الفيزياء

الصف العاشر - الفصل الدراسي الثاني

العبيكان Obeikan

McGraw Hill Education

الطبعة الأولى

1437هـ - 2016م

www.macmillanmh.com www.obeikaneducation.com

أعدَّ النسخة العربية شركة العبيكان للتعليم

English Edition Copyright © 2008 the McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

Arabic Edition is published by Obeikan under agreement with
The McGraw-Hill Companies, Inc. © 2008.

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل© ٢٠٠٨م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل© ٢٠٠٨م/ ١٤٢٩هـ.

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواءً أكانت إلكترونية أم ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين والاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَـاءْ • قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَـاءْ
قَطَرٌ سَتَبْقَـى حُـرَّةً • تَسْمُو بِرُوحِ الأَوْفِيَـاءْ
سِيرُوا عَلَـى نَهْـجِ الأُلَـى • وَعَلَى ضِيَاءِ الأَنْبِيَـاءْ
قَطَرٌ بِـقَـلْـبِـي سِيـرَةٌ • عِـزٌّ وَأَمْـجَادُ الإِبَاءْ
قَطَرُ الرِّجَـالِ الأَوَّلِينَ • حُمَاتُنَا يَوْمَ النِّـدَاءْ
وَحَمَائِـمٌ يَوْمَ السَّلَامْ • جَوَارِحٌ يَوْمَ الْفِـدَاءْ

لون علم دولة قطر العنابي والأبيض ، وتفصل بين اللونين تسعة رؤوس.

الأبيض : هو رمز السلام الذي يسعى له حكام قطر وأبناؤها.

العنابي : يرمز إلى الدماء المتخثرة، وهي دماء الشهداء من أبناء قطر الذين خاضوا معارك كثيرة في سبيل وحدة دولة قطر وخصوصًا في النصف الأخير من القرن التاسع عشر.

الرؤوس التسعة : ترمز إلى أن دولة قطر هي العضو التاسع في الإمارات المتصالحة من دول الخليج العربية.

علم دولة قطر

رؤية قطر الوطنية 2030

تهدف رؤيـة قطر الوطنية 2030 التي تمّت المصادقة عليها بموجب القرار الأميري رقم 44 لسنة 2008م، إلى تحويل - قطـر بحلـول عام 2030م - إلى دولة متقدمة قادرة على تحقيق التنمية المستدامة، وعلى تأمين استمرار العيش الكريم لشعبها، جيلاً بعد جيل؛ حيث تحدد الرؤيـة الوطنيـة لدولة قطـر النتائج التي تسعى إلى تحقيقها على المدى الطويـل، كما أنّها توفّر إطارًا عامًّا لتطوير استراتيجيات وطنية شاملة وخطط تنفيذها.

وتستشرف الرؤية الوطنية الآفاق التنموية من خلال الركائز الأربع المترابطة التالية:

التنمية البشرية	التنمية الاجتماعية	التنمية الاقتصادية	التنمية البيئية

الركيزة الأولى ـ التنمية البشرية
الغايات المستهدفة:

سكان متعلمون:

- نظام تعليمي يرقى إلى مستوى الأنظمة التعليمية العالمية المتميّزة، ويزوّد المواطنين بما يفي بحاجاتهم وحاجات المجتمع القطري، ويتضمن:
  - مناهج تعليم وبرامج تدريب تستجيب لحاجات سوق العمل الحالية والمستقبلية.
  - فرصًا تعليمية وتدريبية عالية الجودة تتناسب مع طموحات وقدرات كل فرد.
  - برامج تعليم مستمر مدى الحياة متاحة للجميع.

- شبكة وطنية للتعليم النظامي وغير النظامي تجهّز الأطفال والشباب القطريين بالمهارات اللازمة والدافعية العالية للإسهام في بناء مجتمعهم وتقدُّمه، وتعمل على:
  - ترسيخ قيم وتقاليد المجتمع القطري، والمحافظة على تراثه.
  - تشجيع النشء على الإبداع والابتكار وتنمية القدرات.
  - غرس روح الانتماء والمواطنة.
  - المشاركة في مجموعة واسعة من النشاطات الثقافية والرياضية.

- مؤسسات تعليمية متطوّرة ومستقلّة تُدار بكفاءة، وبشكل ذاتيّ، وفق إرشادات مركزية، وتخضع لنظام المساءلة.
- نظام فعّال لتمويل البحث العلمي يقوم على مبدأ الشراكة بين القطاعين العام والخاص بالتعاون مع الهيئات الدولية المختصة ومراكز البحوث العالمية المرموقة.
- دور فاعل دوليًا في مجالات النشاط الثقافي والفكري والبحث العلمي.
- استقطاب التوليفة المرغوبة من العمالة الوافدة، ورعاية حقوقها، وتأمين سلامتها، والحفاظ على أصحاب المهارات المتميزة منها.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

المقدمة

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد:

يحظى الكتاب المدرسي بمكانة خاصة في العملية التعليمية؛ لأهميته في دعم التعلم الصفي، من حيث ترجمة أهداف المنهج الدراسي، وتجسيد توجهاته، وتنظيم محتواه، وإبراز مضامينه، فضلًا عن إحداث التوازن بين مجالات المنهج المعرفية والمهارية والقيمية. ومن هذا المنطلق تُولي دولة قطر الكتاب المدرسي وسائر المواد التعليمية المساندة اهتمامًا خاصًّا لضمان تحقيق هذه المواد الدور المنوط بها، في ظل ما يشهده الكتاب المدرسي من تطوّر نوعي يستند إلى نتائج الدراسات والبحوث التربوية الحديثة في حقل التعلّم وتنظيم المعرفة، ويؤكّد على تفعيل دور الطالب في التعامل الواعي والنشط مع محتوى الكتاب المدرسي.

ولما كان علم الفيزياء أحد أهم الركائز الأساسية لنهضة الأمم وبناء المجتمع الحديث القائم على التكنولوجيا والمعرفة العلمية، فقد جاء اهتمام دولة قطر وعنايتها بالمنهج الدراسي لهذا العلم، وتدريسه شاملاً كافة الجوانب، وبخاصة الكتاب المدرسي؛ ليكون أداة فاعلة في تحقيق أهداف تدريس الفيزياء، وداعمًا أساسيًّا لتعلم الطالب واكتسابه للمعارف والمهارات الفيزيائية.

وقد جاء هذا الكتاب في أربع وحدات، هي: الموجات والصوت، والضوء والبصريات، والكهرباء، والكهرومغناطيسية. وستتعرف في هذا الصف مفهوم الموجات وأنواعها، والموجات الصوتية وأنواعها، وآلية السمع، والرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار، والانعكاس والانكسار، وتتعرف كيف تكوّن المرايا المستوية والكروية والعدسات صورًا حقيقية وخيالية وترسمها، وستطبق بحل مسائل على قانوني التكبير وسنِل، وتعرف طول النظر وقصر النظر وكيفية علاجهما، وستكون قادرًا على تفسير بعض الظواهر المرتبطة بانعكاس الضوء وانكساره التي تشاهدها في الحياة اليومية، وتعلم بعض التطبيقات على استخدام المرايا والعدسات. كما يعرض كتاب الفيزياء في هذا الصف الكهرباء الساكنة وبعض تطبيقاتها، والتيار الكهربائي وفرق الجهد والمقاومة الكهربائية والعلاقة بينها، والدوائر الكهربائية وطرق توصيلها. وأخيرًا ستتعرف المواد المغناطيسية وأنواعها، والمجالات المغناطيسية والتدفق المغناطيسي، وتحل مسائل حول شدة المجالات المغناطيسية المتولدة حول موصلات يمر فيها تيارات كهربائية، والقوة المغناطيسية المؤثرة في التيارات المارة في مجالات مغناطيسية، وتتعرف تطبيقات على الكهرومغناطيسية.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة؛ المبني، والموجه، والمفتوح. فقبل بدء دراسة محتوى كل وحدة من وحدات

الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للوحدة التي تقدم صورة شاملة عن محتواها، كما يطّلع على أهمية الوحدة من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الوحدة، إضافة إلى وجود سؤال (فكِّر) الذي يحفز الطالب على دراسة الوحدة، ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية»، التي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الوحدة. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها: التجربة العملية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل وحدة، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته. كما يوجد دليل منفصل للتجارب العملية يرتبط بمحتوى الوحدة، يهدف إلى تعزيز فهم الطالب للمفاهيم المطروحة في الوحدة وبيان تطبيقاتها وأهميتها، إضافة إلى إكساب الطالب مهارة التعامل مع الأجهزة والأدوات.

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل وحدة مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل وحدة والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الوحدة. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الوحدة يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب أن يتعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل وحدة يأتي دليل مراجعة الوحدة متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الوحدة الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل وحدة يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل، وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

والله ولي التوفيق

رموز الأمن والسلامة في المختبر

قفازات واقية
Hand protection

نظارة واقية
Eye safety

سطح ساخن
Thermal safety

مواد قابلة للانفجار
Explosive

خطر الكهرباء
Electrical hazard

مواد مهيِّجة
Harmful / Irritant

ملوثات حيوية
Biological hazards

مواد قابلة للاشتعال
Flammable

إسعافات أولية
First aid

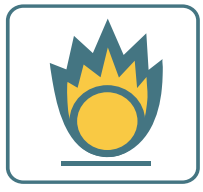
غاسلة عيون
Eye wash station

طفاية حريق
Fire extinguisher

مواد مشعَّة
Radioactive safety

أجسام حادة
Sharp objects safety

مواد سامَّة
Poison safety



مواد مؤكسدة
Oxidizer

مواد آكلة
Corrosive

أشعة ليزر
Laser beam

معطف مختبر
Lab. coat

مخاطر بيئية
Ecological hazards

مواد مسرطنة
Carcinogenic

قائمة المحتويات

الوحدة 5

الموجات والصوت 10

5–1 ❊❊ الموجات 11

5–2 ❊❊ الصوت والسمع 22

5–3 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار 28

الوحدة 6

الضوء والبصريات 52

6–1 الانعكاس والمرايا 53

6–2 الانكسار والتحليل 70

6–3 العدسات وتصحيح البصر 80

الوحدة 7

الكهرباء 106

7–1 الكهرباء الساكنة 107

7–2 فرق الجهد وشدة التيار الكهربائي 119

7–3 المقاومة الكهربائية والقوة الدافعة الكهربائية 124

الوحدة 8

الكهرومغناطيسية 152

8–1 المغناطيسية 153

8–2 المجالات المغناطيسية الناتجة عن التيارات الكهربائية 160

8–3 القوة المغناطيسية 166

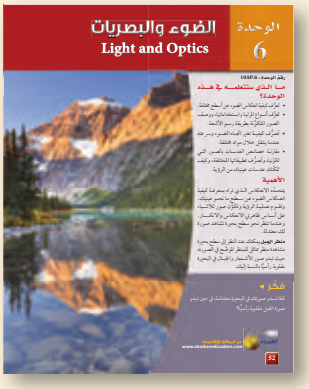
مصادر تعليمية للطالب 184

دليل الرياضيات 185

الجداول 215

المصطلحات 217

❊❊ هذا القسم كاملاً للمطالعة والإثراء.



الوحدة 5

الموجات والصوت
Waves and Sound

رقمُ الوحدة: 10AP.4

ما الذي ستتعلمه بعد دراستك لهذه الوحدة؟

- تَعرُّف كيف تنقل الموجةُ الطاقةَ.
- وصف سلوك الموجات ومعرفة أهميتها العملية.
- وصف الصوت بدلالة خصائص الموجات وسلوكها.
- اختبار بعض مصادر الصوت.

الأهمية

إن معرفة سلوك الموجات وخصائصها ضروري لفهم ظاهرة الرنين وكيفية انتقال الموجات ونقلها للطاقة. ولموجات الصوت أهمية كبيرة؛ لأنها تُعدّ وسيلة مهمة للتواصل، وتأليف الموسيقى التي تُعبر عن ثقافة الشعوب. وحديثًا تعد موجاته إحدى وسائل المعالجة.

الموجات الصوتية تَستخدم الكثير من الكائنات الحية الموجات الصوتية بأنواعها المختلفة للتواصل فيما بينها، أو لتحديد مسارات حركتها ومواقع فرائسها. وقد تم الاستفادة من هذه الموجات في كثير من التطبيقات الحياتية الحديثة.

فكِّر ◄

ما نوع الموجات الصوتية التي تستخدمها الدلافين لتحديد مسارات حركتها ومواقع فرائسها؟ وكيف يتم ذلك؟

تجربة استهلالية

كيف يمكن لكأس زجاجية أن تصدر نغمات موسيقية؟

سؤال التجربة كيف يمكنك استعمال كؤوس زجاجية لإصدار نغمات موسيقية مختلفة؟ وكيف تختلف نغمات الكؤوس ذات السيقان عن نغمات الكؤوس التي لا سيقان لها؟

الخطوات

1. اختر كأسًا زجاجية ذات ساق، ولها حافة رقيقة.
2. **حضّر** تفحّص بحذر الحافة العلوية للكأس؛ حتى لا يكون هناك حواف حادة، وأخبر معلمك إذا وجدت أي حواف حادة، وتحقَّق من تكرار الفحص في كل مرة تختار فيها كأسًا مختلفة.
3. ضع الكأس أمامك على الطاولة، وثبِّت قاعدة الكأس بإحدى يديك برفق، ثم بلّل إصبعك وحكّه ببطء بالحافة العلوية للكأس من الخارج. **تحذير: تعامل مع الزجاج بحذر؛ فهو هَشٌّ.**
4. سجّل مشاهداتك، ثم زِد أو قلّل سرعة إصبعك قليلاً. ماذا يحدث؟
5. اختر كأسًا ذات ساق أطول أو أقصر من الكأس الأولى، وكرّر الخطوات 4–2.
6. اختر كأسًا بلا ساق، وكرّر الخطوات 4–2.

التحليل

لخِّص مشاهداتك، وبيّن أيّ الكأسين أصدرت نغمات رنين: ذات السيقان، أم التي لا سيقان لها، أم كلا النوعين؟ وما العوامل التي تؤثر في النغمات الصادرة؟

التفكير الناقد اقترح طريقة لإصدار نغمات مختلفة من الكأس نفسها، واختبر طريقتك التي اقترحتها. ثم اقترح اختبارًا لاستقصاء خصائص الكؤوس التي يمكن استعمالها في إصدار نغمات رنين.

****ملاحظة: هذا القسم كاملاً للمطالعة والإثراء.**

5–1 الموجات Waves**

معايير الأداء الرئيسة

28.1– 28.2– 28.3

معايير البحث والاستقصاء العلمي

1.1– 1.3–3.1– 3.3–4.1– 4.2

الأهداف

- **تميز** بين النبضة الموجية والموجة المستمرة (الموجة)، وتعطي أمثلة عليهما.
- **تُعرّف** مفهوم جبهة الموجة.
- **توضّح** أن الموجة وسيلة لنقل الطاقة وليس المادة.
- **تقارن** بين الموجات الطولية والموجات المستعرضة.
- **تستخدم** بعض المصطلحات الخاصة بالموجات.
- **تستخدم** معادلة سرعة الموجة في حل بعض المسائل.

المفردات

• الموجة	• Wave
• النبضة الموجية	• Wave pulse
• الموجة المستعرضة	• Transverse wave
• قمة الموجة	• Crest
• قاع الموجة	• Trough
• الموجة الطولية	• Longitudinal wave
• تضاغط	• Compression
• تخلخل	• Rarefaction
• إزاحة الموجة	• Wave displacement
• السرعة	• Speed
• السعة	• Amplitude
• الطول الموجي	• Wavelength
• فرق الطور	• Phase difference
• الزمن الدوري	• Period
• التردد	• Frequency
• جبهة الموجة	• Wavefront

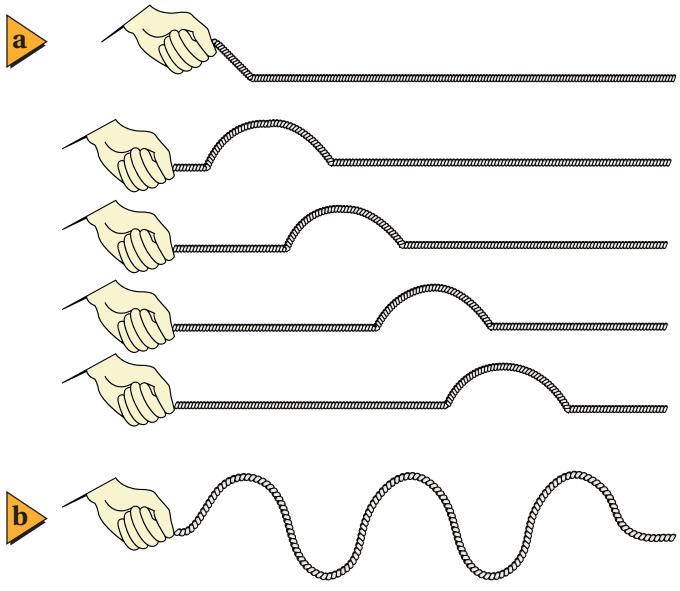
يزخر محيطنا بمختلف أنواع الموجات، منها ما هو سهل المشاهدة كالموجات على سطح الماء، ومنها ما يتعذر مشاهدته كالأمواج اللاسلكية. تشترك جميع هذه الموجات في أنها تحمل طاقة. وتُعرّف **الموجة Wave** بأنها اضطراب يحمل الطاقة خلال المادة (الوسط المادي) أو الفراغ، وينقلها من مكان إلى آخر. وسبق أن درست الموجات وكيفية توليدها وأنواعها في الصف التاسع.

مفهوم الموجة Wave concept

عندما تثبِّت أحد طرفي حبل وتهز طرفه الآخر، تلاحظ أن هذه الهزة انتقلت على شكل اضطراب في الحبل وتسمى **نبضة موجية Wave pulse**؛ وهي ضربة مفردة أو اضطراب ينتقل خلال الوسط. انظر **الشكل 1a–5**. ومن الأمثلة على هذه النبضات الموجية الموجات الزلزالية والتسونامي. وإذا كان المصدر الذي يولّد هذه النبضات الموجية يتحرك حركة اهتزازية باستمرار فإنه يتولّد قطار أو سلسلة من النبضات الموجية المتلاحقة التي تسمى الموجات المستمرة أو اختصارًا موجات. انظر **الشكل 1b–5**. ومن الأمثلة عليها الموجات الراديوية وموجات الصوت.

والسؤال الآن: هل تنتقل جزيئات الوسط الناقل مع الموجة؟ تحمل كل من الجسيمات المادية والموجات طاقة، ولكن هناك اختلاف بينهما في كيفية حمل هذه الطاقة. فالكرة مثلاً جسيم مادي، إذا قذفتها نحو زميلك فسوف تنتقل من يدك إلى يده حاملة معها طاقة. أما إذا أمسكت أنت وزميلك بطرفي حبل وهززت الطرف الذي تمسكه بسرعة، فسيبقى الحبل بيدك ولا تنتقل مادته إلى زميلك، في حين تنتقل الطاقة في الحبل خلال الموجة التي أحدثتها. كما أنك عندما ترمي حجرًا في بركة ماء ساكنة تشاهد اضطرابًا على شكل دوائر يتولد عند نقطة ارتطام الحجر بسطح الماء، ويأخذ في الاتساع التدريجي في كل الاتجاهات، يسمى موجات الماء. وستلاحظ عند تنفيذك لتجربة انتقال طاقة الموجة أن جزيئات الماء لا تنتقل مع هذا الاضطراب؛ فإذا وضعت كرة فلين في بركة ماء فستلاحظ أنها تهتز إلى أعلى وإلى أسفل عموديًّا على سطح الماء في أثناء عبور الموجة من دون أن تغادر الكرة مكانها مع هذه الدوائر، مما يدل على أن جزيئات الوسط الناقل للموجة تهتز مكانها في حين تنتقل الموجة خلال الوسط من مكان إلى آخر حاملة معها الطاقة.

ماذا قرأت؟ هل تنتقل جزيئات الوسط الناقل مع الموجة؟



الشكل 1–5 النبضة الموجية اضطراب مفرد (a). بينما تشكّل سلسلة النبضات الموجية المتتابعة موجة مستمرة (b).

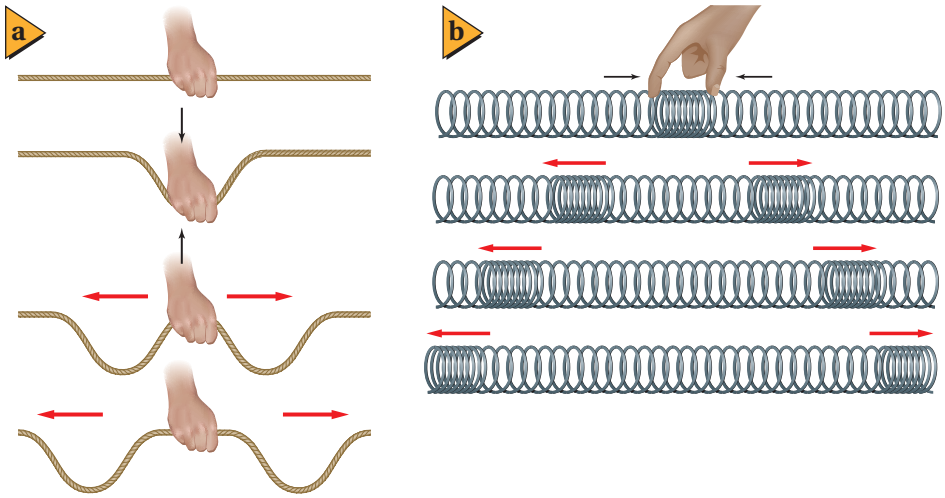
تجربة

انتقال طاقة الموجة

1. **املأ** حوض الموجات إلى منتصفه بالماء، ثم انثر قطعًا من الفلين أو نشارة الخشب على سطح الماء.
2. **ثبّت** كرة في طرف المحرك الكهربائي بحيث تلامس سطح الماء.
3. **شغّل** المحرك الكهربائي، لاحظ الموجات الناتجة وحركة قطع الفلين.
4. كرر الخطوتين 2و3، ولكن في هذه المرة علّق مسطرة أفقيًا في طرف المحرك الكهربائي بدلاً من الكرة. لاحظ الموجات الناتجة وحركة قطع الفلين.

التحليل والاستنتاج

5. ما نوع الموجات الناتجة في كل من الخطوتين 3 و4؟
6. كيف تحركت قطع الفلين في الخطوتين 3 و4؟
7. ارسم الموجات الناتجة في الخطوتين 3 و4، وحدِّد جبهة الموجة والشعاع الذي يوضّح اتجاه انتقال الموجة.



الشكل 2–5 يولّد الاهتزاز السريع باتجاه عمودي على محور الحبل نبضات موجة مستعرضة في الاتجاهين (a). يولّد ضمّ لفات نابض بعضها إلى بعض ثم تركها نبضات موجة طولية في الاتجاهين (b).

أنواع الموجات Types of waves

تقسم الموجات بحسب طبيعتها إلى:

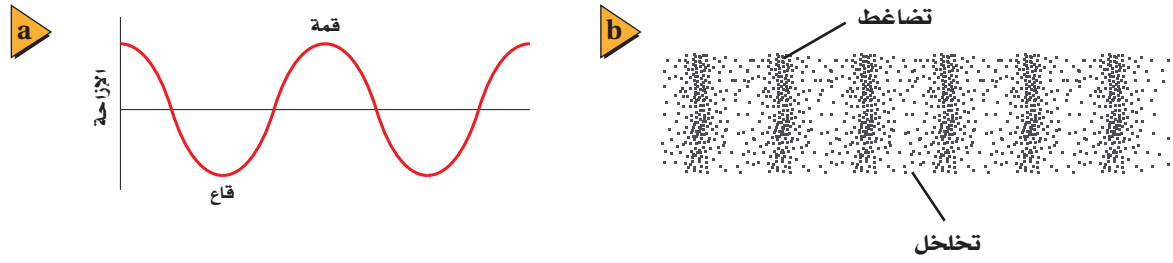
1. **الموجات الميكانيكية Mechanical waves** وهي تلك الموجات التي تحتاج إلى وسط مادي لانتقالها، وقد يكون هذا الوسط صلبًا أو سائلاً أو غازيًّا. وقد تكون هذه الموجات مستعرضة أو طولية. ومن أمثلتها موجات الصوت، وموجات الماء، وموجات الأوتار المهتزة، وموجات الزلازل وغيرها.

2. **الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic waves** وهي تلك الموجات التي لا تحتاج إلى وسط مادي لانتقالها، ويمكنها الانتقال عبر بعض الأوساط المادية. وتكون هذه الموجات مستعرضة. ومن أمثلتها موجات الضوء والراديو والتلفزيون وغيرها.

كما تقسم الموجات بحسب طريقة انتقالها إلى:

1. **موجات مستعرضة Transverse waves** تسمى الموجات التي تهتز فيها جسيمات الوسط الناقل عموديًّا على اتجاه انتشار الموجة **الموجات المستعرضة Transverse waves**. وهي مشابهة للموجات التي تلاحظها على سطح الماء أو عندما تهز الطرف الحر لحبل؛ حيث يتحرك الحبل رأسيًّا، في حين تنتقل الموجة أفقيًّا، انظر **الشكل 2a–5**. وتسمى النقطة العلوية على الموجة **قمة الموجة Crest**؛ وهي أعلى نقطة يصل إليها الاضطراب الموجي، في حين تُسمى النقطة السفلية **قاع الموجة Trough**؛ وهو أدنى نقطة يصل إليها الاضطراب الموجي. انظر **الشكل 3a–5**.

2. **موجات طولية Longitudinal waves** تُسمى الموجات التي تهتز فيها جسيمات الوسط الناقل بشكلٍ موازٍ لاتجاه انتشار الموجات **الموجات الطولية Longitudinal waves**. فإذا ضممت عدة لفات من نابض بعضها إلى بعض بشكل متراص ثم تركتها فجأة فستتحرك نبضتان – تتكون كل منهما من لفات متقاربة معًا – في اتجاهين متعاكسين، كما هو موضح في **الشكل 2b–5**، حيث تتحرك حلقات النابض في اتجاه



الشكل 3–5 قمم وقيعان الموجة المستعرضة (a)، وتضاغطات وتخلخلات الموجة الطولية (b).

انتشار الموجة. وتُسمى أماكن تقارب حلقات النابض **تضاغطًا Compression**؛ وهي المنطقة التي تقترب فيها جزيئات الوسط الناقل بعضها من بعض، وتُسمى أماكن تباعد الحلقات **تخلخلاً Rarefaction**، وهي المنطقة التي تتباعد فيها جزيئات الوسط الناقل بعضها عن بعض. انظر **الشكل 3b–5**.

ماذا قرأت؟ **قارن بين الموجات الطولية والموجات المستعرضة من حيث: طبيعتها، واتجاه حركة جزيئات الوسط الناقل، وطبيعته.**

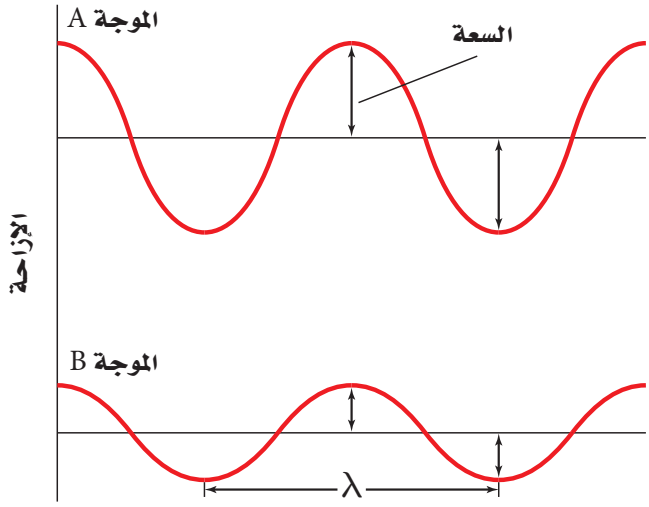
خصائص الموجات Properties of waves

تعتمد بعض خصائص الموجات على كيفية توليدها، في حين تعتمد خصائصها الأخرى على الوسط الذي تنتقل خلاله. وهناك خصائص عامة توصف بها الموجات على اختلاف أنواعها، منها:

السرعة Speed ما السرعة التي تتحرك بها الموجة؟ يمكن إيجاد سرعة انتقال النبضة الموضحة في **الشكل 4–5**، بالطريقة نفسها التي نحدّد بها سرعة انتقال سيارة. تُعرَّف **إزاحة الموجة Wave displacement** بأنها بُعد الموجة أو أي جزء منها عن المصدر الذي ولّدها. قس أولًا إزاحة قمة الموجة Δd، ثم اقسم الناتج على الفترة الزمنية Δt لتجد **السرعة Speed**؛ $v = \Delta d / \Delta t$. ويمكن إيجاد سرعة الموجة المستمرة بالطريقة نفسها. وتعتمد سرعة الموجة في معظم الموجات الميكانيكية المستعرضة والطولية على الوسط الذي تنتقل خلاله فقط.

السعة Amplitude كيف تختلف النبضة المتولِّدة عند هزِّ الحبل برفق عن تلك النبضة الناتجة عن الهز العنيف له؟ يشبه الاختلاف بينهما الفرق بين موجات حوض السباحة الخفيفة وموجات المحيط القوية، حيث تختلف سعات كل منهما. و**السعة Amplitude**

الشكل 4–5 تم التقاط هاتين الصورتين بفارق زمني 0.20 s، وخلال هذه الفترة تحركت القمة مسافة 0.80 m، فتكون السرعة المتجهة للموجة 4.0 m/s.



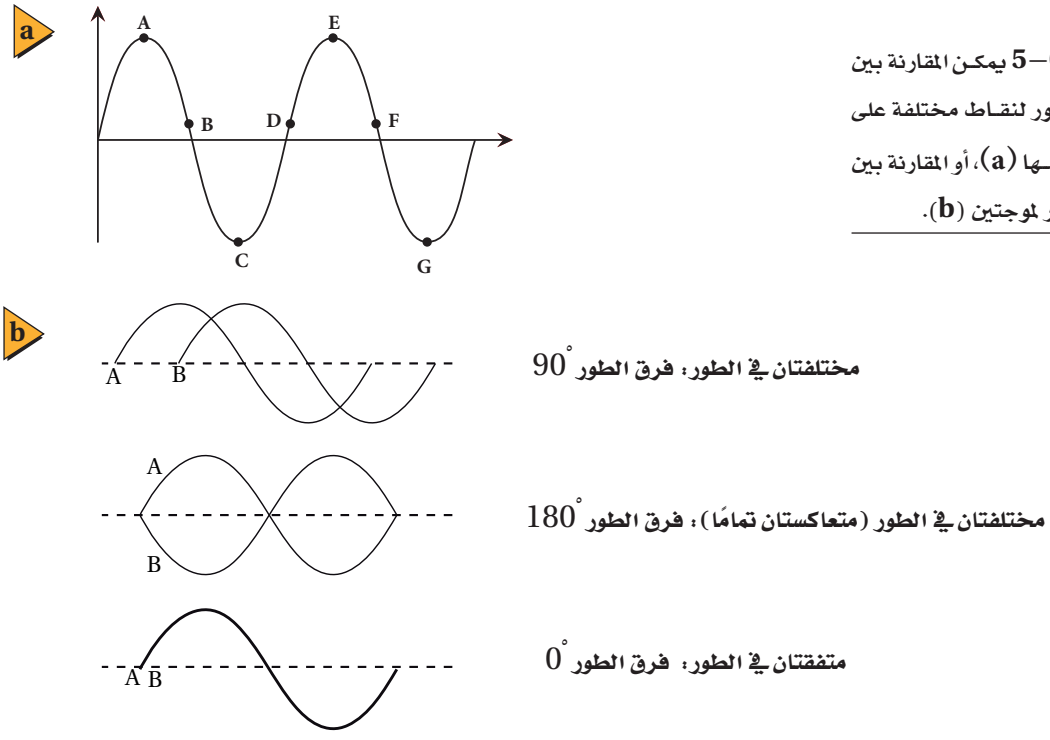
الشكل 5–5 سعة الموجة A أكبر من سعة الموجة B.

