من حوض السمك الزجاجي والسمكة الموجودة في داخله.

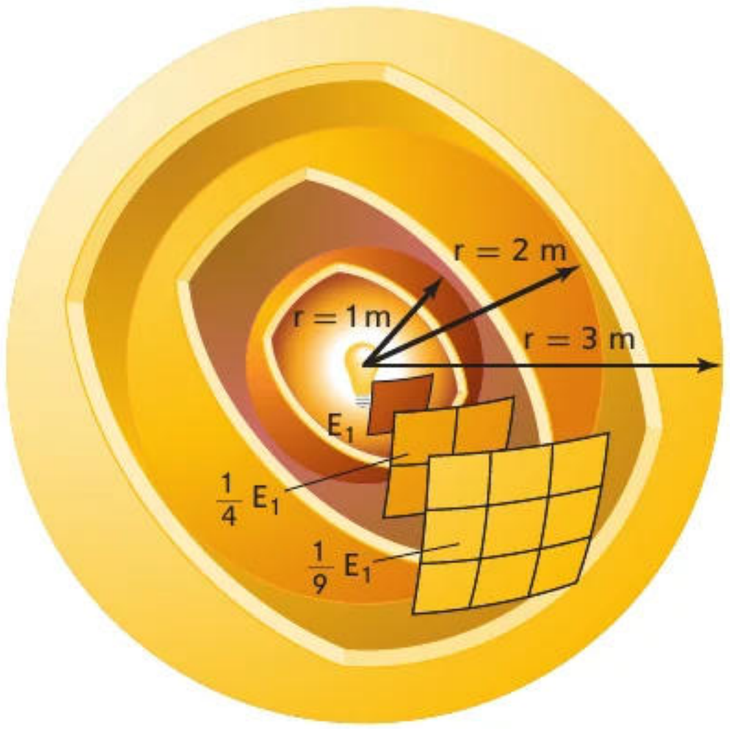
كمية الضوء

تخيل أنك في غرفة مظلمة وسُلِّط ضوء مصباح يدوي نحوك؛ ما العوامل التي تؤثر في مدى سطوع الضوء الذي يصلك؟ توجد ثلاثة عوامل تحدد مدى سطوع الضوء وهي: كمية الضوء التي ينتجها المصباح اليدوي والمسافة بين المصباح وعينيك والزاوية التي يسقط فيها الضوء على عينيك. سنتناول في هذا القسم أول عاملين فقط.

التدفق الضوئي يوضّح نموذج الشعاع الضوئي أنّ مصدر الضوء الأكثر سطوعًا ينتج كمية أكبر من أشعة الضوء. عرفت أن المصباح الضوئي ينبعث منه أشعة في جميع الاتجاهات. كيف يمكنك تجميع كلّ هذه الأشعة؟ لابد من أنك ستحتاج إلى إنشاء سطح يحيط بالمصباح بالكامل، كما في **الشكل 5**. يُسمى معدل انبعاث الضوء من المصدر المضيء، أي المصباح، **التدفق الضوئي** (P) ويُقاس بوحدة اللومن (lm). يعتمد المقدار الكلي للضوء الساقط على السطح في فترة معيّنة من الزمن على التدفق الضوئي للمصدر فقط.

الشكل 5 يساوي التدفق الضوئي معدل انبعاث الأشعة الضوئية من المصدر المضيء.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



$$E = P / 4\pi r^2$$

الاستضاءة

$$E_1 = \frac{1750}{4\pi}\ lx$$

$$E_2 = \frac{1750}{4\pi 2^2}\ lx$$

$$E_3 = \frac{1750}{4\pi 3^2}\ lx$$

الشكل 6 الاستضاءة (E) تساوي كمية الضوء الساقط على السطح، وتقل كلما ازدادت المسافة (r) بين السطح والمصدر المضيء، أي إنّ E تتناسب عكسيًا مع مربع r.

الاستضاءة بمجرد معرفة كمية الضوء المنبعثة من مصدر مضيء، يمكن تحديد كمية الإضاءة التي يوفرها المصدر لجسم، كالكتاب مثلًا. إن إضاءة سطح، أو بمعنى آخر معدل اصطدام الضوء بوحدة المساحات للسطح يسمى **الاستضاءة (E)**. وتُقاس بوحدة اللوكس (lx) التي تساوي لومن لكل متر مربع (lm/m^2). وللتبسيط سنفترض في هذه الوحدة أن كل مصادر الضوء مصادر نقطية.

انظر إلى **الشكل 6**. إذا كان التدفق الضوئي للمصدر 1750 lm (ما يعادل إضاءة مصباح فلوريسنتي صغير قدرته 26 W). كم تبلغ استضاءة السطح الداخلي للكرة عندما تكون $r = 1\ m$؟ تحسب المساحة السطحية للكرة من خلال المعادلة $4\pi r^2$. لذا تكون المساحة السطحية للكرة $4\pi(1.00\ m)^2 = 4\pi\ m^2$. والتدفق الضوئي الذي يصطدم في كل متر مربع من الكرة يساوي $\frac{1750\ lm}{4\pi\ m^2} = 139\ lx$. تعني هذه العلاقة الرياضية أنه يسقط على بعد 1 m من المصباح 139 lm على كل متر مربع، لذا تكون استضاءة السطح الداخلي للكرة 139 lx.

علاقة التربيع العكسي ماذا سيحدث إذا كانت الكرة المحيطة بالمصباح أكبر؟ إذا كان نصف قطر الكرة 2.00 m، فسيبقى التدفق الضوئي الكلي 1750 lm، لأنه يعتمد على المصباح فقط. في حين تصبح مساحة سطح الكرة $4\pi(2.00\ m)^2 = 16.0\pi\ m^2$. أي إنّ مساحة سطح الكرة الآن أكبر أربع مرات من مساحة سطح كرة نصف قطرها 1.00 m، كما هو موضّح في **الشكل 6**. وتكون استضاءة الكرة التي نصف قطرها 2.00 m مساوية $\frac{1750\ lm}{(16.0\pi\ m^2)} = 34.8\ lx$. أي يسقط 34.8 lm على كل متر مربع.

إن استضاءة السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 2.00 m تساوي ربع استضاءة السطح الداخلي للكرة التي يبلغ نصف قطرها 1.00 m. وبالطريقة نفسها إنَ استضاءة السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 3.00 m تساوي $(1/3)^2$.أو 1/9 استضاءة السطح الداخلي للكرة التي يبلغ نصف قطرها 1.00 m.

ويبيّن **الشكل 6** أن الاستضاءة الناتجة من مصدر نقطي تتناسب طرديًا مع $\frac{1}{r^2}$. وتُسمى علاقة التربيع العكسي. فنجد أنه عندما يكون نصف قطر الكرة 3.00 m.

فإنّ مقدار الاستضاءة لكل متر مربع من السطح الداخلي للكرة يساوي 15.5 lm. أي إنه عندما تنتشر أشعة الضوء من مصدر نقطي في خطوط مستقيمة وفي الاتجاهات جميعها فإن عدد أشعة الضوء المتاحة لإضاءة وحدة المساحة تتناقص مع زيادة مربع البعد من مصدر الضوء النقطي.

مختبر الفيزياء

قياس ضوء الأشعة فوق البنفسجية

ما مدى فعالية المواد المختلفة في حجب ضوء الأشعة فوق البنفسجية؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

ربط الرياضيات بالفيزياء

العلاقات الطردية والعكسية تخضع الاستضاءة المتولِّدة بواسطة مصدر ضوئي لعلاقة طردية وعكسية.

الرياضيات	الفيزياء
$y = \frac{x}{az^2}$	$E = \frac{P}{4\pi r^2}$
إذا كانت z ثابتة، فإن y تتناسب طرديًا مع x. • عندما تزداد x، تزداد y. • عندما تقل x، تقل y.	إذا كانت r ثابتة، فإنّ E تتناسب طرديًا مع P. • عندما تزداد P، تزداد E. • عندما تقل P، تقل E.
إذا كانت x ثابتة، فإنّ y تتناسب عكسيًا مع z^2. • عندما تزداد z^2، تقل y. • عندما تقل z^2، تزداد y.	إذا كانت P ثابتة، فإنّ E تتناسب عكسيًا مع r^2. • عندما تزداد r^2، تقل E. • عندما تقل r^2، تزداد E.

مختبر الفيزياء

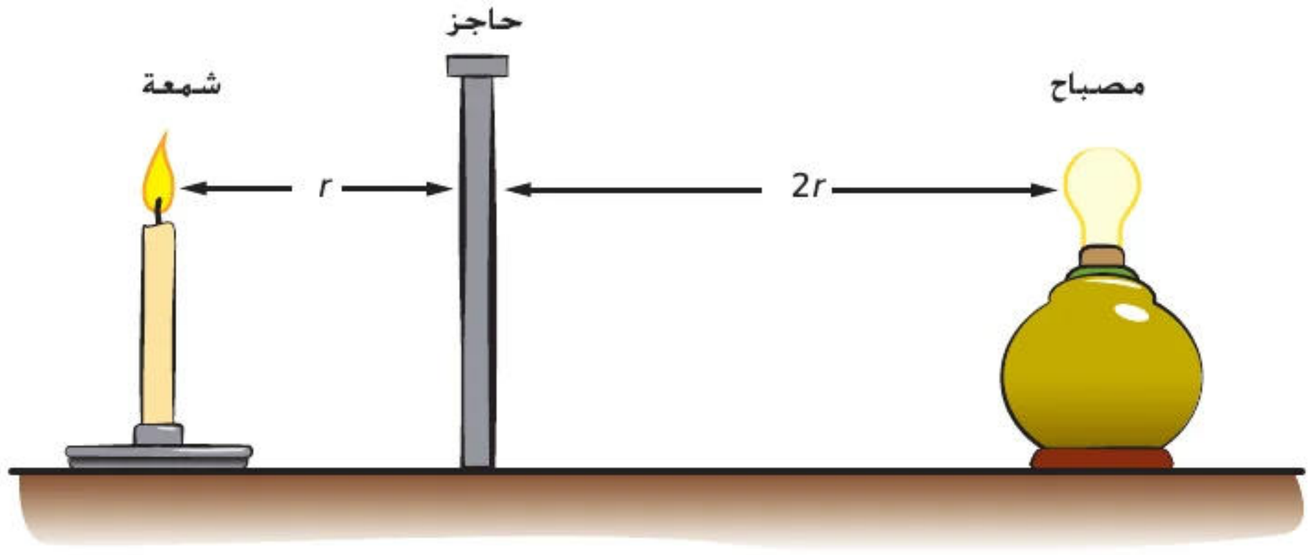
شدة الضوء والمسافة

ما العلاقة بين شدة الضوء والمسافة؟

شدة الإضاءة تُحدَّد بعض المصادر المضيئة بوحدة الشمعة (cd). والشمعة ليست مقياسًا للتدفق الضوئي، بل هي مقياس لشدة الإضاءة. وشدة الإضاءة لمصدر نقطي تساوي التدفق الضوئي الساقط على $1\ m^2$ من السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1m m، لذلك فإن شدة الإضاءة تساوي التدفق الضوئي مقسومًا على 4π. فشدة المصباح الضوئي الذي تدفقه 1750 lm تساوي $1750\ lm/4\pi = 139\ cd$.

في **الشكل 7**، بُعد المصباح من الحاجز يساوي مثلي بُعد الشمعة منه. لكي تكون استضاءة سطح الحاجز المواجه للمصباح مساوية لاستضاءة سطح الحاجز المواجه للشمعة، يجب أن تكون إضاءة المصباح أقوى من إضاءة الشمعة أربع مرات. بالتالي يجب أن تكون شدة الإضاءة للمصباح أربعة أضعاف شدة الإضاءة للشمعة. أما إذا كان للمصدرَين الموجودَين في **الشكل 7** شدة الإضاءة نفسها، فستكون استضاءة سطح الحاجز المواجه للمصباح الذي يبعد من الحاجز مسافة $2r$ ربع استضاءة سطح الحاجز المواجه للشمعة؛ وهذا يتفق مع علاقة التربيع العكسي التي ذكرناها سابقًا.

☑ **تأكد من فهمك** وضّح ما المقصود بشدة الإضاءة، وما علاقتها بالاستضاءة؟



الشكل 7 لكي تكون استضاءة سطح الحاجز المواجه للمصباح مساوية لاستضاءة سطح الحاجز المواجه للشمعة، يجب أن تكون شدة الإضاءة للمصباح أربعة أضعاف شدة الإضاءة للشمعة.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

إضاءة الأسطح

تخيل مرة أخرى ضوء المصباح المصوب ناحيتك في غرفة مظلمة. إذا كانت شدة الإضاءة للمصباح صغيرة، فيعني هذا أنّ إضاءة المصباح ستكون ضعيفة. ولكي تحصل على إضاءة قوية، يمكنك أن تستخدم مصباحًا ذا إضاءة أقوى، أي زيادة التدفق الضوئي، أو يمكنك أن تقترب من المصباح بحيث تكون عيناك أقرب إلى الضوء، مما يعني تقليل المسافة بين مصدر الضوء وعينيك. ولتبسيط المسألة يمكنك اعتبار المصدر الضوئي مصدرًا ضوئيًا نقطيًا، ولذا فإن الاستضاءة والمسافة ستتبعان علاقة التربيع العكسي. وبعد هذا التبسيط يمكنك التعبير عن الاستضاءة الناتجة من مصدر ضوء نقطي بالمعادلة التالية:

الاستضاءة بفعل مصدر نقطي

إذا أُضيء جسم بفعل مصدر ضوئي نقطي، فإنّ الاستضاءة على الجسم تساوي ناتج قسمة التدفق الضوئي للمصدر الضوئي على المساحة السطحية لكرة نصف قطرها يساوي بُعد الجسم من مصدر الضوء.

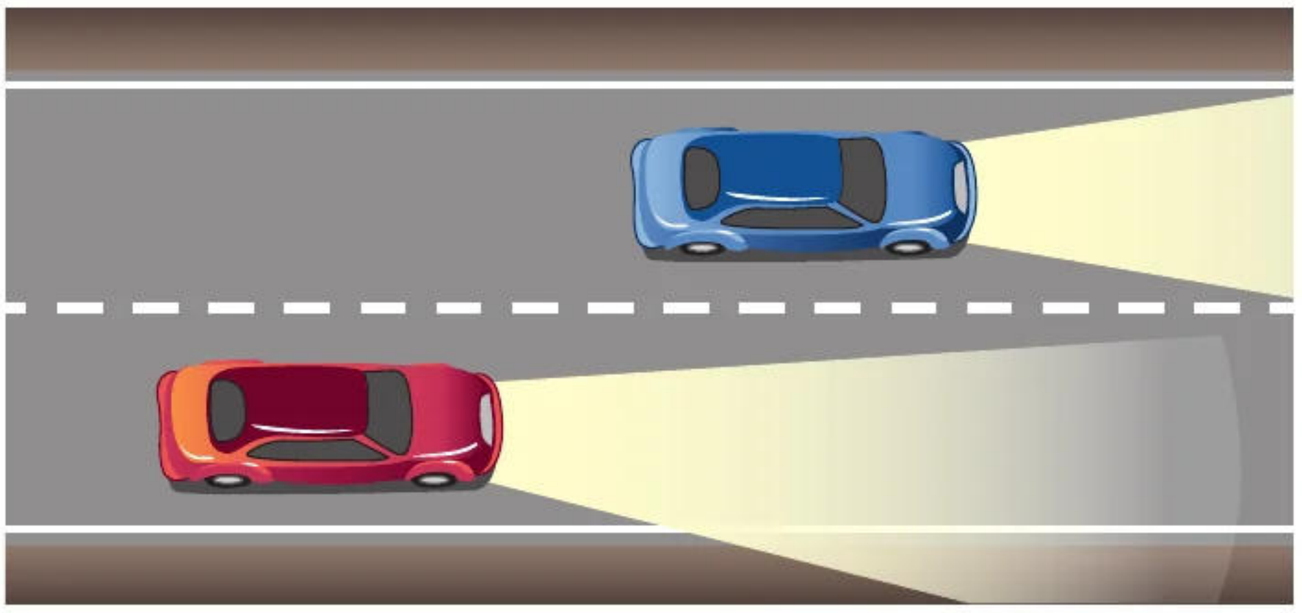
$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

تذكر أنّ التدفق الضوئي للمصدر الضوئي يتوزع في كل الاتجاهات، لذا فإن جزءًا بسيطًا منه يكون متاحًا لإضاءة الجسم. وبالتالي يكون استخدام هذه المعادلة صحيحًا، فقط إذا كان الضوء المنبعث من المصدر الضوئي يسقط عموديًا على السطح الذي يضيئه. كما أنّ استخدام المعادلة يكون صحيحًا فقط للمصادر المضيئة التي تكون صغيرة أو بعيدة بصورة كافية حتى يمكن اعتبارها مصادر نقطية. لذلك، فإنّ المعادلة لا تعطي قيمًا دقيقة للاستضاءة الناتجة بفعل المصابيح الفلوريسنتية الطويلة أو المصابيح القريبة من الأسطح التي تضيئها.