هي الإزاحة القصوى للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها، ويُرمز لها بالحرف A. ويوضِّح **الشكل 5–5** موجتين لهما الطول الموجي نفسه، لكنهما تختلفان في السعة.

تعتمد سعة الموجة على كيفية توليدها، ولا تعتمد على سرعتها. ويجب أن يُبذل شغل أكبر لتوليد موجة سعتها كبيرة. فمثلاً، تولّد الرياح القوية موجات ماء سعتها أكبر من سعة الموجات الناتجة عن النسائم اللطيفة. وتنقل الموجة ذات السعة الكبيرة طاقة أكبر؛ فالموجة ذات السعة القليلة تحرك الرمل سنتمترات عدة على الشاطئ، أما الموجة ذات السعة الكبيرة فيمكنها اقتلاع الأشجار وتحريكها من مكان إلى آخر. وإذا تحرَّكت الموجات بالسرعة نفسها فإن معدل نقلها للطاقة يتناسب طرديًّا مع مربع سعتها. لذا فمضاعفة سعة إحدى الموجات يضاعف الطاقة التي تنقلها أربع مرات في الثانية الواحدة.

الطول الموجي Wavelength تخيل أنك التقطت صورة فوتوغرافية للموجة كاملة بدلاً من التركيز على نقطة واحدة عليها بحيث ترى موجة كاملة في لحظة ما. ويبين **الشكل 5–5** قمم وقيعان الموجتين A وB. ويطلق على أقصر مسافة بين أي نقطتين يتكرّر فيها نمط الموجة نفسه اسم **الطول الموجي Wavelength**. فالمسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين تساوي الطول الموجي، ويُرمز للطول الموجي لموجة ما بالحرف اللاتيني λ (لمدا).

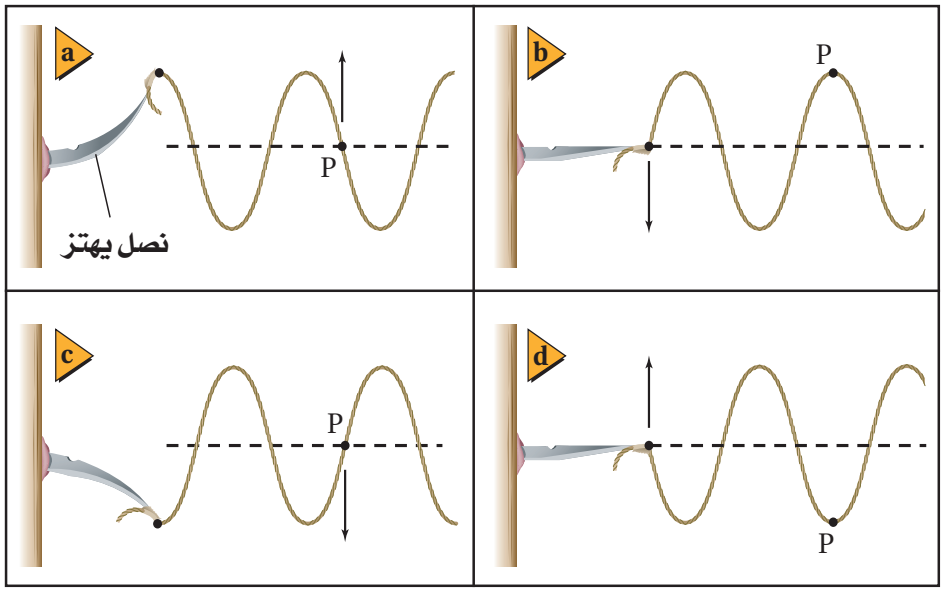
الطور Phase أي نقطتين في الموجة تكونان في الطور نفسه (متفقتان في الطور) إذا كانت المسافة بينهما تساوي طولًا موجيًّا واحدًا أو مضاعفاته. ويُعد جسيمان في وسط ما في الطور نفسه (متفقين في الطور) أيضًا إذا كان لهما الإزاحة نفسها عن موضع الاتزان، ولهما السرعة المتجهة نفسها. أما إذا كان الجسيمان في الوسط متعاكسين في الإزاحة وفي السرعة المتجهة فإنهما يكونان مختلفين في الطور، ويكون فرق الطور بينهما 180°. **وفرق الطور Phase difference** هو التعبير عن اختلاف الطور بين نقطتين أو جسيمين أو موجتين بقياس مقدار الزاوية التي يسبق /أو يتأخر بها أحدهما عن الآخر. فمثلاً هناك اختلاف في الطور بين القمة والقاع بـ 180°.



الشكل 6–5 يمكن المقارنة بين فرق الطور لنقاط مختلفة على الموجة نفسها (a)، أو المقارنة بين فرق الطور لموجتين (b).

ويوضح **الشكل 6a–5** نقاطًا مختلفة على موجة مستعرضة. وفي هذا الشكل تكون النقطتان A وE متفقتين في الطور؛ حيث إن الفرق بينهما طول موجي واحد، ولهما السرعة المتجهة نفسها. أما النقاط B وC وD فهي مختلفة في الطور. هل يُمكنك تحديد نقاط أخرى في الشكل تكون متفقة في الطور وأخرى مختلفة؟ كما يمكن المقارنة بين فرق الطور لموجتين كما هو موضَّح في **الشكل 6b–5**.

الزمن الدوري والتردد Period and frequency يمكن استخدام سرعة الموجة وسعتها لوصف أي موجة. أما الزمن الدوري T والتردد f فيطبّقان فقط على الموجات المستمرة. **والزمن الدوري Period** هو الزمن الذي يحتاج إليه الجسم المهتز حتى يكمل دورة كاملة، ويُقاس بوحدة الثانية (s). وعادة يكون مثل هذا الجسم هو مصدر الموجة المستمرة



الشكل 7–5 يهتز أحد طرفي نابض متصل بنصل 25 اهتزازة في الثانية، وعليه قطعة من شريط لاصق عند النقطة P. لاحظ تغير موضع النقطة P مع الزمن.

(الدورية) أو المسبِّب لها. ويكون الزمن الدوري للموجة مساويًا الزمن الدوري للمصدر. وتوضِّح **الأشكال** من **5–7a** إلى **5–7d** أن الزمن الدوري T يساوي 0.04 s؛ وهو أيضًا الزمن نفسه الذي تتطلبه نقطة مثل P على الحبل حتى تعود إلى طورها الابتدائي.

أمّا **التردّد (*f*) Frequency** فهو عدد الاهتزازات الكاملة التي يُتمّها الجسم المهتز في الثانية الواحدة، ويُقاس بوحدة هرتز Hz، والهرتز الواحد هو اهتزازة واحدة في الثانية. وبناءً عليه فإن العلاقة التي تربط بين الزمن الدوري للموجة وترددها هي:

تردد الموجة $f = \frac{1}{T}$

تردد الموجه يساوي مقلوب زمنها الدوري.

ويعتمد الزمن الدوري للموجة وترددها على مصدرها فقط، ولا يعتمدان على الوسط الذي تنتقل خلاله أو على سرعة الموجة.

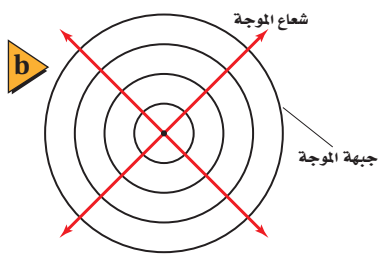
وتتحرك الموجة خلال فترة زمنية تساوي زمنًا دوريًّا واحدًا مسافة تساوي طولاً موجيًّا واحدًا، لذا فالطول الموجي يساوي سرعة الموجة مضروبًا في الزمن الدوري، $\lambda = vT$. ولأن الحصول على التردد يكون عادة أسهل من الحصول على الزمن الدوري فإن هذه المعادلة تُكتب على الشكل الآتي:

طول الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$

الطول الموجي للموجة يساوي سرعتها مقسومة على ترددها.

تمثيل الموجات Modeling waves

وإذا وضعت إصبعك في الماء وحرَّكته بتردد ثابت، فسوف تنتج دوائر متتابعة متحدة في مراكزها، ويكون إصبعك مركز تلك الدوائر التي تسمى كل منها **جبهة الموجة Wavefront**؛ وهي سطح تخيلي يصل بين جميع النقاط المتساوية في الطور، وعادة ما يُرسم على شكل خط يمثّل قمة الموجة. ويمكن استخدام جبهة الموجة لتوضيح الموجات بأي شكل كانت، ومن ذلك الموجات الدائرية والموجات المستقيمة. ويوضِّح **الشكل 5–8a**



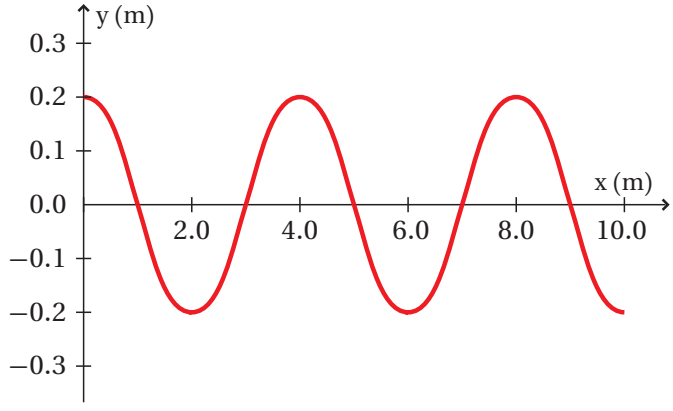
الشكل 5–8 تنتشر الموجات الدائرية إلى الخارج بعيدًا عن مصدرها (a). ويمكن تمثيل الموجة بدوائر ترسم عند قمم الموجات الدائرية (b). لاحظ أن الأشعة متعامدة مع جبهة الموجة.

الموجـات الدائرية في الماء، في حين يوضِّح **الشـكل 5–8b** اسـتخدام جبهة الموجة لتمثيل هذه الموجات. ويتم رسم جبهات الموجات بمقياس رسم مناسب يبيّن الطول الموجي لهذه الموجـات. وتتحرك الموجـات في اتجاه متعامد مع جبهاتها، ويُمثَّل هذا الاتجاه بشـعاع على شـكل خط يصنع زاوية قائمة مع جبهة الموجة يسـمى شعاع الموجة. وإذا أردت بيان اتجاه انتقال موجة فقط فمن الملائم أن ترسم شعاع الموجة بدلاً من جبهة الموجة.

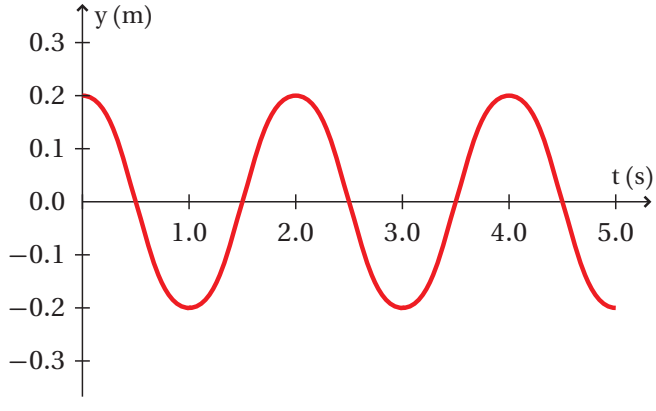
تمثيل الموجات بيانيًّا إذا التقطْت صورة فوتوغرافية لموجة مسـتعرضة في حبل، فسـتجدها مشابهة لإحدى الموجتين الموضحتين في **الشكل 5–5**. ويمكن وضع هذه الصورة على ورقة رسم بياني للحصول على مزيد من المعلومات عن الموجة، كما هو موضَّح في **الشكل 5–9a**. وبالمثـل إذا رصدت حركة جسـيم واحـد، مثل حركة النقطة P في **الشـكل 5–7**، أمكنك تمثيـل هـذه الحركة بيانيًّا على ورق رسـم بياني، بحيث ترسـم الإزاحة بوصفهـا متغيرًا مع الزمـن، كما في **الشـكل 5–9b**، والذي يمكن من خلاله إيجاد الزمـن الدوري، كما يمكن تمثيل الموجات الطولية بيانيًّا على ورق رسـم بيـاني، بحيث يتم تمثيل الضغط على المحور y

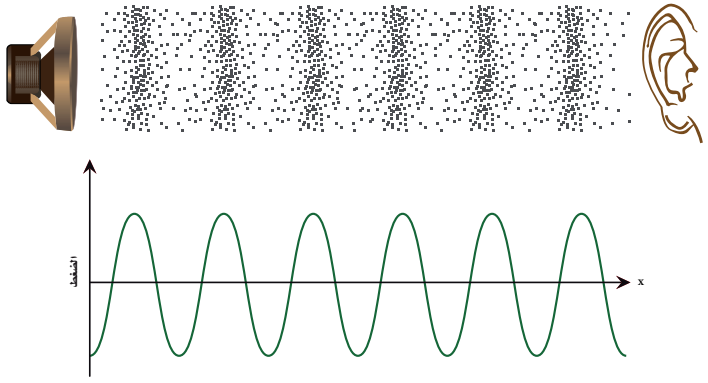
الشكل 5–9 يمكن تمثيل الموجات بيانيًّا، فالطول الموجي لهذه الموجة 4.0 m **(a)**، والزمـن الـدوري 2.0 s **(b)**. الإزاحـة أو السـعة في كلا الرسـمين تسـاوي 0.2 m فـإذا مثّل هذان الرسـمان البيانيان الموجة نفسها، فما سرعتها؟

a



b





الشكل 10–5 يمكن استخدام منحنى الجيب لتمثيل موجة طولية بحيث يتم تمثيل تغيرات الضغط على المحور y.

مثلاً، انظر **الشكل 10–5**، الذي يوضّح استخدام منحنى الجيب لتمثيل تغيرات ضغط موجة طولية، تحدث في الوسط خلال انتقالها فيه. وتُمثّل القمم تضاغطات الموجة الطولية، في حين تُمثِّل القيعان تخلخلاتها.

ماذا قرأت؟ ما المقصود بجبهة الموجة؟ وما خاصية الموجة التي يمكن معرفتها من رسمٍ لجبهات الموجات؟

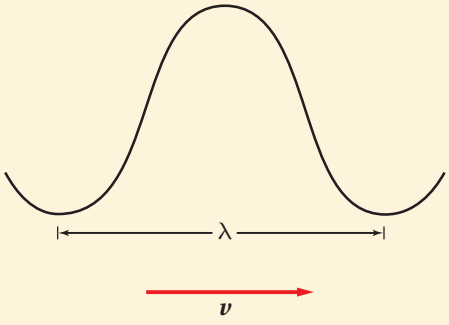
مثـــــال 1

خصائص الموجة قطعت موجة صوتية ترددها 192 Hz ملعب كرة قدم طوله 91.4 m خلال 0.271 s، احسب مقدار:

a. سرعة الموجة.
b. الطول الموجي للموجة.
c. الزمن الدوري للموجة.
d. الطول الموجي والزمن الدوري، إذا أصبح تردد الموجة 442 Hz

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نموذجًا للموجة.
- مثّل متجه السرعة.



المعلوم	المجهول
$f = 192\ \text{Hz}$	$v = ?$
$d = 91.4\ \text{m}$	$\lambda = ?$
$t = 0.271\ \text{s}$	$T = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. أوجد السرعة v.

بالتعويض $t = 0.271\ \text{s}$، $d = 91.4\ \text{m}$

$$v = \frac{d}{t}$$
$$= \frac{91.4\ \text{m}}{0.271\text{s}}$$
$$= 337\ \text{m/s}$$

b. أوجد طول الموجة λ.

بالتعويض $f = 192\ \text{Hz}$، $v = 337\ \text{m/s}$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$
$$= \frac{337\ \text{m/s}}{192\ \text{Hz}}$$
$$= 1.76\ \text{m}$$

c. أوجد الزمن الدوري T.

بالتعويض $f = 192\ \text{Hz}$

$$T = \frac{1}{f}$$
$$= \frac{1}{192\ \text{Hz}}$$
$$= 0.00521\ \text{s}$$

d. أوجد الطول الموجي الجديد.

بالتعويض $f = 442\ \text{Hz}$، $v = 337\ \text{m/s}$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$
$$= \frac{337\ \text{m/s}}{442\ \text{Hz}} = 0.762\ \text{m}$$

أوجد الزمن الدوري الجديد.

بالتعويض $f = 442\ \text{Hz}$

$$T = \frac{1}{f}$$
$$= \frac{1}{442\ \text{Hz}} = 0.00226\ \text{s}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الهرتز Hz هو نفسه s^{-1}، لذا فإن $\text{s} = \text{m}$. $\frac{\text{m/s}}{\text{Hz}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$ وهذا صحيح.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة القياسية لموجات الصوت في الهواء 343 m/s تقريبًا، لذا فالجواب 337 m/s منطقي، وكذلك التردد والزمن الدوري منطقيان بالنسبة لموجات الصوت، فالتردد 442 Hz قريب من التردد 440 Hz وهو التردد القياسي لموجات الصوت.

مسائل تدريبية

1. أطلق فادي صوتًا عاليًا في اتجاه جرف رأسي يبعد 465 m عنه، وسمع الصدى بعد 2.75 s. احسب مقدار:
   - **a.** سرعة صوت فادي في الهواء.
   - **b.** تردّد موجة الصوت إذا كان طولها الموجي يساوي 0.750 m.
   - **c.** الزمن الدوري للموجة.
2. إذا أردت زيادة الطول الموجي لموجات في حبل، فهل تهزّ الحبل بتردد كبير أم بتردد صغير؟
3. ولّد مصدرٌ في حبل اضطرابًا تردّده 6.00 Hz، فإذا كانت سرعة الموجة المستعرضة في الحبل 15.0 m/s، فما طولها الموجي؟
4. تتولّد خمس نبضات في خزان ماء كل 0.100 s، فإذا كان الطول الموجي للموجات السطحية 1.20 cm، فما مقدار سرعة انتشار الموجة؟

توصلت إلى أن الموجات تحمل طاقة مما يمكّنها من إنجاز شغل، وربما شاهدت الأضرار الهائلة الناجمة عن العواصف الشديدة والأعاصير القوية، أو التآكل البطيء للمنحدرات والشواطئ الناجم عن الموجات الضعيفة اليومية. ومن المهم أن تتذكّر أن سعة الموجة الميكانيكية هي التي تحدّد مقدار الطاقة التي تحملها الموجة، بينما يحدّد الوسط وحده سرعة الموجة.

1–5 مراجعة

5. **السرعة في أوساط مختلفة** إذا سحبت الطرف الحرّ لنابض، فهل تصل النبضة إلى طرفه الآخر في اللحظة نفسها؟ ماذا يحدث لو أحدثت اهتزازة في الطرف الحرّ لحبل؟ ماذا يحدث عند ضرب طرف قضيب حديدي؟ قارن بين سرعة انتقال النبضات في المواد الثلاث.

6. **خصائص الموجة** إذا ولّدْت موجة مستعرضة في حبل عن طريق هزّ يدك وتحريكها من جانب إلى آخر، ثم بدأت تهزّ الحبل أسرع من دون تغيير المسافة التي تتحركها يدك، فماذا يحدث لكل من: السعة، والطول الموجي، والتردد، والزمن الدوري، وسرعة الموجة؟

7. **الموجات تنقل الطاقة** افترض أنه طُلب إليك أنت وزميلك في المختبر توضيح أن الموجة المستعرضة تنقل الطاقة دون انتقال مادة الوسط، فكيف توضح ذلك؟

8. **الموجات الطولية** صِفِ الموجات الطولية. وما أنواع الأوساط التي تنقل الموجات الطولية؟

9. **التفكير الناقد** إذا سقطت قطرة مطر في بركة فستولّد موجات ذات سعات صغيرة. أما إذا قفز سبّاح في البركة فسيولّد موجات ذات سعات كبيرة. فلماذا لا تولّد الأمطار الغزيرة في أثناء العواصف الرعدية موجات ذات سعات كبيرة؟

5–2 الصوت والسمع Sound and hearing **

◄ **معايير الأداء الرئيسة**

28.4– 28.5–28.6

◄ **معايير البحث والاستقصاء العلمي**

1.1– 1.2–1.3–1.5

◄ **الأهداف**

- **تبيّن** أن الصوت موجات ميكانيكية طولية.
- **توضح** كيف تتولّد موجات الصوت.
- **تقارن** بين سرعة الصوت في المواد الصلبة والسائلة والغازية.
- **تفسّر** آلية السمع عند الإنسان.
- **تُصنّف** موجات الصوت إلى موجات صوتية سمعية وموجات صوتية فوق سمعية وموجات صوتية تحت سمعية.

◄ **المفردات**

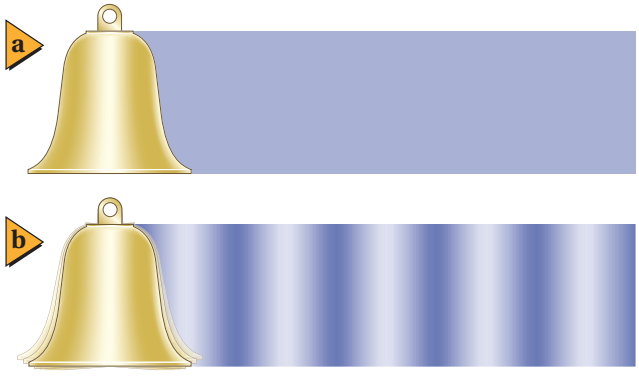
- موجة صوتية
- Sound wave
- الموجات الصوتية فوق السمعية
- Ultrasound
- الموجات الصوتية تحت السمعية
- Infrasound

الصوت جزء مهم في حياة العديد من المخلوقات الحية؛ إذ تستخدم الحيوانات الصوت للصيد والتزاوج والتحذير من اقتراب الحيوانات المفترسة. يؤدي صوت صفارة الإنذار إلى إثارة القلق لدى الناس، في حين تساعد أصوات أخرى – ومنها تلاوة القرآن – على التهدئة وإراحة النفس. ولقد أصبح مألوفًا لديك – من خلال خبرتك اليومية – العديد من خصائص الصوت، منها علوّه ونغمته ودرجته. ويمكن استخدام هذه الخصائص وغيرها لتصنيف العديد من الأصوات التي نسمعها ووصفها. فعلى سبيل المثال، تعد بعض أنماط الصوت من مميزات الكلام، في حين يعد غيرها من مميزات المجموعات الموسيقية. وستدرس في هذا القسم المبادئ الفيزيائية للموجات الصوتية وآلية السمع عند الإنسان.

درست في القسم السابق وصف الموجات بدلالة السرعة والتردد والطول الموجي والسعة وغيرها. ولأن الصوت أحد أنواع الموجات فإنه يمكنك وصف بعض خصائصه وتفاعلاته. والسؤال الذي نحتاج إلى إجابته أولاً هو: ما نوع موجة الصوت؟

الموجات الصوتية Sound waves

ضع أصابعك على حنجرتك وأنت تتكلم أو تُدندن. هل تشعر بالاهتزازات؟ هل حاولت مرة وضع يدك على سمّاعة مسجّل؟ يوضح **الشكل 11–5** جرسًا يهتز، والذي قد يمثل أوتارك الصوتية أو سمّاعة أي مصدر للصوت. فعندما يهتز الجرس إلى الخلف وإلى الأمام، فإن حافة الجرس تصدم جزيئات الهواء. وتتحرك جزيئات الهواء إلى الأمام عندما تتحرك الحافة إلى الأمام؛ أي أن جزيئات الهواء ترتد عن الجرس بسرعة كبيرة. وعندما تتحرك الحافة إلى الخلف ترتد جزيئات الهواء عن الجرس بسرعة أقل.



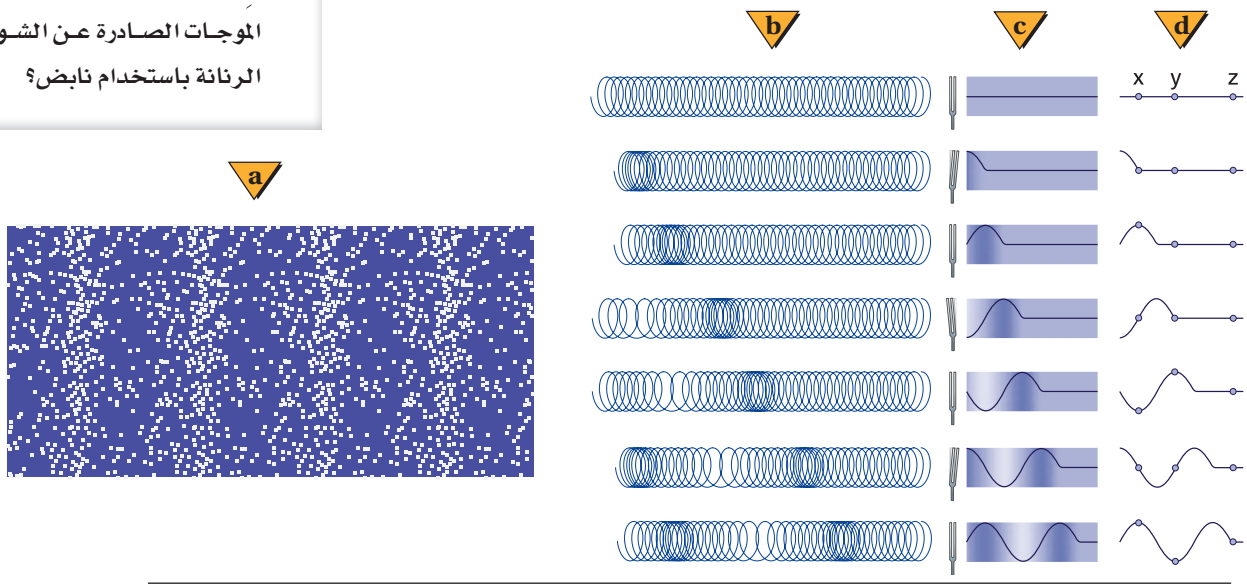
الشكل 11–5 يكون الهواء حول الجرس قبل قرعه ذا ضغط متوسط (a). وعند قرعه تُحدث الحافة المهتزة مناطق ذات ضغط مرتفع، وأخرى ذات ضغط منخفض؛ حيث تمثّل المساحات الداكنة مناطق الضغط المرتفع، وتمثّل المساحات الفاتحة مناطق الضغط المنخفض (b). ويبيّن الرسم التخطيطي تحرك المناطق في اتجاه واحد للتبسيط، في حين أن الموجات تتحرك فعليًا من الجرس في الاتجاهات جميعها.

** ملاحظة: هذا القسم كاملاً للمطالعة والإثراء.

وينتج عن تغيرات سرعة اهتزاز الجرس ما يلي: تؤدي حركة الجرس إلى الأمام إلى تشكُّل منطقة يكون فيها ضغط الهواء مرتفعًا تسمى تضاغطًا، في حين تؤدي حركته إلى الخلف إلى تشكُّل منطقة يكون فيها ضغط الهواء منخفضًا تسمى تخلخلًا. وتؤدي التصادمات بين جزيئات الهواء إلى انتقال هذه التضاغطات والتخلخلات بعيدًا عن الجرس في الاتجاهات جميعها. وبهذه الطريقة تنتقل تغيرات الضغط (التضاغطات والتخلخلات) خلال المادة.

وصف الصوت Describing sound ينشأ الصوت نتيجة اهتزاز الأجسام، ويسمى انتقال تغيرات الضغط خلال مادة **موجة صوتية Sound wave**. وتنتقل موجات الصوت خلال الهواء؛ لأن المصدر المهتز ينتج تغيرات أو اهتزازات منتظمة في ضغط الهواء. وتتصادم جزيئات الهواء، وتنقل تغيرات الضغط بعيدًا عن مصدر الصوت. ويتذبذب ضغط الهواء حول متوسط الضغط، كما في **الشكل 12–5**. ويكون تردد الموجة هو عدد اهتزازات قيمة الضغط في الثانية الواحدة. أما الطول الموجي فيمثِّل المسافة بين مركزي تضاغط أو تخلخل متتاليين. ويعد الصوت موجة طولية؛ لأن جزيئات الهواء (الوسط الناقل) تهتز موازية لاتجاه انتشار الموجة الصوتية. وإذا استخدمت جهاز الأوسيلوسكوب لتعرف شكل الموجات الصوتية الصادرة عن آلات مختلفة فسوف يظهر شكلها مشابهًا لشكل موجة مستعرضة، وسيكون مشابهًا لما هو موضّح في **الشكل 12c–5**. وتعلم من القسم السابق أن هذا الشكل لا يمثل شكل موجات الصوت وليس صورة لها، ولكن تم استخدام هذا المنحنى الجيبي للتعبير عن تغيرات الضغط التي تحدث في الوسط بدلالة البعد عن مصدر الصوت في أثناء عبور الموجة الصوتية له، وتُمثِّل القمم التضاغطات، في حين تُمثِّل القيعان التخلخلات.

ماذا قرأت؟ كيف ينشأ الصوت؟ وما نوع موجاته؟



الشكل 12–5 تنتقل موجة الصوت على شكل تضاغطات وتخلخلات (a)، ويمكنك نمذجة تضاغطات وتخلخلات موجة صوت باستخدام نابض (b). يرتفع ضغط الهواء وينخفض مع انتشار الموجة الصوتية خلال الهواء (c). ويمكنك استعمال منحنى الجيب وحده لتعبر عن تغيرات الضغط. لاحظ أن المواضع y ،x، وz تبين أن الموجة هي التي تتحرك إلى الأمام وليست المادة (d).

تجربة

توليد موجة صوتية

1. **علّق** كرة تنس طاولة بخيط ثم اربط الخيط بحامل رأسي.
2. **اضرب** أحد فرعي الشوكة الرنانة بالمطرقة. وصف ما يحدث.
3. **اضرب** أحد فرعي الشوكة بالمطرقة و**قرّبه** إلى كرة التنس حتى يلامسها، وصف ما تشاهده.
4. **كرّر** الخطوة السابقة مرة أخرى، ولكن في هذه المرة **قرّبه** من سطح ماء ساكن، وصف ما تشاهده.

التحليل والاستنتاج

5. متى تتولّد موجة صوتية؟
6. ماذا تستنتج من مشاهداتك في الخطوتين 3 و4؟
7. كيف يصل الصوت الصادر عن الشوكة الرنانة إلى أذنك؟
8. صف كيف يمكنك نمذجة الموجات الصادرة عن الشوكة الرنانة باستخدام نابض؟

سرعة الصوت في الأوساط المختلفة

Speed of sound in different media

إن سرعة انتقال موجات الصوت في المواد الصلبة أكبر منها في المواد السائلة، وأكبر منها في الغازات. لماذا؟ بالاستعانة بنموذج الحركة الجزيئية يمكن ملاحظة أن المسافات البينية بين جزيئات الغازات تكون أكبر منها في المواد السائلة وأكبر منها في المواد الصلبة، لذا فإن عملية نقل الطاقة الصوتية من جزيء إلى آخر في الغازات تستغرق وقتًا أطول، بينما في المواد الصلبة تنتقل الطاقة الصوتية من جزيء إلى الجزيء المجاور بسرعة أكبر، نظرًا لصغر المسافة بينهما، لذا تكون سرعة الصوت في المواد الصلبة هي الأكبر. ويمكنك اختبار ذلك من خلال النقر على سطح الطاولة وسماع الصوت من خلال الهواء، ثم وضع أذنك ملاصقة لسطح الطاولة والنقر عليها، ومقارنة الصوت الذي تسمعه الآن بما سمعته في الحالة الأولى. ويمكن قياس سرعة الصوت في الهواء بالاعتماد على الصدى وهو – كما تعلم – تكرار سماع الصوت بعد ارتداده عن سطح عاكس.

تعتمد سرعة انتقال موجات الصوت في وسط ما على خصائص هذا الوسط. ومن هذه الخصائص:

مرونة الوسط Elasticity عند إزاحة مجموعة من الجسيمات عن مواضع اتزانها تنشأ قوة تعيد هذه الجسيمات إلى مواضع اتزانها. وكلما زادت مرونة الوسط زادت سرعة رجوع جسيماته إلى مواضع اتزانها. وتكون سرعة انتقال موجات الصوت في هذا الوسط أكبر. وتلاحظ من **الجدول 1–5** أن سرعة الصوت في المواد الصلبة أكبر منها في الغازات والسوائل؛ وذلك لأن معاملات المرونة للمواد الصلبة أكبر منها للسوائل والغازات.

كثافة الوسط Density تؤدي زيادة كثافة مادة الوسط إلى تزاحم جسيماته وزيادة الزمن المستغرق لنقل الاضطراب من جزيء إلى الجزيء الذي يليه، وبالتالي تقل سرعة انتقال موجة الصوت خلال هذا الوسط. وتلاحظ من الجدول 1–5 أن سرعة الصوت في الهيدروجين أكبر من سرعته في الهواء؛ لأن كثافة الهيدروجين أقل من كثافة الهواء.

درجة الحرارة Temperature تتغير سرعة الصوت بتغير درجة حرارة الوسط الذي تنتقل فيه، ويكون تأثير درجة الحرارة على سرعة الصوت ملاحظًا في الغازات. فمثلاً سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة 0 °C تساوي 331 m/s، بينما سرعته عند درجة حرارة 20 °C تساوي 343 m/s.

جدول 1–5

سرعة الصوت في أوساط متعددة

الغازات	
المادة	السرعة (m/s)
هيدروجين (0 °C)	1286
هيليوم (0 °C)	972
هواء (20 °C)	343
هواء (0 °C)	331
السوائل	
المادة	السرعة (m/s)
جليسرول	1904
ماء البحر	1533
الماء	1493
الزئبق	1450
المواد الصلبة	
المادة	السرعة (m/s)
الماس	12000
زجاج البيركس	5640
الحديد	5130
الألومنيوم	5100
النحاس الأصفر	4700
النحاس	3560
الذهب	3240
الرصاص	1322
المطاط	1600

تجربة

سرعة الصوت في الهواء

1. **قِس** درجة حرارة الغرفة، وسجّلها.
2. **صِل** ميكروفونًا (مجس صوت) بقارئ بيانات بواسطة جهاز توصيل.
3. **ضع** على طاولة المختبر أنبوبًا كرتونيًا طوله 2 m–1، مفتوحًا من جهة واحدة، ثم قِس طول الأنبوب بواسطة الشريط المتري، وسجّل قياسك.
4. **ثبّت** الميكروفون بحامل مناسب، بحيث يكون قريبًا جدًا من الطرف المفتوح للأنبوب الكرتوني.
5. **ابدأ** بجمع البيانات بإحداث صوت بأصابعك، أو بأداة مناسبة عند الطرف المفتوح للأنبوب الكرتوني.
6. **قِس** الفترة الزمنية بين بداية مجموعة الموجات الأولى، وبداية مجموعة الموجات الثانية التي تظهر على شاشة قارئ البيانات، وسجّل الفترة الزمنية.
7. **كرّر** الخطوتين 5 و6 أربع مرات.

التحليل والاستنتاج

8. ما الذي تمثّله كلٌ من مجموعتَي الموجات (الأولى والثانية) التي ظهرت على الشاشة؟
9. ما الذي تمثّله الفترة الزمنية في كل محاولة؟
10. احسب متوسط الفترة الزمنية، ثم احسب سرعة الصوت في الهواء.
11. قارن بين السرعة المحسوبة للصوت والسرعة المقبولة له عند درجة حرارة الغرفة، وهل هما متّفقتان أم لا؟ وضح إجابتك.
12. ما مصادر الخطأ في التجربة.

سرعة واتجاه الرياح Speed and direction of wind تزداد سرعة الصوت عند انتقاله في الهواء في اتجاه حركة الرياح، بينما تقل سرعته عند انتقاله في عكس اتجاه حركة الرياح.

وتكون سرعة الصوت ثابتة في الوسط الواحد إذا كان متجانسًا (وهو ما تشابهت خصائصه الفيزيائية في جميع أجزائه)، بينما تتغير عند انتقاله من وسط إلى آخر مختلف عنه أو خلال الوسط نفسه إذا كان غير متجانس. وترتبط سرعة الصوت وطوله الموجي وتردده من خلال العلاقة $v = f\lambda$.

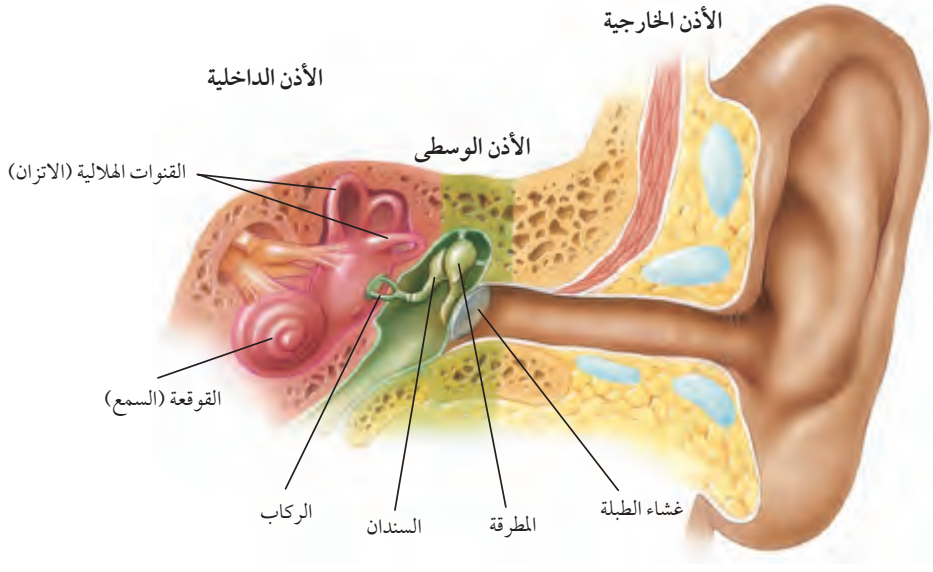
ويمكن قياس سرعة الصوت في المواد الصلبة بالطريقة الموضحة في التجربة المجاورة، حيث يتم الاعتماد على قياس زمن التلامس بين المطرقة والساق الفلزية، وهو يمثل الزمن المستغرق لقطع مسافة تساوي ضعف طول الساق الفلزية؛ فعند ضرب طرف الساق الفلزية بالمطرقة تنتقل نبضة تضاغط إلى طرفها الآخر، حيث تنعكس على شكل نبضة تخلخل وتعود إلى طرف الساق الملامس للمطرقة وتؤدي إلى انفصاله عنها. وبقسمة هذا الزمن على ضعف طول الساق نحصل على سرعة انتقال الصوت في مادة الساق.

ماذا قرأت؟ في أي الأوساط تكون سرعة الصوت هي الأكبر؟ ولماذا؟

الكشف عن موجات الصوت Detection of sound waves

تحوّل كاشفات الصوت الطاقة الصوتية – الطاقة الحركية لجزيئات الهواء المهتزة – إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. ويعد الميكروفون أحد الكاشفات الشائعة؛ حيث يحول طاقة الموجات الصوتية إلى طاقة كهربائية.

استجابة الأذن البشرية للصوت The human ear voice response تعد الأذن البشرية كاشف الصوت الذي أنعم الله به علينا، حيث يمكنها التقاط الأصوات ضمن مجال واسع من الترددات وتحولها إلى نبضات كهربائية. وتقسم الأذن إلى ثلاثة أجزاء: الأذن الخارجية والأذن الوسطى والأذن الداخلية. ويبين **الشكل 13–5** هذه الأجزاء.

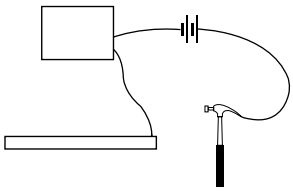


الشكل 13–5 أجزاء الأذن البشرية.

تجربة

سرعة الصوت في المواد الصلبة

1. **علّق** ساقًا فلزيَّة تعليقًا حرًّا بشكل أفقي.
2. **صِل** أحد طرفي الساق الفلزية بأحد قطبي أوسيلوسكوب (CRO).
3. **صِل** القطب الآخر للأوسيلوسكوب بالقطب السالب لبطارية 3 V، وصل الطرف الموجب لها بمخلب مطرقة، كما في الشكل أدناه.



4. **اضرب** برفق أحد طرفي الساق الفلزية بالمطرقة، واجعله ملاصقًا للمطرقة حتى ينفصل عنها نتيجة انعكاس نبضة الضغط على شكل نبضة تخلخل.
5. **سجّل** قراءة زمن التلامس من الرسم الذي يظهر على الشاشة.
6. **قِس** طول الساق الفلزية، وسجّل درجة الحرارة.

التحليل والاستنتاج

7. احسب سرعة الصوت في الساق الفلزية.
8. بالرجوع لقيم معيارية لسرعة الصوت في المواد الصلبة، ما نوع مادة الساق الفلزية؟
9. ما العوامل التي قد تؤثر في سرعة انتقال موجات الصوت في المواد الصلبة؟
10. ما مصادر الخطأ في التجربة؟

تستقبل الأذن الخارجية الموجات الصوتية، وهي تتكون من الجزء المرئي الذي يسمى صيوان الأذن، الذي يساعد شكله الأذن على تجميع الموجات الصوتية وتوجيهها إلى القناة السمعية، وهي الجزء الثاني من الأذن الخارجية، حيث تنتقل هذه الموجات الصوتية عبر القناة السمعية إلى الأذن الوسطى، مسبِّبة اهتزاز غشاء طبلة الأذن، فتنتقل هذه الاهتزازات إلى عظيمات ثلاثة، هي المطرقة والسندان والركاب، التي تقوم بتضخيم الاهتزازات. ويستند الركاب إلى غشاء في فتحة الأذن الداخلية.

تتركّب الأذن الداخلية من القوقعة والقنوات الهلالية، ويملأ سائلٌ القوقعة التي تشبه صدفة حلزون. وعندما يهتز الركاب يبدأ السائل داخل القوقعة في الاهتزاز، مما يسبب تحريك الخلايا الشعرية داخلها، فيتولّد سيال عصبي ينتقل عبر العصب السمعي إلى الدماغ. واعتمادًا على عدد النهايات العصبية التي تم تنبيهها فإنك تسمع أنواعًا مختلفة من الأصوات.

ماذا قرأت؟ **ما أجزاء الأذن؟ وكيف تحدث عملية السمع؟**

وتختلف القدرة على سماع الأصوات من شخص إلى آخر، إلا أنه يوجد حدود متوسطة لقدرة الأذن البشرية السليمة على سماع الأصوات. فمعظم الأشخاص لا يستطيعون سماع الموجات الصوتية التي يزيد ترددها عن 20000 Hz، والتي تسمى **الموجات الصوتية فوق السمعية Ultrasound**، مثل الموجات التي تصدرها الدلافين والخفافيش. وأيضًا لا يستطيع معظم الأشخاص سماع الموجات الصوتية التي يقل ترددها عن 20 Hz، والتي تُسمى **الموجات الصوتية تحت السمعية Infrasound**، مثل الموجات التي تستخدمها بعض الحيوانات للتواصل، مثل الفيلة والتماسيح، كما يمكن أن تتولّد طبيعيًّا مثل الموجات الصوتية التي تنشأ عن الزلازل والبراكين والانهيارات الثلجية. أما الموجات التي يتراوح ترددها بين 20 Hz و20000 Hz فتُسمى الموجات السمعية، وهي الموجات الصوتية التي تستطيع أذن الإنسان السليمة سماعها. ويقل مدى الترددات العالية التي يستطيع كبار السن سماعها إلى حوالي 12000 Hz.

ماذا قرأت؟ **ما مدى تردد الموجات الصوتية التي تستطيع الأذن السليمة سماعها؟**

وتستطيع بعض الحيوانات سماع الترددات العالية، فمثلًا يستطيع الخفاش سماع الترددات التي تصل إلى 100000 Hz تقريبًا، بينما يستطيع الكلب سماع الترددات التي تصل إلى 50000 Hz تقريبًا. وللموجات الصوتية فوق السمعية تطبيقات كثيرة في الحياة، منها: استخدامها في الطب في تحديد أماكن الأورام في جسم الإنسان، وفي عمليات فحص الرحم والأجنّة في أثناء الحَمل، كما تُستخدم في معالجة الماء، ودراسة تركيب بعض المواد وفحصها، وفي الكشف عن الشقوق في المعادن، وغير ذلك من التطبيقات.

ماذا قرأت؟ **ما أهمية الموجات الصوتية فوق السمعية؟**

2–5 مراجعة

10. **الصوت** كيف ينشأ الصوت؟ وكيف ينتقل؟
11. **سرعة الصوت** سرعة الصوت في المواد الصلبة أكبر منها في السوائل وأكبر منها في الغازات . فسِّر ذلك.
12. **سرعة الصوت** كيف تؤثر خصائص وسط ما في سرعة انتقال موجات الصوت خلاله؟
13. **قارن** بين الموجات الصوتية تحت السمعية والسمعية وفوق السمعية من حيث: مدى التردد، الاستخدامات.
14. **التردد** تنتشر موجة صوتية في الهواء بسرعة 340 m/s، إذا كان طولها الموجي 0.80 m فما ترددها؟
15. **السمع** اشرح آلية سماع الإنسان لصوت عصفور.
16. **التفكير الناقد** يكون تأثير درجة الحرارة في سرعة الصوت في الهواء كبيرًا جدًّا مقارنة بتأثيره في سرعة الصوت في السوائل أو المواد الصلبة. فسِّر ذلك.

3–5 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار
Resonance in air columns and strings

معايير الأداء الرئيسة

28.7– 28.8

معايير البحث والاستقصاء

1.1– 1.3–4.1–4.2

الأهداف

- **تميّز** بين الموجات الموقوفة والموجات المتحركة.
- **توضّح** معنى كل من عقدة الموجة وبطن الموجة.
- **توضّح** ظاهرة الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار المهتزة.
- **تبين** أن تردد النغمات التوافقية وصوتها يرتبط بالتردد الأساسي.
- **توضح** كيف تولّد النغمات التوافقية.

المفردات

- الرنين Resonance
- الموجة الموقوفة Standing wave
- عقدة Node
- بطن Antinode
- التردد الأساسي Fundamental frequency
- النغمات التوافقية Harmonics
- الموجات المتحركة Travelling waves

يُعدُّ الفارابي من أبرز العلماء المسلمين الذين درسوا الصوت والموسيقى، فقد كان موسيقارًا متميِّزًا، وهو من اخترع آلة القانون، وهو من أبرز الذين كتبوا في الموسيقى في العالم الإسلامي، وقد ألّف فيها عدة كتب، أهمها "كتاب الموسيقى الكبير"، وكتب فيه عن تاريخ الموسيقى، وعن النظرية الموسيقية، وآلات الطرب. وقد أضفى الفارابي على الموسيقى معظم ملامحها في عصره، ووضع مئات المصطلحات العلمية والموسيقية، كما درس فيزياء الصوت؛ وبحث في النغمة والدرجة، وعرض الأصوات الموسيقية والنغمات بشكلٍ مفصّلٍ، وبحث في آلات الطرب، ومنها القانون، والعود، والطنبور الخراسانيِ والبغداديِ.

مصادر الصوت Sources of sound

يصدر الصوت – كما تعلم – عن اهتزاز الأجسام؛ إذ تؤدي اهتزازات الجسم إلى تحريك الجزيئات التي تتسبب في إحداث تغيرات سريعة في ضغط الهواء. فمثلًا يحتوي مكبّر الصوت على مخروط مصمم ليهتز بواسطة التيارات الكهربائية، ويولّد سطح المخروط الموجات الصوتية التي تنتقل إلى أذنك مما يسمح لك بسماع الموسيقى وغيرها.

ويصدر الصوت البشري عن اهتزاز الأوتار الصوتية، وهي عبارة عن زوج من الأغشية في الحنجرة، حيث يندفع الهواء من الرئتين مارًّا عبر الحنجرة، فتبدأ الأوتار الصوتية في الاهتزاز. ويتم التحكم في تردد الاهتزاز بعضلات الشد الموجودة على الأوتار الصوتية.

أما في الآلات الوترية فإن الأوتار هي التي تهتز؛ إذ يُسبّب ضرب الأوتار أو سحبها أو احتكاكها بقوس الوتر، اهتزازَ الأوتار. وتتصل الأوتار عادة بلوحة صوتية تهتز مع الأوتار. وتؤدي اهتزازات اللوحة الصوتية إلى إحداث تغيرات في قيمة ضغط الهواء الذي نشعر به بوصفه صوتًا.

وتعمل الكثير من الآلات الموسيقية على ظاهرة الرنين، ومنها الآلات الهوائية والوترية. فما المقصود بالرنين؟ وكيف ينشأ؟

عمومًا، يحدث **الرنين Resonance** عندما تؤثر قوى صغيرة في جسم متذبذب أو مهتز في فترات زمنية منتظمة، بحيث تؤدي إلى زيادة سعة الاهتزازة أو الذبذبة، وتكون الفترة الزمنية الفاصلة بين تطبيق القوة على الجسم المهتز مساوية للزمن الدوري للذبذبة.

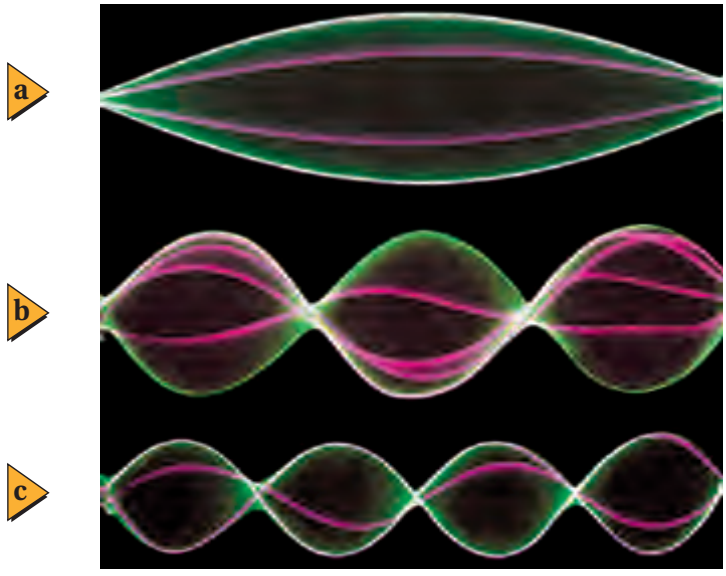
ماذا قرأت؟ ما مصدر أي صوت؟

الرنين في الأوتار Resonance in strings

مـاذا يحـدث إذا ثبّت أحد طرفي وتر في نقطة ثابتة، وثبّت طرفـه الآخر بمصدر مهتز؟ عند اهتـزاز المصـدر تتولـد في الوتر موجات ترددها يسـاوي تردد المصـدر، تنطلق من المصدر متحركـة في اتجـاه طرفه الآخر الثابت، ثم ترتد عند هـذه النهاية الثابتة في الاتجاه المعاكس، وتلتقـي مع الموجـات القادمة من المصدر فتتداخل معها. وبتغيـير تردد المصدر يتغير تردد الموجات المتولدة في الوتر، وعند تردد معين تبدو الموجة الناتجة من التقاء الموجتين الساقطة والمنعكسـة سـاكنة أو موقوفـة وذات سـعة كبيرة، تسـمى **الموجـة الموقوفة (أو المسـتقرة) Standing wave**؛ وهـي موجـة ناتجـة عـن التقـاء موجتين لهـما نفس الـتردد والطول الموجي والسـعة، وتتحركان في اتجاهين متعاكسـين، حيث فرق الطـور بينهما 180°. انظر **الشـكل 14–5**. تلاحظ في الشـكل أن هنـاك نقاطًا لم تتحرك، حيث إزاحاتها أو سـعات اهتزازها صفر، وتسمى كل نقطة من هذه النقاط التي لم تتحرك مطلقًا **عقد Node (N)**. وتكـون العقدتـان في **الشـكل 14a–5** عنـد طـرفي الحبل. أما بقيـة نقاط الوتـر فإنها تهتز بسـعات اهتزاز مختلفة، وتسـمى النقطة التـي تكون إزاحتها أو سـعة اهتزازها هي الأكبر **بطنًا Antinode(A)**، ويقـع البطن بـين عقدتين متتاليتين. وتكون المسـافات بين العقد والبطون متساوية.

وبمضاعفـة تـردد الاهتـزاز تتولـد عقـدة جديـدة وبطـن جديـد في الوتـر، ويظهـر الوتر مهتـزًا في قسـمين. وعنـد زيـادة الـتردد أكثر تتولـد عقد وبطـون أكثر، كما هـو موضح في الشكلين **14b–5** و**14c–5**.

ماذا قرأت؟ ما الموجة الموقوفة؟



الشـكل 14–5 يُنتـج التقـاء موجتـين لهـما نفـس الـتردد والطول الموجي والسعة وتتحركان في اتجاهـين متعاكسـين موجـات موقوفـة في الحبل، وبزيادة التردد يزداد عدد العقد والبطون، كما هو واضح من أعلى الشكل إلى أسفله.

تجـربة

الموجات الموقوفة

1. **ثبّت** أحد طـرفي وتر في نقطة ثابتة، وثبّت طرفه الآخر في مصدر مهتز.
2. **زِد** تردد المصـدر المهتز تدريجيًّا حتى تحصـل علـى موجـة موقوفـة ببطن واحد. وسجّل تردد المصدر المهتز.
3. **سلّط** ضـــوء الستروبوسـكـوب (Stroboscope) علـى الوتـــر المهتـز، واضبطه علـى تـردد مسـاو لتردد المصدر. وسجّل ما تلاحظه.
4. **زِد** تـردد المصـدر المهتـز تدريجيًّا، ولاحـظ عـدد البطـون المتكونـة، واضبط تردد الستروبوسكوب على نفس تـردد المصـدر كلما تَكـوّن بطن جديد. وسجّل ما تلاحظه.

التحليل والاستنتاج

5. صِف حركة أجزاء الوتر في الخطوة 3؟
6. ماذا يُسمى نمط الموجات المتكون؟
7. مـا العلاقة بين أقل تردد كوّن موجة موقوفـة والـترددات الأخـرى التـي تكون عندها موجات موقوفة أخرى؟

وتلاحظ أنه تتكون موجة موقوفة في الوتر عند ترددات معينة للمصدر؛ فعند توليد موجة جديدة في الوتر ترددها وسعتها وسرعتها مماثلة لتلك التي للموجة المنعكسة تتكون موجة ذات سعة اهتزاز أكبر عند تلاقي الموجتين، وتُسمى هذه الحالة الرنين. ويُعرف الرنين في الأوتار بأنه عبارة عن تقوية الصوت الناتج عن اهتزاز جسم بتأثير جسم آخر مهتز عندما يتساوى تردد الجسمين، مما يعمل على زيادة سعة الاهتزاز. فمثلًا إذا ضربت شوكة رنانة بمطرقة وقرَّبتها من وتر مشدود مثبّت الطرفين، فستلاحظ أن الوتر يبدأ في الاهتزاز إذا وافق تردد الشوكة الرنانة أحد ترددات الوتر الطبيعية، وتبدأ سعة اهتزاز الوتر بالازدياد، ونقول: إن الشوكة الرنانة والوتر في حالة رنين.

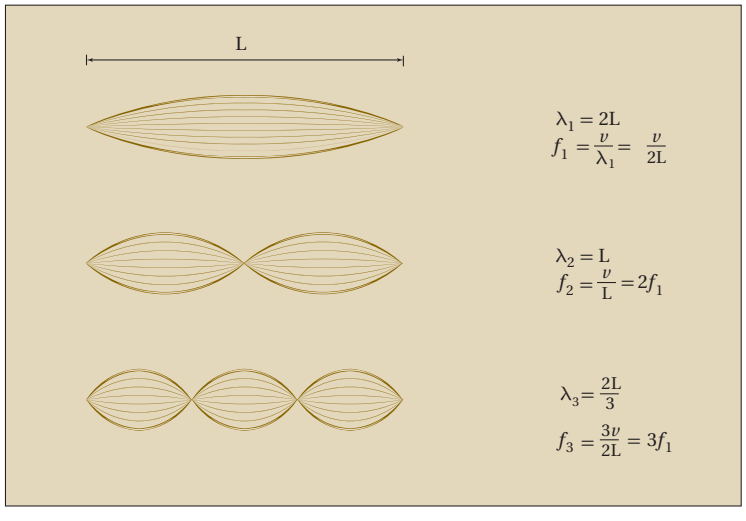
وتلاحظ أنه عندما يهتز وتر مشدود كقطعة واحدة يكون له عقدة عند كل طرف من طرفيه. وتستطيع أن ترى من **الشكل 15–5** أن النمط الأول للاهتزاز له بطن عند المنتصف، وطوله يساوي نصف الطول الموجي ($\frac{1}{2}\lambda$)، وهو يساوي المسافة بين بطنين متتاليين أو عقدتين متتاليتين، وعندها يكون طول الوتر $L = \frac{1}{2}\lambda$. ويحدث الرنين التالي عندما يكون طول الوتر مطابقًا لطول موجي واحد $L = \lambda$. وفي هذه الحالة تتكون الموجة الموقوفة من بطنين وثلاث عقد. ويظهر الرنين الثالث عندما تتكون ثلاثة بطون في الوتر، وعندها يكون $L = 3\lambda/2$. وتظهر موجات مستقرة إضافية عندما يكون طول الوتر $4\lambda/2$، $5\lambda/2$، $6\lambda/2$، وهكذا. أي أنه لكي تتكون موجات موقوفة في وتر يجب أن تكون العلاقة بين طول الخيط والطول الموجي كما يلي:

$$L = \frac{1}{2}\lambda,\ 2\lambda/2 = \lambda,\ 3\lambda/2,\ 4\lambda/2 = 2\lambda,\ 5\lambda/2,\ \ldots$$

أي أن طول الوتر يساوي مضاعفات صحيحة لنصف الطول الموجي؛ $L = n\lambda/2$، حيث $n = 1, 2, 3, 4, 5, \ldots$، وهو يساوي عدد البطون.

ويمكن حساب ترددات الرنين باستخدام معادلة الموجة، $v = f\lambda$، بتعويض الطول الموجي للموجات التي تكون في حالة رنين ($\lambda = 2L/n$). فتكون ترددات الرنين:

$$f_n = nv/2L,\ n = 1, 2, 3, \ldots$$



الشكل 15–5 وتر في حالة رنين مع موجات موقوفة عندما يكون طوله مساويًا لمضاعفات نصف الطول الموجي.

تجربة

الرنين

1. **ثبّت** شوكتين رنانتين متساويتين في التردد على صندوقي الرنين، وقربهما من بعضهما دون أن يتلامسا.
2. **اضرب** إحدى الشوكتين الرنانتين بالمطرقة، ولاحظ ما يحدث للشوكة الثانية.
3. **كرّر** الخطوة السابقة مرة أخرى، ولكن في هذه المرة علّق كرة بيلسان بحيث تكون ملامسة للشوكة الثانية، ولاحظ ما يحدث عند ضرب الشوكة الأولى.

التحليل والاستنتاج

4. ماذا حدث للشوكة الثانية بعد ضرب الشوكة الأولى؟ فسّر إجابتك.
5. ما الذي حدث لكرة البيلسان في الخطوة 3؟
6. ماذا تسمى هذه الظاهرة؟

بتعويض قيمة $n = 1$ نحصل على أقل تردد يمكنه تكوين موجات موقوفة في الوتر، $f_1 = v/2L$، ويُسمى **التردد الأساسي Fundamental frequency**. وبتعويض قيم أخرى لـ n نحصل على قيم ترددات الرنين الأخرى. وتُسمى ترددات الرنين هذه **النغمات التوافقية Harmonics**، وهي مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي؛ حيث تسمى f_1 النغمة التوافقية الأولى، و f_2 النغمة التوافقية الثانية وهكذا. وتلاحظ أنها تساوي مضاعفات صحيحة للنغمة الأولى، $f_n = nf_1$. ويُطلق على اهتزاز الجسم بمثل هذه الترددات مصطلح الرنين. وتلاحظ أن درجة الصوت الناتج عن التردد الأساسي منخفضة؛ لأن التردد قليل، لذا يكون الصوت غليظًا. وبالانتقال إلى النغمات التوافقية الأخرى يزداد التردد تدريجيًّا، لذا تزداد درجة الصوت ويصبح حادًّا.

ماذا قرأت؟ **ما الفرق بين التردد الأساسي (النغمة التوافقية الأولى) والنغمات التوافقية الأخرى؟**

وتعتمد سرعة الموجة في الوتر على قوة الشد فيه، وعلى كتلة وحدة طوله. لذا فإن الآلة الوترية تُضبط بتغيير شد أوتارها. فكلما كان الوتر مشدودًا أكثر كانت سرعة حركة الموجة أكبر، لذا تزداد قيمة تردد موجاته الموقوفة.

وتولِّد الموجات الموقوفة في الأوتار **موجات متحركة Travelling waves** في الهواء تنتقل إلى آذاننا، فنسمعها على شكل نغمات موسيقية. ولأن مساحة المقطع العرضي للأوتار قليلة، فإنها تحرِّك القليل من الهواء حين تهتز؛ مما يتطلب ضرورة وصل الأوتار بصندوق الصوت (صندوق الآلة)؛ التي تنقل اهتزازاتها إلى الهواء مولِّدة موجات صوتية أقوى.

مثـــال 2

النغمات التوافقية تكوَّنت موجات موقوفة في وتر طوله 8 m، إذا كانت سرعة الموجات فيه 30 m /s، فاحسب:

a. تردد النغمة التوافقية الأولى. **b**. تردد النغمة التوافقية الثانية.

c. الطول الموجي المرافق للنغمة التوافقية الثانية.

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم	المجهول
$L = 8\ m$	$f_1 = ?$
$v = 30\ m/s$	$f_2 = ?$
	$\lambda_2 = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم العلاقة التالية لإيجاد ترددات النغمات التوافقية $f_n = nv/2L$

a. $f_1 = v/2L$

بالتعويض $v = 30\ m/s$ ، $L = 8.0\ m$

$= (30\ m/s)/(2 \times 8.0\ m)$

$= 1.875\ Hz$

b. $f_2 = 2v/2L$

بالتعويض $v = 30\ m/s$ ، $L = 8.0\ m$

$= (2 \times 30\ m/s)/(2 \times 8.0\ m)$

$= 3.75\ Hz$

c. $v = f\lambda$

$\lambda_2 = v/f_2$

بالتعويض $v = 30\ m/s$ ، $f_2 = 3.75\ Hz$

$= (30\ m/s)/(3.75\ Hz)$

$= 8\ m$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة قياس التردد هي Hz، والطول الموجي هي m.
- **هل الجواب منطقي؟** تردد النغمة التوافقية الثانية ضعف تردد النغمة الأولى.

مثـــــال 3

عدد البطون والنغمات التوافقية وتر مشدود طوله 80.0 cm، وُصِل أحد طرفيه بمصدر مهتز تردده 125 Hz، فتكوَّنت موجة موقوفة من أربعة بطون فيه. احسب:

a. سرعة الموجات في الوتر.
b. التردد الأساسي للوتر.
c. تردد النغمة التوافقية الثانية.
d. تردد النغمة التوافقية الثالثة.

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم	المجهول
$L = 0.80\ m$	$v = ?$
$f = 125\ Hz$	$f_1 = ?$
	$f_2 = ?$
	$f_3 = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

بما أنه تكون أربعة بطون فيكون هذا التردد خاصًّا بالنغمة التوافقية الرابعة؛ n = 4. استخدم العلاقة التالية لإيجاد سرعة الموجة وترددات النغمات التوافقية $f_n = nv/2L$.

a. $v = 2Lf_n/n$

$= 2(0.80\ m)(125\ Hz)/4$

$= 50\ m/s$

بإعادة ترتيب المعادلة بالنسبة لـ v

بالتعويض $n = 4$، $f_4 = 125Hz$، $L = 0.80\ m$

b. $f_1 = v/2L$

$= (50\ m/s)/(2 \times 0.80\ m)$

$= 31.25\ Hz$

بالتعويض $v = 50\ m/s$ ، $L = 0.80\ m$

c. $f_2 = 2v/2L$

$= (2 \times 50\ m/s)/(2 \times 0.80\ m)$

$= 62.5\ Hz$

بالتعويض $n = 2$، $v = 50\ m/s$ ، $L = 0.80\ m$

d. $f_3 = 3v/2L$

$= (3 \times 50\ m/s)/(2 \times 0.80\ m)$

$= 93.75\ Hz$

بالتعويض $n = 3$، $v = 50\ m/s$ ، $L = 0.80\ m$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة قياس التردد هي Hz، والسرعة هي m/s.
- **هل الجواب منطقي؟** تردد النغمة التوافقية الثانية ضعف تردد النغمة الأولى، وتردد النغمة الثالثة ثلاثة أضعاف النغمة الأولى.