ينبغي أن يفهم المهندسون الذين يصممون أنظمة الإنارة الطريقة التي سيُستخدم بها الضوء. إذا كان المطلوب هو توزيع الإضاءة بالتساوي على منطقة لتجنب وجود مناطق مظلمة فيها، فإنّ التصميم المناسب هو توزيع مصادر الضوء على المساحة المطلوب إنارتها بحيث تكون المسافات بينه متساوية، كما في إنارة غرف الصف. وبسبب عدم قدرة مصادر الإضاءة هذه على توزيع الإضاءة بالتساوي، يصمم المهندسون أيضًا مصادر إضاءة خاصة تتحكّم في توزيع الضوء، كأنظمة الإنارة الموزعة بانتظام على مساحات كبيرة. وقد بُذلت جهود كبيرة في هذا المجال، وخصوصًا للمصابيح الأمامية للسيارات، انظر **الشكل 8**.

الفيزياء في حياتك

العقول المستنيرة عند اتخاذ القرارات حول طريقة تحقيق الاستضاءة الصحيحة على سطوح المكاتب ينبغي أن يأخذ التدفق الضوئي لمصادر الضوء وبُعدها عن أسطح المكاتب. إضافةً إلى ذلك، تُعدّ كفاءة المصادر الضوئية عاملًا اقتصاديًا مهمًا.

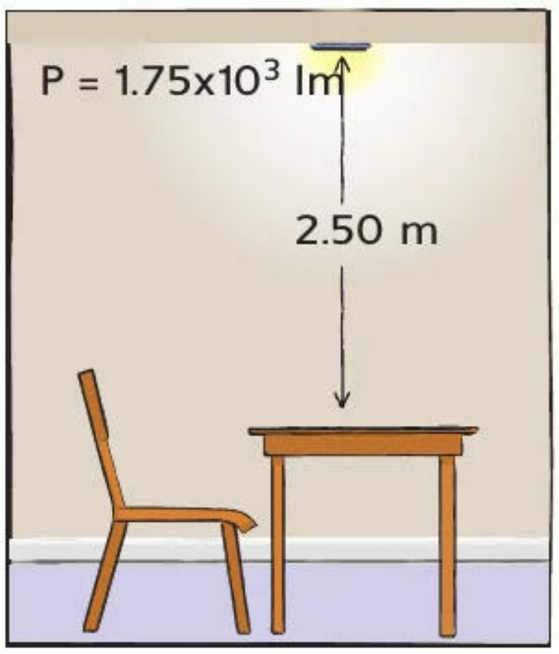


الشكل 8 قد توجد مناطق مظلمة في الطريق أمام السيارة إذا لم يتم ضبط المصابيح الأمامية للسيارة على الزوايا المناسبة لإضاءة الطريق إضاءة كافية.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 1

إضاءة سطح ما الاستضاءة الواقعة على سطح مكتب إذا أُضيء بمصباح تدفقه الضوئي 1750 lm ويبعُد 2.50 m عنه، بحيث تسقط أشعة الضوء عمودية على سطح الكتب؟



1 تحليل المسألة

- افترض أنّ المصباح هو المصدر النقطي.
- ارسم موقع كل من المصباح والمكتب. عيّن P و r.

المعلوم	المجهول
$P = 1.75 \times 10^3$ lm	$E = ?$
$r = 2.50$ m	

2 حساب المجهول

بما أنّ السطح عمودي على اتجاه الشعاع الضوئي، يمكن استخدام معادلة الاستضاءة بفعل المصدر النقطي.

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

عوّض $P = 1.75\times10^3$ lm ، $r = 2.50$ m ◄

$$= \frac{1.75\times10^3 \text{ lm}}{4\pi(2.50 \text{ m})^2}$$

$$= 22.3 \text{ lm/m}^2$$

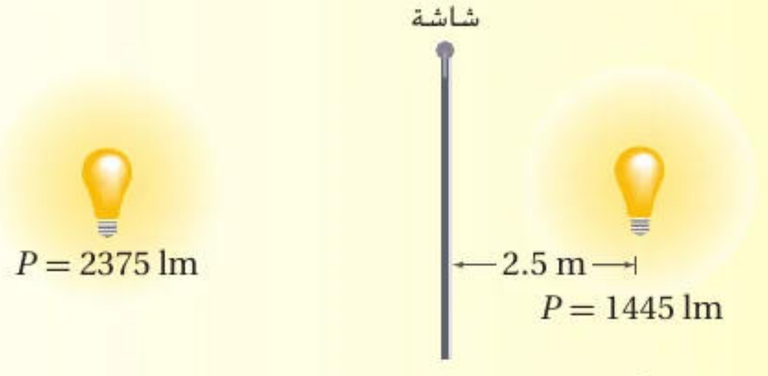
$$= 22.3 \text{ lx}$$

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تتفق وحدات الاستضاءة $\text{lx} = \text{lm/m}^2$ مع الإجابة.
- **هل للإشارات مدلول؟** المقادير كلها موجبة، كما يجب أن تكون.
- **هل الجواب منطقي؟** إنّ الاستضاءة من مصباح تدفقه الضوئي 1800 lm على بُعد 2 m تساوي 20 lx تقريبًا.

تطبيقات

1. إذا سُلِّط مصباح بشكل عمودي فوق كتاب من ارتفاع 30. cm، ثم رفع المصباح إلى ارتفاع 90. cm. قارن بين استضاءة الكتاب قبل الحركة وبعدها.
2. ارسم منحنى بيانيًا يمثل الاستضاءة الناتجة عن مصباح تدفقه الضوئي 2275 lm بين 0.50 m و 5.0 m.
3. مصدر ضوئي نقطي شدة إضاءته 64 cd يقع على ارتفاع 3.0 m فوق لوحة. ما مقدار إضاءة اللوحة بوحدة اللوكس؟
4. وضعت شاشة بين مصباحين يضيئانه بالتساوي، كما هو موضّح في **الشكل 9**. إذا كان التدفق الضوئي للمصباح الأول 1445 lm ويبعُد مسافة 2.5 m من الحاجز. كم يبلغ بُعد المصباح الثاني من الحاجز إذا كان تدفقه الضوئي 2375 lm؟



الشكل 9

5. كم تبلغ الاستضاءة على سطح يبعُد 3.0 m أسفل مصباح متوهج قدرته 150 W وتدفقه الضوئي 2275 lm؟
6. يتطلب أحد قوانين المؤسسات الحكومية أن تكون الاستضاءة الصغرى 160 lx على سطح كل مكتب. وتقتضي المواصفات التي يوصي بها أن تكون المصابيح على بُعد 2.0 m فوق المقاعد. ما مقدار أقل تدفق ضوئي يجب أن تولده المصابيح؟
7. **تحفيز** تخطط المكتبة العامة المحلية في منطقتك لتجديد مختبر الحاسوب. وقد اشترى المقاولون مصابيح فلوريسنتية معدل تدفقها الضوئي 1750 lm. وكانت الإضاءة المطلوبة على أسطح لوحات المفاتيح 175 lx. افترض أنّ لكل حاسوب مصباحًا يضيئه. ما ارتفاع المصابيح المطلوب فوق أسطح لوحات المفاتيح لتوفير الإضاءة المطلوبة؟ وإذا كان المقاولون قد اشتروا مسبقًا وحدات لتثبيت المصابيح بحيث يكون ارتفاع هذه المصابيح 1.5 m فوق لوحات المفاتيح، فهل ستتحقق الاستضاءة المطلوبة؟ إذا كانت الإجابة لا، فهل ستكون الاستضاءة أكبر أم أقل من الاستضاءة المطلوبة؟ وما التغيير المطلوب في التدفق الضوئي للمصابيح لتوفير الاستضاءة المطلوبة؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

سرعة الضوء

لأكثر من 2400 عام، كانت هناك فرضيات تجزم بأنّ الضوء ينتقل بسرعة غير محددة. وبحلول القرن السابع عشر، أجرى العديد من العلماء التجارب التي أيدت الرأي الذي يميل إلى أنّ الضوء ينتقل بسرعة محددة، وأنّ هذه السرعة أكبر بكثير من سرعة الصوت.

في الواقع، لم يكن قياس سرعة الضوء عملًا سهلًا في القرن السابع عشر. فكما تعرف من دراستك للحركة، أنه إذا أمكن قياس الزمن الذي يستغرقه الضوء ليقطع مسافة معيّنة، فإنه يمكن حساب سرعة الضوء. لكن الزمن الذي يستغرقه الضوء للانتقال بين الأجسام الموجودة على سطح الأرض أقصر بكثير من الزمن الذي يستغرقه رد فعل الإنسان. فكيف تمكن أحد علماء القرن السابع عشر من حل هذه المسألة؟

دلالات من القمر آيو كان الفلكي الدانماركي "أولي رومر" أول من قاس الزمن الذي يستغرقه الضوء للانتقال بين نقطتين بنجاح. وبين عامي 1668 و 1674، أجرى رومر 70 قياسًا حول الزمن الدوري للقمر آيو، أحد أقمار كوكب المشتري، والذي يساوي 1.8 يومًا. فرصد الأزمنة عندما كان القمر آيو يخرج من منطقة ظل كوكب المشتري، كما هو موضّح في **الشكل 10**. وقد أجرى قياساته بوصفها جزءًا من مشروع يهدف إلى تحسين الخرائط من خلال احتساب خطوط الطول للمواقع على سطح الأرض. وكان هذا مثالًا مبكرًا لأهمية التكنولوجيا في دفع عجلة التقدم العلمي.

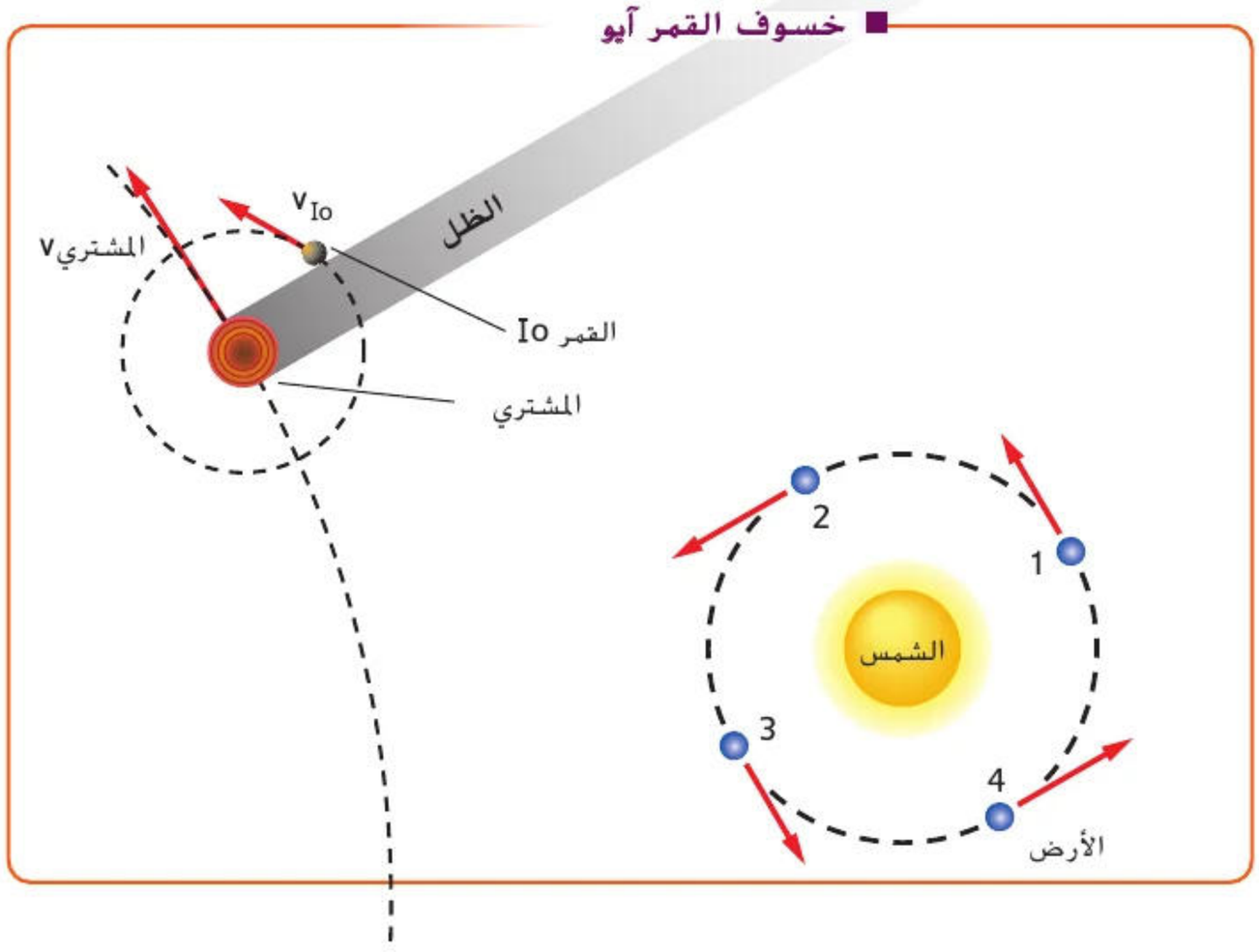
بعد إجراء قياسات كثيرة، استطاع رومر أن يتوقع وقت حدوث الخسوف المقبل للقمر آيو، وقارن توقعاته بالأزمنة التي تم قياسها فعليًا، وتوصل إلى أن زمن دوران القمر آيو يزداد بمتوسط 13 s لكل دورة تقريبًا عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن المشتري، ويقل بمتوسط 13 s لكل دورة تقريبًا عندما تتحرك الأرض مقتربة من المشتري. اعتقد رومر أنّ أقمار كوكب المشتري منتظمة الحركة في مداراتها كقمر الأرض تمامًا، لذا أخذ يبحث عن السبب الذي يؤدي إلى هذا التباين في قياسات الزمن الدوري للقمر آيو. ووجد أن هنالك متغيرًا آخر ضمن النظام، وهو حركة الأرض وموقعها بالنسبة إلى المشتري.

☑ **تأكد من فهمك** اشرح لماذا كان يُجري رومر عمليات حسابية للزمن الدوري للقمر آيو.

تجربة مصغرة

سرعة الضوء

كيف يمكن قياس سرعة الضوء؟



الشكل 10 عندما تتحرّك الأرض مقتربة من المشتري، يستغرق الضوء المنعكس عن سطح القمر آيو للوصول إلى الأرض زمنًا أقل مما يستغرقه عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن المشتري. (الرسم التوضيحي ليس مقياسًا).