مسائل تدريبية

17. تكوَّنت موجة موقوفة ترددها 40 Hz في وتر طوله 5.0 m، إذا علمت أن سرعة الموجات في الوتر 50 m/s، فاحسب:

a. رتبة النغمة المتكونة.

b. عدد البطون المتكونة.

c. تردد الرنين للنغمة التوافقية الأولى.

18. وتر طوله 3 m، وسرعة الموجات فيه 60 m/s، وضِّح أيّ الترددات التالية يمكنها تكوين نغمات توافقية في الوتر:

a. 15 Hz

b. 20 Hz

c. 40 Hz

الرنين في الأعمدة الهوائية

Resonance in air columns

إذا نفخت في آلة موسيقية نحاسية أو قصبية، فستجد أن اهتزاز شفتيك (مصدر الصوت) أو جزء الآلة وحده الذي يوضع داخل الفم لا يولّد صوتًا بأي درجة كانت. بل يجب أن يكون الأنبوب الطويل، الذي هو جزء من الآلة، متصلاً بها لكي تنتج الصوت الموسيقي. عند العزف على الآلة سيهتز الهواء داخل الأنبوب بالتردد نفسه، أو برنين يتوافق مع اهتزاز معين للشفاه. ويحدِّد طول عمود الهواء ترددات الهواء المهتز التي ستكون في حالة رنين، في حين يؤدي تغيير طول عمود الهواء في العديد من الآلات الموسيقية ـ ومنها المزمار والساكسفون والترومبون ـ إلى تغيير درجة صوت الآلة. يُصدر لسان المزمار للآلة (الجزء الذي يوضع داخل الفم) مزيجًا من الترددات المختلفة، ويعمل عمود الهواء في حالة الرنين على تضخيم نغمة مفردة من مجموعة من الترددات، وتحويل الأصوات العشوائية إلى موسيقى منتظمة.

إذا طرقت شوكة رنانة بمطرقة مطاطية، ووضعتها فوق أنبوب مجوف فإنها تحدث رنينًا في عمود الهواء، كما يبيِّن **الشكل 16–5**، وإذا وضعت الأنبوب في الماء بحيث تصبح إحدى نهايتي الأنبوب أسفل سطح الماء، يتكون أنبوب مغلق بالنسبة للهواء. وإذا ضربت الشوكة الرنانة بمطرقة مطاطية، وتم تغيير طول عمود الهواء بتحريك الأنبوب إلى أعلى أو إلى أسفل في الماء، فإن الصوت يصبح أعلى أو أخفض على التناوب، ويكون الصوت عاليًا عندما يكون عمود الهواء في وضع رنين مع الشوكة الرنانة، وعندما يكون عمود الهواء في حالة رنين، فإنه يؤدي إلى تقوية صوت الشوكة الرنانة.

تجربة

الرنين في الأعمدة الهوائية

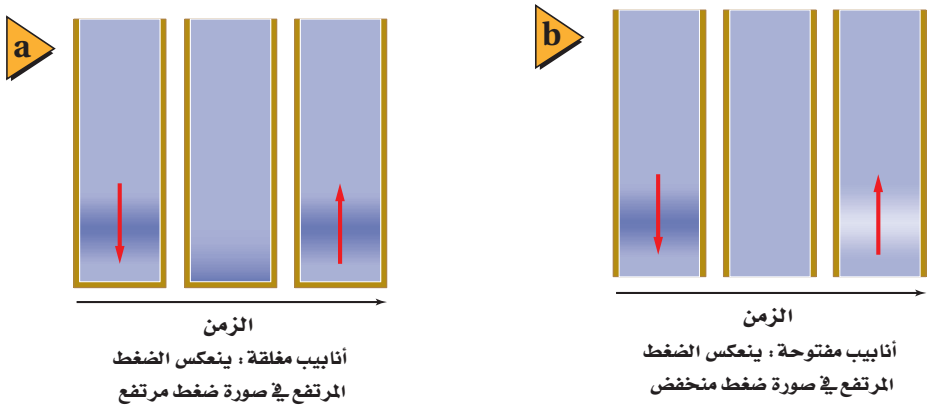
تحتاج في هذه التجربة إلى: شوكة رنانة، ومطرقة خاصة، وأنبوب مفتوح الطرفين، ومخبار زجاجي.

1. اطرق الشوكة الرنانة، ثم قرِّبها من فوهة الأنبوب.
2. غيّر طول العمود الهوائي عن طريق تغيير عمق الماء فيه. وقرّب الشوكة الرنانة بعد طَرْقها من فوهة الأنبوب.
3. أعد الخطوة السابقة، واستمر في زيادة طول عمود الهواء أكثر من الحالة الأولى.

التحليل والاستنتاج

4. **لاحظ** ماذا لاحظت بعد تنفيذ الخطوة 2 والخطوة 3؟
5. **استنتج** متى يحدث الرنين؟

الشكل 16–5 يغير رفع الأنبوب أو إنزاله طول عمود الهواء، ويكون الصوت عاليًا عند حدوث رنين بين عمود الهواء والشوكة الرنانة.

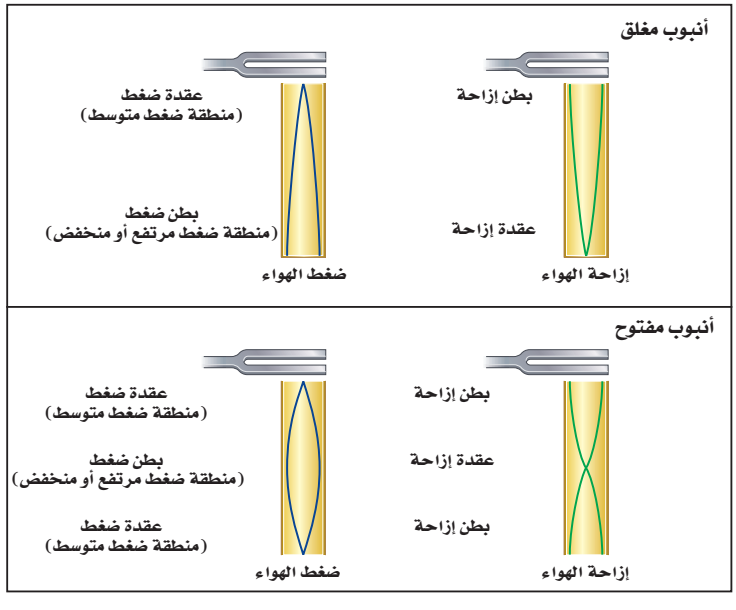


■ **الشكل 17–5** يمثّل الأنبوب الموضوع في ماء عمودًا مغلقًا. وتنعكس موجات الضغط المرتفع فيه على شكل موجات ضغط مرتفع (**a**). أما في الأعمدة المفتوحة فتكون الموجات المنعكسة مقلوبة (**b**).

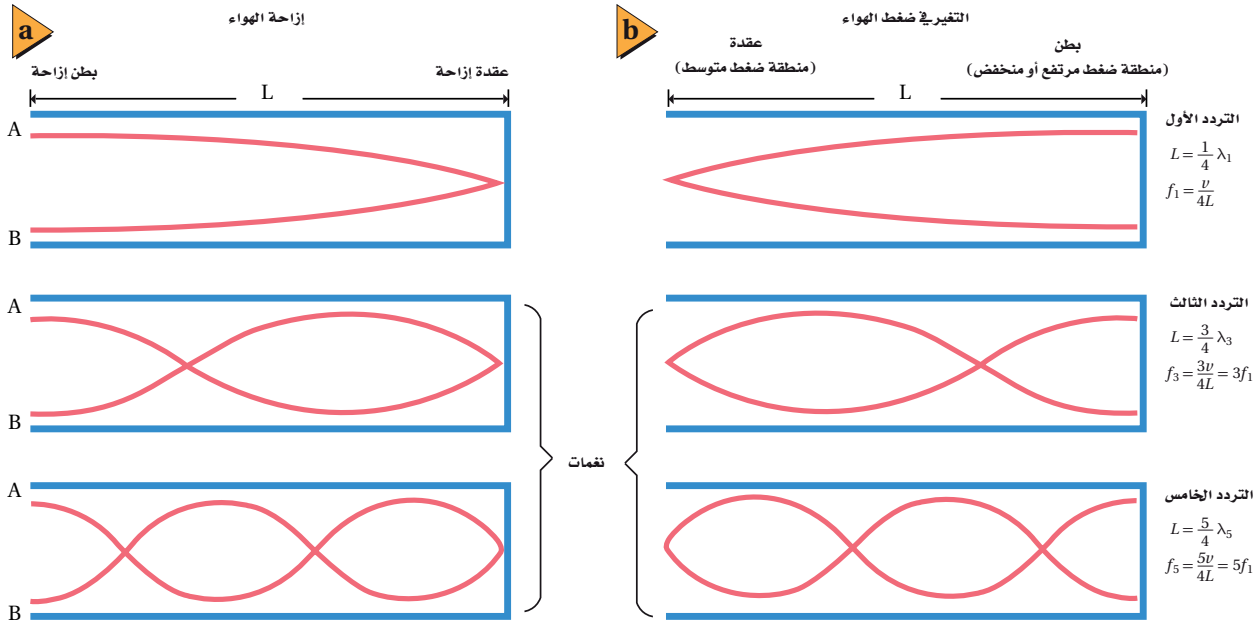
موجات الضغط الموقوفة (المستقرة) Standing pressure waves كيف يحدث الرنين؟ تولّد الشوكة الرنانة موجات صوتية، تتكون من اهتزازات مرتفعة ومنخفضة الضغط، وتتحرك هذه الموجات إلى أسفل عمود الهواء المغلق. وعندما تصطدم هذه الموجات بسطح الماء تنعكس مرتدة إلى الشوكة الرنانة، كما في **الشكل 17a–5**. فإذا وصلت موجات الضغط المرتفع المنعكسة إلى الشوكة الرنانة في اللحظة نفسها التي تنتج فيها الشوكة الرنانة موجات ضغط مرتفع أخرى، فعندها تقوّي الموجة الصادرة عن الشوكة والموجة المنعكسة إحداهما الأخرى. وهذه التقوية أو التعزيز للموجات يولّد موجة مستقرة، ويحدث الرنين.

أما العمود الهوائي المفتوح فيُمثَّل بأنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجاته من طرف مفتوح. ويكون ضغط الموجة المنعكسة مقلوبًا. فعلى سبيل المثال، إذا وصلت موجات ضغط مرتفع إلى الطرف المفتوح فسوف ترتد موجات ضغط منخفض، كما يبيّن **الشكل 17b–5**.

طول عمود هواء الرنين Resonance lengths يمكن تمثيل موجة صوتية موقوفة في عمود بموجة جيبية، كما يوضِّح **الشكل 18–5**. كما يمكن أن تُمثِّل الموجات الجيبية إما تغيرات ضغط الهواء وإما إزاحة جزيئاته. إن للموجات الموقوفة عقدًا وبطونًا؛ وعليه فإنه



■ **الشكل 18–5** تمثّل موجات الجيب الموجات المستقرة في الأعمدة.



الشكل 19–5 يكون العمود الهوائي المغلق في حالة رنين عندما يكون طوله عددًا فرديًا من مضاعفات ربع الطول الموجي. ويبين الشكل **a** إزاحة الهواء، في حين يبين الشكل **b** تغيرات ضغط الهواء.

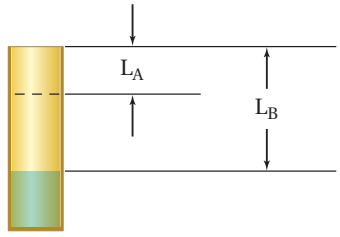
في حالة وصف الموجات الموقوفة بدلالة إزاحة جزيئات الهواء، فإن البطون تمثِّل مناطق الإزاحة الكبيرة، ودائمًا ما يتكوَّن بطن إزاحة عند الطرف المفتوح للأنبوب؛ لأن جزيئات الهواء تكون حُرَّة الحركة إلى داخل الأنبوب وخارجه، أما العُقد فهي مناطق الإزاحة القليلة، ودائمًا ما تتكون عقدة إزاحة عند الطرف المغلق للأنبوب؛ وذلك لأن جزيئات الهواء لا تكون حُرَّة الحركة هناك، ويتحرك الهواء داخل الأنبوب على شكل موجات موقوفة مشكِّلًا عقدًا وبطونًا، انظر إلى **الشكلين 19a–5 و21a–5**. والموقع الحقيقي للبطن عند الطرف المفتوح يعتمد على قطر الأنبوب، وإذا كان قطر الأنبوب صغيرًا مقارنة بطوله، فإن البطن يتكون قريبًا جدًّا من الطرف، وسنفترض هذه الحالة في هذا القسم.

وفي حالة التمثيل البياني لتغيُّرات ضغط الهواء، تكون العقد هي مناطق الضغط الجوي المتوسط، أما مناطق البطون، فيتذبذب الضغط عندها بين قيمتَيه (العظمى والصغرى)، انظر إلى **الشكلين 19b–5 و21b–5**.

إن النهاية المفتوحة للأنبوب مفتوحة على الضغط الجوي، لذا فإن الضغط عند هذه النهاية يُمثَّل بعقدة حيث لا يتغير ولكنه يبقى مساويًا للضغط الجوي الخارجي. وإذا كان للأنبوب طرف مغلق فإن الضغط عند هذا الطرف يتفاوت ليكون أعلى من الضغط الجوي أو أقل؛ لذا فإنه يُمثَّل ببطن عند هذه النهاية.

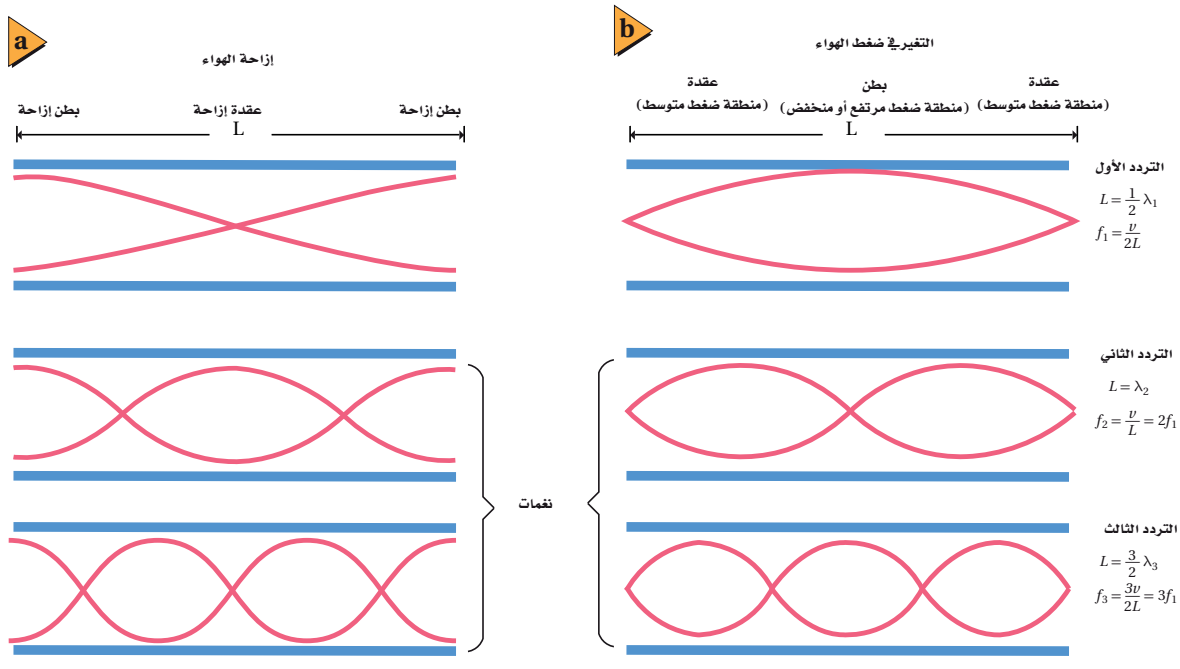
وفي كلتا الحالتين (وصف الموجات بدلالة الإزاحة، أو تغيُّرات الضغط)، تكون المسافة بين بطنَين أو عقدتَين متتاليتَين مساويةً لنصف الطول الموجي.

الشكل 20–5 يُستعمَل قياس المسافة بين رنينَين متتاليين في إيجاد سرعة الصوت في الهواء.



ترددات الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة Resonance frequencies in closed air columns

يكون طول أقصر عمود هواء له بطن عند الطرف المغلق وعقدة عند الطرف المفتوح مساويًا ربع الطول الموجي كما يبيِّن **الشكل 19–5**. ومع زيادة التردد



الشكل 21–5 يكون العمود الهوائي المفتوح في حالة رنين عندما يكون طوله عددًا صحيحًا من مضاعفات نصف الطول الموجي. ويبين الشكل **a** إزاحة الهواء، في حين يبين الشكل **b** تغيرات ضغط الهواء.

يكون هناك أطوال رنين إضافية عند فترات مساوية لنصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة التي أطوالها $\lambda/4$، $3\lambda/4$، $5\lambda/4$، $7\lambda/4$، وهكذا، في حالة رنين مع الشوكة الرنانة. وتكون العلاقة العامة لترددات الرنين هي:

$$f_n = nv/4L,\ n=1,3,5,\ \ldots.$$

تكون المسافات بين أطوال الرنين الإضافية مساويةً لنصف الطول الموجي، ويُستعمَل قياس هذه المسافة بين كل رنينَين متتاليين في إيجاد سرعة الصوت في الهواء، كما يبيِّن المثال 4، وبالرجوع إلى **الشكل 20–5**، يمكننا التوصل إلى العلاقة المُستخدمة لحساب سرعة الصوت في الهواء:

$$L_B - L_A = (\tfrac{1}{2})\,\lambda$$
$$\lambda = 2(L_B - L_A)$$
$$v = f\lambda = 2f\,(L_B - L_A)$$

ترددات الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة Resonance frequencies in open air columns

يكون طول أقصر عمود هواء يحتوي على عقدة عند كل من طرفيه مساويًا نصف الطول الموجي، كما يبيِّن **الشكل 21–5**. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال رنين إضافية عند فترات مساوية لنصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة الهوائية التي أطوالها $\lambda/2$، λ، $3\lambda/2$، وهكذا في حالة رنين مع الشوكة الرنانة. وتكون العلاقة العامة لترددات الرنين في العمود المفتوح هي:

$$f_n = nv/2L,\ n=1,2,3,\ \ldots.$$

إذا استعملت عمودين أحدهما مفتوحًا والآخر مغلقًا، ولهما الطول نفسه، وكانا في حالة رنين فإن الطول الموجي لصوت الرنين في العمود المفتوح يكون نصف الطول الموجي الذي للعمود المغلق. لذا يكون التردد في العمود المفتوح ضعفي التردد للعمود المغلق.

تطبيق الفيزياء

السمع والتردّد

تعمل القناة السمعية البشرية كأنها أنبوب مغلق في حالة رنين، يؤدي إلى زيادة حساسية الأذن للترددات بين 2000 و 5000 Hz، في حين يمتد المدى الكامل لترددات الصوت التي يسمعها البشر من 20 إلى 20000 Hz، ويمتد سمع الكلب لترددات مرتفعة تصل إلى 45000 Hz، أمّا القطّ فيمتد السمع لديه إلى ترددات تصل إلى 100000 Hz.

وتكـون أطـوال الرنين لكلا العموديـن مفصولة بفترات مقدارها نصـف الطول الموجي.

سماع الرنين Hearing resonance يُؤدي الرنين إلى زيادة علوّ تردّدات مخصّصة. فإذا صرخت داخل نفق طويل فإن الصوت الذي يدوّي وتسـمعه يكون بسـبب النفق بوصفه أنبوبًا في حالة رنين. كما تعمل الصدفة في **الشكل 22–5** عمل أنبوب مغلق في حالة رنين.

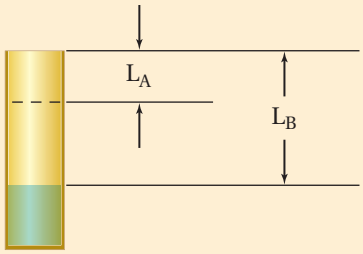
الشـكل 22–5 تعمـل الصـدفة عمـل أنبـوب مغلـق في حالـة رنين، يضـخّم تـرددات معينـة مـن الأصوات المحيطة.

مثـــــال 4

إيجاد سرعة الصوت باستخدام الرنين عند استخدام شوكة رنانة بتردد 392 Hz مع عمود مغلق، سُمع أعلى صوت عندما كان طول عمود الهواء 21.0 cm و65.3 cm، ما سرعة الصوت في هذه الحالة؟ وهل درجة الحرارة في الأنبوب أكبر أم أقل من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة، وهي 20 °C؟ وضّح إجابتك.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم العمود الهوائي المغلق في حالة رنين.
- حدِّد طول عمود الهواء لحالتي الرنين.



المعلوم	المجهول
$f = 392\ \text{Hz}$	$v = ?$
$L_A = 21.0\ \text{cm}$	
$L_B = 65.3\ \text{cm}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل لإيجاد طول الموجة باستخدام العلاقة:

$$L_B - L_A = \frac{1}{2}\lambda$$

بإعادة ترتيب المعادلة بالنسبة لـ λ

$$\lambda = 2(L_B - L_A)$$

بالتعويض $L_A = 0.210\ \text{m}$، $L_B = 0.653\ \text{m}$

$$= 2(0.653\ \text{m} - 0.210\ \text{m})$$

$$= 0.886\ \text{m}$$

استخدم المعادلة التالية لإيجاد السرعة

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

بإعادة ترتيب المعادلة بالنسبة لـ v

$$v = f\lambda$$

بالتعويض $\lambda = 0.886\ \text{m}$، $f = 392\ \text{Hz}$

$$= (392\ \text{Hz})(0.886\ \text{m}) \quad = 347\ \text{m/s}$$

السرعة أكبر قليلاً من سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20 °C، مما يشير إلى أن درجة الحرارة أعلى قليلاً من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدات الجواب صحيحة $\text{m/s} = (\frac{1}{\text{s}})(\text{m}) = (\text{Hz})\ (\text{m})$.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة أكبر قليلاً من 343 m/s، التي هي سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20 °C

مثـــال 5

النغمات التوافقية يبلغ طول عمود هوائي مفتوح 1.8 m، وسرعة الصوت في الهواء 342 m/s.

a. احسب التردد الأساسي للعمود الهوائي. **b**. احسب تردد النغمة f_3.

c. أعد حسابات الفرعين a وb إذا أغلقت إحدى نهايتي العمود الهوائي.

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم	المجهول
$L = 1.8\ \text{m}$	للعمود الهوائي المفتوح $f_1 = ?\ \ f_3 = ?$
$v = 342\ \text{m/s}$	للعمود الهوائي المغلق $f_1 = ?\ \ f_3 = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

للعمود الهوائي المفتوح نستخدم المعادلة $f_n = nv/2L,\ n = 1, 2, 3, \ldots$، وللعمود الهوائي المغلق نستخدم المعادلة $f_n = nv/4L,\ n = 1, 3, 5, \ldots$.

a. $f_1 = nv/2L = 1 \times v/2L$

بالتعويض $n = 1$

$= (342\ \text{m/s})/(2 \times 1.8\ \text{m})$

بالتعويض $v = 342\ \text{m/s}$، $L = 1.8\ \text{m}$

$= 95\ \text{Hz}$

b. $f_3 = nv/2L = 3v/2L$

بالتعويض $n = 3$

$= 3(342\ \text{m/s})/(2 \times 1.8\ \text{m})$

بالتعويض $v = 342\ \text{m/s}$، $L = 1.8\ \text{m}$

$= 285\ \text{Hz}$

c. $f_1 = nv/4L = 1 \times v/4L$

بالتعويض $n = 1$

$= (342\ \text{m/s})/(4 \times 1.8\ \text{m})$

بالتعويض $v = 342\ \text{m/s}$، $L = 1.8\ \text{m}$

$= 47.5\ \text{Hz}$

$f_3 = 3v/4L$

بالتعويض $n = 3$

$= (3 \times 342\ \text{m/s})/(4 \times 1.8\ \text{m})$

بالتعويض $v = 342\ \text{m/s}$، $L = 1.8\ \text{m}$

$= 142.5\ \text{Hz}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة قياس التردد هي Hz، والسرعة هي m/s، والطول هي m.
- **هل الجواب منطقي؟** التردد الأساسي للعمود الهوائي المفتوح يساوي ضعف التردد الأساسي للعمود الهوائي المغلق.

مسائل تدريبية

19. البوق عبارة عن عمود هوائي مفتوح الطرفين. احسب تردد أول أربع نغمات توافقية تتكون في بوق طوله 40 cm إذا كانت سرعة الصوت في الهواء 336 m/s.

20. إذا وضعت شوكة رنانة تهتز بتردّد 440 Hz فوق أنبوب مغلق، فأوجد الفواصل بين أوضاع الرنين عندما تكون درجة حرارة الهواء 20 °C.

21. استخدمت شوكة رنانة تهتز بتردد 440 Hz مع عمود رنين لتحديد سرعة الصوت في غاز الهيليوم. فإذا كانت الفواصل بين أوضاع الرنين 110 cm، فما سرعة الصوت في غاز الهيليوم؟

22. استخدم طالب عمود هواء عند درجة حرارة 27 °C، ووجد فواصل بين أوضاع الرنين بمقدار 20.2 cm. ما تردّد الشوكة الرنانة؟ استخدم سرعة الصوت في الهواء 347 m/s عند درجة الحرارة 27 °C

3–5 مراجعة

23. **مصادر الصوت** ما الشيء المهتز الذي ينتج الأصوات في كل ممّا يلي؟

a. الصوت البشري

b. صوت المذياع

24. **الرنين في الأوتار** يصدر وتر نغمة حادة ترددها 370 Hz. ما ترددات الإيقاعات الثلاثة اللاحقة الناتجة بهذه النغمة؟

25. **الرنين في أعمدة الهواء** لماذا يكون طول الأنبوب المصنوع منه البوق العادي أطول منه للأنبوب القمعي؟

26. **الرنين في الأعمدة المفتوحة** ما النسبة بين طول العمود المفتوح والطول الموجي للصوت لإنتاج الرنين الأول؟

27. **الرنين في الأعمدة المغلقة** يبلغ طول أنبوب أُرغُن مغلق 2.40 m. ما تردد النغمة المعزوفة بهذا الأنبوب؟ اعتبر أن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s.

28. **التفكير الناقد** اضرب شوكة رنانة بمطرقة مطاطية، واحملها بحيث يكون ذراعك ممدودة، ثم اضغط بمقبضها على طاولة، وباب، وخزانة، وأجسام أخرى. ما الذي تسمعه؟ ولماذا؟

مختبر الفيزياء

سرعة الصوت

إذا وضعت شوكة رنانة تهتز فوق عمود هوائي مغلق بطول مناسب، فإن الهواء داخل العمود يهتز بالتردد نفسه f للشوكة الرنانة. وإذا وُضع أنبوب معدني في مخبار كبير مملوء بالماء ومدرج، فإنه يمكن تغيير طول عمود الهواء داخل الأنبوب المعدني من خلال رفعه أو إنزاله في الماء. ويكون طول أقصر عمود هواء يحدث رنينًا عندما يساوي طوله ربع الطول الموجي. ويُصدر هذا الرنين أعلى صوت، ويوصف الطول الموجي عند هذا الرنين بالعلاقة $\lambda = 4L$ ، حيث تمثِّل L المسافة من سطح الماء إلى الطرف المفتوح للعمود. وستحدّد في هذا المختبر الطول L، لكي تحسب λ ، ثم تحسب سرعة الصوت.

سؤال التجربة

كيف تستطيع استعمال أنبوب مغلق في حالة رنين لكي تحدّد سرعة الصوت؟

الأهداف

- **تجمع البيانات وتنظِّمها** للحصول على نقاط رنين في عمود هوائي مغلق.
- **تقيس** طول عمود هوائي مغلق في حالة رنين.
- **تحلّل** البيانات لتحدِّد سرعة الصوت.

احتياطات السلامة

- **امسح مباشرة أيَّ سوائل منسكبة.**
- **تعامل مع الزجاج بحذر؛ فهو هش.**

المواد والأدوات

ثلاث شوكات رنانة مختلفة التردد
مخبار مدرّج سعته 1000 mL
ماء
مطرقة خاصة بالشوكات الرنانة
مسطرة مترية
مقياس درجة حرارة (غير زئبقي)
أنبوب معدني طوله 40 cm، وقطره 3.5 cm

الخطوات

1. ارتدِ نظارة واقية، واملأ المخبار المدرّج بالماء إلى فوهته تقريبًا.
2. قس درجة حرارة الغرفة، وسجِّلها في جدول البيانات 1.
3. اختر شوكة رنانة، وسجّل ترددها في جدول البيانات 2.
4. ضع بحذر الأنبوب المعدني في المخبار المدرّج المملوء بالماء.
5. أمسك الشوكة الرنانة من قاعدتها، ثم اضرب بسرعة على أحد ذراعيها بمطرقة الشوكة الرنانة. ولا تضرب الشوكة الرنانة بطاولة المختبر أو أي سطح قاسٍ.
6. أمسك الشوكة الرنانة المهتزة فوق الطرف المفتوح للأنبوب المعدني، وارفع الأنبوب والشوكة ببطء حتى تسمع صوتًا عاليًا. وعندما تعيِّن هذه النقطة حرّك الأنبوب إلى أعلى وإلى أسفل قليلاً لتحدِّد نقطة الرنين تمامًا، ثم قس المسافة من سطح الماء إلى أعلى الأنبوب المعدني، وسجّل هذه المسافة في جدول البيانات 2.
7. كرّر الخطوات 3 و5 و6 للشوكتين الرنانتين الإضافيتين.
8. أفرغ المخبار المدرّج من الماء.

جدول البيانات 1	
درجة الحرارة (°C)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)

جدول البيانات 2				
المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	طول الأنبوب فوق الماء (m)	الطول الموجي المحسوب (m)	السرعة التجريبية للصوت (m/s)
1				
2				
3				

التحليل

1. احسب السرعة المقبولة للصوت باستخدام العلاقة $v = 331\ \text{m/s} + 0.60T$ ، حيث v سرعة الصوت عند درجة الحرارة T، و T درجة حرارة الهواء بالسلسيوس. سجِّل هذه النتيجة على أنها السرعة المقبولة للصوت في جدول البيانات 1 للمحاولات جميعها.
2. لأن نقطة الرنين الأولى عُيّنت عندما كان جزء الأنبوب الذي فوق الماء يساوي ربع الطول الموجي، لذا استخدم الطول المقيس للأنبوب في تحديد الطول الموجي المحسوب لكل محاولة. سجّل الأطوال الموجية المحسوبة في جدول البيانات 2.
3. اضرب قيمتي الطول الموجي والتردد في جدول البيانات 2، لتحديد السرعة التجريبية للصوت، وسجّل ذلك في جدول البيانات 2 لكل محاولة.
4. **تحليل الخطأ** حدّد الخطأ النسبي بين سرعة الصوت المقبولة والتجريبية لكل محاولة في جدول البيانات 2.

$$\%\text{error} = \frac{|\text{Accepted value} - \text{Experimental value}|}{\text{Accepted value}} \times 100\%$$

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{|\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}|}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** تحدث نقطة الرنين الأولى عندما يكون طول عمود الهواء مساويًا $\lambda/4$. ما الطولان اللذان يحدث عندهما الرنينان اللاحقان؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن تعيين موقع آخر لحدوث الرنين إذا كان لديك أنبوب أطول؟ وضِّح إجابتك.

التوسع في البحث

كيف يمكن الحصول على نتائج أكثر دقة لسرعة الصوت؟

الفيزياء في الحياة

فسّر العلاقة بين حجم أنابيب الأُرغن وترددات الرنين لها.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات حول خصائص موجات الصوت ارجع إلى شبكة الإنترنت
أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني: obeikaneducation.com

موجات الصوت في الشمس Sound Waves in the Sun

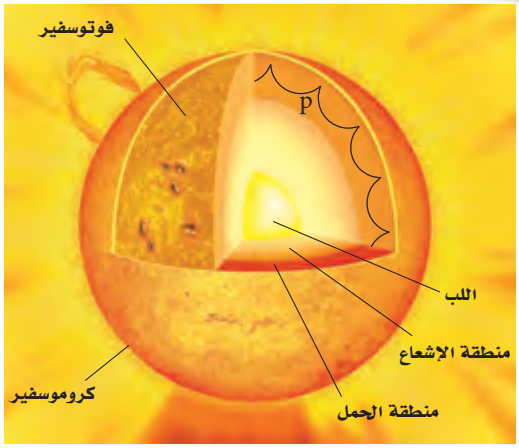
تُسمّى دراسة اهتزازات الموجات في الشمس بالسيزمولوجية الشمسية (علم زلازل الشمس)، حيث تحدث الموجات التالية طبيعيًّا في الشمس، وهي: الموجات الصوتية (موجات p)، وموجات الجاذبية، وموجات الجاذبية السطحية. وتتكون كل هذه الموجات من جزيئات مهتزة، سبّبتها قوى مختلفة.

وتسبب اختلافات الضغط اهتزاز الجزيئات في الموجات الصوتية. أما في الشمس فتنتقل موجات الصوت خلال منطقة الحمل الحراري التي تقع أسفل السطح مباشرة، أو أسفل الفوتوسفير. ولا تنتقل الموجات الصوتية في خط مستقيم، كما هو موضَّح في الصورة.

تقرع كالجرس تسبب موجات الصوت في الشمس اهتزاز السطح في الاتجاه القُطري، مثل اهتزاز جرس يقرع. فعندما يقرع الجرس تضرب مطرقة الجرس في مكان واحد، وتنتج موجات موقوفة. ولسطح الشمس موجات موقوفة، رغم أنها لم تنتج عن حدث واحد كبير. ويفترض العلماء بدلاً من ذلك أن العديد من العوائق الصغيرة في منطقة الحمل الحراري بدأت منها معظم موجات الصوت في الشمس، مثل ضجيج الماء المغلي في قدر، إلا أن حجم الفقاعة المتكونة عند سطح الشمس يفوق مساحتي المغرب والعراق معًا، ويصدر عنها موجات صوتية.

ويكون الصوت القادم من الشمس منخفضًا جدًّا بالنسبة لنا؛ حيث إن متوسط اهتزاز الموجات في الشمس له زمن دوري 5 min، فيكون ترددها $f = 0.003\ \text{Hz}$.

ولأننا لا نستطيع سماع موجات الصوت الصادرة من الشمس، فقد قاس العلماء حركة سطح الشمس لتعرّف موجاتها الصوتية. ويجب مراقبة الشمس فترات زمنية طويلة؛ لأن موجات الصوت تحتاج إلى ساعتين للانتقال من جانب إلى آخر في الشمس، وهذا يجعل المراقبة من الأرض صعبة؛ لأنه لا يمكن رؤية الشمس



تنتقل الموجات الصوتية (موجات p) خلال منطقة الحمل في الشمس

في أثناء الليل. لذا فقد أطلقت وكالة ناسا عام 1995م المرصد الشمسي (SOHO). وهو قمر اصطناعي يدور حول الأرض، ويستطيع مراقبة الشمس دائمًا.

تُقاس حركة سطح الشمس من خلال مراقبة انزياح دوبلر في ضوء الشمس. ويكون للاهتزازات المقيسة أنماط معقدة تساوي مجموع الموجات الموقوفة كلها في الشمس. ويوجد في الشمس نغمات توافقية كالنغمات التي تظهر عند دق الجرس. ويمكن حساب الموجات الموقوفة الفردية وشدتها في الشمس بالتحليل الدقيق.

النتائج تزوّد اهتزازات موجات الشمس العلماء بمعلومات تتعلق بتركيبها الداخلي؛ وذلك أن كلًّا من تركيبها ودرجة حرارتها وكثافتها يؤثر في انتشار الموجات الصوتية. وقد قدّمت نتائج تحليل بيانات القمر الاصطناعي (SOHO) المزيد لفهم عميق حول معدل دوران الشمس على صورة دالة رياضية تعتمد على خط العرض والعمق، وعلى درجة حرارة الشمس وكثافتها أيضًا. وتقارن هذه النتائج بالحسابات النظرية لتحسين فهمنا للشمس.

التوسع

1. **كوّن فرضية** كيف يفرّق العلماء بين حركة سطح الشمس الناجمة عن الموجات الصوتية وحركته الناجمة عن دوران الشمس؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن أن تكون هناك موجات صوتية في نجم آخر مشابه للشمس، لكنه مختلف في حجمه، ولهذه الموجات الطول الموجي نفسه الذي لموجات الشمس الصوتية؟

الوحدة 5
دليل مراجعة الوحدة

5–1 الموجات Waves **

المفردات

- الموجة
- النبضة الموجية
- الموجة المستعرضة
- قمة الموجة
- قاع الموجة
- الموجة الطولية
- تضاغط
- تخلخل
- إزاحة الموجة
- السرعة
- السعة
- الطول الموجي
- فرق الطور
- الزمن الدوري
- التردد
- جبهة الموجة

المفاهيم الرئيسة

- تنقل الموجة الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط.
- تحتاج الموجات الميكانيكية إلى وسط مادي لانتقالها، وقد تكون هذه الموجات مستعرضة أو طولية. أما الموجات الكهرومغناطيسية فلا تحتاج إلى وسط مادي لانتقالها، وتكون مستعرضة فقط.
- تُسمى المنطقة التي تقترب فيها جزيئات الوسط الناقل بعضها من بعض تضاغطًا، في حين تُسمى المنطقة التي تتباعد فيها جزيئات الوسط الناقل بعضها عن بعض تخلخلًا.
- تكون إزاحة الوسط في الموجة المستعرضة متعامدة مع اتجاه حركة الموجة، أما في الموجة الطولية فتكون الإزاحة موازية لاتجاه حركة الموجة.
- التردد هو عدد الاهتزازات الكاملة التي يُتمها الجسم المهتز في الثانية الواحدة، ويرتبط بالزمن الدوري من خلال المعادلة التالية:

$$f = 1 / T$$

- تعتمد سرعة الصوت على الوسط الذي ينتقل فيه، وتكون أكبر ما يمكن في المواد الصلبة.
- جبهة الموجة سطح تخيلي يصل بين جميع النقاط المتساوية في الطور، وعادة ما يُرسم على شكل خط يمثّل قمة الموجة.

5–2 الصوت والسمع Sound and hearing **

المفردات

- الموجة الصوتية
- الموجات الصوتية فوق السمعية
- الموجات الصوتية تحت السمعية

المفاهيم الرئيسة

- يصدر الصوت عن تذبذب جسم في وسط مادي.
- معظم الأصوات موجات معقدة تتكون من أكثر من تردد واحد.
- تعمل الأذن البشرية عمل كاشف صوت؛ حيث تحول الموجات الصوتية إلى اهتزازات داخل أجزاء الأذن، ثم إلى نبضات كهربائية تنتقل عبر العصب السمعي إلى الدماغ الذي يقوم بتحليل الإشارات الكهربائية وإدراكها على شكل أصوات.

5–3 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار Resonance in air coloumns and strings

المفردات

- الرنين
- الموجة الموقوفة
- عقدة الموجة
- بطن الموجة
- التردد الأساسي
- النغمات التوافقية
- الموجات المتحركة

المفاهيم الرئيسة

- تتكون الموجات الموقوفة عند التقاء موجتين لهما نفس التردد والطول الموجي والسعة وتتحركان في اتجاهين متعاكسين.
- يمكن أن يحصل رنين لعمود هواء مع مصدر صوت، مما يزيد من سعة تردد رنينه.
- يكون للوتر المثبت عقدة عند كل طرف، ويحدث له رنين عندما يكون طوله مساويًا $\lambda / 2$، $2\lambda / 2$، $3\lambda / 2$، وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي.
- يحصل رنين لأنبوب مغلق عندما يكون طوله $\lambda / 4$، $3\lambda / 4$، $5\lambda / 4$، وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات فردية للتردد الأساسي.
- يحصل رنين لأنبوب مفتوح عندما يكون طوله $\lambda / 2$، $2\lambda / 2$، $3\lambda / 2$، وهكذا، مثل الوتر المثبت. وتكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي.
- ترددات وشدة الموجات المعقدة الناتجة عن حنجرة شخص تحدِّد طابع الصوت الذي يعد خاصية له.
- يمكن وصف التردد الأساسي بدلالة الرنين.

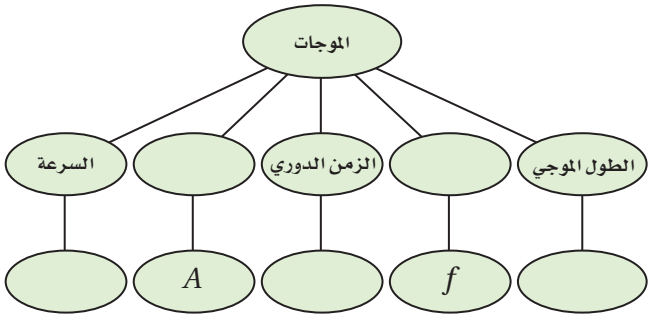
** ملاحظة: هذا القسم كاملاً للمطالعة والإثراء.

الوحدة 5
التقويم

ملاحظة: أينما يلزم اعتبر سرعة الصوت في الهواء 343 m/s ما لم يذكر غير ذلك.

خريطة المفاهيم

29. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز التالية: السعة، التردد، T، λ، v.



إتقان المفاهيم

* **30.** ما الفرق بين الزمن الدوري والتردد؟ وكيف يرتبطان؟
* **31.** ما الطرق العامة لانتقال الطاقة؟ أعطِ مثالين على كل منها.
* **32.** ما الفرق الرئيس بين الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية؟
* **33.** ما الفروق بين كلٍّ من: الموجة المستعرضة، والموجة الطولية؟
* **34.** افترض أنك ولّدت نبضة خلال حبل، فكيف تقارن موضع نقطة على الحبل قبل وصول النبضة بموضعها بعد مرور النبضة؟
* **35.** متى تكون النقاط في موجة في الطور نفسه؟ ومتى تكون في حالة اختلاف في الطور؟ أعطِ مثالاً على كل حالة.

36. ثُبِّتت شريحة فلزية رقيقة من مركزها، ونُثِرَ عليها سكر. فإذا نقر على قوس بالقرب منها فإن أحد طرفيها يبدأ في الاهتزاز، ويبدأ السكر في التجمع في مساحات محدّدة، ويتحرك مبتعدًا عن مساحات أخرى. صِف هذه المناطق بدلالة الموجات الموقوفة.

37. إذا اهتز حبل مشكّلاً أربعة أجزاء أو أقسام فإنك تستطيع أن تلمس عددًا من النقاط عليه دون أن تُحدث اضطرابًا في حركته. بيّن عدد هذه النقاط.

* **38.** عند قياس زمن الركض لمسافة 100 m يبدأ المراقبون عند خط النهاية تشغيل ساعات الإيقاف لديهم عند رؤيتهم دخانًا يتصاعد من المسدس الذي يشير إلى بدء السباق، وليس عند سماعهم صوت الإطلاق. فسّر ذلك. وما الذي يحدث لقياس زمن الركض إذا ابتدأ التوقيت عند سماع الصوت؟
* **39.** ما الضروري لتوليد الصوت وانتقاله؟
* **40.** ما العلاقة بين تردد الصوت ودرجته؟
* **41.** تعد موجات الصوت موجات طولية. وضِّح ذلك.

42. متى يحدث الرنين؟

* **43.** **الآلات الموسيقية** لماذا لا يكون صوت معظم الآلات الموسيقية مثل صوت الشوكة الرنانة؟

تطبيق المفاهيم

* **44.** افترض أنك أمسكت قضيبًا فلزيًّا طوله 1 m، وضربت أحد طرفيه بمطرقة، في اتجاه موازٍ لطوله أولاً، ثم في اتجاه يصنع زاوية قائمة مع طوله ثانيًا. صف الموجات المتولّدة في الحالتين.
* **45.** افترض أنك غمست إصبعك بشكل متكرّر في حوض مملوء بالماء لتوليد موجات دائرية، فماذا يحدث لطول الموجة إذا حركت إصبعك بسرعة؟

46. تزداد سرعة الصوت بمقدار 0.6 m/s لكل درجة سلسيوس عند ارتفاع درجة حرارة الهواء بمقدار درجة واحدة. ماذا يحدث لكل مما يلي بالنسبة لصوتٍ ما عند ارتفاع درجة الحرارة؟

a. التردد **b.** الطول الموجي

* أسئلة إثراء.

تقويم الوحدة 5

❋ **47.** إذا ازدادت درجة الصوت فما التغير الذي يحدث لكل مما يلي؟

a. التردد **b.** الطول الموجي

c. سرعة الموجة **d.** سعة الموجة

48. تزداد سرعة الصوت بازدياد درجة الحرارة. هل تزداد درجة صوت عمود هوائي مغلق عند ارتفاع درجة حرارة الهواء أم تقل؟ افترض أن طول الأنبوب لا يتغير.

49. يولّد أنبوب مغلق نغمة معينة، فإذا أُزيلت السدادة من نهايته المغلقة ليصبح مفتوحًا، فهل تزداد حدّة الصوت أم تقل؟

50. إذا طرقت شوكة رنانة وقربتها من شوكة رنانة أخرى لها التردد نفسه، فماذا يحدث؟ وماذا تسمى هذه الظاهرة؟

51. قارن بين النغمتين التوافقيتين الثالثة والرابعة من حيث:

a. مقدار التردد **b.** الطول الموجي

c. درجة الصوت **d.** عدد البطون المتكونة

e. عدد العقد

❋ **52.** قارن بين الموجات الصوتية السمعية والموجات الصوتية فوق السمعية والموجات الصوتية دون السمعية من حيث:

a. مدى تردد كل منها

b. مقدرة الأذن البشرية السليمة على سماعها

c. استخدام واحد لكل منها

إتقان حل المسائل

5–1 الموجات

❋ **53.** تنتقل موجة ماء في بركة مسافة 3.4 m في 1.8 s. فإذا كان الزمن الدوري للاهتزازة الواحدة يساوي 1.1 s، فاحسب مقدار:

a. سرعة موجات الماء.

b. الطول الموجي لهذه الموجات.

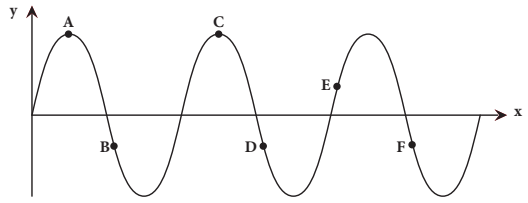
❋ **54.** **السونار** يرسل سونار(جهاز يكشف المواقع تحت سطح الماء عن طريق الصدى) في الماء إشارة ترددها 1.00×10^6 Hz وطولها الموجي يساوي 1.50 mm. احسب مقدار:

a. سرعة الإشارة في الماء.

b. الزمن الدوري للإشارة في الماء.

c. الزمن الدوري للإشارة في الهواء.

استخدم **الشكل 23–5** الذي يبين موجة مستعرضة للإجابة عن السؤالين التاليين:



الشكل 23–5

❋ **55.** حدِّد النقاط المتفقة في الطور على الشكل.

❋ **56.** حدِّد النقاط المختلفة في الطور على الشكل.

❋ **57.** إذا ولّدت موجات مستعرضة في حوض ماء بغمس إصبعك فيه ثلاث مرات في الثانية، وكانت المسافة بين قمم الموجات المتتابعة المتولدة 0.4 m، فاحسب ما يلي للموجات المتولدة:

a. طولها الموجي **b.** ترددها

c. زمنها الدوري **d.** سرعتها

5–2 الصوت والسمع

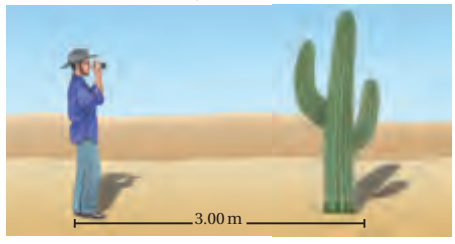
❋ **58.** إذا انتقلت موجة صوت تردّدها 4700 Hz في قضيب فولاذي، وكانت المسافة بين التضاغطات المتتالية هي 1.1 m، فما سرعة الموجة؟

❋ أسئلة إثراء.

تقويم الوحدة 5

59. ❋ ينتقل صوت تردده 261.6 Hz خلال ماء درجة حرارته 25 °C. أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الماء، إذا علمت أن سرعة الصوت في الماء 1493 m/s.

60. ❋ **التصوير الفوتوجرافي** تحدّد بعض الكاميرات بُعد الجسم عن طريق إرسال موجة صوت وقياس الزمن الذي يحتاج إليه الصدى للعودة إلى الكاميرا، كما يبيِّن **الشكل 24–5**. ما الزمن الذي تحتاج إليه موجة الصوت حتى تعود إلى الكاميرا إذا كان بعد الجسم عنها يساوي 3.00 m؟

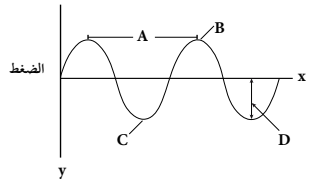


الشكل 24–5

61. ❋ إذا كان الطول الموجي لموجات صوت ترددها 2.40×10^2 Hz في ماء نقي هو 6.20 m فما سرعة الصوت في هذا الماء؟

62. ❋ **التصوير الطبي** تستخدم موجات فوق صوتية بتردّد 4.25 MHz للحصول على صور للجسم البشري. فإذا كانت سرعة الصوت في الجسم مماثلة لسرعته في الماء المالح وهي 1.50 km/s، فما الطول الموجي لموجة ضغط تردّدها 4.25 MHz في الجسم؟

استخدم **الشكل 25–5** للإجابة عن السؤالين التاليين.



الشكل 25–5

63. ❋ ما نوع الموجة التي يمثّلها الشكل؟

64. ❋ ما الذي يمثّله كل حرف من الحروف الموضّحة على الشكل؟

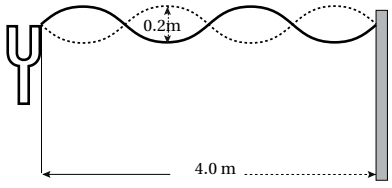
65. خيط تتصل به شوكة رنانة من أحد طرفيه، وطرفه الآخر مثبت. وعند تردد مقداره 5 Hz، تكونت في الخيط موجة موقوفة كما في **الشكل 26–5**. باستخدام البيانات على الرسم احسب:

a. القيمة العظمى لسعة الموجة المتكونة.

b. عدد العقد وعدد البطون المتكونة.

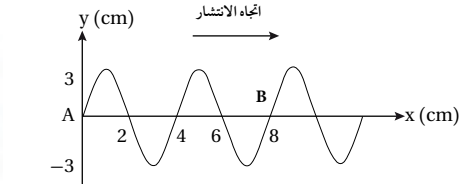
c. الطول الموجي للموجة المتكونة في الخيط.

d. سرعة انتشار الأمواج في الخيط.



الشكل 26–5

66. ❋ يمثّل **الشكل 27–5** اهتزازات أحدثها مصدر عند النقطة A فتكوّنت موجات في الوسط استغرقت ثانيتين حتى تصل إلى النقطة B، أجب عما يأتي.



الشكل 27–5

a. ما عدد الموجات المتكونة؟

b. احسب تردد الموجات (أو المصدر).

c. ما سعة الاهتزاز؟

d. احسب سرعة انتشار الموجة.

❋ أسئلة إثراء.

تقويم الوحدة 5

5–3 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار

67. أنبوب في وضع رأسيّ مملوء بالماء وله صنبور عند قاعدته، وتهتز شوكة رنانة فوق طرفه العلوي. فإذا سُمع رنين عند تخفيض مستوى الماء في الأنبوب بمقدار 17 cm، وسُمع رنين مرة أخرى عند تخفيض مستوى الماء عن فوهة الأنبوب بمقدار 49 cm، فما تردّد الشوكة الرنانة؟

68. **السمع البشري** القناة السمعية التي تؤدي إلى طبلة الأذن عبارة عن أنبوب مغلق طوله 3.0 cm. أوجد القيمة التقريبية لأقل تردّد رنين. أهمل تصحيح النهاية.

69. إذا أصدر أنبوب مفتوح نغمة تردّدها 370 Hz فما تردّدات الإيقاعات الثاني، والثالث، والرابع المصاحبة لهذا التردّد؟

70. إذا أصدر أنبوب مغلق نغمة تردّدها 370 Hz، فما تردّد أقل ثلاثة إيقاعات يُنتجها هذا الأنبوب؟

71. **الآلات الوترية** ضُبط وتر قيثارة طوله 65.0 cm ليصدر أقل تردّد، ومقداره 196 Hz. احسب مقدار:

a. سرعة الموجة في الوتر.

b. الترددين التاليين لرنين هذا الوتر.

72. يمثّل **الشكل 28–5** أنبوبًا بلاستيكيًّا مموجًا مرنًا طوله 0.85 m. وعندما يتأرجح يُصدر نغمة تردّدها يماثل أقل تردّد يُصدره أنبوب مفتوح له الطول نفسه. ما تردّد النغمة؟

الشكل 28–5

73. إذا تأرجح الأنبوب في المسألة السابقة بسرعة أكبر مُصدرًا نغمة درجتها أعلى، فما التردّد الجديد؟

74. **الآلات الموسيقية** "إن أخفض نغمة في الأُرغُن هي 16.4 Hz"، في ضوء ما سبق أجب عن الأسئلة التالية:

a. ما طول أقصر عمود هوائي مفتوح للأُرغُن يحدث له رنين عند هذا التردد؟

b. كم يكون تردد أخفض نغمة إذا كان أنبوب الأُرغُن نفسه مغلقًا؟

75. أنبوب مفتوح الطرفين تردده الأساسي 65 Hz، عندما تكون سرعة الصوت في الهواء 331 m/s. أجب عما يلي:

a. ما طول الأنبوب؟

b. احسب تردد التوافقية الثانية للأنبوب.

c. ما التردد الأساسي لهذا الأنبوب إذا أصبحت سرعة الصوت في الهواء 367 m/s نتيجة ارتفاع درجة حرارة الهواء؟

مراجعة عامة

76. أنبوب أُرغُن مفتوح طوله 1.65 m، ما نغمة التردد الأساسي التي ينتجها في الهيليوم عند درجة حرارة 0 °C إذا علمت أن سرعة الصوت في الهيليوم كانت 972 m/s؟

77. * إذا ألقيت حجرًا في بئر عمقها 122.5 m كما في **الشكل 29–5**، فبعد كم ثانية تسمع صوت ارتطام الحجر بقاع البئر إذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s؟

الشكل 29–5

* أسئلة إثراء.

تقويم الوحدة 5

78. عمود هوائي مفتوح الطرفين طوله 0.4 m، وسرعة الصوت في الهواء 333 m/s، احسب:

a. التردد الأساسي.

b. النغمة التوافقية الثانية.

التفكير الناقد

* **79.** **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** يبيّن **الجدول 2–5** الأطوال الموجية لموجات صوتية صادرة عن مجموعة من الشوكات الرنانة عند تردّدات معيّنة.

a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين الطول الموجي والتردّد (المتغير المضبوط). ما نوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟

b. مثّل بيانيًّا العلاقة بين الطول الموجي ومقلوب التردّد $(1/f)$. ما نوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟ حدّد سرعة الصوت من الرسم البياني.

الجدول 2–5

الشوكات الرنانة

الطول الموجي (m)	التردد (Hz)
2.62	131
2.33	147
2.08	165
1.75	196
1.56	220
1.39	247

80. يولد مصدر مهتز موجات طولها 0.6 m في وتر مشدود. عند مضاعفة تردد المصدر، وضّح ما يحدث لكل من:

a. سرعة الموجة.

b. طولها الموجي.

81. وتران مشدودان متجاوران في الهواء؛ الأول يهتز بتردد 200 Hz، والثاني يهتز بتردد 300 Hz. أيُّ الوترين يُصدر صوتًا سرعته أكبر خلال الهواء؟ فسّر إجابتك.

82. ما الذي يمثّله الفرق بين تردد أيِّ نغمتين توافقيتين متتاليتين في:

a. العمود الهوائي المغلق.

b. العمود الهوائي المفتوح.

83. عند العزف بالتردد الأساسي نفسه على آلتين موسيقيتين هوائيتين مختلفتين، فأيّ مما يلي يكون متساويًا بينهما؟

a. سرعة الصوت في الهواء.

b. الطول الموجي للنغمة التوافقية الأولى.

c. النغمات التوافقية المرافقة.

84. إذا كانت لديك عدة توافقيات متتالية للنغمات التي تصدر عن آلة هوائية، فكيف يمكنك معرفة أن هذه الآلة تمثّل عمودًا هوائيًّا مغلقًا أو عمودًا هوائيًّا مفتوحًا؟

الكتابة في الفيزياء

85. ابحث في تركيب آلة موسيقية، مثل الكمان أو البوق. ما العوامل التي ينبغي أخذها في الحسبان إضافةً إلى طول الأوتار أو طول الأنبوب؟ وما الفرق بين آلة ذات نوعية جيدة وأخرى رديئة؟ وكيف تُفحص جودة أنغامها؟

مراجعة تراكمية

86. يُنقر وتر قيثارة طوله 60.0 cm في منطقة الوسط، فيعزف نغمة ترددها 440 Hz، ما سرعة الموجات في الوتر؟

* أسئلة إثراء.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أيّ الخيارات التالية يصف الموجة الموقوفة؟

	الموجات	الاتجاه	الوسط
A	متطابقة	نفسه	نفسه
B	غير متطابقة	متعاكس	مختلف
C	متطابقة	متعاكس	نفسه
D	غير متطابقة	نفسه	مختلف

*** 2.** ينتقل الصوت من مصدره إلى الأذن بسبب:

A تغير ضغط الهواء.

B الاهتزاز في الأسلاك أو الأوتار.

C الموجات الكهرومغناطيسية.

D الموجات تحت الحمراء.

*** 3.** يستمع خالد إلى موسيقى كلاسيكية من السماعات في أثناء سباحته في بركة سباحة. فوصلت إلى أذنيه نغمة بتردد 327 Hz عندما كان تحت الماء. ما الطول الموجي للصوت الذي يسمعه؟ (افترض سرعة الصوت في الماء 1493 m/s).

A 2.19 nm

B 4.88×10^{-5} m

C 2.19×10^{-1} m

D 4.57 m

*** 4.** تتواصل الحيتان فيما بينها بأصوات لا نستطيع سماعها؛ وذلك لأن

A سرعة هذه الأصوات أكبر من حدود قدرتنا على سماعها.

B تردد هذه الأصوات أكبر من حدود قدرتنا على سماعها.

C سرعة هذه الأصوات أقل من حدود قدرتنا على سماعها.

D تردد هذه الأصوات أقل من حدود قدرتنا على سماعها.

5. إذا كان تردد النغمة التوافقية الثالثة الصادرة عن وتر مشدود يساوي 200 Hz وسرعة الموجات في الوتر 150 m/s، فما طول الوتر؟

A 0.88 m

B 0.375 m

C 1.125 m

D 1.5 m

6. ما الطول الموجي للتردد الأساسي لوتر يهتز طوله L؟

A L/2

B L

C 2L

D 3L

*** 7.** تكون موجات الصوت أسرع انتشارًا في:

A الهيدروجين عند درجة حرارة 0°C.

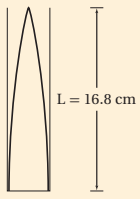
B الهواء عند درجة حرارة 0°C.

C الألومنيوم عند درجة حرارة 0°C.

D الهواء عند درجة حرارة 100°C.

الأسئلة الممتدة

8. يبيِّن الشكل أدناه تغيرات الضغط في عمود الهواء لأنبوب مغلق في حالة الرنين الأول. فإذا كان طول عمود الهواء 16.8 cm وتردد الصوت 488 Hz، فما سرعة الصوت؟



✓ إرشاد

دوّن حساباتك

دوّن حساباتك وملاحظاتك حيثما كان ذلك ممكنًا. وأجر الحسابات كتابيًّا لا ذهنيًّا، ثم ضع خطًّا تحت الحقائق المهمة في العبارات والأشكال، وأعد قراءتها– ولا تحاول حفظها.

* أسئلة إثراء.

الوحدة 6

الضوء والبصريات
Light and Optics

رقمُ الوحدة: 10AP.6

ما الذي ستتعلمه في هذه الوحدة؟

- تَعرُّف كيفية انعكاس الضوء عن أسطح مختلفة.
- تَعرُّف أنواع المرايا واستخداماتها، ووصف الصور المتكوِّنة بطريقة رسم الأشعة.
- تَعرُّف كيفية تغير اتجاه الضوء وسرعته عندما ينتقل خلال مواد مختلفة.
- مقارنة خصائص العدسات بالصور التي تكوّنها، وتَعرُّف تطبيقاتها المختلفة، وكيف تمكّنك عدسات عينيك من الرؤية.

الأهمية

يتحدّد الانعكاس الذي تراه بمعرفة كيفية انعكاس الضوء عن سطح ما نحو عينيك. وتقوم عملية الرؤية وتكوُّن صور للأشياء على أساس ظاهرتي الانعكاس والانكسار. وعندما تنظر نحو سطح بحيرة تشاهد صورة لك معتدلة.

منظر الجبل يمكنك عند النظر إلى سطح بحيرة مشاهدة منظر مماثل للمنظر الموضَّح في الصورة، حيث تبدو صور الأشجار والجبال في البحيرة مقلوبة رأسيًّا بالنسبة إليك.

فكِّر ◄

لماذا تبدو صورتك في البحيرة معتدلة، في حين تبدو صورة الجبل مقلوبة رأسيًّا؟

6–1 الانعكاس والمرايا
Reflection and mirrors

◄ **معايير الأداء الرئيسة**

29.1– 29.4

◄ **معايير البحث والاستقصاء العلمي**

4.1– 4.2

◄ **الأهداف**

- **تبيّن** أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة.
- **توضّح** قانون الانعكاس.
- **تقارن** بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم.
- **تحدّد** موقع الصور التي تكوِّنها المرايا المستوية والكروية.
- **توضّح** بعض التطبيقات لاستخدامات المرايا المستوية والكروية.
- **تقارن** بين خصائص الصور التي تكوِّنها المرايا المستوية والمحدبة والمقعرة.

◄ **المفردات**

- نموذج الشعاع الضوئي
- Ray model of light
- العمود المقام
- Normal
- زاوية السقوط
- Angle of incidence
- زاوية الانعكاس
- Angle of reflection
- الجسم
- Object
- الصورة
- Image
- مرآة مقعرة
- Concave mirror
- مرآة مجمِّعة
- Converging mirror
- البؤرة
- Focus
- البعد البؤري
- Focal length
- مرآة محدبة
- Convex mirror
- مرآة مفرِّقة
- Diverging mirror

الضوء والصوت وسيلتان نحصل عن طريقهما على المعلومات. والضوء وسيلة توفر أكبر مجموعة متنوعة من المعلومات؛ حيث تستطيع العين البشرية تحسّس التغيرات البسيطة جدًّا في حجم الجسم وموقعه وسطوعه، إضافة إلى لونه، كما تميّز أعيننا في العادة بين الظلال والأجسام الصلبة، وتستطيع أحيانًا التمييز بين انعكاسات الأجسام والأجسام نفسها.