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 11 آيو، أحد أقمار كوكب المشتري، وهو الجرم السماوي الذي يحمل أكبر نشاط بركاني في النظام الشمسي. فالبقع السوداء الموجودة على سطحه براكين نشطة.

قياس سرعة الضوء استنتج رومر أنّه عندما تتحرّك الأرض مبتعدة عن المشتري، يستغرق الضوء القادم عند كل ظهور للقمر آيو وقتًا أطول حتى يصل إلى الأرض لأنه يقطع مسافة أطول. وأنه عندما تتحرك الأرض مقتربة من المشتري يبدو الزمن الدوري للقمر آيو متناقصًا. وخلال 182.5 يومًا، وهو الزمن الذي يستغرقه انتقال الأرض من الموقع 1 إلى الموقع 3، كما هو موضّح في **الشكل 10**، حدث 100 خسوف للقمر آيو (بمعدل خسوف واحد كل 1.8 يوم).

لذلك، فقد أجرى رومر حسابات متعلقة بانتقال الضوء مسافة تعادل قطر مدار الأرض، فوجد أن الخسوف الواحد يتأخر بمقدار 13 ثانية، وبذلك فإن المئة خسوف تحتاج إلى 1.3×10^{3} s أو 22 min. ونظرًا إلى أنّ المسافات في الفضاء شاسعة جدًا، كان قياس رومر للفروق في الأزمنة التي يستغرقها الضوء للانتقال أسهل بكثير من القياسات الحديثة التي أجراها علماء آخرون لسرعة الضوء. وأحيانًا يبعد القمر آيو الموضّح في **الشكل 11** عن الأرض بما يعادل 9.3×10^{11} m.

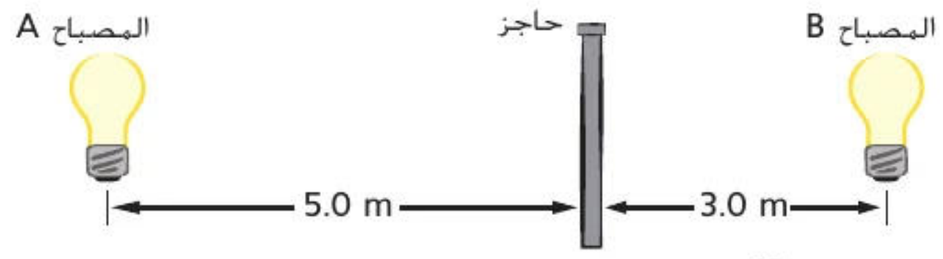
باستخدام القيمة المعروفة حاليًا لقطر مدار الأرض (2.93×10^{11} m) فإنّ قيمة رومر 22 min تعطي سرعة الضوء التالية = 2.9×10^{11} m/((22 min)(60 s/min)) = 2.2×10^{8} m/s. وتُعرف سرعة الضوء في الوقت الحاضر بأنها تساوي 3.0×10^{8} m/s تقريبًا، لذا يحتاج الضوء إلى 16.5 min، وليس إلى 22 min، ليعبر مدار الأرض. وبغض النظر عن هذه القيمة، فقد نجح رومر في إثبات انتقال الضوء بسرعة محددة.

قياسات ميكلسون على الرغم من إجراء العديد من القياسات لسرعة الضوء، إلا أنّ أبرزها تلك التي أجراها الفيزيائي الأمريكي ألبرت إبراهام ميكلسون. ففي الفترة بين عام 1880 وعشرينيات القرن العشرين، طوَّر ميكلسون تقنيات حديثة لقياس سرعة الضوء. وفي العام 1926، قاس ميكلسون الزمن الذي يستغرقه الضوء للانتقال ذهابًا وإيابًا بين جبلين يبعدان أحدهما عن الآخر مسافة 35 km. حيث استخدم ميكلسون مجموعة من المرايا الدوّارة لقياس مثل هذه الفترات الزمنية القصيرة، وكانت أفضل نتيجة توصل إليها ميكلسون $(2.99796 \pm 0.00004) \times 10^{8}$ m/s. ولهذا الإنجاز، كان ميكلسون أول عالم أمريكي يحصل على جائزة نوبل في العلوم.

إنّ قيمة سرعة الضوء في الفراغ قيمة عالمية ومهمة جدًا، لذا فإن لها رمزًا خاصًا بها وهو c. وقد قامت اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس بقياس سرعة الضوء فكانت c = 299,792,458 m/s. وبالنسبة إلى الكثير من العمليات الحسابية، تكون القيمة c 3.00×10^{8} m/s دقيقة بشكلٍ كافٍ. وبهذه السرعة، ينتقل الضوء مسافة 9.46×10^{12} km في السنة. إذ تُسمى هذه المسافة السنةَ الضوئية.

القسم 1 مراجعة

8. **الفكرة الرئيسة** ما الدليل الذي لاحظته على سير الضوء في خط مستقيم؟
9. **استخدام خصائص الضوء المادية** لماذا قد تختار ستارة شبه شفافة لنافذة غرفتك؟ ولماذا قد تختار ستارة معتمة؟
10. **الاستضاءة** هل يولّد مصباح واحد إضاءة أكبر من مصباحَين متماثلَين يقعان على ضعف بُعد مسافة المصباح الأول؟ وضّح إجابتك.
11. **شدة الإضاءة** يضيء مصباحان حاجزًا بالتساوي ويبعُدان عنه المسافة الموضحة في **الشكل 12**. إذا كانت شدة إضاءة المصباح A تبلغ 75 cd، فكم تبلغ شدة إضاءة المصباح B؟



الشكل 12

12. **بُعد المصدر الضوئي** افترض أنّ مصباحًا كهربائيًا يضيء سطح مكتبك واضائته نصف الاستضاءة المطلوبة. فإذا كان المصباح يبعد حاليًا 1 m فكم ينبغي أن يكون بعده ليعطي الاستضاءة المطلوبة؟
13. **المسافة التي يقطعها الضوء** ما المسافة التي يقطعها الضوء في الزمن الذي يستغرقه الصوت للانتقال مسافة 1 cm في الهواء عند درجة حرارة 20°C؟
14. **المسافة التي يقطعها الضوء** يمكن إيجاد بُعد القمر باستخدام مرايا يحملها رواد الفضاء على سطح القمر. إذا تم إرسال نبضة ضوء إلى القمر وعادت إلى الأرض خلال 2.562 s، فاحسب المسافة بين الأرض وسطح القمر مستخدمًا القيمة المحدَّدة لسرعة الضوء.
15. **التفكير الناقد** إذا كان الزمن الصحيح الذي يستغرقه الضوء لعبور مدار الأرض يساوي 16.5 min، وكان قطر مدار الأرض 2.98×10^{11} m، فاحسب سرعة الضوء بطريقة رومر. هل تبدو هذه الطريقة دقيقة؟ لماذا أو لِمَ لا؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الطبيعة الموجية للضوء

القسم 2

الفيزياء في حياتك

ألقِ نظرة على ظلك، وستلاحظ أنّ حواف الظل ليست واضحة المعالم. ويرجع السبب في ذلك إلى أنّ الضوء عبارة عن موجة تلتف حول الأجسام.

الفكرة الرئيسة

تشبه موجات الضوء بقية الموجات. فالضوء يحيد عن الأجسام وله طول موجي وتردد، وتنزاح موجات الضوء كما في الموجات الأخرى، مثلما يحدث في ظاهرة دوبلر..

الأسئلة الرئيسة

- كيف يبين الحيود أنّ الضوء عبارة عن موجات؟
- ما تأثيرات خلط ألوان الضوء ومزج الأصباغ؟
- كيف تحدث ظاهرتا الاستقطاب وتأثير دوبلر؟

مراجعة المفردات

طول الموجة أقصر مسافة بين نقاط الموجة التي يعيد نمط الموجة نفسه فيها، كالمسافة بين قمة وقمة أو قاع وقاع

مفردات جديدة

حيود	diffraction
لون أساسي	primary color
لون ثانوي	secondary color
لون متمم	complementary color
صبغة أساسية	primary pigment
صبغة ثانوية	secondary pigment
استقطاب	polarization
قانون مالوس	malus's law

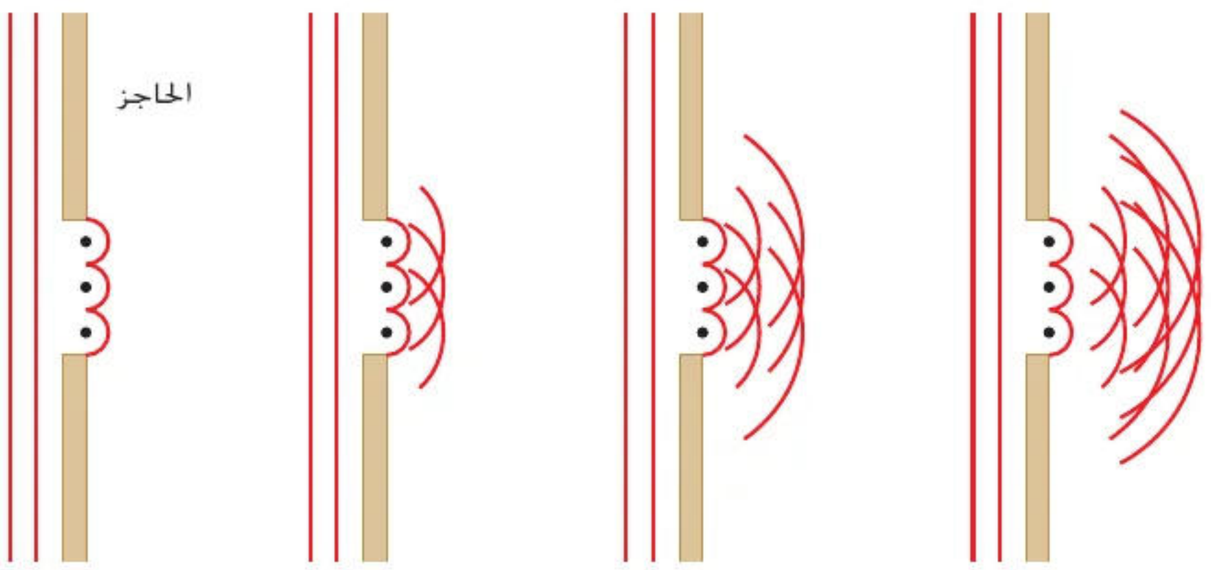
الحيود ونموذج الموجة

عندما تكون بالقرب من غرفة الموسيقى فإنك تسمع أصوات الآلات الموسيقية، وذلك لأن موجات الصوت تنحني، ولكنك لا ترى الموسيقيين، لأن الضوء المنعكس عنهم لا يصل إلى عينيك. ألا تنحني موجات الضوء على الإطلاق أم هي لا تنحني بقدر موجات الصوت؟

في العام 1665، لاحظ العالم الإيطالي فرانشيسكو ماريا جريمالدي أنّ حواف الظلال ليست واضحةً تمامًا. وقام بتمرير شعاع ضيق من الضوء في غرفة مظلمة، وأمسك بساق أمام الضوء بحيث يلقي بظلاله على سطح أبيض. فلاحظ أن ظل الساق الذي تكوَّن أعرض من الظل المتوقع تكوّنه في حال استمرار سير الشعاع الضوئي بخط مستقيم، وكما لاحظ جريمالدي أن الظل تحده حزم ملونة. وقد فسّر ذلك بأن الضوء ينحني قليلاً عند حافّات الأشياء، وأطلق على هذا الانحناء **الحيود**.

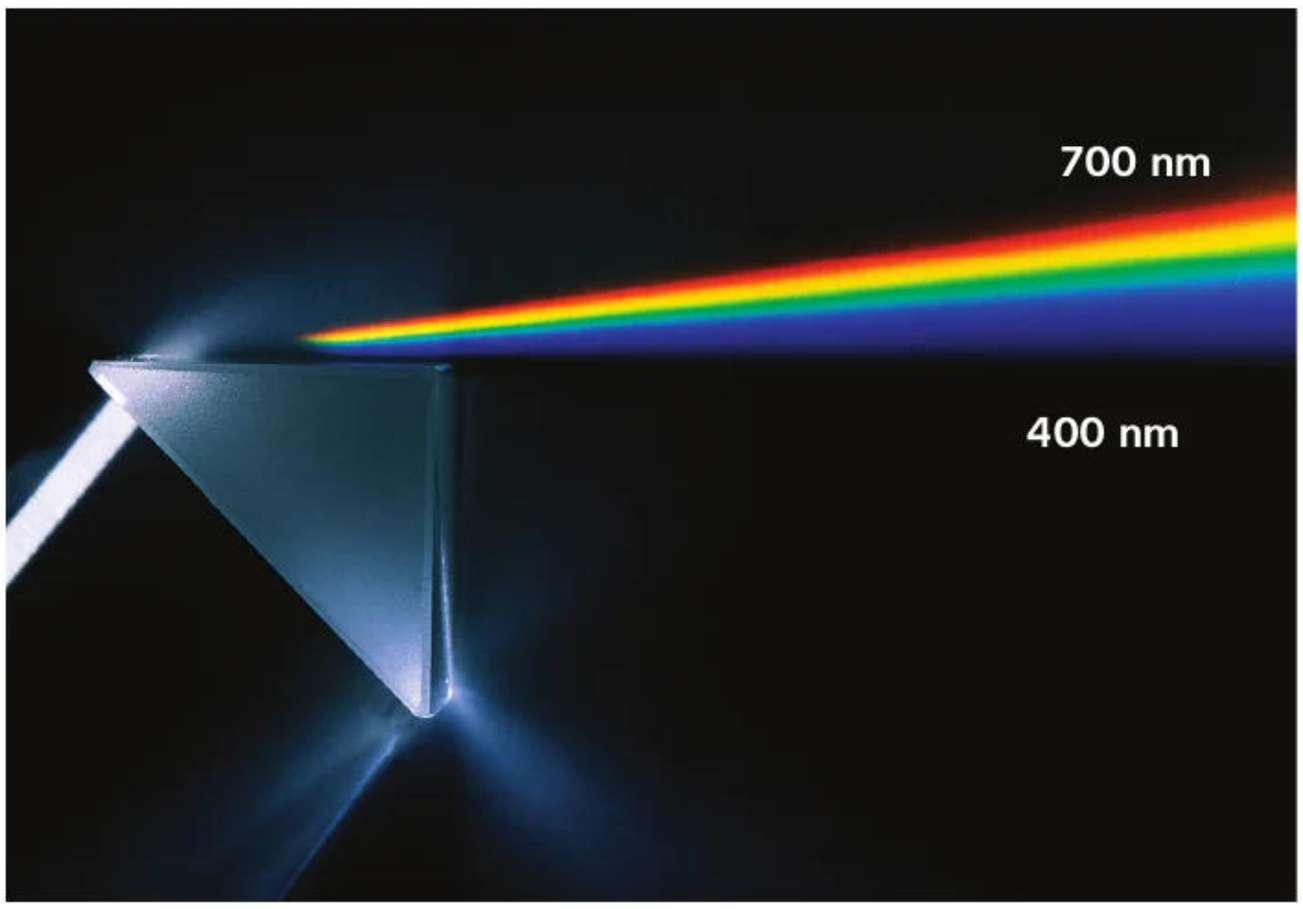
مبدأ هيجنز حاول العالم الدنماركي كريستيان هيجنز في العام 1678 إثبات النموذج الموجي للضوء، وذلك لكي يفسر ظاهرة الحيود. واعتمادًا على مبدأ هيجنز يمكن اعتبار النقاط التي على مقدمة الموجة الضوئية أنها مصادر لموجات صغيرة. وتنتشر هذه الموجة الصغيرة (المويجات) في جميع الاتجاهات بعضها خلف بعض، وتتكون مقدمة الموجة المستوية من عدد غير محدود من المصادر النقطية في خط واحد، وعندما تعبر مقدمة الموجة حافة ما فإنها تجتازها،حيث تنتشر كل موجة كروية تولدت بواسطة أي نقطة من نقاط هيجنز على شكل موجة كروية في الحيز الذي انحنت عنده مقدمة الموجة الأصلية كما هو موضّح في **الشكل 13**. وهذه الظاهرة تسمى الحيود وهي ظاهرة موجية.

■ مبدأ هيجنز



الشكل 13 ينشىء كل مصدر نقطي مويجة ثانوية كروية، وتتركب المويجات لتكوين مقدمة موجة مستوية، ما عدا عند حواف الفتحة في الحاجز، حيث تتحرك المويجات الكروية لنقاط هيجنز عندها بعيدًا من مقدمة الموجة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 14 عندما يسقط الضوء الأبيض على منشور، فإنه يتحلل إلى ألوان الطيف، ولكل لون طول موجي معين.

مختبر الفيزياء

طيف كامل من الاحتمالات

المختبر الجنائي كيف يمكن أن يساعد طيف من زجاج مكسور في مسرح الحادث في تحديد مركبة المشتبه فيه؟

اللون

أجرى العالم نيوتن في العام 1666 تجارب على الألوان وذلك بتمرير شعاع ضيق من الضوء من خلال منشور زجاجي، كما يظهر في **الشكل 14**. فلاحظ تكوّن ترتيب منتظم للألوان أطلق عليه اسم الطيف. كما ظنَّ أنَ جسيمات الضوء تتفاعل بصورة متفاوته في الزجاج لتكوّن الطيف، وذلك اعتمادًا على النموذج الجسيمي للضوء الذي رفض لاحقًا.

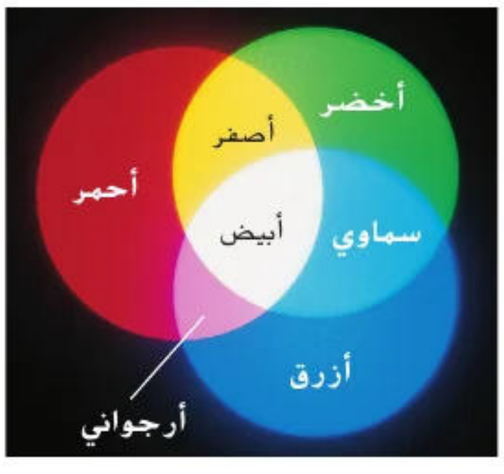
ولاختبار هذا الفرض سمح نيوتن بإسقاط الطيف النافذ من المنشور الأول على منشور ثانٍ. فإذا تكوَّن طيف نتيجة تفاوت تفاعل الزجاج مع جسيمات الضوء، فإن المنشور الثاني سيزيد من انتشار الألوان. وبدلاً من ذلك فقد عكس المنشور الثاني الألوان وأعاد تراكبها لتكوين اللون الأبيض. واستنتج العالم نيوتن أن اللون الأبيض مكوَن من عدة ألوان، وأنه توجد خاصية أخرى للضوء غير عدم انتظامه، وهي التي تسبب تحلل الضوء إلى مجموعة من الألوان.

أطوال مختلفة للموجة هل يستطيع النموذج الموجي للضوء تفسير ملاحظات العالم نيوتن؟ لكي يكون الضوء موجيًا يجب أن يكون له طول موجي وتردد. واعتمادًا على تجارب جريمالدي وهيجنز ونيوتن وغيرهم فإن للضوء خصائص موجية، ويقع الضوء المرئي ضمن نطاق من الأطوال الموجية يتراوح من 400 nm (4.00×10^{-7} m) إلى 700 nm (7.00×10^{-7} m)، كما في **الشكل 14**. وأطول هذه الأطوال الموجية هي موجة الضوء الأحمر وأقصرها طول موجة الضوء البنفسجي.

بينما يعبر الضوء الأبيض الحد الفاصل من الهواء إلى الزجاج ويعود مرة أخرى إلى الزجاج، كما يبين **الشكل 14**، فإن الطبيعة الموجية للضوء تتسبب بانحراف كل لون من الألوان أو انكساره، بزاوية مختلفة. ونتيجة الانحراف غير المتساوي للألوان المختلفة يتحلّل اللون الأبيض ويتكوّن طيف.

اللون عن طريق إضافة الضوء يمكن للضوء الأبيض أن يتشكل من الضوء الملوّن بطرق متنوّعة. على سبيل المثال، عندما يسلط الضوء الأحمر والأخضر والأزرق بشدة مناسبة على شاشة بيضاء، كما في **الشكل 15**، تظهر المنطقة التي تتراكب فيها هذه الألوان باللون الأبيض. وعندما تتراكب هذه الألوان الثلاثة تشكل اللون الأبيض، وتسمى عملية جمع الألوان. وتستعمل هذه الألوان في عمل شاشة التلفاز.

الشكل 15 ألوان الضوء الأخضر والأزرق والأحمر يمكن أن تتراكب وتكوّن اللون الأصفر أو الأرجواني أو الأزرق الفاتح. وتظهر المنطقة التي تتراكب فيها هذه الألوان باللون الأبيض.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

لكل لون من الألوان الثلاثة شدة مناسبة وعندما تتراكب معًا تظهر الشاشة باللون الأبيض؛ لذا يطلق عليها **الألوان الأساسية** للضوء. وينتج من مزج الألوان الأساسية في صورة أزواج ثلاثة ألوان إضافية. كما يظهر في **الشكل 15**. ينتج من مزج الضوء الأحمر والأخضر اللون الأصفر. إذ ينتج من مزج الضوء الأزرق والأخضر اللون الأزرق السماوي. وينتج من مزج الضوء الأحمر والأزرق اللون الأرجواني. يطلق على اللون الأصفر والأزرق السماوي والأرجواني اسم الألوان الثانوية. إنّ **اللون الثانوي** هو مزيج من لونين أساسيين. لاحظ أنّ هذه الألوان مختلفة قليلًا عن الألوان الأساسية والثانوية التي ربما تكون قد تعلمتها في السابق. وسيتم شرح أسباب هذا في ما بعد.

ويتضح من **الشكل 15** أن الضوء الأصفر يتشكل من الضوء الأحمر والأخضر. وإذا سلّط اللونان الأصفر والأزرق على شاشة بيضاء بشدة مناسبة. فستظهر باللون الأبيض. ويسمى اللونان الضوئيان اللذان يختلطان معًا لتشكيل اللون الأبيض. **الألوان المتتامة (المتكاملة)**. وبذلك يكون اللون الأصفر متممًا للون الأزرق والعكس صحيح. لأنهما يشكلان الضوء الأبيض عندما يمتزجان. كما أن اللون الأزرق الفاتح واللون الأحمر لونان متتامان. واللون الأرجواني والأخضر أيضًا لونان متتامان. لذا يمكن تبييض الملابس باستعمال صبغة زرقاء تُضاف إلى مسحوق الغسيل.

اللون عن طريق اختزال أشعة الضوء كما تعلمت في القسم الأول من هذه الوحدة. يمكن للأجسام أن تعكس الضوء أو تمرره أو تمتصه. ولا يعتمد لون الجسم فقط على الطول الموجي للضوء الذي يضيء الجسم. بل يعتمد أيضًا على الأطوال الموجية التي يمتصها الجسم وعلى الأطوال الموجية التي يعكسها. إن وجود المواد الملونة بصورة طبيعية أو إضافتها صناعيًا للمادة المكونة للجسم أو إضافة أصباغ إليه يكسبه لونًا مميزًا.

المواد الملونة لعلك تعلم أنه تستعمل على نطاق واسع في تلوين الملابس. فهي تستخلص من النباتات أو الحشرات. فعلى سبيل المثال المادة الملونة الأرجوانية تستخلص من توت شجرة التوت الأسود. ويعتبر الزعفران مصدرًا للمادة الملونة الصفراء. وتستخلص المادة الملونة الحمراء من حشرة تدعى الدودة القرمزية. إن المادة الملونة تتكون من جزيئات لها القدرة على امتصاص أطوال موجية معينة للضوء. وتسمح لأطوال موجية أخرى بالنفاذ من خلالها أو تعكسها. وعندما يُمتص الضوء فإن طاقته تنتقل الى الجسم الذي سقط عليه وتتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة. فالقميص الأحمر لونه أحمر لأن المواد الملونة فيه تعكس اللون الأحمر إلى أعيننا. وعندما يسقط اللون الأبيض على الجسم الأحمر. اللون المبيّن في **الشكل 16**، فإن جزيئات المادة الملونة تمتص اللون الأزرق والأخضر وتعكس اللون الأحمر. أما عندما يسقط الضوء الأزرق فقط على جسم لون أحمر فإن مقدارًا بسيطًا من الضوء ينعكس ويظهر الجسم غالبًا باللون الأسود.

الأصباغ يكمن الفرق ما بين المادة الملونة والصبغة. أن الأصباغ عادةً تُصنع من المعادن المطحونة وليست مستخلصة من النباتات أو الحشرات. فالصبغة الحمراء تُصنع من الهيماتيت. ويمكن الحصول على الصبغة الزرقاء من الأزوريت. يمكن رؤية جسيمات الصبغة في المجهر. وتسمى الصبغة التي لها القدرة على امتصاص لون أساسي واحد وتقوم بعكس اللونين الآخرين من اللون الأبيض **الصبغ الأساسية**. فالصبغة الصفراء تمتص الضوء الأزرق وتعكس الضوء الأحمر والأخضر. وتعتبر الألوان الأصفر والأزرق الفاتح والأرجواني ألوانًا أساسية للأصباغ.

تأكد من فهمك **ميّز** الفرق بين اللون عن طريق اختزال الضوء واللون عن طريق إضافة الضوء.

الشكل 16 تتحدد ألوان الأجسام التي نراها على حسب ما يُمتص من أطوال الموجة الضوئية وما ينعكس منها.

اشرح لماذا يظهر الجسم الاصفر في الضوء الأبيض باللون الأحمر في الضوء الأحمر.

الضوء الأبيض يضيء أحجار النرد هذه.

الضوء الأزرق يضيء أحجار النرد هذه.

الضوء الأحمر يضيء أحجار النرد هذه.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 17 الألوان الأساسية للأصباغ هي: الأرجواني والأزرق الفاتح والأصفر. وينتج من مزج هذه الأصباغ في صورة أزواج الألوان الثانوية للأصباغ، وهي: الاحمر والأخضر والأزرق.

تجارب مصغرة

اللون عن طريق درجة الحرارة

ما العلاقة بين الألوان ودرجة الحرارة؟

استقطاب الضوء المنعكس

كيف يمكن ملاحظة الضوء المستقطب (المنعكس)؟

إنَ الصبغة التي تمتص لونين أساسيين وتعكس لونًا واحدًا تسمى **الصبغة الثانوية**. وألوان الصبغات الثانوية هي الأحمر (الذي يمتص الضوء الأخضر والأزرق)، والأخضر (الذي يمتص الضوء الأحمر والأزرق)، والأزرق (الذي يمتص الضوء الأحمر والأخضر). لاحظ أنّ الألوان الأساسية للأصباغ هي الألوان الثانوية للضوء والعكس صحيح.

الألوان الأساسية والثانوية للأصباغ تظهر في **الشكل 17**. فعند خلط صبغة صفراء مع صبغة زرقاء فاتحة، فإن اللون الأصفر يمتص الضوء الأزرق، ويمتص اللون الأزرق الفاتح اللون الأحمر. ويوضح **الشكل 17** مزج اللونين الأصفر والأزرق الفاتح لتشكيل الصبغة الخضراء. وعند مزج الصبغة الصفراء مع الصبغة الثانوية الزرقاء التي تمتص الضوء الأخضر والأحمر فإن الألوان الأساسية كلها تمتص، وينتج اللون الأسود. لذا فإن الصبغة الصفراء والصبغة الزرقاء صبغتان متتامتان، والصبغتان الحمراء والزرقاء الفاتحة صبغتان متتامتان، وكذلك الصبغتان الأرجوانية والخضراء متتامتان أيضًا.

الربط بالكيمياء تستعمل الطابعة الملونة نقاطًا من صبغة الألوان الأصفر والأرجواني والأزرق الداكن لعمل صورة ملونة على الورقة. وتكون الأصباغ المستخدمة في الغالب مركّبات مسحوقة بصورة دقيقة، مثل أكسيد التيتانيوم الرباعي(أبيض)، وأكسيد الكروميوم الثلاثي(الأخضر)، وكبريتيد الكادميوم (الأصفر). وتخلط الأصباغ لتشكل محاليل معلقة بدلاً من المحاليل الحقيقية، وتستمر هذه المركّبات في عكس وامتصاص الأطوال الموجية نفسها، إلا أن كلًّا منها يحافظ على تركيبها الكيميائي في المزيج دون تغيير.

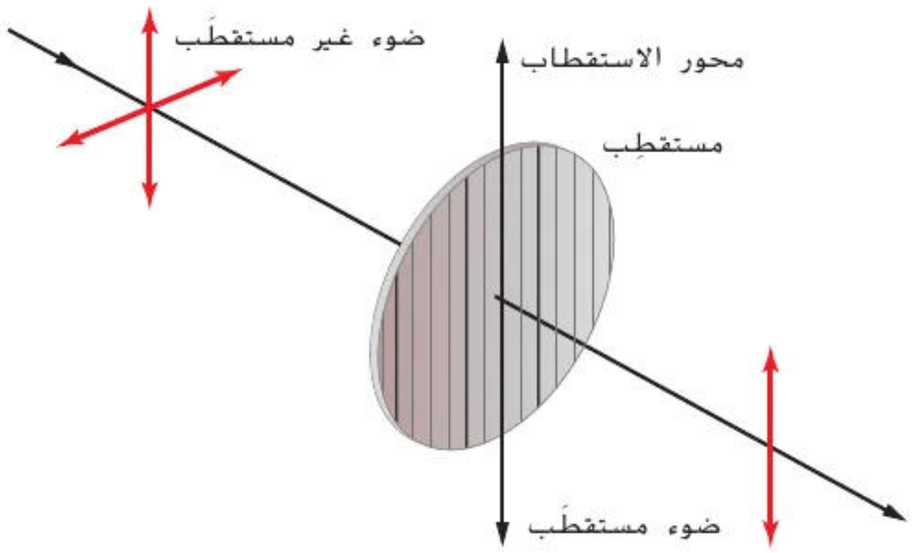
الربط بعلم الأحياء يمكنك فهم الألوان التي تشاهدها في **الشكل 18**. إذ تبدو النباتات على الجبل باللون الأخضر بسبب وجود صبغة الكلوروفيل فيها، فهناك أحد أنواع الكلوروفيل يمتص اللون الأحمر، ويمتص النوع الآخر اللون الأزرق، في حين يعكس كلاهما الضوء الأخضر. وتستعمل طاقة الضوء الأحمر وطاقة الضوء الأزرق الممتصين من قبل النبات في عملية البناء الضوئي، وهي العملية التي تصنع فيها النباتات الخضراء غذاءها.

الشكل 18 في الغالب يعكس الكلوروفيل الموجود في الأوراق الخضراء الضوء الأخضر، مما يمنح الأوراق هذا اللون.

اشرح لماذا تظهر الأوراق باللون الأخضر بدرجات متفاوتة؟

McGraw-Hill Education

■ الاستقطاب عن طريق الترشيح



الشكل 19 تهتز موجات الضوء غير المستقطبة بشكل عشوائي في كل اتجاه عموديًا على اتجاه تنقلها. يقوم وسط الاستقطاب بحجز الضوء الذي لا يوازي محور الاستقطاب.