تجربة استهلالية

كيف يمكنك تحديد مسار الضوء في الهواء؟

سؤال التجربة ما المسار الذي يسلكه الضوء خلال انتقاله في الهواء؟

الخطوات

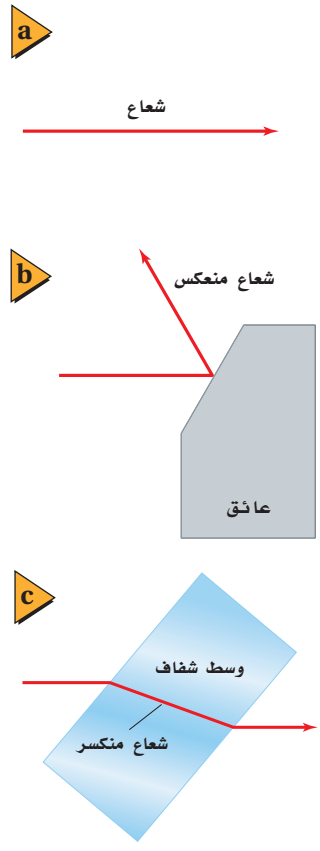
1. أحضر ثلاث قطع من الكرتون المقوى، متماثلة وكل منها مثقوبة من مركزها، وثبّتها على سطح طاولة داكنة اللون بحيث تكون الثقوب على استقامة واحدة.
2. ضع مصباحًا يدويًّا على أحد جانبي القطع الكرتونية وأضئه، مراعيًا مرور أشعة المصباح من خلال الثقوب.
3. عتّم الغرفة ولاحظ مسار الأشعة الضوئية المارّة من ثقوب القطع.
4. ضع مرآة في نهاية مسار الأشعة الضوئية النافذة ولاحظ مسار الأشعة المنعكسة. **تحذير: احذر من عكس الشعاع الضوئي في اتجاه عيون زملائك في المختبر.**
5. سجّل ملاحظاتك.

التحليل

ارسم مسار الأشعة الضوئية المارة من خلال الثقوب، وصِف المسار الذي سلكته الأشعة الضوئية المنعكسة.

التفكير الناقد هل يمكنك رؤية الشعاع الضوئي في الهواء؟ لماذا؟

ويسير الضوء في خطوط مستقيمة، فكيف تثبت ذلك؟ عندما تدخل حزمة ضوئية ضيقة ـ مثل ضوء المصباح الكهربائي أو ضوء الشمس ـ عبر النافذة فإن دقائق الغبار المنتشرة في الهواء تجعل الضوءَ مرئيًّا، وترى مسار الضوء على شكل خط مستقيم. وعندما يعترض جسمك ضوء الشمس ترى هيئة جسمك في صورة ظل. وعندما تضع جسمًا أمام عينيك وتتحرك في اتجاهه فإنك تسير في مسار مستقيم. هذه الأشياء تحدث فقط؛ لأن الضوء ينتقل في خطوط مستقيمة. وقد طوّرت نماذج تصف سلوك الضوء، اعتمادًا على هذه المعلومة المتعلقة بكيفية انتقال الضوء.



الشكل 1–6 الشعاع الضوئي عبارة عن خط مستقيم يمثّل المسار الخطي لحزمة ضيقة من الضوء (a). ويمكن أن يغيّر الشعاع الضوئي اتجاهه إذا انعكس (b) أو انكسر (c).

نموذج الشعاع الضوئي Ray model of light

اعتقد العالم إسحق نيوتن أن الضوء سيل من جسيمات متناهية في الصغر لا يمكن تخيلها، تتحرك بسرعة كبيرة جدًّا، أطلق عليها اسم جسيمات أو كريات ضوئية corpuscles. ولم يستطع نموذج نيوتن تفسير خصائص الضوء جميعها؛ إذ بيّنت التجارب أن الضوء يسلك أيضًا سلوك الموجات. وفي **نموذج الشعاع الضوئي Ray model of light** يُمثَّل الضوء على شكل شعاع ينتقل في خط مستقيم، ويتغير اتجاهه فقط إذا اعترض مساره حاجزٌ، كما يتضح من **الشكل 1–6**. لقد قُدّم نموذج الشعاع الضوئي بوصفه طريقة لدراسة كيفية تفاعل الضوء مع المادة، بغض النظر عما إذا كان الضوء جسيمًا أو موجة. وتُسمى دراسة الضوء بهذه الطريقة البصريات أو البصريات الهندسية.

الانعكاس عن المرايا المستوية Reflection from plane mirrors

شاهد الإنسان منذ القدم انعكاسًا لصورة وجهه في البحيرات وبرك المياه الساكنة. ولا يكون هذا الانعكاس دائمًا واضحًا؛ إذْ تحدث أحيانًا تموّجات على سطح الماء؛ بسبب حركة الرياح أو حركة القوارب، مما يحول دون حدوث انعكاس واضح للضوء. عرف المصريون قبل 4000 سنة تقريبًا أن الانعكاس يتطلب سطحًا أملس مصقولاً، لذا استخدموا مرايا فلزية لامعة مصقولة لرؤية صورهم. ولم يكن بالإمكان رؤية الصور الناتجة بوضوح حتى عام 1857 عندما اكتشف العالم الفرنسي جان فوكولت طريقة لطلاء الزجاج بالفضة. فالمرايا الحديثة صُنعت بدقة متناهية لكي تكون ذات مقدرة كبيرة جدًّا على عكس الضوء، وذلك من خلال عملية تبخير الألومنيوم أو الفضة على زجاج مصقول بدرجة كبيرة. وتُعد نوعية السطوح العاكسة مهمة جدًّا في بعض التطبيقات العملية والأجهزة البصرية، ومنها الليزر والمقراب (التلسكوب).

وفي الحضارة الإسلامية، كان للحسن بن الهيثم جهود كبيرة لا يمكن إنكارها، وبرع في عدة مجالات، منها دراساته في مجال الضوء. فقد درس انعكاس الضوء وانكساره بشكل مفصَّل، واكتشف قوانين الانعكاس والانكسار، والعلاقة بين زاوية سقوط الضوء وانكساره، كما وصف أجزاء العين وعملية الرؤية بشكل دقيق وسليم علميًّا، وأبطل الآراء السائدة آنذاك عن كيفية حدوث الرؤية، وغير ذلك من الإنجازات الكبيرة.

قانون الانعكاس The law of reflection

ماذا يحدث للضوء الساقط على هذا الكتاب؟ عندما تضع الكتاب بينك وبين مصدر الضوء فلن ترى أي ضوء ينفذ من خلاله. إن مثل هذا الجسم يُسمّى جسمًا غير شفاف أو جسمًا معتمًا؛ إذ يحدث امتصاص لجزء من الضوء الساقط على الكتاب، ويتحول هذا الجزء إلى طاقة حرارية، كما ينعكس جزء آخر من الضوء الساقط على الكتاب. ويعتمد سلوك الضوء المنعكس على طبيعة السطح العاكس، وزاوية سقوط الضوء على السطح.

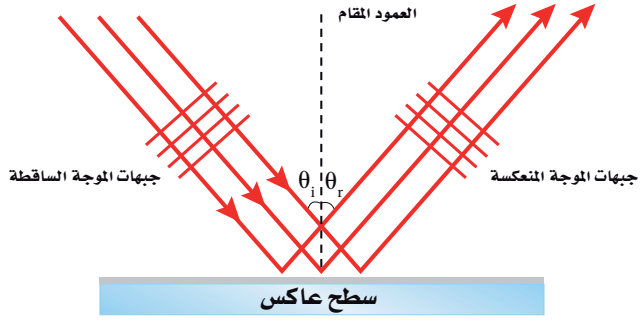
درست سابقًا أنه عندما تنتشر موجة في بعدين وتصطدم بحاجز فإن زاوية سقوطها على الحاجز تساوي زاوية انعكاسها. وينطبق هذا الانعكاس أيضًا على موجات الضوء. فكّر الآن فيما يحدث لكرة السلة عندما يدفعها اللاعب إلى الأرض لترتد إلى زميله. سيلاحظ مراقب يراقب حركة الكرة من أعلى أن الكرة ترتد في خط مستقيم في اتجاه اللاعب الآخر. وينعكس الضوء بالطريقة نفسها التي ترتد بها كرة السلة. ويبيِّن **الشكل 2–6** سقوط شعاع ضوئي على سطح مستوٍ عاكس. وتلاحظ أن هناك خطًّا وهميًّا عموديًّا على السطح العاكس عند نقطة سقوط الشعاع الضوئي على السطح، ويُسمّى هذا الخط **العمود المقام Normal**. ويقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس من نقطة سقوط الشعاع الضوئي في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس. وتُسمى الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط **زاوية السقوط Angle of incidence**. أما **زاوية الانعكاس Angle of reflection**، فهي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط. وعلى الرغم من أن الضوء ينتشر في ثلاثة أبعاد إلّا أن انعكاسه يكون في مستوى واحد؛ أي في بعدين. وتُعرف العلاقة بين زاويتي السقوط والانعكاس باسم قانون الانعكاس.

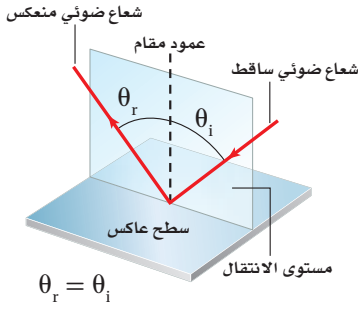
قانون الانعكاس $\theta_r = \theta_i$

حيث تمثل θ_i زاوية السقوط، و θ_r زاوية الانعكاس.

الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود نفسه.

يمكن تفسير هذا القانون باستخدام النموذج الموجي للضوء؛ إذ يبيِّن **الشكل 3–6** جبهة



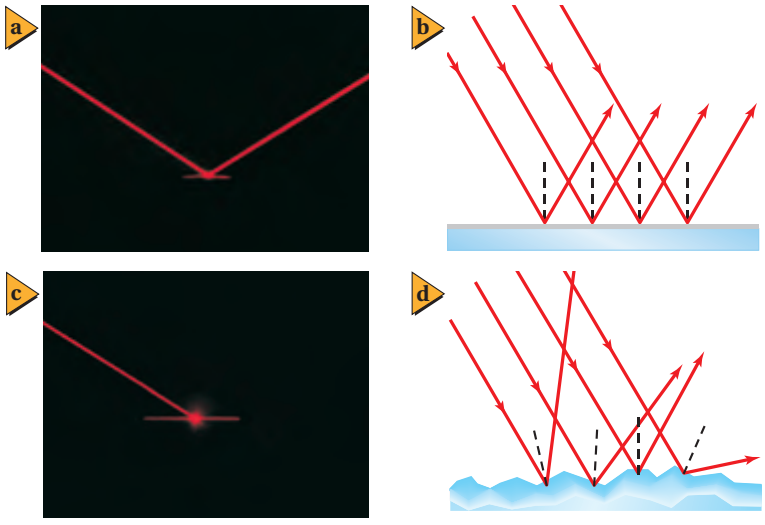


الشكل 2–6 يقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس ضمن مستوى الانتقال نفسه.

دلالة الألوان

- الأشعة الضوئية وجبهات الموجة مرسومة وموضحة باللون **الأحمر**.
- المرايا مرسومة وموضحة باللون **الأزرق الفاتح**.

الشكل 3–6 تقترب جبهة الموجة الضوئية من السطح العاكس. وعندما تصل كل نقطة على امتداد جبهة الموجة إلى السطح العاكس فإنها تنعكس بالزاوية نفسها كالنقطة السابقة لها. وتستمر العملية وتُتابع النقاط جميعها الانعكاس بزوايا مساوية لزوايا سقوطها، مما يؤدي إلى تشكُّل جبهة الموجة المنعكسة.



الشكل 4–6 عندما تسقط حزمة ضوئية على سطح مرآة (a) تنعكس الأشعة المتوازية في الحزمة الساقطة متوازيةً ومحافظةً على شكل الحزمة (b). وعندما تسقط حزمة الضوء على سطح خشن (c) تنعكس الأشعة المتوازية في الحزمة الساقطة عن سطوح مختلفة صغيرة جدًّا، ممّا يؤدي إلى تفرُّق الأشعة (d).

موجة الضوء تقترب من السطح العاكس، وعندما تصل كل نقطة على امتداد جبهة الموجة إلى السطح العاكس فإنها تنعكس بالزاوية نفسها كالنقطة السابقة لها. ولأن النقاط جميعها تنتشر بالسرعة نفسها فإنها ستقطع المسافة الكلية نفسها خلال الزمن نفسه، لذا تنعكس جبهة الموجة كاملة عن السطح بزاوية مساوية لزاوية سقوطها. لاحظ أن الطول الموجي للضوء لا يؤثر في هذه العملية؛ فألوان الضوء الأحمر والأخضر والأزرق جميعها تتبع هذا القانون.

السطوح الملساء والسطوح الخشنة Smooth and rough surfaces تأمل حزمة الضوء الساقطة في **الشكل 4a–6** ولاحظ أن جميع الأشعة في الحزمة الضوئية قد انعكست عن السطح متوازية، كما في **الشكل 4b–6**. وهذا يحدث فقط إذا كان السطح العاكس أملس وفق مقياس الطول الموجي للضوء. فالسطح الأملس أو المصقول، مثل المرآة، يسبِّب انعكاسًا منتظمًا؛ أي أن الأشعة الضوئية التي تسقط عليه متوازية تنعكس عنه متوازية أيضًا.

ماذا يحدث عندما يسقط الضوء على سطح يبدو أملس ومصقولاً، ولكنه في الواقع خشن وفق مقياس الطول الموجي للضوء، مثل صفحة هذا الكتاب أو جدار أبيض؟ هل سينعكس الضوء؟ وكيف توضِّح ذلك؟ يبيِّن **الشكل 4c–6** حزمة ضوئية تنعكس عن صفيحة ورقية خشنة السطح، حيث سقطت أشعة الحزمة الضوئية جميعها متوازية، ولكنها انعكست غير متوازية، كما في **الشكل 4d–6**. ويُسمّى تفرُّق الضوء عن سطح خشن انعكاسًا غير منتظم.

ينطبق قانون الانعكاس على كل من السطحين الأملس والخشن. ففي حالة السطح الخشن تكون زاوية سقوط كل شعاع مساوية لزاوية انعكاسه، وتكون الأعمدة المقامة على السطح عند مواقع سقوط الأشعة غير متوازية على المستوى المجهري؛ لذا لا يمكن أن تكون الأشعة المنعكسة متوازية؛ لأن السطح الخشن حال دون توازيها. وفي هذه الحالة لا يمكن رؤية حزمة الضوء المنعكسة؛ لأن الأشعة الضوئية المنعكسة تفرّقت في اتجاهات مختلفة. أما في حالة الانعكاس المنتظم ـ كما في المرآة ـ فيمكنك رؤية وجهك؛ لأن الأشعة انعكست على هيئة حزمة. وبغض النظر عن كمية الضوء المنعكسة عن الورقة أو الجدار، فلا يمكن اتخاذ كلّ منهما مرآة؛ لأنهما يُفرِّقان الأشعة المنعكسة.

ماذا قرأت؟ هل ينطبق قانون الانعكاس في حالة الانعكاس غير المنتظم؟ وضِّح ذلك.

تجربة

قانون الانعكاس

1. **ثبِّت** ورقة بيضاء على سطح الطاولة، وثبِّت عليها مرآة مستوية بشكل رأسي.
2. استخدم حاجزًا بشقٍّ واحد أمام الصندوق الضوئي.
3. **أسقط** شعاعًا ضوئيًّا من الصندوق الضوئي على سطح المرآة، وغيِّر زاوية السقوط لتكون أكبر من صفر.
4. **حدِّد** الشعاع الساقط والشعاع المنعكس برسم نقطتين في مسار كل شعاع من الشعاعين. وحدِّد موقع المرآة برسم خط بموازاة حافتها الخلفية.
5. **أبعد** الصندوق الضوئي والمرآة، واستخدم مسطرة للتوصيل بين كل نقطتين لرسم الشعاعين؛ الساقط والمنعكس وموقع المرآة.
6. **ارسم** خطًّا عموديًّا عند نقطة التقاء الشعاعين بسطح المرآة. وقِس مقدار زاويتي السقوط والانعكاس بالمنقلة.

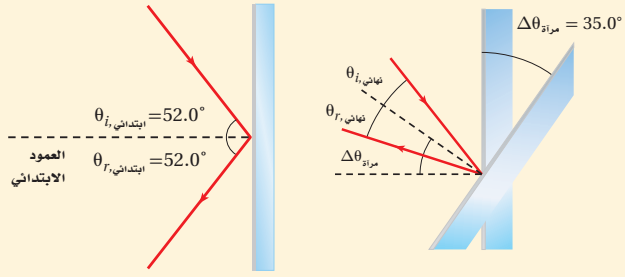
التحليل والاستنتاج

7. ما العلاقة بين قياسي زاوية السقوط وزاوية الانعكاس؟ ماذا تستنتج؟
8. ما مصادر الخطأ في التجربة؟

مثـــال 1

تغيير زاوية السقوط سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 52.0° بالنسبة للعمود المقام، فإذا دُوّرت المرآة بزاوية 35.0° حول نقطة سقوط الشعاع على سطحها بحيث نقصت زاوية سقوط الشعاع، وكان محور الدوران متعامدًا مع مستوى الشعاع الساقط والشعاع المنعكس، فما زاوية دوران الشعاع المنعكس؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثِّل الحالة قبل دوران المرآة.
- ارسم شكلاً آخر بتطبيق زاوية الدوران على المرآة.

المعلوم	المجهول
$\theta_{i,\text{ابتدائي}}=52.0^\circ$ ، $\Delta\theta_{\text{مرآة}}=35.0^\circ$	$\Delta\theta_r=?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

لتقليل زاوية السقوط، دوِّر المرآة في اتجاه حركة عقارب الساعة.

$$\theta_{i,\text{نهائي}}=\theta_{i,\text{ابتدائي}}-\Delta\theta_{\text{مرآة}}$$

بالتعويض $\theta_{i,\text{ابتدائي}}=52.0^\circ$ ، $\Delta\theta_{\text{مرآة}}=35.0^\circ$

$$=52.0^\circ-35.0^\circ$$

$=17.0^\circ$ في اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

طبّق قانون الانعكاس

$$\theta_{r,\text{نهائي}}=\theta_{i,\text{نهائي}}$$

بالتعويض $\theta_{i,\text{نهائي}}=17.0^\circ$

$=17.0^\circ$ في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

أوجد الزاوية التي دار بها الشعاع المنعكس باستخدام الشكلين

$$\Delta\theta_r=52.0^\circ+35.0^\circ-17.0^\circ$$

$=70.0^\circ$ في اتجاه حركة عقارب الساعة من الزاوية الأصلية

3 تقويم الجواب

- **هل الجواب واقعي؟** بمقارنة الرسمين النهائي والابتدائي يتبيّن أن زاوية السقوط تقل عندما تدور المرآة في اتجاه حركة عقارب الساعة في اتجاه الشعاع الضوئي. ومن المنطقي أن يدور الشعاع المنعكس في اتجاه حركة عقارب الساعة أيضًا.

مسائل تدريبية

1. عند سكب كمية ماء فوق سطح زجاج خشن يتحوّل انعكاس الضوء من انعكاس غير منتظم إلى انعكاس منتظم. وضِّح ذلك
2. إذا كانت زاوية سقوط شعاع ضوئي 42.0°، فما مقدار كل مما يأتي؟
   a. زاوية الانعكاس.
   b. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والمرآة.
   c. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.
3. سقطت حزمة ضوء ليزر على سطح مرآة مستوية بزاوية 38.0° بالنسبة للعمود المقام. فإذا حُرّك الليزر بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 13.0°، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟
4. وُضعت مرآتان مستويتان إحداهما عمودية على الأخرى. فإذا أُسقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية 30.0° بالنسبة للعمود المقام، وانعكس في اتجاه المرآة الثانية، فما مقدار زاوية انعكاس الشعاع الضوئي عن المرآة الثانية؟

الشكل 5–6 المصباح الضوئي مصدر مضيء، ويشع الضوء في الاتجاهات جميعها. أما الشاب فيُعدّ مصدرًا مستضيئًا يُفرّق ضوء المصباح الساقط على جسمه عن طريق الانعكاس غير المنتظم للضوء.

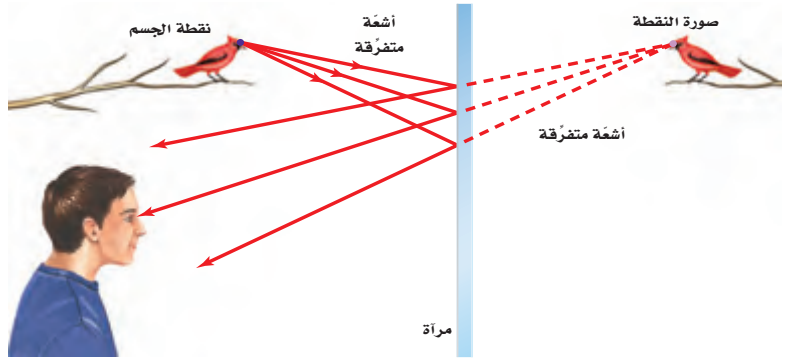
الأجسام والصور في المرايا المستوية

Objects and plane-mirror images

عندما تنظر إلى نفسك في مرآة مستوية فإن ما تشاهده هو صورتك فيها. فالمرآة المستوية سطح مستوٍ أملس (مصقول) ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا. ولفهم انعكاس الضوء عن المرايا يجب أن نحدّد الجسم ونوع الصورة المتكوّنة. **فالجسم Object** هو مصدر الأشعة الضوئية التي ستُعكَس عن سطح مرآة، ويمكن أن يكون الجسم مصدرًا مضيئًا مثل المصباح، أو مصدرًا مستضيئًا مثل الشاب، كما في **الشكل 5–6**.

خذ نقطة مفردة على الطائر الموضح في **الشكل 6–6**، تلاحظ أن الضوء ينعكس انعكاسًا غير منتظم من عُرف الطائر – نقطة الجسم –، فماذا يحدث للضوء المنعكس؟ يسقط الضوء من الطائر على المرآة وينعكس. وماذا سيشاهد الصبي؟ سيصل بعض الضوء المنعكس إلى عيني الصبي. ولأن دماغه يُعالج هذه الأشعة وكأنها سلكت مسارًا مستقيمًا، لذا سيبدو له أن الضوء يتّبع الخطوط المتقطعة على الشكل؛ أيْ كأنه قادم من نقطة خلف المرآة، والتي تمثِّل صورة النقطة.

وسيرى الصبي في **الشكل 6–6** الأشعة الضوئية القادمة من نقاط متعدّدة على جسم الطائر بالطريقة نفسها، وبذلك تتشكَّل **صورة Image** الطائر من اتحاد صورة النقاط الناتجة بفعل الأشعة الضوئية المنعكسة، وتعد هذه الصورة صورة خيالية؛ وذلك لأنها تكوّنت من التقاء امتدادات الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة. وتقع الصور الخيالية دائمًا على الجانب الآخر من المرآة (خلف المرآة)، وهذا يعني أن صور الأجسام الحقيقية المتكوّنة في المرايا المستوية دائمًا هي صور خيالية؛ لأنه لا يمكن جمعها على حاجز.

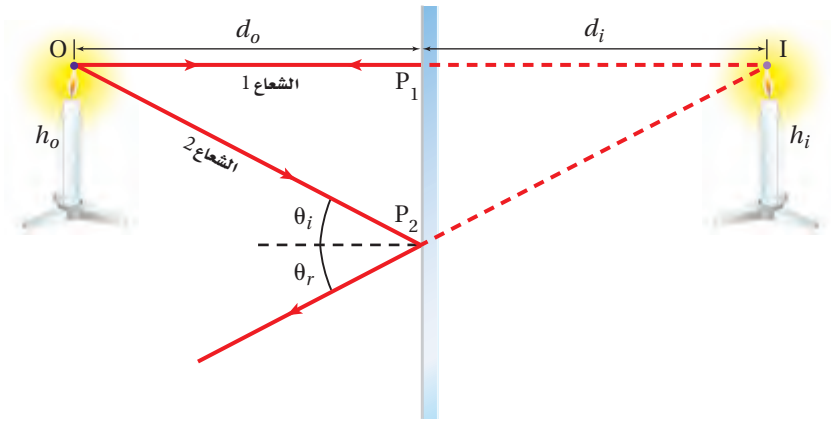


الشكل 6–6 تبدو الأشعة المنعكسة التي تصل إلى العين كأنها قادمة من نقطة خلف المرآة.

صفات الصور في المرايا المستوية

Properties of palne-mirrors images

عندما تنظر إلى نفسك في مرآة مستوية ترى صورتك تظهر خلف المرآة وعلى بُعد يساوي بُعدك عن المرآة. فكيف يمكنك اختبار ذلك؟ ضع مسطرة بينك وبين المرآة. أين ستلامس المسطرة الصورة؟ ستلاحظ أيضًا أن الصورة تكون في اتجاهك نفسه؛ أي معتدلة، وأنها معكوسة جانبيًّا، وحجمها مساوٍ لحجم جسمك، وهذا هو منشأ التعبير القائل: "صورة *طبق الأصل*"، وإذا تحرّكت في اتجاه المرآة فإن صورتك ستتحرك في اتجاه المرآة، وإذا تحرّكت مبتعدًا عن المرآة فستتحرك الصورة مبتعدة عن المرآة أيضًا.



الشكل 7–6 تنبعث الأشعة الضوئية من نقطة على الجسم في الاتجاهات جميعها، حيث يسقط بعضها على سطح المرآة، فينعكس إلى العين. يبيّن الرسم شعاعين ضوئيين فقط. وتمتد خطوط الرؤية (الامتداد الخلفي) — الموضحة على هيئة خطوط متقطعة — إلى الخلف من مواقع انعكاس الأشعة على سطح المرآة إلى موقع التقائها، ويكون موقع الصورة في المكان الذي تلتقي فيه هذه الامتدادات: $d_i = -d_o$

موقع الصورة وطولها Image position and height يوضِّح النموذج الهندسي في **الشكل 7–6** تساوي بُعد الجسم وبُعد الصورة عن المرآة، وكذلك تساوي طول الجسم وطول الصورة. ويتبيّن ذلك برسم شعاعين صادرين من النقطة O على رأس الشمعة يسقطان على المرآة في النقطتين P_1، P_2 على الترتيب. وينعكس الشعاعان وفق قانون الانعكاس، ويتقاطع امتدادا انعكاسيهما خلف المرآة على أنهما خطوط الرؤية (خط متقطع) في النقطة I التي تمثِّل صورة النقطة O. فالشعاع 1 يسقط على المرآة بزاوية سقوط 0°، فينعكس مرتدًّا على نفسه؛ أي عموديًّا على المرآة. أما الشعاع 2 فينعكس بالزاوية نفسها التي سقط بها، لذا يصنع خط الرؤية (الامتداد الخلفي) مع المرآة زاوية مساوية للزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط نفسه مع المرآة.

ويبيِّن النموذج الهندسي أن القطعتين المستقيمتين $\overrightarrow{OP_1}$، $\overrightarrow{IP_1}$ تمثّلان ضلعين متقابلين في مثلثين متطابقين OP_1P_2، IP_1P_2. وتمثِّل d_o بُعد الجسم عن المرآة، وتساوي طول القطعة $\overrightarrow{OP_1}$، كما تُسمى أيضًا موقع الجسم، أما d_i فتمثّل بُعد الصورة عن المرآة، وتساوي طول القطعة $\overrightarrow{IP_1}$، كما تُسمى موقع الصورة. وباستخدام دلالة نظام الإشارات ـ حيث تشير الإشارة السالبة لموقع الصورة إلى أن الصورة خيالية ـ تكون المعادلة التالية صحيحة:

موقع الصورة التي تُكوِّنها مرآة مستوية $d_i = -d_o$

بُعد الصورة عن المرآة المستوية يساوي سالب بُعد الجسم عنها، وإشارة السالب تدل على أن الصورة خيالية.

ولإيجاد طول الصورة يمكنك رسم شعاعين من الجسم. فمثلًا يلتقي امتدادا الشعاعين الصادرين من قاعدة الشمعة، كما في **الشكل 7–6**، في نقطة خلف المرآة تكوّن قاعدة الصورة. وسيكون طول الصورة h_i المتكوّنة – باستخدام قانون الانعكاس وهندسة تطابق المثلثات – مساويًا لطول الجسم h_o.

طول الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية $h_i = h_o$

في المرآة المستوية يكون طول الصورة مساويًا لطول الجسم.

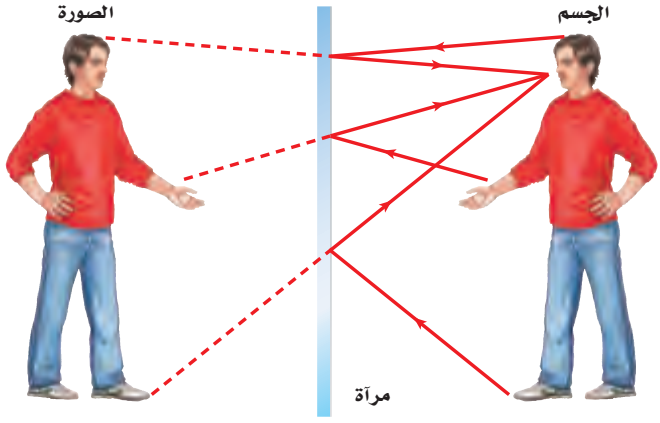
تجربة

موقع الصورة الخياليّة

1. **ثبِّت** مرآة مستوية في وضع رأسي عند صفر مسطرة مترية.
2. ضع جسمًا على المسطرة عند المسافة 50 cm.
3. **لاحظ** بُعد الصورة المتكوّنة للجسم خلف المرآة وصفاتها، وسجّلها.
4. غيّر موقع الجسم بتحريكه على المسطرة المترية بحيث يكون على مسافات مختلفة من المرآة، وكرّر الخطوة السابقة.

التحليل والاستنتاج

5. قارن بين بُعد الصورة المتكوّنة للجسم خلف المرآة وبُعد الجسم عنها في كل حالة.
6. ما الذي تستنتجه عن صفات الصور التي تكوّنها المرايا المستوية؟



الشكل 8–6 الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية لها حجم الجسم نفسه، وبُعد الجسم نفسه عن المرآة، وتقع خلف المرآة، وتكون معكوسة جانبيًا؛ فإذا حرّك الشخص يده اليمنى تتحرك اليد اليسرى في الصورة.

اتجاه الصورة Image orientation تُكوّن المرآة المستوية صورًا في اتجاه الجسم نفسه؛ أيْ تُكوّن صورًا معتدلة. فإذا كنت تقف على قدميك فإن الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية تظهر كذلك، وإذا كنت تقف على يديك تكون الصورة أيضًا بوضعية الوقوف على اليدين. غير أن هناك اختلافًا بينك وبين صورتك التي تكوّنها المرآة. تتبَّع خطوط الأشعة الموضحة في **الشكل 8–6**. فالأشعة المنتشرة من اليد اليمنى للشخص تبدو كأنها تتجمع في اليد اليسرى لصورته؛ أيْ تظهر اليد اليسرى واليد اليمنى معكوستين في المرآة المستوية. فلماذا لا تنعكس قمة الجسم وقاعدته؟ هذا لا يحدث؛ لأن المرآة المستوية في الحقيقة لا تعكس الجهة اليسرى واليمنى، بل تعمل المرآة في **الشكل 8–6** على عكس صورة الشخص فقط بحيث تقابله في الاتجاه المعاكس له؛ أي أن المرآة تكوّن صورًا معكوسة جانبيًّا.

بالرجوع إلى صورة الجبل في بداية الوحدة، تلاحظ أنها مقلوبة رأسيًّا، ولكن الصورة في الحقيقة معكوسة جانبيًّا مقارنة بالجبل الحقيقي؛ فلأن المرآة (سطح البحيرة) تكون أفقيّة وليست رأسيّة، فإن المنظور، أو زاوية النظر، تجعل الصورة تبدو مقلوبة رأسيًّا. ولفهم ذلك دوّر كتابك بزاوية 90° في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وانظر إلى **الشكل 8–6** مرة أخرى، تجد أن الشخص ينظر إلى أسفل، في حين تبدو صورته كأنها تنظر إلى أعلى، كصورة الجبل تمامًا. فالشيء الوحيد الذي تغير هو المنظور فقط.

ماذا قرأت؟ ما صفات الصور التي تكوّنها المرايا المستوية؟

استخدامات المرايا المستوية Applications of plane mirrors

للمرايا المستوية استخدامات كثيرة في حياتنا اليومية؛ فأنت يوميًّا تنظر إلى صورتك في المرآة المستوية لترتيب هندامك أو تمشيط شعرك. كما تُستخدم في محالّ الملابس وصالونات الحلاقة. ويستخدمها مهندسو الديكور في الغرف الصغيرة؛ لكي تبدو أكبر. كما يستخدمها طبيب العيون عند فحص النظر لزيادة المسافة؛ حيث يستطيع الطبيب إجراء فحص النظر في غرفة طولها أقل من 6.0 m. وتستخدم في صناعة البريسكوب والكاليدوسكوب. انظر **الشكل 9–6**.