استقطاب الضوء

هل سبق أن نظرت إلى الضوء المنعكس على جانب الطريق عبر نظارة شمسية مستقطبة؟ إذا أدرت النظارة، فسيظهر الطريق في البداية مظلمًا، ثم مضاء، ثم مظلمًا مرة أخرى إلا أنّ الضوء الصادر عن المصباح يتغيّر بشكل ضئيل جدًا عند تدوير النظارة. فما سبب هذا الفرق؟ إنّ مصابيح الإضاءة العادية غير مستقطبة. أما الضوء الصادر عن الطريق، فينعكس ثم يصبح مستقطبًا. إنّ **الاستقطاب** هو إنتاج ضوء بنمط تذبذب معين.

تذكر أنّ الضوء يعمل كموجة مستعرضة. إذا كانت الموجات على حبل، فوسط التذبذب هو الحبل. أما الموجات الضوئية، فإنّ المتذبذب هو المجال الكهربائي، حيث أن المجال الكهربائي في الموجة الكهرومغناطيسية هو وحده من دون المجال المغناطيسي المسؤول عن الظواهر الضوئية. عند تذبذب هذا المجال الكهربائي في اتجاهات عشوائية، يكون الضوء غير مستقطب. كيف يمكنك ترشيح الضوء غير المستقطب بحيث لا يمر من المرشح سوى الضوء المستقطب؟

الاستقطاب عن طريق الترشيح تمثّل الخطوط الموجودة في المستقطب المعروض في **الشكل 19** محور الاستقطاب. وإن الضوء الذي موجاته تتذبذب بصورة موازية مع محور الاستقطاب يمر، أما الضوء الذي موجاته تتذبذب بشكل متعامد مع محور الاستقطاب فلا يمر. في حال وضع المستقطب في شعاع من الضوء غير المستقطب، لن تمر سوى الموجات الموجودة في اتجاه محور الاستقطاب نفسه. ونتيجة لهذا، لا يمر سوى نصف إجمالي الضوء مما يقلل من شدة الضوء إلى النصف.

الربط بالكيمياء تحتوي أوساط الاستقطاب جزيئات طويلة تتمكن من خلالها الإلكترونات من التذبذب، أو الحركة إلى الأمام وإلى الخلف وجميعها في الاتجاه نفسه. وعندما ينتقل الضوء عابرًا الجزيئات تمتص الإلكترونات الموجات الضوئية التي تتذبذب في اتجاه تذبذب الإلكترونات نفسه. وتسمح هذه العملية للموجات الضوئية المتذبذبة في اتجاه معين بالعبور من خلالها، في حين تمتص الموجات المتذبذبة في الاتجاه الآخر. ويسمى اتجاه وسط الاستقطاب المتعامد مع الجزيئات الطويلة محور الاستقطاب. والموجات التي تتمكن من العبور هي فقط الموجات المتذبذبة بصورة موازية للمحور.

الاستقطاب عن طريق الانعكاس عندما تنظر من خلال مرشح استقطاب إلى الضوء المنعكس عن لوح زجاجي وتدوّر المرشح ستلاحظ أن الضوء يسطع ثم يخفت. وهذا يعني أنه حدث استقطاب جزئي للضوء في اتجاه سطح الزجاج عندما انعكس. أي إن الأشعة الضوئية المنعكسة تحوي كميةً كبيرةً من الضوء المتذبذب بشكل موازٍ لسطح الزجاج. واستقطاب الضوء المنعكس هو السبب في تقليل التوهج عند استخدام النظارة الشمسية المستقطبة. ونستدل من حقيقة تغير شدة الضوء المنعكس نتيجة تدوير النظارات الشمسية المستقطبة، على أن الضوء المنعكس مستقطب جزئيًا. ويثبت الفوتوجراف مرشحات الاستقطاب على عدسات الكاميرا لحجب الضوء المنعكس، كما هو مبيّن في **الشكل 20**.

مختبر الفيزياء

الاستقطاب

ما أنواع المصادر الضوئية أو المضيئة التي تنتج الضوء المستقطب؟

تقليل الوهج

كيف تعمل مرشحات الاستقطاب لتقليل الوهج؟

الشكل 20 إنّ التوهج هو ضوء تم استقطابه عن طريق الانعكاس. يستخدم المصورون مرشحات الاستقطاب لتقليل الوهج.

استقطاب بدون مرشح

استقطاب بمرشح

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 21 تسمح مرشحات الاستقطاب ذات المحور الموازي بمرور الضوء من خلالها. أما إن كانت محاور الاستقطاب تصنع زاوية مقدارها 45°، فتسمح المرشحات بمرور بعض الضوء. وإن كانت متعامدة، فسيحجب المرشح الثاني الضوء الذي قد مر عبر المرشح الأول.

قانون مالوس افترض أنك حصلت على ضوءٍ مستقطب بواسطة مرشح استقطاب. ماذا سيحدث إذا وضعت مرشح استقطاب ثانيًا في مسار الضوء المستقطب؟ إن كان محور الاستقطاب في المرشح الثاني موازيًا لمحور المرشح الأول، فسيمر الضوء. وإن كان محور الاستقطاب في المرشح الثاني متعامدًا على محور المرشح الأول، فلن يمرّ الضوء، كما هو مبين في **الشكل 21**.

ويسمى القانون الذي يوضح مدى انخفاض شدة الضوء عندما يعبر من خلال مرشح استقطاب ثانٍ **قانون مالوس**. إذا كانت شدة الضوء بعد مروره في مرشح الاستقطاب الأول I_1 فإن مرشح الاستقطاب الثاني الذي يصنع محور استقطابه زاوية مقدارها 0، مع محور استقطاب المرشح الأول، سينتج ضوءًا شدته I_2 بحيث تكون أقل من I_1 أو تساويها.

قانون مالوس

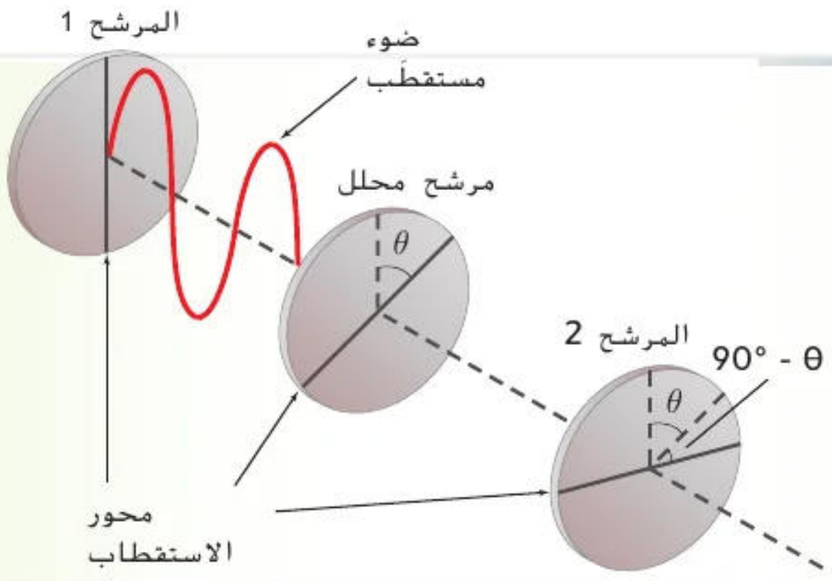
تساوي شدة الضوء الصادر من مرشح الاستقطاب الثاني شدة الضوء المستقطب الصادر من مرشح الاستقطاب الأول مضروبًا في مربع جيب التمام للزاوية بين محوري استقطاب المرشحين.

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

أسئلة تحفيزية

إذا وضعت مرشَحًا محلّلًا بين مرشحين متقاطعين (محورا استقطابهما متعامدان)، بحيث لا يوازي محور استقطابه أيًا من محوري المرشحين المتقاطعين، كما هو موضح في الشكل.

1. ستلاحظ مرور بعض الضوء عبر المرشح 2، على الرغم من عدم مرور ضوء عبر المرشح 2 قبل إدخال المرشح المحلل. لماذا يحدث ذلك؟
2. إذا وضعت مرشحًا محلّلًا بزاوية θ بالنسبة إلى محور استقطاب المرشح 1. اشتق معادلة لحساب شدة الضوء الصادر من المرشح 2 مقارنة بشدة الضوء الصادر من المرشح 1.



McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

سرعة الضوء وطول موجته وتردده

كما تعلمت، يحدد مصدر الموجة تردد تلك الموجة (f). ويحدد الوسط والتردد معًا طول الموجة (λ) للموجة. ويمكن وصف الضوء بالنماذج الرياضية نفسها المستخدمة في وصف الموجات، لأن الضوء له خصائص موجية. ويكون الطول الموجي لضوء ذي تردد معلوم ينتقل في الفراغ عبارة عن دالة رياضية في سرعة الضوء (c)، والتي يمكن كتابتها على النحو التالي $\lambda_0 = c/f$. ولقد زودنا تطور الليزر في ستينيات القرن الماضي بطرائق جديدة لقياس سرعة الضوء. كما يمكن قياس تردد الضوء بدقة متناهية، وذلك باستخدام أجهزة الليزر والزمن المعياري والذي تزودنا به الساعات الذرية. في حين يتم قياس الأطوال الموجية للضوء بدقة أقل جدًا.

لألوان الضوء المختلفة ترددات وأطوال موجية مختلفة، ولكنها تنتقل جميعها في الفراغ بسرعة تساوي سرعة الضوء. فإذا كان تردد موجة الضوء في الفراغ معروفًا أمكنك عندئذ حساب طولها الموجي، والعكس صحيح، وذلك لأن جميع الأطوال الموجية للضوء تنتقل في الفراغ بالسرعة نفسها. ويمكنك باستخدام القياسات الدقيقة لسرعة الضوء وتردده حساب قيمة دقيقة لطوله الموجي.

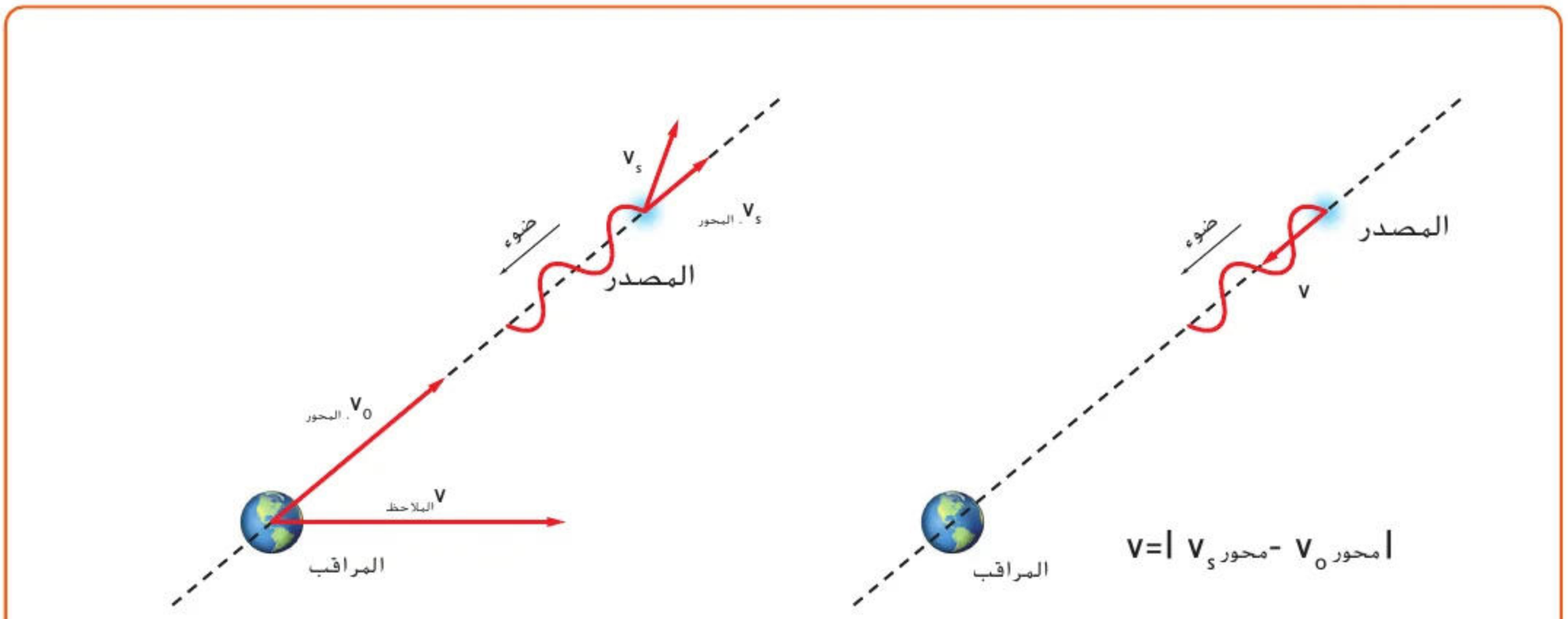
الحركة النسبية والضوء ماذا يحدث إن تحرّك مصدر الضوء باتجاهك أو تحركت أنت في اتجاه المصدر؟ تعلمت سابقًا أنه إذا كان مصدر الصوت أو المستمع متحركًا فإنه يتغير تردد الصوت الذي يسمعه المستمع. وهذا صحيح أيضًا بالنسبة الى الضوء. فإذا أخذت بعين الاعتبار السرعة المتجهة لكل من مصدر الصوت والمراقب فإنك تكون أخذت بعين الاعتبار السرعة المتجهة لكل منهما بالنسبة الى الوسط الذي ينتقل فيه الصوت.

تأثير دوبلر طبيعة الموجات الضوئية هي أنها ليست اهتزازات لجسيمات الوسط. يتضمن تأثير دوبلر في الضوء السرعة المتجهة لكل من المصدر والمراقب أحدهما بالنسبة إلى الآخر فقط، وذلك لأن اهتزازات الضوء ليست اهتزازًا لجسيمات الوسط الميكانيكي، كما هو الحال في الموجات الصوتية. ويسمى مقدار الفرق في السرعتين المتجهتين لكل من المصدر والمراقب بالسرعة النسبية. والعاملان المؤثران في تأثير دوبلر هما فقط مُرَكَّبتا السرعتين المتجهتين على امتداد المحور بين المصدر والمراقب، كما في **الشكل 22**.

لدراسة تأثير دوبلر في الضوء يمكن تبسيط المسألة باعتبار أن السرعات النسبية المحورية أقل جدًا من سرعة الضوء ($v \ll c$). يستخدم هذا التبسيط لتطوير معادلة حول الضوء المراقب (f_{obs})، التي تمثل الضوء كما يراه المراقب.

الشكل 22 يصف تأثير دوبلر طريقة تغيّر تردد الضوء عند اقتراب المراقب ومصدر الضوء أحدهما من الآخر أو عند ابتعادهما أحدهما عن الآخر.

■ تأثير دوبلر



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تردد الضوء المراقب

تردد الضوء المراقب من مصدر يساوي التردد الحقيقي للضوء المتولد من المصدر، مضروبًا في ناتج جمع واحد إلى (السرعة النسبية على امتداد المحور ما بين المصدر والمراقب مقسومةً على سرعة الضوء) إذا تحرك كل منهما في اتجاه الآخر، أو ناتج طرح (السرعة النسبية مقسومةً على سرعة الضوء) من الواحد إذا تحركا مبتعدين.

$$f_{\text{obs}} = f\left(1 \pm \frac{v}{\text{c}}\right)$$

الاستخدامات لأن معظم المشاهدات حول تأثير دوبلر في الضوء تمت في نطاق علم الفلك، فإن معادلة تأثير دوبلر للضوء كتبت بدلالة الطول الموجي بدلاً من التردد. ويمكن استعمال المعادلة التالية $\lambda = \text{c}/f$ والتبسيط $v \ll \text{c}$، لحساب إزاحة دوبلر $(\Delta\lambda)$، التي تمثل الفرق بين الطول الموجي المراقب للضوء والطول الموجي الحقيقي له.