الشكل 9–6 تستخدم المرايا المستوية في صناعة البريسكوب.

الشكل 10–6 تُكتب كلمة إسعاف بشكل مقلوب على مقدمة سيارة الإسعاف.

ولا بدّ أنك لاحظت أن كلمة إسعاف يتم كتابتها على مقدمة سيارات الإسعاف بشكل مقلوب؛ وذلك لأن الصور التي تكوِّنها المرايا المستوية تكون معكوسة جانبيًّا، فيتمكن الشخص الذي يسير أمام سيارة الإسعاف من رؤية كلمة الإسعاف في مرآته بشكل معتدل. انظر الشكل 10–6.

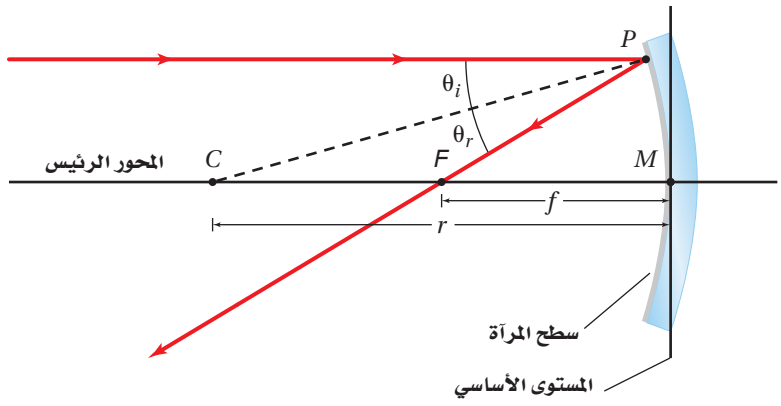
ماذا قرأت؟ اذكر ثلاثة استخدامات للمرايا المستوية؟

المرايا الكروية Curved mirrors

عندما تنظر إلى سطح ملعقة لامعة تلاحظ أن انعكاس صورتك يختلف عن انعكاسها في مرآة مستوية؛ إذ تعمل الملعقة عمل مرآة كروية؛ حيث يكون أحد سطحيها منحنيًا إلى الداخل، والسطح الآخر منحنيًا إلى الخارج. وتعتمد خصائص المرايا الكروية والصور التي تكوّنها على شكل المرآة وموقع الجسم.

المرايا المقعّرة Concave mirrors

يعمل السطح الداخلي للملعقة (السطح الذي يحمل الطعام) عمل مرآة مقعرة. والمرآة المقعرة **Concave mirror** سطح عاكس، حوافّه منحنية نحو المشاهد. وتعتمد خصائص المرآة المقعرة على مدى تقعرها، ويبيِّن **الشكل 11–6** كيف تعمل المرآة الكروية المقعرة. وتسمى المرآة المقعرة **المرآة المجمِّعة Converging mirror**؛ لأنها تعمل على تجميع الأشعة المتوازية والموازية للمحور الرئيس –بعد انعكاسها عنها– في نقطة واحدة. ويبدو شكل المرآة الكروية المقعرة كأنه جزء مأخوذ من كرة جوفاء سطحها الداخلي عاكس للضوء. وللمرآة الكروية المقعرة المركز الهندسي نفسه (C) ونصف قطر التكوّر نفسه (r) الخاصّين بالكرة المأخوذة منها. ويسمّى الخط الذي يحتوي على القطعة المستقيمة CM المحور الرئيس؛ وهو خط مستقيم متعامد مع سطح المرآة الذي يقسمها إلى نصفين. وتمثِّل النقطة (M) قطب المرآة؛ وهي نقطة تقاطع المحور الرئيس مع سطح المرآة.



الشكل 11–6 تقع بؤرة المرآة الكروية المقعرة في منتصف المسافة بين مركز التكوّر وسطح المرآة. وتنعكس الأشعة الساقطة موازية للمحور الرئيس مارة بالبؤرة F.

تجربة

المرايا الكروية

1. **ثبِّت** ورقة بيضاء على سطح الطاولة، وثبِّت عليها مرآة مقعرة بشكل رأسي.
2. **أسقط** ثلاثة أشعة ضوئية متوازية من الصندوق الضوئي على سطح المرآة، بحيث ينعكس الشعاع الأوسط على نفسه. وسجّل ملاحظاتك.
3. **حدِّد** الأشعة الساقطة والمنعكسة على الورقة برسم نقطتين في مسار كل شعاع، وحدِّد موقع المرآة برسم خط بموازاة حافتها الخلفية.
4. أبعد الصندوق الضوئي والمرآة، واستخدم مسطرة للتوصيل بين كل نقطتين لرسم الأشعة الساقطة والمنعكسة وسطح المرآة.
5. **كرّر** الخطوات السابقة باستخدام مرآة محدبة، وسجّل ملاحظاتك.

التحليل والاستنتاج

6. ما الفرق بين مسارات الأشعة المنعكسة بواسطة المرآة المحدبة وتلك المنعكسة بواسطة المرآة المقعرة؟ ماذا تستنتج؟
7. ما مصادر الخطأ في التجربة؟

تجربة

صور المرايا المقعرة

1. **ثبّت** مسطرتين متريتين على أربع دعامات على شكل حرف V، واجعل صفري المسطرتين عند نقطة التقائهما.
2. **ضع** مرآة مقعرة معلومة البعد البؤري على حاملها عند نقطة التقاء المسطرتين.
3. **ضع** المصباح (أو الشمعة) على طرف إحدى المسطرتين البعيد عن نقطة التقاء المسطرتين على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري، وضع الشاشة على دعامتها على الطرف البعيد الآخر للمسطرة الثانية. وأطفئ أنوار الغرفة.
4. **أضئ** المصباح، وعدّل وضع المرآة أو المسطرتين بحيث تسقط الأشعة المنعكسة على الشاشة.
5. **حرّك** الشاشة ببطء إلى الأمام أو الخلف حتى تتكوّن صورة واضحة على الشاشة. وسجّل صفات الصورة المتكوّنة.
6. **حرّك** المصباح في اتجاه المرآة بحيث يصبح على بُعد يساوي ضعف البعد البؤري، ثم ليصبح قريبًا من البؤرة، ثم في البؤرة، وأخيرًا بين المرآة والبؤرة. وكرّر الخطوة السابقة لكل حالة.

التحليل والاستنتاج

7. ما صفات الصورة التي تكوّنت في كل حالة؟
8. ما الشروط التي يتطلّبها تكوين صور حقيقية؟ وما الشروط التي يتطلّبها تكوين صور خيالية؟
9. ما مصادر الخطأ في التجربة؟

عندما توجّه المحور الرئيس للمرآة المقعرة نحو الشمس تنعكس الأشعة جميعها مارّة بنقطة واحدة. ويمكنك تحديد هذه النقطة بتقريب وإبعاد قطعة ورق أمام المرآة حتى تحصل على أصغر وأوضح نقطة لأشعة الشمس المنعكسة على الورقة. وتُسمى هذه النقطة **البؤرة Focus** الأصلية للمرآة؛ وهي النقطة التي تتجمع فيها انعكاسات الأشعة المتوازية الساقطة موازية للمحور الرئيس بعد انعكاسها عن المرآة. ونظرًا للبعد الكبير بين الشمس والأرض فإن جميع الأشعة التي تصل الأرض تُعدّ متوازية.

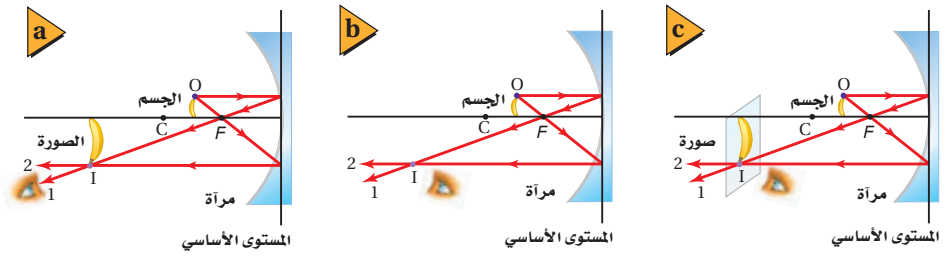
وعندما يسقط الشعاع على مرآة فإنه ينعكس وفق قانون الانعكاس. ويبيّن **الشكل 11–6** أن الأشعة الساقطة موازيةً للمحور الرئيس تنعكس عن المرآة، وتقطع المحور في البؤرة F. وتقع البؤرة F في منتصف المسافة بين مركز التكور C والقطب M، أما **البعد البؤري f Focal length**، فيمثل المسافة بين قطب المرآة وبؤرتها الأصلية، ويعبر عنه على النحو التالي: $f = \frac{r}{2}$، ويكون البعد البؤري للمرآة المقعرة موجبًا.

وبدلاً من رسم انعكاسات الأشعة عن سطح المرآة يمكن تحديد خط رأسي لتمثيل المرآة بحيث يمر بقطبها، ويتم رسم انعكاسات الأشعة عنه، ويُسمى هذا الخط المستوى الأساسي للمرآة. انظر **الشكل 11–6**.

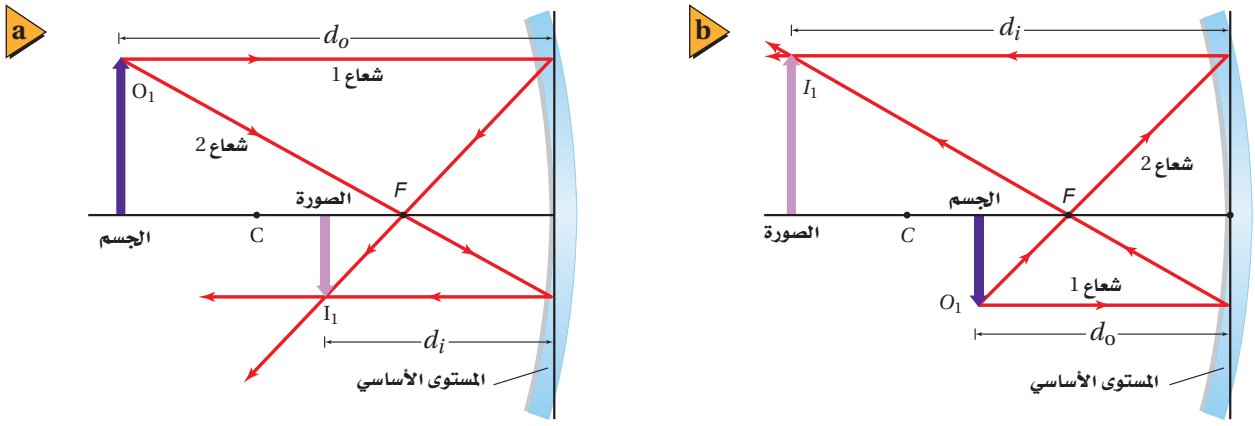
ماذا قرأت؟ ما المرايا المقعرة؟ ولماذا تُسمى بالمجمِّعة؟

الطريقة الهندسية لتحديد موقع الصورة
Graphical method of finding the image

يُفيدنا رسم مسارات الأشعة المنعكسة عن المرايا المقعرة في تحديد موقع الصورة، ليس لأن موقع الصورة هو الذي يتغير فقط، بل لأن حجمها ووضعها (اتجاهها) يتغيران أيضًا. ويُمكنك استخدام مخطّط الأشعة للكشف عن خصائص الصور التي تُكوّنها المرايا المقعرة. ويبيّن **الشكل 12–6** عملية تكوين صورة حقيقية؛ وهي الصورة التي تتكون من التقاء الأشعة المنعكسة، ويمكن جمعها على حاجز. وتلاحظ أن الصورة مقلوبة وأكبر حجمًا من الجسم، وأنّ الأشعة تلتقي فعليًّا في النقطة التي تتكون فيها الصورة. وتُحدِّد نقطة التقاطع (I) لشعاعين منعكسين موقع الصورة. ويمكنك رؤية الصورة في الفضاء عندما تَسقط الأشعة



الشكل 12–6 الصورة الحقيقية التي تُرى بالعين المجردة (**a**). لا ترى العين الصورة الحقيقية إذا كانت في موقع لا تسقط عليه الأشعة المنعكسة (**b**). الصورة الحقيقية كما ترى على شاشة معتمة بيضاء (**c**).



■ **الشكل 13–6** إذا كان بُعد الجسم عن المرآة أكبر من بُعد مركز التكوّر، فستكون الصورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة مقارنة بالجسم **(a)**. أما إذا كان الجسم واقفًا بين البؤرة ومركز التكور، فستكون الصورة حقيقية ومقلوبة ومكبرة وموقعها خلف C **(b)**.

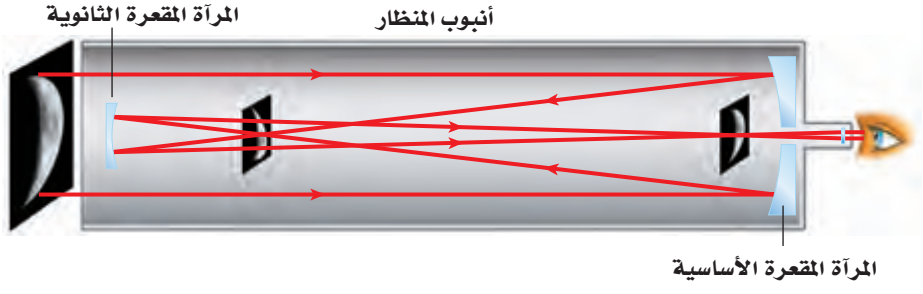
المنعكسة التي كوَّنت الصورة على عينك، كما في **الشكل 6–12a**. ويوضّح **الشكل 6–12b** أنه يجب أن يكون موقع عينك في الجهة التي تسقط عليها الأشعة المنعكسة المكوّنة للصورة، ولا يمكنك رؤية الصورة من الخلف. وإذا وضعت حاجزًا (شاشة) في موقع تكوّن الصورة فإن هذه الصورة ستظهر على الحاجز كما في **الشكل 6–12c**، وهذا غير ممكن في حالة الصور الخيالية التي تتكون من التقاء امتدادات الأشعة المنعكسة، ولا يمكن جمعها على حاجز.

ولتسهيل فهم كيفية سلوك الأشعة عند استخدام المرايا المقعرة يمكنك استخدام أجسام أحادية البعد؛ سهم مثلاً، كما في **الشكل 6–13a**. تكوِّن المرآة الكروية المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة ومُصغَّرة للجسم؛ إذا كان بعد الجسم d_o أكبر من ضعف البعد البؤري f، أما إذا كان الجسم واقعًا بين البؤرة F ومركز التكور C كما في **الشكل 6–13b** فإن الصورة ستكون مكبرة.

ماذا قرأت؟ علامَ تعتمد صفات الصور التي تكوِّنها المرايا المقعرة ؟

الربط مع الفلك

كيف يمكن تحويل الصورة الحقيقية والمقلوبة التي تكوّنها مرآة مقعرة إلى صورة معتدلة وحقيقية؟ لقد طوّر عالم الفلك الأسكتلندي جيمس جريجوري في عام 1663 المنظار المعروف باسمه، منظار جريجوريان (المنظار الفلكي)، المبين في **الشكل 6–14** لحل هذه المشكلة. ويتكوَّن منظاره من مرآتين مقعرتين إحداهما كبيرة والأخرى صغيرة. وتقع المرآة الصغيرة خلف بؤرة المرآة الكبيرة. وعندما تسقط الأشعة المتوازية القادمة من جسم بعيد على المرآة المقعرة الكبيرة فإنها تنعكس في اتجاه المرآة الصغيرة، التي تعكس بدورها هذه الأشعة مكوِّنة صورة حقيقية ومعتدلة تمامًا كالجسم.



■ **الشكل 14–6** يكوّن منظار جريجوريان Gregorian صورًا حقيقية ومعتدلة.

استراتيجيات حل المسألة

استخدام طريقة رسم الأشعة لتحديد موقع الصور التي تكوّنها المرايا الكروية.

استخدم الاستراتيجيات التالية لحل مسائل المرايا الكروية. ارجع إلى **الشكل 13–6**:

1. استخدم ورقة مُسطّرة أو ورقة رسم بياني، وارسم المحور الرئيس للمرآة على شكل خط أفقي من يسار الصفحة إلى يمينها، تاركًا مسافة 6 أسطر فارغة أعلاه، و6 أسطر فارغة أسفله.
2. ضع نقاطًا أو علامات على المحور تمثّل كلًّا من الجسم، و C، و *F* على النحو الآتي:

a. إذا كانت المرآة مقعرة والجسم خلف مركز التكور C بعيدًا عن المرآة، فضع المرآة عن يمين الصفحة، والجسم عن يسارها، وضع C و *F* وفق مقياس الرسم.

b. إذا كانت المرآة مقعرة والجسم بين C و F، فضع المرآة عن يمين الصفحة، وC في وسطها، و *F* في منتصف المسافة بين المرآة ومركز التكور C ، وضع الجسم وفق مقياس الرسم.

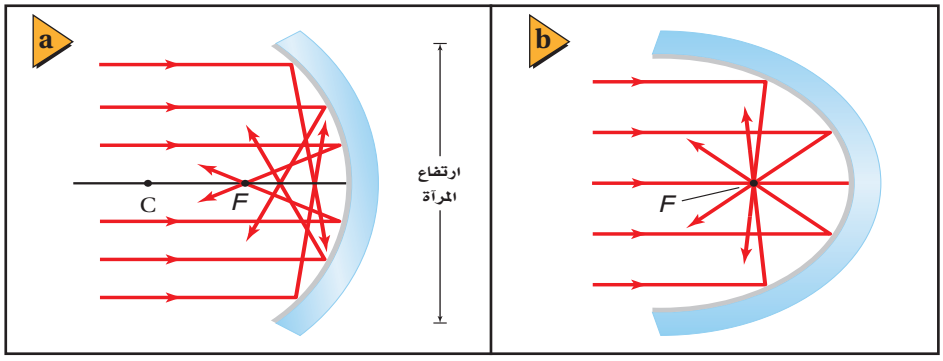
c. لأي وضع آخر، ضع المرآة في وسط الصفحة، وضع الجسم أو البؤرة *F* [أيهما أبعد عن المرآة] عن يسار الصفحة، وضع الآخر الأقرب وفق مقياس الرسم.

3. ارسم خطًّا رأسيًّا لتمثيل المرآة، يمر بقطبها وفي الفراغ المكوّن من الاثني عشر سطرًا. يُمثّل هذا الخط المستوى الأساسي للمرآة.
4. ارسم الجسم على هيئة سهم، واكتب على رأسه O_1. للمرايا المقعرة، يجب ألا يزيد طول الأجسام الواقعة أمام C على 3 أسطر، وأمّا لسائر الأوضاع، فاجعل طول الأجسام 6 أسطر. سيكون مقياس رسم طول الجسم مختلفًا عن مقياس الرسم المستخدم على المحور الرئيس.
5. ارسم الشعاع 1 بصورة موازية للمحور الرئيس، حيث ينعكس عن المستوى الأساسي مارًّا بالبؤرة.
6. ارسم الشعاع 2 مارًّا بالبؤرة. سينعكس هذا الشعاع عن المستوى الأساسي موازيًا للمحور الرئيس.
7. تتكون الصورة عند موقع التقاء الشعاعين المنعكسين 1 و 2 أو امتداديهما، وتكون الصورة ممثلة بسهم عمودي من المحور الرئيس إلى I_1 (نقطة التقاء الشعاعين المنعكسين أو امتداديهما).

عيوب الصور الحقيقية في المرايا المقعرة Real images defects in concave mirrors

عند رسم الأشعة في المرايا الكروية فإنّك تعكس الأشعة عن المستوى الأساسي؛ وهو الخط الرأسي الذي يمثّل المرآة، إلا أن الأشعة في حقيقة الأمر تنعكس عن المرآة نفسها، كما في **الشكل 15a–6**. لاحظ أن الأشعة المتوازية القريبة من المحور الرئيس (الأشعة المحورية) فقط هي التي تنعكس مارَّة بالبؤرة. أما الأشعة الأخرى فتلتقي في نقاط أقرب إلى المرآة. لذا فإنّ الصورة المتكوّنة نتيجة انعكاس الأشعة التي تسقط متوازية على مرآة كروية ذات قطر (ارتفاع) كبير ونصف قطر تكوّر صغير، ستكون على هيئة قرص، وليست نقطة. ويُسمى هذا العيب الزوغان (التشوّه) الكروي، وهو ما يجعل الصورة تبدو غير واضحة.

والمرآة المقعرة التي تكون على شكل قطع مكافئ ـ كما في **الشكل 15b–6** ـ لا تعاني من الزوغان الكروي. ونظرًا لارتفاع تكلفة تصنيع المرايا الكبيرة التي تأخذ شكل القطع المكافئ تمامًا، فإن أغلب التلسكوبات الجديدة تستعمل مرايا كروية ومرايا ثانوية صغيرة



الشكل 15–6 تعكس المرآة الكروية المقعرة جزءًا من الأشعة، بحيث تتجمع في نقاط غير البؤرة (a). تُجمّع مرآة القطع المكافئ الأشعةَ المنعكسة جميعها، وتركّزها في نقطة واحدة (b).

مصمّمة على هيئة خاصة، أو عدسات صغيرة، لتصحيح الزوغان الكروي. ويمكن تقليل الزوغان الكروي كذلك بتقليل نسبة ارتفاع المرآة، الموضحة في **الشكل 15a–6**، إلى مقدار نصف قطر تكوّرها. وتُستخدم المرايا ذات التكلفة الأقل في التطبيقات التي لا تحتاج إلى دقة عالية.

تطبيق الفيزياء

مشكلة هابل
Hubble Trouble

أطلقت وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) في عام 1990 تلسكوب هابل الفضائي في مدار حول الأرض، وكان من المتوقع أن يُزوّد الوكالة بصور واضحة دون التشوه الحادث بسبب الغلاف الجوي، إلّا أنّه وجد بعد إطلاقه مباشرة زوغان كروي في الصور. وفي عام 1993 أُجريت تصحيحات بصرية، سُميت كوستار COSTAR، على تلسكوب هابل ليتمكّن من إعطاء صور واضحة.

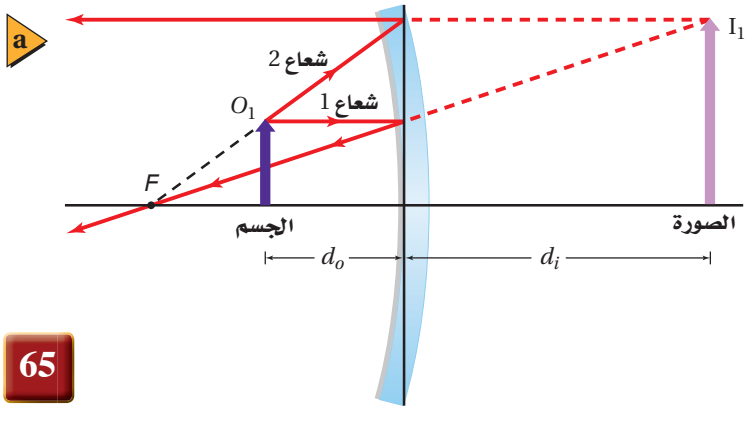
الصور الخيالية في المرايا المقعرة
Virtual images with concave mirrors

لاحظت أنه كلّما اقترب الجسم من بؤرة المرآة المقعرة *F* ابتعدت الصورة عن المرآة. وإذا وضع الجسم في البؤرة تمامًا كانت الأشعة المنعكسة جميعها متوازية، ومن ثم لا تتقاطع، لذا نقول: إن الصورة تكوّنت في المالانهاية، ولا تُرى صورة للجسم في هذه الحالة. ماذا يحدث إذا اقترب الجسم من المرآة أكثر؟

ماذا تلاحظ عندما تقرّب وجهك من مرآة مقعرة أكثر فأكثر؟ تكون صورة وجهك معتدلة وخلف المرآة. فالمرآة المقعرة تكوّن صورةً خيالية إذا وضع الجسم بين المرآة والبؤرة، كما في **الشكل 16a–6**. وتكون الصورة المتكوّنة في المرآة المقعرة في هذه الحالة معتدلة ومكبّرة مقارنة بالجسم، كما في الصورة الموضحة في **الشكل 16b–6**. ولتحديد صورة نقطة من نقاط الجسم يُرسم مرة أخرى شعاعان، وكما ذُكر سابقًا يُرسم الشعاع 1 ساقطًا بموازاة المحور الرئيس وينعكس مارًّا بالبؤرة. أمّا الشعاع 2 فيُرسم من نقطة على الجسم ليصل إلى المرآة، بحيث يمر امتداد هذا الشعاع في البؤرة، وينعكس هذا الشعاع موازيًا المحور الرئيس. تلاحظ أن الشعاعين 1 و2 يتشتّتان عندما ينعكسان عن المرآة، لذا لا يمكن أن يُكوّنا صورة حقيقية، في حين يلتقي امتدادا الشعاعين المنعكسين خلف المرآة مُكوّنين صورة خيالية.

ماذا قرأت؟ ما صفات الصور التي تكوّنها المرايا المقعرة ؟

الشكل 16–6 عند وضع جسم بين البؤرة والمرآة الكروية المقعرة تتكون له صورة مكبّرة ومعتدلة وخيالية خلف المرآة (a)، كما هو موضّح في الشكل (b). ما الصفات الأخرى التي تراها للصورة أيضًا في هذا الشكل؟



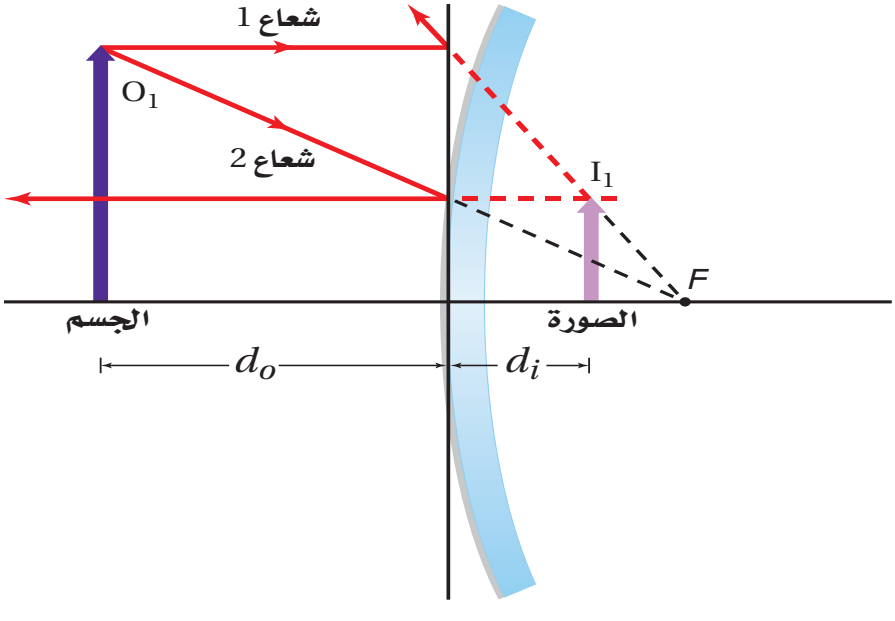
المرايا المحدبة Convex mirrors

عرفت أن السطح الداخلي لملعقة مصقولة يعمل عمل مرآة مقعرة. وإذا قلبت الملعقة فإن السطح الخارجي سيعمل عمل مرآة محدبة. والمرآة المحدبة **Convex mirrors** سطح عاكس حوافه منحنية بعيدًا عن المشاهد. ماذا ترى عندما تنظر إلى ظهر ملعقة؟ سترى صورتك معتدلة ومصغرة.

وخصائص المرآة الكروية المحدبة موضحة في **الشكل 17–6**. فالأشعة المنعكسة عن المرآة المحدبة مُفرّقة دائمًا، لذا تكوِّن المرايا المحدبة صورًا خيالية. وتُسمى المرآة المحدبة **المرآة المفرِّقة Diverging mirror**؛ لأنها تُفرق الأشعة الساقطة عليها. وتكون النقطتان C و F واقعتين خلف المرآة. وستكون قيمتا f، d_i سالبتين دائمًا؛ لأنهما خلف المرآة.

ويبيّن مخطّط الأشعة في **الشكل 17–6** كيفية تكوّن الصورة بواسطة المرآة الكروية المحدبة، فعند أخذ شعاعين من العدد اللانهائي من الأشعة الصادرة عن الجسم فإن الشعاع 1 يسقط على المرآة موازيًا المحور الرئيس، وينعكس عنها، بحيث يمرّ امتداد الشعاع المنعكس في البؤرة F خلف المرآة. ويسقط الشعاع 2 على المرآة بحيث يمرّ امتداده في البؤرة F خلف المرآة، لماذا؟ سيكون كلّ من الجزء المنعكس من الشعاع 2 وامتداد الشعاع 2 المنعكس خلف المرآة موازيين للمحور الرئيس، وسيتفرّق الشعاعان المنعكسان، في حين يلتقي امتداداهما خلف المرآة ليكوّنا صورة خيالية ومعتدلة ومصغرة مقارنة بالجسم.

ماذا قرأت؟ ما صفات الصور التي تكوِّنها المرايا المحدبة؟ وهل تتغير هذه الصفات بتغير بُعد الجسم عن المرآة؟



الشكل 17–6 تُكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورًا خيالية ومعتدلة ومصغرة مقارنة بالجسم.

تجربة

صور المرايا المحدبة

1. **ثبّت** مسطرتين متريتين على أربع دعامات على شكل حرف V، واجعل صفري المسطرتين عند نقطة التقائهما.
2. **ضع** مرآة محدبة معلومة البعد البؤري على حاملها عند نقطة التقاء المسطرتين.
3. **ضع** المصباح (أو الشمعة) على طرف إحدى المسطرتين البعيد عن نقطة التقاء المسطرتين على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري، وضع الشاشة على دعامتها على الطرف البعيد الآخر للمسطرة الثانية. وأطفئ أنوار الغرفة.
4. **أضئ** المصباح، وعدّل وضع المرآة أو المسطرتين، وحرّك الشاشة ببطء إلى الأمام أو الخلف. هل يمكنك تجميع الأشعة المنعكسة على الشاشة.
5. **انظر** من خلال المرآة، هل يمكنك رؤية صورة المصباح فيها. سجّل صفات الصورة المتكوّنة.
6. **حرّك** المصباح في اتجاه المرآة بحيث يصبح على بُعد يساوي ضعف البعد البؤري. هل يُمكنك تجميع الأشعة المنعكسة على الشاشة؟ كرّر الخطوة السابقة.
7. **كرّر** الخطوة السابقة بتحريك المصباح ليصبح قريبًا من البؤرة، ثم في البؤرة، وأخيرًا بين المرآة والبؤرة.

التحليل والاستنتاج

8. ما صفات الصورة التي تكوّنت في كل حالة؟
9. ما مصادر الخطأ في التجربة؟

استخدامات المرايا المحدبة Uses of convex mirrors

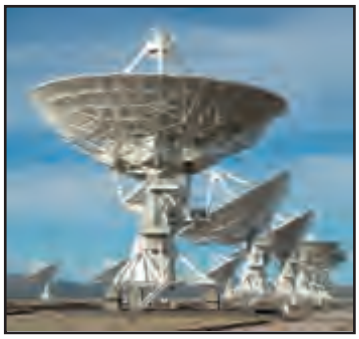
مجال الرؤية Field of view قد يبدو أن استعمالات المرايا المحدبة محدودة بسبب الصور المصغّرة التي تكوّنها للأجسام، إلا أنّ هذه الخاصية جعلت للمرايا المحدبة استخدامات عملية؛ فمن خلال تكوينها صورًا مصغّرة للأجسام تؤدي المرايا المحدبة إلى توسيع المساحة، أو مجال الرؤية، التي يراها المراقب، كما في **الشكل 18–6**. كما أن مركز مجال الرؤية مشاهد من أي زاوية للناظر بالنسبة للمحور الرئيس للمرآة، ومن ثم يكون مجال الرؤية واضحًا بمشهدٍ أوسع. لذا تُستخدم المرايا المحدبة على نحوٍ واسع على جوانب السيارات للرؤية الخلفية.