انزياح دوبلر

الفرق بين الطول الموجي المراقب للضوء والطول الموجي الحقيقي للضوء الذي يولده المصدر مضروبًا في السرعة النسبية للمصدر والمراقب مقسومًا على سرعة الضوء. وتكون هذه الكمية موجبة إذا تحركا مبتعدين أحدهما عن الآخر، وسالبة إذا تحركا مقتربين أحدهما من الآخر.

$$(\lambda_{\text{obs}} - \lambda) = \Delta\lambda = \pm\left(\frac{v}{\text{c}}\right)\lambda$$

إن التغير الموجب في الطول الموجي يعني أن الضوء مزاح نحو اللون الأحمر، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مبتعد عن المراقب. والتغير السالب في الطول الموجي يعني أن الضوء مزاح نحو اللون الأزرق، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مقترب من المراقب. وعندما يزاح الطول الموجي نحو الأحمر يكون التردد المراقب أقل، نتيجة للعلاقة العكسية بين هذين المتغيرين، لأن سرعة الضوء تبقى ثابتة. وعندما يزاح الطول الموجي نحو الأزرق يكون التردد المراقب أكبر.

◀ **الربط بعلم الفلك** يستطيع علماء الفلك تحديد كيفية تحرك الأجسام مثل المجرات نسبة إلى الأرض عن طريق ملاحظة تأثير دوبلر في ضوئها. ويتم ذلك من خلال مراقبة الطيف الضوئي المنبعث من النجوم في المجرة بواسطة جهاز يسمى المطياف، انظر **الشكل 23**. حيث تبعث العناصر الموجودة في نجوم المجرات أطوالًا موجية محددة يمكن قياسها في المختبر. وللمطياف القدرة على قياس مقدار انزياح دوبلر لهذه الأطوال الموجية.

الشكل 23 ينزاح طيف انبعاث الهيدروجين نحو الأحمر مقارنة بطيف المختبر، مما يدل على تحرك مصدر الضوء بعيدًا من كوكب الأرض.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تطبيقات

16. يبعث الأكسجين ضوءًا بطول موجة 513 nm. فما تردد هذا الضوء؟

17. تتحرك ذرة هيدروجين في إحدى المجرات بسرعة 6.55×10^{6} m/s مبتعدة عن كوكب الأرض وتبعث ضوءًا بتردد 6.16×10^{14} Hz. ما التردد الذي سيلاحظه عالم فلك على الأرض للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين؟

18. تتحرك ذرة هيدروجينية في إحدى المجرات بسرعة 6.55×10^{6} m/s مبتعدة عن كوكب الأرض وتبعث ضوءًا بطول موجة 486 nm. ما طول الموجة الذي ستتم ملاحظته على كوكب الأرض للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين؟

19. تحدي ينظر أحد علماء الفلك إلى طيف إحدى المجرات ويجد أنّ خطّ طيف الأكسجين فيها بطول 525 nm. في حين أن القيمة المقيسة في المختبر 513 nm. احسب سرعة تحرك المجرة بالنسبة الى الأرض. ووضح ما إذا كانت المجرة تتحرك مقتربة من الارض أو مبتعدة عنها. وكيف تعرف ذلك.

اقترح ادوين هابل في العام 1929. أن الكون يتمدد. وتوصّل إلى هذه النتيجة بتحليل طيف الانبعاث القادم من عدة مجرات. ولاحظ أن خطوط الطيف للعناصر المألوفة كانت ذات أطوال موجية أطول من المتوقع. حيث كانت خطوط الطيف مزاحة نحو اللون الأحمر. وبغض النظر عن مساحة السماء التي راقبها فقد كانت المجرات ترسل ضوءًا مزاحًا نحو اللون الأحمر. فما سبب انزياح خطوط الطيف نحو اللون الأحمر؟ استنتج هابل من ذلك أن المجرات جميعها تتحرك مبتعدة عن الأرض.

القسم 2 مراجعة

20. الفكرة الرئيسة صف الحركات النسبية للأجسام عندما ينزاح الضوء نحو الأحمر وعندما ينزاح الضوء نحو الأزرق. أجب باستخدام المصطلح تأثير دوبلر.

21. مزج ألوان الضوء ما لون الضوء الذي يجب مزجه مع الضوء الأزرق للحصول على ضوء أبيض؟

22. تفاعل الضوء مع الأصباغ ما اللون الذي ستظهر فيه موزة صفراء عند إضاءتها بكل مما يلي؟

a. الضوء الأبيض

b. الضوء الأخضر والأحمر

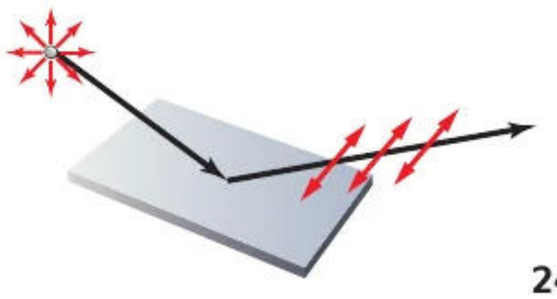
c. الضوء الأزرق

23. ما ألوان الأصباغ الثانوية ولماذا تمنح الأجسام مظهر هذه الألوان؟

24. مزج الأصباغ ما الألوان الأساسية للأصباغ التي يجب أن تمزج لتشكيل اللون الأحمر؟ وضّح كيف ينتج اللون الاحمر باختزال لون من ألوان الصبغة؟

25. الاستقطاب صف تجربة بسيطة يمكنك إجراؤها لتحديد ما إذا كانت النظارة الشمسية المتوافرة في المتجر مستقطبة أم لا.

26. النظارات الشمسية المستقطبة استخدم **الشكل 24** لتحديد الاتجاه الذي ينبغي توجيه محور الاستقطاب إليه في النظارات الشمسية المستقطبة لتقليل التوهج من سطح الطريق: رأسيًا أم أفقيًا؟ فسّر ذلك.



الشكل 24

27. سرعة الضوء الأحمر في الهواء والماء أقل منها في الفراغ. فإذا علمت أن التردد لا يتغير عندما يدخل الضوء الأحمر في الماء. فهل يتغير الطول الموجي؟ وإذا تغير فكيف يكون؟

28. التفكير الناقد توصل الفلكيون إلى أن مجرة الأندروميدا، وهي المجرة القريبة من مجرتنا (درب التبانة) تتحرك باتجاه مجرتنا. وضّح كيف تمكنوا من تحديد ذلك. وهل يمكنك التفكير في دليل محتمل لاقتراب مجرة الأندروميدا من مجرتنا؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التعرف على

البعد الثالث

هل سبق لك أن شاهدت فيلمًا ثلاثي الأبعاد؟ على الرغم من عرض الفيلم على شاشة مستوية، تظهر الصور ثلاثية الأبعاد. فتظهر الأجسام الأمامية وكأنها تقفز خارج الشاشة وتظهر الخلفية وكأنها بعيدة. فالأفلام الثلاثية الأبعاد تستخدم خدعة العمق. لكن كيف نلاحظ الفرق بين الأجسام القريبة والبعيدة؟

أغمض عينًا واحدة وانظر إلى جسم بعيد، ثم ضع إصبع الإبهام أمام عينك لتحول دون رؤية هذا الجسم. من دون أن تحرك إصبع الإبهام، أغمض عينك المفتوحة وافتح عينك المغلقة. ما الذي حدث؟

عينان، صورة واحدة يتمتع الإنسان برؤية منظارية، حيث يجمّع الدماغ الصور المنفصلة التي تراها كل عين على حدة. تكون الفروق بين هذه الصور أكثر وضوحًا مع الأجسام القريبة جدًا من العين، لكن لا تكون ملحوظة تقريبًا مع الأجسام البعيدة. لهذا، تبدو إصبع الإبهام القريبة من العين كأنها يتحرك، بينما يبقى الجسم البعيد الذي كنت تحجبه عن عينك في المكان نفسه. يُعدّ هذا المفهوم البسيط الذي اكتُشف منذ 150 سنة تقريبًا أساسَ تكنولوجيا الأفلام الثلاثية الأبعاد.

مرشحات الاستقطاب يستخدم منتجو الأفلام كاميرات موضوعة جنبًا إلى جنب لتصوير المشاهد، فينتجون تأثير الرؤية المنظارية نفسه. ثم يُعرض الفيلمان على الشاشة نفسها من خلال مرشحي استقطاب مختلفَين.

يسمح مرشح الاستقطاب بعبور الموجات الضوئية التي تتذبذب في اتجاه واحد معين. تحتوي النظارة الثلاثية الأبعاد على مرشحي استقطاب يتعامد أحدهما على الآخر. كما هو موضّح في **الشكل 1**، يمنع كل من المرشحين صورة واحدة من الصورتين المعروضتين على الشاشة، فيرسلان صورة مختلفة إلى كل عين.

الشكل 1 ترسل مرشحات الاستقطاب صورًا مختلفة إلى كل عين فتنتجان تأثيرًا ثلاثي الأبعاد.

لمزيد من التعمق >>>

بحث يمكن أن تنتج بعض أجهزة التلفاز والأجهزة المحمولة باليد تأثيرًا ثلاثي الأبعاد من دون الحاجة إلى استخدام نظارة. قم بعمل بحث عن التكنولوجيا التي يرجع إليها هذا التقدم. ثم أنشئ رسمًا تخطيطيًا يوضّح أوجه الفرق بين هذا النوع الثلاثي الأبعاد والتقنيات الأكثر تقليدية.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 7 دليل الدراسة

الفكرة الرئيسة يسلك الضوء سلوك الأمواج ويمكن استكشافه بالعين المجردة.

القسم 1 الإضاءة

المفردات

- النموذج الشعاعي للضوء ray model of light
- مصدر مضيء luminous source
- معتم opaque
- شبه شفاف translucent
- شفاف transparent
- تدفق الضوء luminous flux
- الاستضاءة illuminance

الفكرة الرئيسة تنتقل أشعة الضوء في خطوط مستقيمة ولا يمكن أن تغيّر مسارها إلا عند مواجهة حاجز فقط.

- يمكن رسم نموذج الضوء كشعاع ينتقل في مسار مستقيم حتى يواجه حاجزًا. يمكن وصف الأوساط بأنها شفافة أو شبه شفافة أو معتمة بناء على تفاعل الضوء معها.
- تدفق الضوء من مصدر ضوء هو معدَّل انبعاث الضوء، ويقاس بوحدة اللومن (lm). إنّ الاستضاءة هي تدفق الضوء لكل وحدة مساحة، وتقاس بوحدة اللكس (lx) أو لومن لكل متر مربع (lm/m^2). بالنسبة إلى المصدر النقطي، تتناسب الاستضاءة عكسيًا مع مربع المسافة وتتناسب طرديًا مع تدفق الضوء.

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

- تضمنت القياسات الأولية لسرعة الضوء قياس الزمن الذي يستغرقه الضوء في قطع المسافة من قمر المشتري Io حتى يصل إلى الأرض. استخدم ميكلسون تقنية تقوم على أساس أرضي وتتضمن المسافة بين جبلين ومجموعة من المرايا الدوارة. في الفراغ، تكون سرعة الضوء ثابتة $c = 3.00 \times 10^8$ m/s.

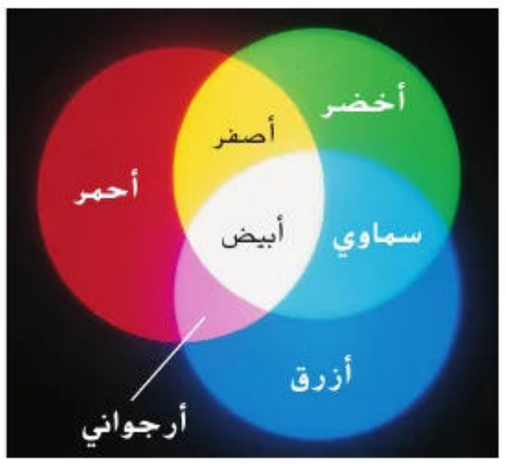
القسم 2 الطبيعة الموجية للضوء

المفردات

- الحيود diffraction
- لون أساسي primary color
- لون ثانوي secondary color
- لون مكمِّل complementary color
- صبغة أساسية primary pigment
- صبغة ثانوية secondary pigment
- الاستقطاب polarization
- قانون مالوس malus's law

الفكرة الرئيسة مثل كل الموجات، يحيد الضوء عن الأجسام، ويتمتع بطول موجة وتردد كما يمكن إزاحته بانزياح دوبلر.

- في النموذج الموجي للضوء، يمكن اعتبار كل النقاط في صدر الموجة مصادر لموجات أصغر. عندما يتجاوز الضوء حافة ينقطع صدر الموجة وتكوّن كل موجة صغيرة موجة دائرية جديدة.
- يمكن أن يتراوح الطول الموجي للضوء المرئي بين 400 nm و 700 nm. يتكوّن الضوء الأبيض من مجموعة من طيف الألوان، ولكل لون طول موجي مختلف. يؤدي الجمع بين الألوان الأساسية، الأحمر والأزرق والأخضر، إلى تكوّن الضوء الأبيض. وتكوّن المجموعات المكوّنة من لونين أساسيين الألوان الثانوية، الأصفر والأزرق السماوي والأرجواني.



تُستخدم الأصباغ الأساسية، السماوي والأرجواني والأصفر، في مجموعات من صبغتين لإنتاج صبغات ثانوية، الأحمر والأزرق والأخضر.

- يتكوّن الضوء المستقطب من موجات تتذبذب مجالاتها الكهربائية بنمط معين. وغالبًا ما يكون التذبذب في مستوى واحد. يمكن استقطاب الضوء باستخدام مرشح استقطاب أو بالانعكاس. ويمكن تمييز موجات الضوء المنتقلة عبر الفراغ من حيث التردد والطول الموجي وسرعة الضوء. تتغيّر موجات الضوء بتأثير الدوبلر بناءً على السرعة النسبية للمراقب ومصدر الضوء على طول محور المراقب ومصدر الضوء.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 7 التقويم

القسم 1 الاستضاءة

إتقان المفاهيم

29. ما بعض التطبيقات المفيدة لقياس الضوء؟

30. ميّز بين المصدر المضيء والجسم المستضيء.

31. انظر بعناية إلى مصباح ضوء أبيض عادي متوهج. هل هو مصدر مضيء أم جسم مستضيء؟

32. اشرح كيف يمكنك رؤية الأجسام غير المضيئة في غرفة الصف.

33. ميّز بين الأجسام الشفافة وشبه الشفافة والمعتمة.

34. ما الذي يتناسب طرديًا مع استضاءة سطح بمصدر ضوئي؟ وما الذي يتناسب معه عكسيًا؟

35. ما الخاصية المتعلقة بانتقال الضوء الذي كان للعالم أولي رومر الأسبقية في قياسها؟

إتقان حل المسائل

36. أوجد مقدار الاستضاءة على مسافة 4.0 m أسفل مصباح تدفقه الضوئي 405 lm.

37. يستغرق الضوء زمنًا مقداره 1.28 s لينتقل من القمر إلى الأرض. فما مقدار المسافة بينهما؟

38. يستهلك مصباح كهربائي ثلاثي الضبط قدرةً كهربائية تبلغ 50 W أو 100 W أو 150 W لإنتاج تدفق ضوئي يبلغ 665 lm أو 1620 lm أو 2285 lm من خلال أزرار ضبطه الثلاثة. إذا وُضع المصباح على بعد 80 cm فوق صفحة، وكانت أقل استضاءة لازمة لإضاءة الورقة هي 175 lx. فما أقل قدرة ينبغي استخدامها؟

39. **سرعة الأرض** وجد العالم أولي رومر أنّ متوسط زيادة التأخير في اختفاء قمر آيو من دورة واحدة حول كوكب المشتري إلى الدورة التي تليها هو 13 s.

a. ما المسافة التي يقطعها الضوء في 13 s؟

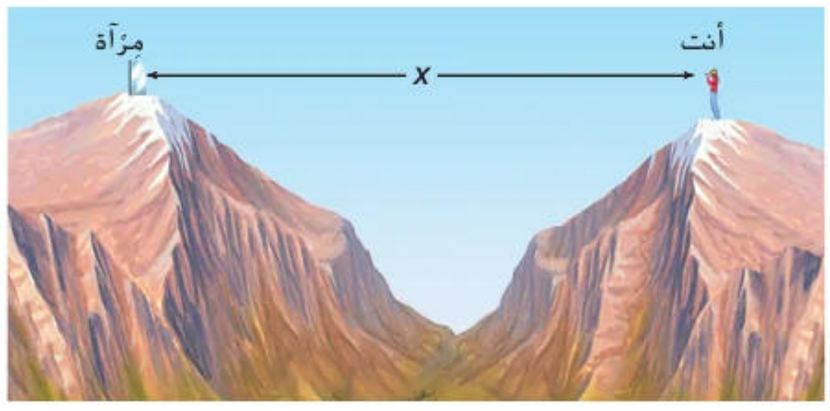
b. تستغرق كل دورة للقمر آيو زمنا قدره 42.5 h. وتتحرّك الأرض المسافة المحسوبة في الفرع a من السؤال في زمن 42.5 h. أوجد سرعة الأرض بوحدة الكيلومتر في الساعة.

c. تحقق أنّ إجابتك للفرع b منطقية. واحتسب سرعة الأرض في المدار مستخدمًا نصف قطر المدار، 1.5×10^8 km. والفترة 1.0 y.

40. يريد طالب أن يقارن التدفق الضوئي لمصباح ضوئي بمصباح آخر تدفقه الضوئي 1750 lm. وكان كل منهما يضيء ورقة بالتساوي، وكان المصباح الذي تدفقه الضوئي 1750 lm يبعد 1.25 m عن الورقة؛ في حين يقع المصباح الآخر على بعد 1.08 m. فما التدفق الضوئي للمصباح الضوئي؟

41. **عكس المسألة** اكتب مسألة في الفيزياء عن أجسام في الحياة اليومية تمثّل المعادلة التالية جزءًا من حلها:
$95 \text{ lx} = 1100 \text{ lm}/(4\pi r^2)$.

42. افترض أنّك حاولت قياس سرعة الضوء بوضع مرآة أعلى جبل بعيد، ثم ضغطت على زر وميض الكاميرا وقمت بقياس الزمن الذي استغرقه الوميض لينعكس عن المرآة ويعود إليك، كما هو موضّح في **الشكل 25**. وتمكن شخص من تحديد فترة زمنية مقدارها 0.10 s تقريبًا من دون استخدام أجهزة. فما بعد المرآة بوحدة الكيلومتر؟ قارن بين هذه المسافة وبعض المسافات المعروفة.



الشكل 25

القسم 2 الطبيعة الموجية للضوء

إتقان المفاهيم

43. لماذا يُعدّ حيود الموجات الصوتية أكثر شيوعًا في الحياة اليومية من حيود الموجات الضوئية؟

44. **الفكرة الرئيسة** ما لون الضوء المرئي الذي له أقصر طول موجي؟

45. **ترتيب** رتّب ألوان الضوء التالية على حسب ترددها من الأصغر إلى الأكبر: أزرق، أخضر، أحمر، أحمر بنفسجي، أصفر. قم بالإشارة إلى أي روابط بصفة خاصة.

46. ما مدى الأطوال الموجية للضوء المرئي، بدءًا من الأقصر إلى الأطول؟

47. **ترتيب** رتّب ألوان الضوء التالية على حسب مقدار حيودها حول حافة ورقة، بدءًا من الأكثر حيودا إلى الأقل انكسارًا: أزرق، أخضر، أحمر، أحمر بنفسجي، أصفر. قم بالإشارة إلى أي روابط بصفة خاصة. تلميح: يزيد الحيود كلما زادت الأطوال الموجية.

48. ما الألوان التي يتكوّن منها الضوء الأبيض؟

49. هل يمكن أن تكون الموجات الطولية مستقطبة؟ وضّح إجابتك.

50. إذا كانت مجرة بعيدة تبعث ضوءًا في منطقة اللون الأخضر من الطيف الضوئي، فهل ينزاح الطول الموجي المُلاحظ إلى الضوء الأحمر أم إلى الضوء الأزرق؟ فسّر ذلك.

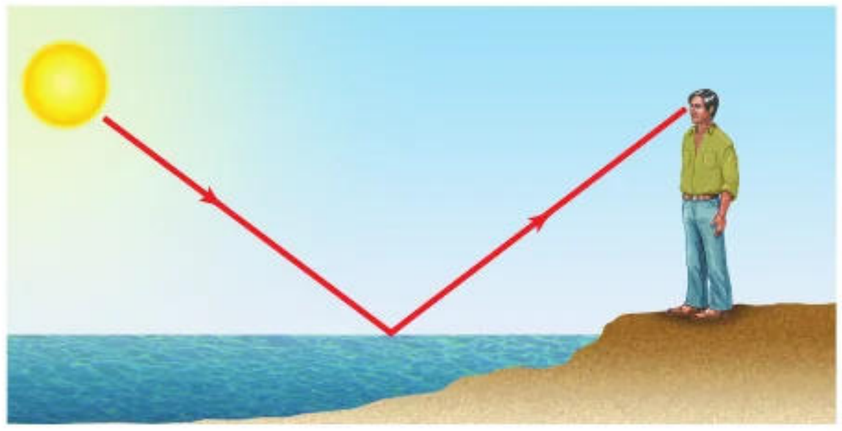
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

إتقان حل المسائل

51. حوّل الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm إلى وحدة الأمتار.

52. حركة المجرة ما السرعة التي تتحرك بها المجرة بالنسبة إلى الأرض إذا أزيح خط طيف الهيدروجين 486 nm نحو الأحمر 491 nm؟

53. افترض أنك كنت تتجه إلى الشرق عند شروق الشمس. وانعكس ضوء الشمس عن سطح بحيرة، كما هو موضّح في **الشكل 26**. فهل الضوء المنعكس مستقطَب؟ إذا كان كذلك ففي أي اتجاه؟



الشكل 26

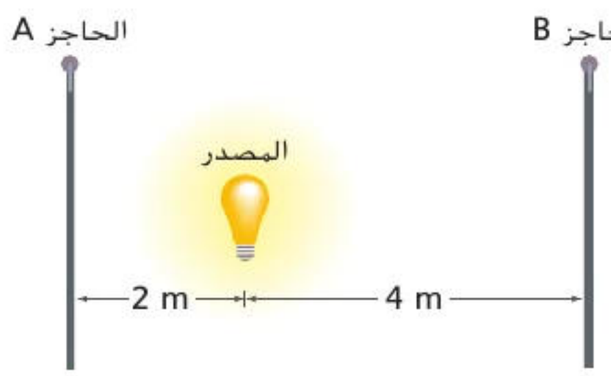
54. حركة المجرة إذا كان خط طيف الهيدروجين المعروف بطول موجي 434 nm مزاحًا إلى اللون الأحمر بنسبة 6.50% في الضوء القادم من مجرة بعيدة. ما سرعة ابتعاد المجرة عن الأرض؟

55. طرح المسائل أكمل هذه المسألة بحيث يجب حلها باستخدام سرعة الضوء: "يضيء شعاع ليزر طوله الموجي 655 nm...".

56. أعط مثالًا على انزياح دوبلر غير واقعي بدلالة الطول الموجي للضوء القادم من مجرة تبتعد عن الأرض. لماذا يُعدّ هذا الانزياح غير معقول؟

تطبيق المفاهيم

57. يقع مصدر ضوء نقطي على بُعد 2.0 m من الحاجز A وعلى بُعد 4.0 m من الحاجز B، كما هو موضّح في الشكل **27**. قارن بين الاستضاءة على الحاجز B والاستضاءة على الحاجز A؟



الشكل 27

58. لماذا يُطلى السطح الداخلي للمناظير والكاميرات باللون الأسود؟

59. مصباح الدراسة يبعد مصباح دراسة 35 cm عن صفحات الكتاب. فإذا ضاعفت المسافة:

a. هل تبقى الاستضاءة على الكتاب كما هي؟

b. إذا تغيّرت، فكم تكون أكبر أو أصغر؟

60. حساسية العين تكون حساسية العين أكبر ما يكون للضوء الأصفر المخضر. وتكون هذه الحساسية أقل بنسبة 10 بالمئة للضوء الأحمر المزرق مقارنة بالنسبة المثالية. بناءً على هذه المعرفة، ما اللون الذي توصي به لطلاء سيارات الإطفاء والإسعاف؟ لماذا؟

61. لون إنارة الشوارع تحتوي بعض مصابيح إنارة الشوارع الفعالة جدًا على بخار الصوديوم تحت ضغط عالٍ. وتنتج هذه المصابيح ضوءًا معظمه أصفر وجزء قليل منه أحمر. هل ينبغي أن يشتري المجتمع الذي فيه هذه المصابيح سيارات شرطة ذات لون أزرق داكن؟ لماذا أو لِمَ لا؟

انظر إلى **الشكل *28*** عند حل المسألتَين 62 و 63.

الشكل 28

62. ماذا يحدث للاستضاءة على الكتاب عند إبعاد المصباح عن الكتاب؟

63. ماذا يحدث لشدة اضاءة المصباح عند إبعاده عن الكتاب؟

64. الصور المستقطَبة غالبًا ما يضع مصورو الفوتوجراف مرشحات استقطاب فوق عدسات الكاميرا لكي تبدو السحب في السماء أكثر وضوحًا. فتبقى السحب بيضاء، في حين تبدو السماء داكنة بدرجة أكبر. اشرح ذلك استنادًا إلى معرفتك بالضوء المستقطَب.

65. تبدو التفاحة حمراء لأنها تعكس الضوء الأحمر وتمتص الضوء الأزرق والضوء الأخضر.

a. لماذا يظهر السلوفان الأحمر أحمرَ في الضوء المنعكس؟

b. لماذا يظهر مصباح الضوء الأبيض أحمر اللون عند النظر إليه من خلال السلوفان الأحمر؟

c. ماذا يحدث للضوء الأزرق والضوء الأخضر؟

66. إذا كان لديك الصبغات التالية: الصفراء والزرقاء الفاتحة والأرجوانية، فكيف يمكنك عمل صبغة زرقاء؟ اشرح.

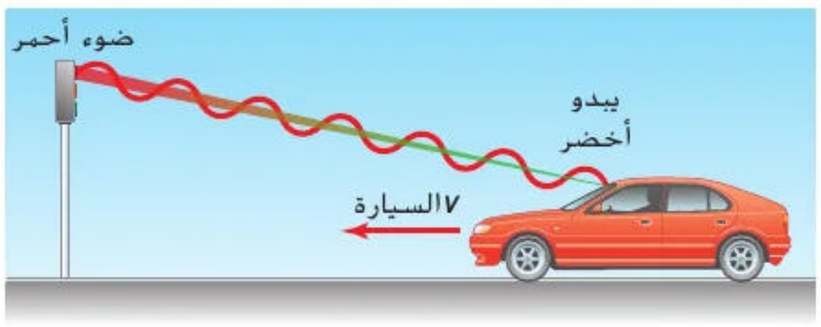
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التقويم

67. وضعتَ قطعة سلوفان حمراء على مصباح يدوي وقطعةً خضراء على مصباح آخر. وسلّطتَ حزمًا ضوئية من كل منهما حائط أبيض. ما اللون الذي ستراه عندما تتجمع الحزم الضوئية للمصباحَين؟

68. ضع قطعتَي السلوفان الحمراء والخضراء على أحد المصباحين في المسألة السابقة. إذا سلطتَ حزمة ضوئية من المصباح على حائط أبيض، فما اللون الذي ستراه؟ وضّح ذلك.

69. مخالفة السير افترض أنك شرطي مرور وأوقفت سائقًا لتجاوزه الإشارة الحمراء. وافترض أيضًا أنّ السائق وضّح لك بالرسم (**الشكل 29**) أنّ الضوء كان يبدو أخضر بسبب تأثير دوبلر عندما قطع الإشارة. اشرح له، مستخدمًا معادلة إزاحة دوبلر، كم يجب أن تكون سرعته حتى يبدو الضوء الأحمر (λ = 645 nm) أخضر (λ = 545 nm).



الشكل 29

مراجعة عامة

70. إضاءة مصابيح إنارة الشوارع يحتوي عمود إنارة على مصباحين متماثلين يرتفعان 3.3 m عن سطح الأرض. إذا أرادت البلدية توفير الطاقة الكهربائية بإزالة أحد المصباحين، فكم يجب أن يكون ارتفاع المصباح المتبقي عن الأرض لإعطاء الاستضاءة نفسها على الأرض؟

71. يُعتبر الثماني (الأوكتاف) في الموسيقى مضاعفة للتردد. قارن بين عدد الثمانيات التي تتوافق مع مدى السمع البشري وعدد الثمانيات في مدى الرؤية البشرية. تلميح: يوجد أكثر من سبعة ثمانيات على البيانو.

72. الرعد والبرق وضّح لماذا تحتاج إلى 5 s لسماع الرعد عندما يبعد البرق مسافة 1.6 km.

73. الدوران الشمسي نظرًا إلى أنّ الشمس تدور حول محورها، فإن أحد جوانبها يتحرك في اتجاه الأرض، بينما يتحرك الجانب الآخر مبتعدًا عنه. تكمل الشمس دورة واحد كاملة كل 25 يومًا تقريبًا، ويبلغ قطرها 1.4×10^9 m. فإذا بعث عنصر الهيدروجين بشكل طبيعي ضوءًا بتردد 6.16×10^{14} Hz من كلا الجانبين فما التغير في الطول الموجي المراقب؟

التفكير الناقد

74. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبعد مصدر ضوئي شدة إضاءته 110 cd مسافة 1.0 m عن حاجز ثم ازدادت المسافة ببطء. حدّد الاستضاءة على الحاجز في البداية وعند كل متر تزداد فيه المسافة حتى 7.0 m. ومثّل البيانات بيانيًا.

a. ما شكل المنحنى البياني؟

b. ما العلاقة التي يوضّحها المنحنى البياني بين الاستضاءة والمسافة؟

75. ابحث لماذا فشل العالم غاليلو في قياس سرعة الضوء؟

الكتابة في الفيزياء

76. اكتب مقالًا يصف تاريخ فهم الإنسان لسرعة الضوء. ثم اذكر فيه مساهمات العلماء المهمة.

77. ابحث في معلومات عن النظام الدولي للوحدات المتعلقة بوحدة الشمعة (cd) واشرح بكلمات من عندك المعيار الذي يُستخدم في تحديد قيمة 1 cd.

مراجعة تراكمية

78. يتحرك جسم كتلته 2.0 kg متصل بخيط طوله 1.5 m في دائرة رأسية بسرعة ثابتة 12 m/s.

a. ما مقدار الشد في الخيط عندما يكون الجسم عند أسفل نقطة في مساره؟

b. ما مقدار الشد في الخيط عندما يكون الجسم عند أعلى نقطة في مساره؟

79. يتحرك مسبار فضائي كتلته 7.600×10^3 kg في الفضاء بسرعة 125 m/s. فحددت المجموعة المراقبة لرحلته أنه يجب تصحيح المسار 30.0° وأعطت المسبار أمرًا بإطلاق صواريخ عمودية على اتجاه حركته الحالي. إذا كانت سرعة الغاز الخارج من الصواريخ 3.200 km/s، فما كتلة الغاز التي يجب إطلاقها؟

80. إذا تم تسخين 250 mL من الماء في وعاء زجاجي من درجة حرارة الغرفة إلى 65°C، فما مستوى الماء النهائي؟ إذا تم تبريد الماء بعد ذلك إلى 5°C، فما مستوى الماء الناتج؟

81. أنتج وتر جيتار طوله 60.0 cm، نغمة ترددها 440 Hz عندما نُقر في منطقة الوسط. ما سرعة الموجات في الوتر؟

82. ما الطول الموجي لموجة صوتية ترددها 17,000 Hz في ماء درجة حرارته 25°C؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 7 تدريب على الاختبار المعياري

الاختيار من متعدد

1. في العام 1987، لوحظ مستعر أعظم في مجرة مجاورة. اعتقد العلماء أنّ المجرة على بُعد 1.66×10^{21} m. كم عدد السنوات التي مرت على انفجار المستعر الأعظم قبل هذه الملاحظة؟

   A. 5.53×10^{3} y **C.** 5.53×10^{12} y

   B. 1.75×10^{5} y **D.** 1.74×10^{20} y

2. تبتعد مجرة بسرعة 5.8×10^{6} m/s. ويظهر ضوءُها للملاحظين بتردد 5.6×10^{14} Hz. كم يبلغ تردد الضوء المنبعث؟

   A. 1.1×10^{13} Hz **C.** 5.7×10^{14} Hz

   B. 5.5×10^{14} Hz **D.** 6.2×10^{14} Hz

3. إنّ الاستضاءة الناتجة عن مصباح قدرته 60.0 W على بُعد 3.0 m قدرها 9.35 lx. ما المقدار الكلي لتدفق الضوء من المصباح؟

   A. 8.3×10^{22} lm **C.** 1.2×10^{2} lm

   B. 7.4×10^{21} lm **D.** 1.1×10^{3} lm

4. يستغرق ضوء الشمس نحو 8.0 min ليصل إلى الأرض. كم تبعد الشمس عن الأرض تقريبًا؟

   A. 2.4×10^{9} m **C.** 1.4×10^{8} km

   B. 1.4×10^{10} m **D.** 2.4×10^{9} km

5. ما المقصود بالعبارة:اللون مطروح من الضوء؟

   A. إضافة الضوء الأخضر والأحمر والأزرق تنتج الضوء الأبيض.

   B. الفوسفور المثار الذي يحتوي على إلكترونات في التلفزيون ينتج اللون.

   C. يتغيّر لون الطلاء من خلال طرح ألوان معينة، مثل إنتاج الطلاء الأزرق من الأخضر بإزالة اللون الأصفر.

   D. اللون الذي يظهر فيه الجسم ناتج من امتصاص المادة لأطوال موجية معينة من الضوء وعكس باقي الأطوال الموجية.

6. ما تردد ضوء طوله الموجي في الفراغ 404 nm؟

   A. 2.48×10^{23} Hz **C.** 2.48×10^{6} Hz

   B. 7.43×10^{5} Hz **D.** 7.43×10^{14} Hz

7. أي العبارات الآتية ليس صحيحا لألوان الضوء؟

   A. الأحمر مع الأخضر ينتج الأصفر.

   B. الأحمر مع الأصفر ينتج الأرجواني.

   C. الأزرق مع الأخضر ينتج السماوي.

   D. الأزرق مع الأصفر ينتج الأبيض.

8. تبلغ استضاءة ضوء الشمس المباشر على الأرض نحو 1×10^{5} lx. تبلغ شدة الضوء على مسرح في اتجاه معين 5×10^{6} cd. عند أي مسافة من المسرح يشاهد عدد من الجمهور استضاءة مساوية لضوء الشمس؟

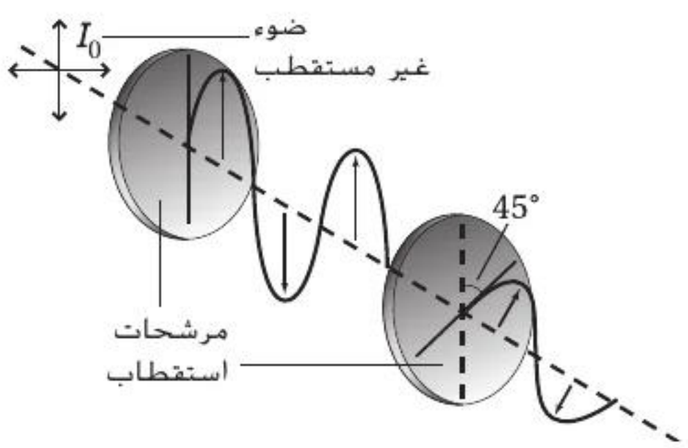
   A. 1.4×10^{-1} m **C.** 10 m

   B. 7 m **D.** 5×10^{1} m

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

9. ينبعث من جسم سماوي يتضمن عنصرًا معلومًا ضوء بطول موجي قدره 525 nm. ويبلغ الطول الموجي المُلاحظ للخط الطيفي لهذا العنصر 473 nm. هل الجسم يتقرب أم يبتعد، وبأي سرعة؟

10. **يسقط** ضوء غير مستقطب تبلغ شدته I_0 على مرشح استقطاب، ويسقط الضوء الناتج على مرشح استقطاب ثانٍ، كما هو موضّح في الشكل.
    ما شدّة الضوء الناتج من مرشح الاستقطاب الثاني؟



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

شکر و تقدیر

نسخة الطلاب

iv Glow Images; **v** Roberto Caucino/Shutterstock; **vi** Wavebreak Media Ltd/123RF; **vii** Don Farrall/Getty Images; **2-3** Image Source/Superstock; **4** (t)manjik/Shutterstock, (b) VICTOR ROJAS/CHINE NOUVELLE/SIPA/Newscom; **6** Hxdbzxy/123RF; **8** Angelo Giampiccolo/Shutterstock; **10** Digital Vision/Getty Images; **11** SOTK2011/Alamy Stock Photo; **12** Hutchings Photography/Digital Light Source; **14** (t)Stockbyte/Getty Images, (b)RIEGER Bertrand/hemis/age fotostock; **16** (t)McGraw-Hill Education, (bl)Hutchings Photography/Digital Light Source, (br)Hutchings Photography/Digital Light Source; **17** TED S. WARREN/AP Images; **23** (l)Image Source/Alamy, (c)Image Source/Alamy, (r) Image Source/Alamy Stock Photo; **24** (t)Casey Lee/E+/Getty Images, (c)xiaoke ma/Getty Images, (br) Heinz Hemken/iStock/Getty Images, (bkgd)I Dream Stock/SuperStock; **27** McGraw-Hill Education; **29** Laura Sifferlin; **30** Steve Allen/Alamy Images; **32-33** John Giustina/Photodisc/Getty Images; **34** (t)Creativity+ Timothy K. Hamilton/Moment/Getty Images, (b)CK Ma/Shutterstock; **35** ninikas/Shutterstock; **36** ninikas/Shutterstock; **37** Oleksiy Maksymenko/age fotostock; **41** Gerard Hermand/Flickr/Getty Images; **43** Roberto Caucino/Shutterstock; **46** IT Stock Free/Alamy Stock Photo; **49** Jiro Mochizuki/Image of Sport/Newscom; **52** (l-r, t-b)Ken Karp/McGraw-Hill Education, (2)Ryan McVay/Getty Images, (3)Stockbyte/Getty Images, (4)C Squared Studios/Photodisc/Getty Images, (5)Ingram Publishing/Alamy Stock Photo, (6)Image Source/Alamy, (7)McGraw-Hill Education, (8)Dmitry Naumov/Shutterstock, (9)Dja65/Shutterstock, (10) Darren Pullman/Shutterstock, (11) Hutchings Photography/Digital Light Source, (12)C Squared Studios/Getty Images, (13)Ryan McVay/Photodisc/Getty Images; **58-59** Glow Images; **60** Andrew Barker/Shutterstock; **68** Judith Bicking/Alamy; **71** Patrick Behar/Vandystadt/Science Source; **75** Purestock/SuperStock; **76** McGraw-Hill Education; **78** Herbert Kehrer/Bridge/CORBIS; **80** (r)Robert Harding Picture Library/age fotostock, (l)Bill Aron/Science Source, (c) Oleksiy Maksymenko/age fotostock; **84** McGraw-Hill Education; **85** Glow Images; **88-89** James LauritzDigital Vision/Getty Images; **90** Fuse/Getty Images; **94** Hutchings Photography/Digital Light Source; **95** Hutchings Photography/Digital Light Source; **96** Stefan Wackerhagen/Image Broker/Alamy; **98** (l)Matt Meadows/McGraw-Hill Education, (r) Matt Meadows/McGraw-Hill; **99** (l) Joggie Botma/Alamy, (r)C Squared Studios/Stockbyte/Getty Images; **100** Dynamic Graphics Value/SuperStock; **104** U.S. Air Force photo by Tech. Sgt. James L. Harper Jr.; **106** (t)ProStockStudio/Shutterstock, (b) Ken Karp/McGraw-Hill Education; **109** Wavebreak Media Ltd/123RF; **114** US Coast Guard Photo/Alamy; **116** McGraw-Hill Education; **120-121** Kenna Love/Alamy Stock Photo; **122** Vstock LLC/Getty Images; **126** World History Archive/Alamy; **128** Jupiterimages/Comstock Images/Getty Images; **129** Purestock/SuperStock; **134** (t)Don Farrall/Getty Images, (c)McGraw-Hill Education, (b) McGraw-Hill Education; **135** (t)McGraw-Hill Education, (b)McGraw-Hill Education; **137** (t-b)McGraw-Hill Education, (2)McGraw-Hill Education, (3)McGraw-Hill Education, (4) McGraw-Hill Education; **138** (t)McGraw-Hill Education, (bl)McGraw-Hill Education, (br)McGraw-Hill Education; **139** (l)Matt Meadows/McGraw Hill, (r)Matt Meadows/McGraw Hill; **140** (l)Luftikus/Shutterstock, (r)Mass Communication Specialist 3rd Class Alexander Tidd/US Navy/DoD; **146** Volanthevist/Moment Open/Getty Images; **148-149** Frankris/Shutterstock; **150** Henryk Sadura/Alamy; **154** DENKOU IMAGES GMBH/age fotostock; **157** Daniel Tuitert/Anp Photo/agefotostock; **158** Mike Watson Images Limited/Glow Images; **162** (l)Mylu/Shutterstock, (tr)Comstock Images/SuperStock, (cr)Baishev/Shutterstock; **165** (l)Jensen Walker/DreamPictures/Blend Images, (c) Uwe Kreth/Shutterstock, (r)Photodisc/Getty Images; **168** Nigel Hicks/Purestock/Getty Images; **171** Tim Fuller; **172** Horizons Companies; **173** (tl)Comstock Images/SuperStock, (tr)Ansis Klucis/Shutterstock; **176-177** Iconotec/Alamy; **178** (t)NaturePL/SuperStock, (b)Amana Images, Inc./Alamy; **179** Ingram Publishing; **180** McGraw-Hill Education; **186** Galileo Project, SSI, University of Arizona/NASA; **187** Hutchings Photography/Digital Light Source; **188** (t)Don Farrall/Photodisc/Getty Images, (b)Matt Meadows; **189** (t)McGraw-Hill Education, (b)McGraw-Hill Education, (c) McGraw-Hill Education; **190** (t)Laura Sifferlin, (b)Stockbyte/Getty Images; **191** (t)Hutchings Photography/Digital Light Source, (b)Hutchings Photography/Digital Light Source; **192** (l) Hutchings Photography/Digital Light Source, (c)Hutchings Photography/Digital Light Source, (r)Hutchings Photography/Digital Light Source; **196** (t)Nestor Rizhniak/Shutterstock, (b)Frank Ramspott/iStock Vectors/Getty Images; **197** Matt Meadows.

ملاحظات الطالب

ملاحظات الطالب

ملاحظات الطالب

ملاحظات الطالب

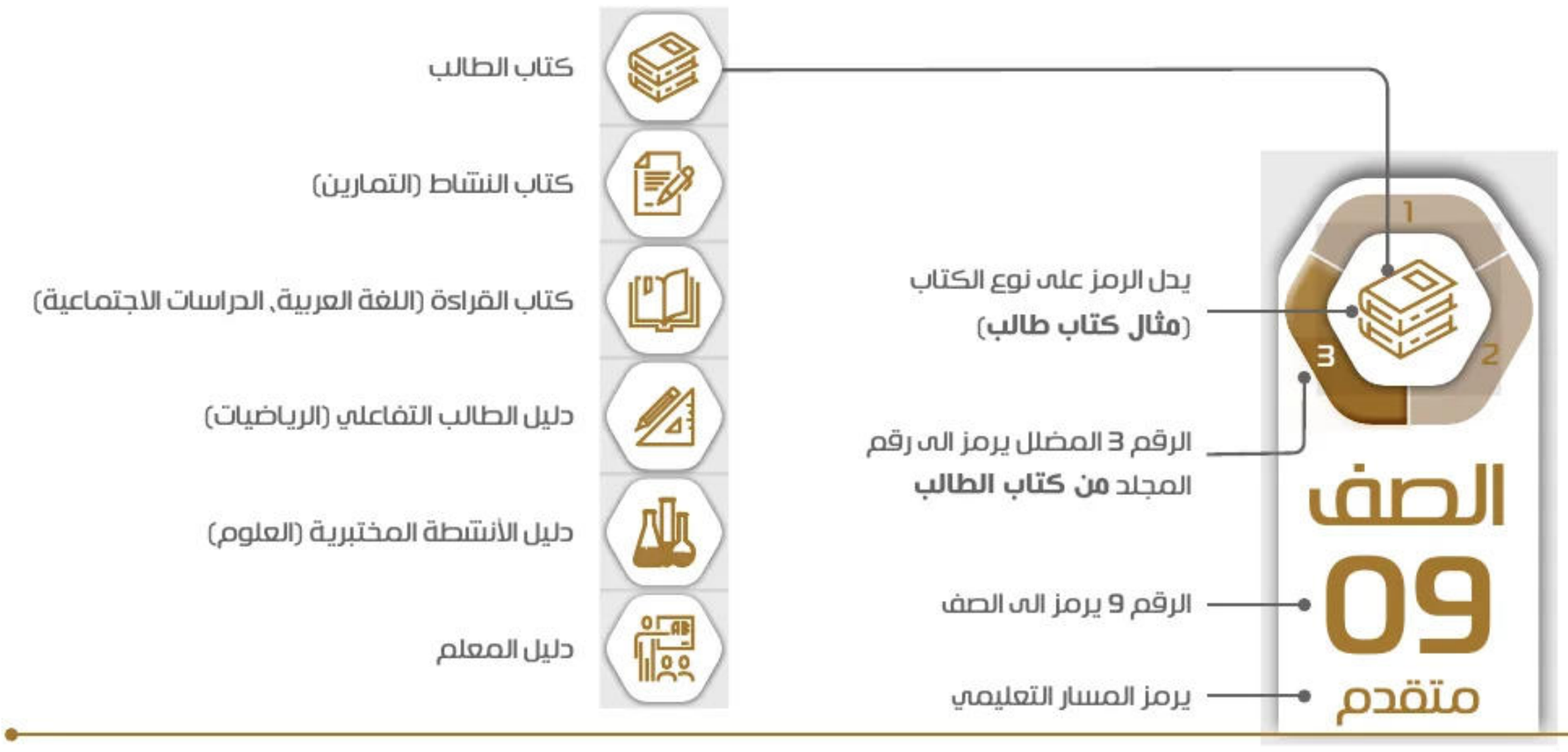
ملاحظات الطالب

ملاحظات الطالب

ملاحظات الطالب

دلائـــل رمـــوز الغلاف

لون الحلقة الثالثة



مركز اتصال وزارة التربية والتعليم

اقتراح - استفسار - شكوى

80051115

www.moe.gov.ae

Info@moe.gov.ae

تم تحميل هذا الملف من موقع منتديات صقر الجنوب

للدخول على الموقع انقر هنا

لمزيد من الملفات ابحث عن

Search

منتديات صقر الجنوب المنهاج الإماراتي

+962 799238559

Emirati@jnob-jo.com

المناهج الإماراتية

نعمل بجد لتقديم تعليم متميز يحقق طموحات المستقبل.