الشكل 18–6 تكوّن المرايا المحدبة صورًا أصغر من الأجسام، وهذا يزيد من مجال الرؤية للمراقب.

ماذا قرأت؟ ما استخدامات المرايا المحدبة؟

استخدامات المرايا المقعرة Uses of concave mirrors

تعمل المرايا المقعرة على تجميع الأشعة الضوئية والموجات الكهرومغناطيسية؛ حيث تجمع الأشعة المتوازية في البؤرة، لذا فقد تم الاستفادة من هذه المرايا في صناعة أطباق القطع المكافئ – التي على شكل مرآة مقعرة – لاستقبال إشارات التلفاز وموجات الراديو من الأقمار الاصطناعية، وفي محطات الإرسال والاستقبال الإذاعي والتلفزيوني، انظر **الشكل 19–6**. كما استفيد منها في التسخين الشمسي في تجميع الطاقة الشمسية لتسخين المياه. كما تستخدم في تجميع الضوء في التلسكوب الفلكي العاكس.



الشكل 19–6 مستقبل على شكل مرآة مقعرة.

ولأن المرايا المقعرة تعكس الضوء بشكل متوازٍ إذا وُضع مصدر الضوء في بؤرتها، فقد استخدمت في الكشافات الأمامية للسيارات وفي المصابيح اليدوية، حيث تعمل على منع تشتت الضوء وتركيزه أمام السيارة من خلال وضع المصباح في بؤرة العاكس.

كما تستخدم المرايا المقعرة في أثناء الحلاقة أو عند طبيب الأسنان؛ حيث تكوِّن صورًا خيالية مكبرة ومعتدلة للجسم الموضوع بين المرآة وبؤرتها. انظر **الشكل 20–6**.

ماذا قرأت؟ لماذا تكون عاكسات الكشافات الأمامية للسيارات على شكل مرايا مقعرة؟

الشكل 20–6 يستخدم طبيب الأسنان مرآة مقعرة لرؤية الأسنان.

الجدول 1–6

خصائص الصور في مرآة مُفردة

نوع المرآة	f	d_o	d_i	m	الصورة
مستوية	لا يوجد	$d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert = d_o$ (سالب)	الحجم نفسه	خيالية
مقعرة	+	$d_o > r$ **الشكل 6–21a**	$r > d_i > f$	مصغرة ومقلوبة	حقيقية
		$r > d_o > f$ **الشكل 6–21b**	$d_i > r$	مكبرة ومقلوبة	حقيقية
		$f > d_o > 0$ **الشكل 6–21c**	$\lvert d_i \rvert > d_o$ (سالب)	مكبرة ومعتدلة	خيالية
محدبة	–	$d_o > 0$ **الشكل 6–21d**	$\lvert f \rvert > \lvert d_i \rvert > 0$ (سالب)	مصغرة ومعتدلة	خيالية

التكبير Magnification

للمرايا الكروية خاصية التكبير؛ ويُقصد به كم مرّة تكون الصورة أكبر من الجسم أو أصغر منه. والتكبير عمليًّا هو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم، ويُكتب كما يلي:

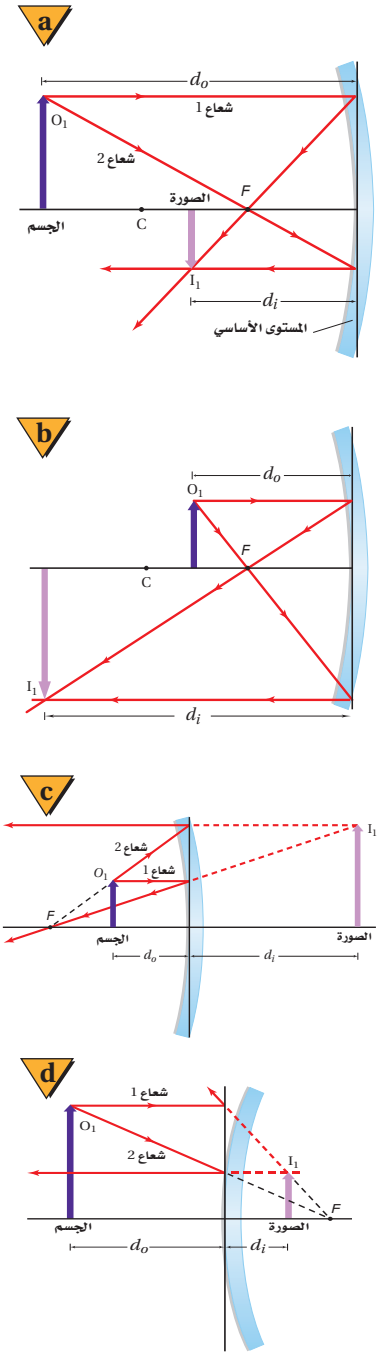
التكبير

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

يُعرّف تكبير مرآة كروية لجسم ما على أنه: طول الصورة مقسومًا على طول الجسم. ويساوي حاصل قسمة سالب بُعد الصورة عن المرآة على بُعد الجسم عن المرآة.

مقارنة المرايا Mirror comparison

كيف تقارن بين الأنواع المختلفة من المرايا؟ يوضِّح **الجدول 1–6** مقارنة بين خصائص أنظمة مرآة مُفردة (أحادية) لأجسام موضوعة على المحور الرئيس للمرآة. وتلاحظ من الجدول أنّ بُعد الصورة الخيالية دائمًا سالب؛ لأنها تقع دائمًا خلف المرآة. وعندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر و 1 تكون الصورة أصغر من الجسم. والتكبير السالب يعني أن الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. لاحظ أيضًا أن المرآة المستوية والمرآة المحدبة تكوِّنان دائمًا صورًا خيالية، في حين تُكوّن المرآة المقعرة صورًا خيالية وصورًا حقيقية. وتعطي المرايا المستوية انعكاسًا واقعيًّا للأشياء، أمّا المرايا المحدبة فتعمل على توسيع مجال الرؤية. وتعمل المرآة المقعرة على تكوين صورة خيالية مكبرة للجسم إذا كان واقعًا بين المرآة وبؤرتها. ويبين **الشكل 6–21** رسومًا تخطيطية توضّح الحالات المختلفة لتكوّن الصور في كل من المرايا المقعرة والمحدبة.



الشكل 6–21 يبين رسومًا تخطيطية توضح الحالات المختلفة لتكوّن الصور في المرايا كما يلي: **(a)** الجسم على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري. **(b)** الجسم بين البؤرة ومركز التكور. **(c)** الجسم بين المرآة وبؤرتها. **(d)** حالة واحدة لتكوّن الصور في المرآة المحدبة مهما كان بُعد الجسم عنها.

6–1 مراجعة

5. **الانعكاس** سقط شعاع ضوئي على سطح مصقول عاكس بزاوية سقوط 80°. ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع سطح المرآة؟

6. **قانون الانعكاس** اشرح كيف يُطبّق قانون الانعكاس في حالة الانعكاس غير المنتظم.

7. **السطوح العاكسة** صنّف السطوح التالية إلى سطوح عاكسة منتظمة (ملساء) وسطوح عاكسة غير منتظمة (خشنة): ورقة، معدن مصقول، زجاج نافذة، معدن خشن، إبريق حليب بلاستيكي، سطح ماء ساكن، زجاج خشن (مصنفر).

8. **صفات الصورة** يقف طفل طوله 50 cm على بُعد 3 m من مرآة مستوية وينظر إلى صورته. ما بُعد الصورة وطولها؟ وما نوع الصورة المتكوّنة؟

9. **مخطّط الصور** إذا كانت سيارة تتبع سيارة أخرى على طريق أفقية، وكان الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية يميل بزاوية 45°، فارسم مخطّطًا للأشعة يبيِّن موقع الشمس الذي يجعل أشعتها تنعكس عن الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية، في اتجاه عيني سائق السيارة الخلفية.

10. **صفات الصورة** إذا كنت تعرف البعد البؤري لمرآة مقعرة، فأين يجب أن تضع جسمًا بحيث تكون صورته مكبّرة ومعتدلة بالنسبة للجسم؟ وهل تكون هذه الصورة حقيقية أم خيالية؟

11. **بُعد الصورة وطولها** وُضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 22.0 cm من مرآة مقعرة، فتكوّنت له صورة على بُعد 26.4 cm منها. ارسم مخطّطًا بمقياس رسم مناسب يبيِّن بُعد الصورة وطولها، واحسب مقدار التكبير.

12. **مخطّط الأشعة** وُضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 14.0 cm من مرآة محدبة بُعدها البؤري 12.0 cm–. ارسم مخطّطًا بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها.

13. **التكبير** وُضع جسم طوله 6.0 cm على بُعد 16.4 cm من مرآة محدبة. فإذا كان طول الصورة المتكوّنة 2.8 cm، فما مقدار تكبير الصورة؟

14. **التفكير الناقد** وضِّح كيف يُمكِّنك الانعكاس غير المنتظم للضوء عن جسم معين من رؤية الجسم عند النظر إليه من أية زاوية.

6–2 الانكسار والتحليل Refraction and Dispersion

معايير الأداء الرئيسة

29.2– 29.5–29.6–29.7

معايير البحث والاستقصاء

1.1 – 1.3 – 1.4 – 1.5 – 1.6 – 1.8 – 3.1 – 3.2 – 3.4 – 4.1 – 4.2

الأهداف

- **تبيّن** أن الضوء ينكسر عند انتقاله من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر مختلف عنه في الكثافة الضوئية.
- **ترسم** مسارات الأشعة الضوئية عند انتقالها بين وسطين شفافين مختلفين.
- **تستخدم** قانون سنل في حل مسائل رياضية.
- **تحسب** معامل انكسار وسط ما بدلالة سرعة الضوء فيه.
- **توضّح** مفهوم الانعكاس الكلي الداخلي.
- **توضّح** مفهوم تحليل الضوء.
- **تفسّر** بعض التطبيقات البصرية المبنية على الانكسار والتشتت والانعكاس الكلي الداخلي.

المفردات

- الانكسار Refraction
- زاوية الانكسار Angle of refraction
- معامل الانكسار Refractive index
- قانون سنل في الانكسار Snell's law of refraction
- الزاوية الحرجة Critical angle
- الانعكاس الكلي الداخلي Total internal reflection
- التحليل Dispersion

يمكنك رؤية انعكاس ضوء الشمس عن الماء عند النظر إلى سطح الماء في بركة سباحة في يوم صيفي. كما يمكنك رؤية الأجسام الموجودة داخل البركة؛ لأن جزءًا من ضوء الشمس يمر إلى داخل الماء، وينعكس عن الأجسام. وعندما تمعن النظر في الأجسام الموجودة داخل الماء تلاحظ أنها تبدو مشوّهة. فمثلاً، تبدو الأشياء التي تحت سطح الماء أقرب من بعدها الحقيقي، كما تبدو قَدَمَا الشخص الواقف في البركة أنهما تتحركان إلى الخلف وإلى الأمام، وتبدو الخطوط التي في قاع البركة تتمايل مع حركة الماء. وتحدث هذه التأثيرات؛ لأن الضوء يغيّر اتجاهه عند مروره من الماء إلى الهواء أو العكس. انظر **الشكل 22–6**.

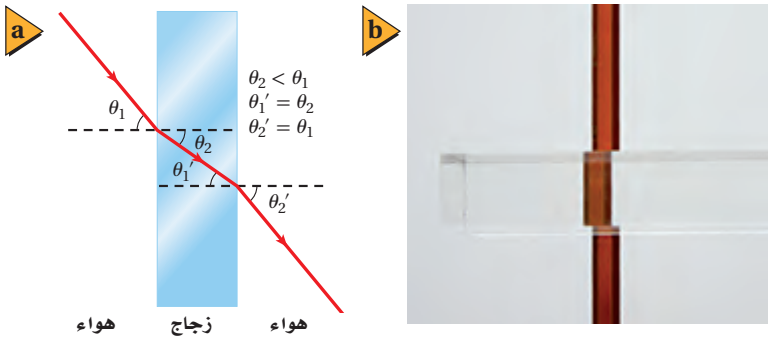
الشكل 22–6 تبدو الأجسام خارج بركة ماء متموجة عند النظر إليها من تحت الماء.

ينحني مسار الضوء عند عبوره الحد الفاصل بين وسطين شفافين بسبب الانكسار. ويعتمد مقدار الانكسار على خصائص الوسطين الشفافين، وعلى الزاوية التي يسقط بها الضوء على الحد الفاصل. ويتحرك الحد الفاصل بين الهواء والماء إلى أعلى وإلى أسفل، ويميل إلى الخلف والأمام أيضًا، عند انتقال الموجات على سطح الماء. وينحرف مسار الضوء الخارج من الماء مع حركة الحد الفاصل، مما يؤدي إلى ظهور الأجسام متموجة تحت سطح الماء.

ما الانكسار؟ ولماذا يحدث؟

What is refraction? and why it happens?

ما الذي يحدث عندما تسقط حزمة ضوء بشكل مائل على سطح قطعة زجاج؟ سينحرف الضوء عن مساره عند عبوره الحد الفاصل بين الهواء والزجاج كما هو موضح في **الشكل 23–6**. ويُسمى انحراف الضوء عن مساره عند انتقاله من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر مختلف عنه في الكثافة الضوئية **الانكسار Refraction**. وقد درس هذه الظاهرة رينيه ديكارت وويلبرورد سنل في زمن كبلر وجاليليو.



الشكل 23–6 ينحرف الضوء مقتربًا من العمود المقام على نقطة السقوط عند انتقاله من الهواء إلى الزجاج، وينحرف مبتعدًا عن العمود المقام عند انتقاله من الزجاج إلى الهواء (a). انحراف الضوء يجعل الأجسام وكأنها مزاحة عن مواقعها الحقيقية (b).

ولمناقشة نتائج هذه الدراسات ينبغي عليك أن تتعرّف زاويتين هما: زاوية السقوط θ_1، وهي الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع الساقط، **وزاوية الانكسار** θ_2 **Angle of refraction**، وهي الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع المنكسر.

ينتقل الضوء في الهواء أو الفراغ بسرعة $3 \times 10^8\ m/s$، وينتقل في الأوساط الشفافة الأخرى بسرعة أقل. فمثلًا سرعة الضوء في الهواء أكبر منها في الماء، وسرعته في الماء أكبر منها في الزجاج. وتكون سرعة الضوء في الوسط الشفاف المتجانس ثابتة. وتُسمى النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ c إلى سرعته في أي وسط آخر v **معامل الانكسار Index of refraction** لذلك الوسط، ويُرمز له بالحرف n، وهو من خصائص المواد الشفافة؛ أي أن:

معامل الانكسار $n = \frac{c}{v}$

معامل انكسار الوسط يساوي سرعة الضوء في الفراغ مقسومة على سرعة الضوء في الوسط.

وبما أن سرعة الضوء في وسط شفاف متجانس تختلف عن سرعته في الأوساط الشفافة الأخرى، فإن لكل وسط متجانس معامل انكسار خاصًّا به. لذا فإن الضوء ينكسر عند انتقاله بين وسطين شفافين مختلفين بسبب اختلاف سرعته فيهما.

وتلاحظ من تعريف معامل الانكسار أنه بدون وحدات، وأن أقل قيمة له هي معامل الانكسار للفراغ أو الهواء وهي 1؛ لأن $v = c$.

ولا يتغير تردد الضوء f عندما يعبر الحد الفاصل بين وسطين شفافين؛ حيث يكون عدد الاهتزازات لكل ثانية التي تصل الحد الفاصل هي نفسها التي تخرج منه وتنتقل خلال وسط الانكسار. لذا يجب أن يقل الطول الموجي للضوء λ عندما تقل سرعة الضوء؛ فيكون الطول الموجي للضوء في أي وسط أقصر منه في الفراغ.

ماذا قرأت؟ ما الانكسار؟ وما سبب حدوثه؟

قانون سنل في الانكسار Snell's law of refraction

وجد سنل في عام 1621 أنه عند مرور الضوء من الهواء إلى وسط شفاف فإن جيب كل زاوية يرتبط بالمعادلة $n = \sin\theta_1 / \sin\theta_2$، وتلاحظ أن معامل الانكسار n يكون مقدارًا ثابتًا يعتمد على المادة، ولا يعتمد على الزوايا. ويبيِّن **الجدول 2–6** معاملات انكسار بعض المواد. ويمكن تعميم معادلة سنل عندما يمر الضوء خلال حدٍّ فاصلٍ بين أي مادتين شفافتين مختلفتين. وتُعرف هذه المعادلة العامة **بقانون سنل في الانكسار Snell's law of refraction**.

قانون سنل في الانكسار $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الأول في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار.

الجدول 2-6

معاملات الانكسار للضوء الأصفر (في الفراغ $\lambda = 589\ nm$)

الوسط	n
الفراغ	1.00
الهواء	1.0003
الماء	1.33
الإيثانول	1.36
زجاج العدسات	1.52
الكوارتز	1.54
الزجاج الصوّاني	1.62
الألماس	2.42

يبيِّن **الشكل 23–6** كيفية تطبيق قانون سنل عندما ينتقل الضوء خلال قطعة زجاج سطوحها متوازية، مثل زجاج النافذة، حيث ينكسر الضوء مرتين؛ مرة عند دخوله إلى الزجاج، ومرة أخرى عند خروجه منه. وعندما ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج، فإنه ينتقل من مادة ذات معامل انكسار قليل إلى مادة معامل انكسارها أكبر؛ أيْ أن $n_1 < n_2$. ولكي تكون المعادلة متساوية الطرفين فإنه يجب أن يكون $\sin\theta_1 > \sin\theta_2$؛ أيْ أن حزمة الضوء تنحرف مقتربة من العمود المقام على السطح.

ويحدث العكس عندما ينتقل الضوء من الزجاج إلى الهواء، حيث يمر من مادة ذات معامل انكسار كبير إلى مادة معامل انكسارها أقل؛ أيْ أن $n_1 > n_2$. وفي هذه الحالة تكون $\sin\theta'_1 < \sin\theta'_2$ ؛ أيْ أن الضوء ينحرف مبتعدًا عن العمود المقام. لاحظ أيضًا أن اتجاه الشعاع عند خروجه من الزجاج هو نفسه كما كان قبل أن يسقط على الزجاج، ولكنه انزاح عن موضعه الأصلي.

أما إذا كانت زاوية سقوط الضوء صفرًا فإن الشعاع الضوئي ينفذ إلى الوسط الثاني دون أن يحدث له انكسار.

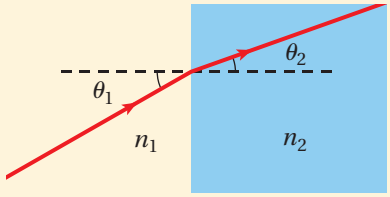
ماذا قرأت؟ **ماذا يحدث للضوء عندما ينتقل من وسط معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره أقل ؟**

مثـــال 2

زاوية الانكسار تسقط حزمة ضوء من الهواء على قطعة من زجاج العدسات بزاوية 30.0°. ما مقدار زاوية الانكسار؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحد الفاصل بين الهواء وزجاج العدسات.
- ارسم مخطّط الأشعة.



المعلوم	المجهول
$\theta_1 = 30.0°$ ، $n_1 = 1.00$ ، $n_2 = 1.52$	$\theta_2 = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم قانون سنل لإيجاد زاوية الانكسار:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$\sin\theta_2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1\right)$$

بالتعويض $n_1 = 1.00$ ، $n_2 = 1.52$ ، $\theta_1 = 30.0°$

$$= \sin^{-1}\left(\left(\frac{1.00}{1.52}\right)\sin 30.0°\right) = 19.2°$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُعبَّر عن الزوايا بالدرجات.
- **هل الجواب منطقي؟** إن معامل الانكسار n_2 أكبر من معامل الانكسار n_1، لذا تكون زاوية الانكسار θ_2 أقل من زاوية السقوط θ_1 .

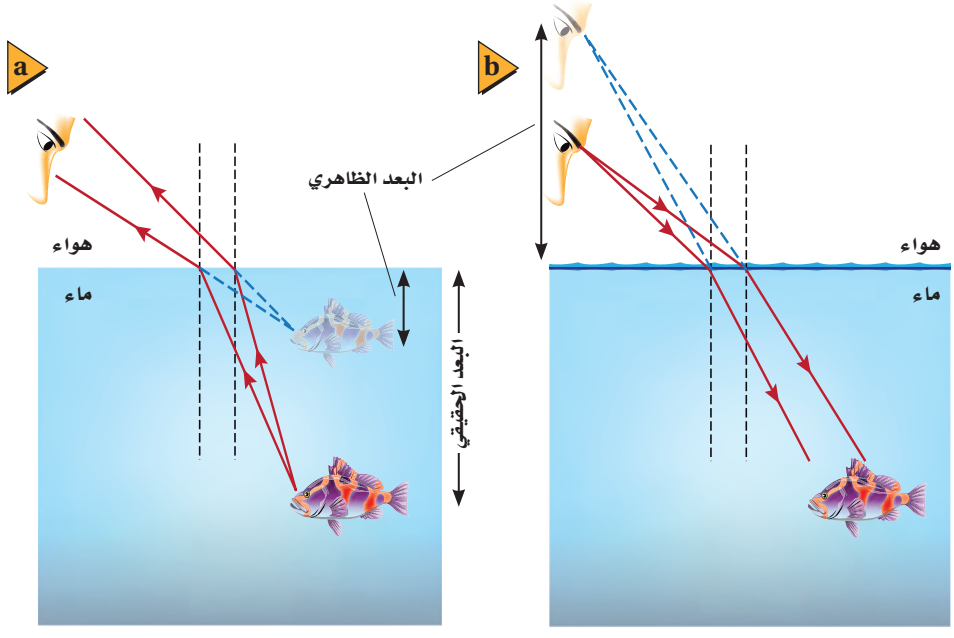
مسائل تدريبية

15. أُسقطت حزمة ليزر في الهواء على إيثانول بزاوية 37.0°. ما مقدار زاوية الانكسار؟ معامل انكسار الإيثانول 1.36
16. ينتقل ضوء في الهواء إلى داخل الماء بزاوية 30.0° بالنسبة للعمود المقام. أوجد مقدار زاوية الانكسار إذا علمت أن معامل انكسار الماء 1.33.
17. غمر قالب من مادة غير معروفة في الماء. أُسقط عليه ضوء بزاوية 31°، فكانت زاوية انكساره في القالب 27°. ما معامل الانكسار للمادة المصنوع منها القالب؟

البعد الحقيقي والبعد الظاهري Actual and apparent depth ينكسر الضوء عند انتقاله من الماء إلى الهواء، لذا تبدو الأجسام المغمورة تحت الماء عند مواقع غير حقيقية نتيجة الانكسار، حيث تظهر هذه الأجسام على بُعد ظاهري أقل من بُعدها الحقيقي. ولمعرفة كيف يحدث ذلك انظر إلى **الشكل 24–6**، الذي يوضح كيف يرى الشخص والسمكة كل منهما الآخر. يوضِّح **الشكل 24a–6** أن الضوء المنعكس عن السمكة ينتقل خلال الماء، وعندما يسقط على الحد الفاصل بين الماء والهواء ينكسر مبتعدًا عن العمود المقام؛ لأن معامل انكسار الماء أكبر. ويرى الشخص السمكة على امتداد الشعاع الواصل إلى عينيه، لذا فإنه يرى السمكة على بُعد أقل من بُعدها الحقيقي.

أما **الشكل 24b–6** فيوضّح كيف ترى السمكة الشخص على بُعد أكبر من بُعده الحقيقي؛ حيث تنكسر الأشعة المنعكسة عن الشخص عندما تسقط على الحد الفاصل بين الهواء والماء مقتربة من العمود المقام. وترى السمكة الشخص على امتداد الشعاع الواصل إلى عينيها، ويبدو لها على بُعد أكبر من بُعده الحقيقي.

ماذا قرأت؟ لماذا نرى الأجسام التي في الماء على بُعد أقل من بُعدها الحقيقي؟



الشكل 24–6 تبدو السمكة قريبة من سطح الماء لمُراقب يُشاهدها في الهواء، بينما ترى السمكة المُراقب على بُعد أكبر من بعده الحقيقي.

الشكل 6–25 يوضح كيفية انكسار أشعة الشمس في طبقات الغلاف الجوي

لماذا نرى الشمس قبل شروقها وبعد غروبها؟ Why we see the sun's image before sunrise and after sunset? نرى قرص الشمس قبل شروق الشمس، كما أننا نراه بعد غيابها؛ وذلك بسبب انكسار أشعة الشمس في الغلاف الجوي. يوضح **الشكل 6–25** كيفية انكسار أشعة الشمس في طبقات الغلاف الجوي، حيث تختلف كثافة طبقات الغلاف الجوي، وبالتالي تختلف معاملات انكسارها؛ حيث تزداد معاملات انكسار طبقات الغلاف الجوي تدريجيًّا بالانتقال من أعلى الغلاف الجوي إلى أسفله. وتبعًا لذلك تنكسر أشعة الشمس في الغلاف الجوي مقتربة من العمود المقام. وعند وصول الأشعة المنكسرة إلى عين المشاهد، فإنه يرى الشمس على امتداد الشعاع الواصل إلى عينه، لذا يرى الشمس في موقع ظاهري أعلى من موقعها الحقيقي، أي أن الشمس ترى قبل شروقها. وبالمثل يحدث وقت الغروب.

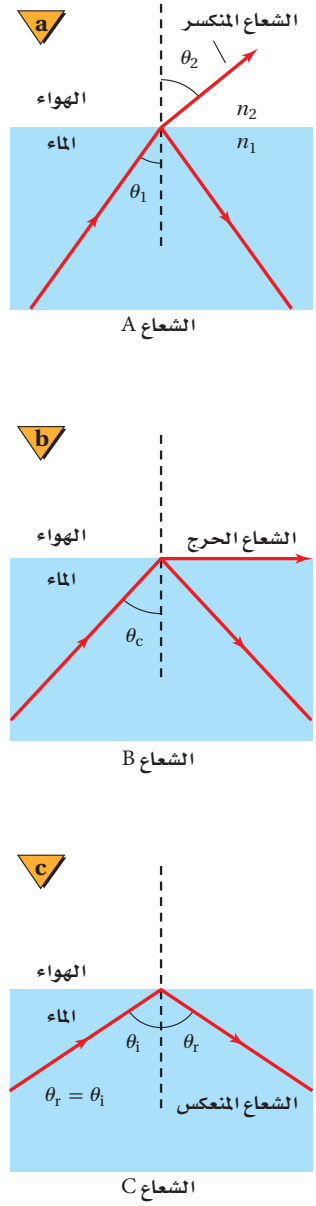
الانعكاس الكلي الداخلي Total internal reflection

عندما ينتقل الضوء إلى وسط معامل انكساره أقل تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط، كما يبيِّن **الشكل 6–26a**. ومع زيادة زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار، وعند زاوية سقوط معينة تُسمى **الزاوية الحرجة Critical angle** θ_c ينكسر الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسطين، وتكون زاوية الانكسار $90.0°$، كما يبيِّن **الشكل 6–26b**.

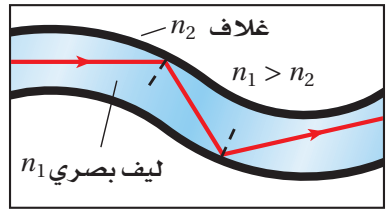
وعندما تصبح زاوية السقوط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية (معامل انكسار) أكبر من الزاوية الحرجة، يرتدّ الضوء عن الحد الفاصل إلى وسط السقوط نفسه، وتسمى هذه الظاهرة **الانعكاس الكلي الداخلي Total internal reflection** وأهم ما يميز الانعكاس الكلي الداخلي هو أن الضوء ينعكس بصورة كاملة إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر، كما يبيِّن **الشكل 6–26c**. وتستطيع استخدام قانون سنل لإيجاد معادلة للزاوية الحرجة لأي حد فاصل، وذلك بتعويض $\theta_1 = \theta_c$ و $\theta_2 = 90.0°$.

الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي $\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$

جيب الزاوية الحرجة يساوي معامل انكسار وسط الانكسار مقسومًا على معامل انكسار وسط السقوط.



الشكل 6–26 انكسر الشعاع A جزئيًّا، وكذلك انعكس جزئيًّا (**a**). انكسر الشعاع B على امتداد الحدّ الفاصل بين الوسطين عندما سقط بزاوية تساوي الزاوية الحرجة (**b**). زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى حدوث انعكاس كلي داخلي للشعاع C، والذي يتبع قانون الانعكاس (**c**).



الشكل 27–6 تدخل نبضات الضوء من مصدر ضوء إلى أحد طرفي الليف الضوئي. وفي كل مرة يصطدم فيها الضوء بالسطح، تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، لذا يبقى الضوء داخل الليف.

يؤدي الانعكاس الكلي الداخلي إلى بعض التأثيرات الغريبة. افترض أنك تغوص في بركة ماء ساكن، وتنظر إلى أعلى سطح الماء، فإنك قد ترى انعكاسًا مقلوبًا لجسم آخر قريب موجود أسفل الماء، أو قد ترى انعكاسًا لقاع البركة نفسها؛ إذ يعمل سطح الماء عمل المرآة. وكذلك عندما تقف بجانب بركة فإنه يمكن ألا ترى الأشياء الموجودة أسفل سطح الماء. فعندما يسبح شخص تحت الماء بالقرب من السطح وفي الجهة المقابلة لك من البركة، فإنك قد لا تراه؛ وذلك لأن الضوء القادم من جسمه ينعكس إلى الأسفل، ليرتد إلى داخل البركة.

الألياف الضوئية Optical fibers تعد الألياف الضوئية أو البصرية تطبيقًا تقنيًّا مهمًّا للانعكاس الكلي الداخلي. وهي أنابيب زجاجية أو بلاستيكية تُصنع من مواد شفافة ذات معامل انكسار أكبر من معامل انكسار مادة غلاف الليف، وتكون رفيعة جدًّا بحيث يسقط الضوء الذي ينتقل خلال الليف الضوئي على السطح الداخلي له دائمًا بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، لذا ينعكس الضوء انعكاسًا كليًّا داخليًّا فلا ينفذ أي جزء منه خلال الحد الفاصل انظر **الشكل 27–6**. ولذلك يحافظ الضوء على شدته على طول المسافة التي يمتدها الليف البصري مهما بلغت، وبهذا يمكن نقل الضوء بشكل متعرِّج إلى أماكن لا يستطيع الضوء الذي يسير في خطوط مستقيمة الوصول إليها.

وقد تم الاستفادة من هذه التقنية في مجال الطب في المناظير الطبية التي تستخدم في إجراء العمليات الجراحية الدقيقة ورؤية أجزاء الجسم الداخلية. كما تم الاستفادة من هذه التقنية في مجالات الاتصالات السلكية ونقل المعلومات والإنترنت بدلًا من الطرق التقليدية في نقلها بواسطة التيارات الكهربائية أو الموجات اللاسلكية، حيث تمتاز تقنية الألياف الضوئية بسرعة نقل الإشارات الضوئية وبكفاءة أعلى؛ فمثلًا يمكنها نقل عدد كبير جدًّا من المكالمات الهاتفية وإشارات الحاسوب لمسافات بعيدة من دون الحاجة إلى محطات تقوية.

ماذا قرأت؟ ما الألياف الضوئية؟ وما مبدأ عملها؟

السراب Mirages ترى أحيانًا في يوم صيفي حار تأثير السراب المبيَّن في **الشكل 28a–6**. فعندما تقود سيارتك على طريق ترى ما يبدو كأنه انعكاس للسيارة القادمة في بركة ماء، وتختفي البركة عندما تصل إليها، لماذا؟ يتكون السراب نتيجة تسخين الشمس للطريق؛ إذ تُسخِّن الطريق الحارة الهواء فوقها، وتنتج طبقة حرارية من الهواء تؤدي إلى انحراف الضوء المنتقل في اتجاه الطريق تدريجيًّا إلى أعلى؛ مما يجعل الضوء يبدو قادمًا من انعكاس في بركة، كما في **الشكل 28b–6**.

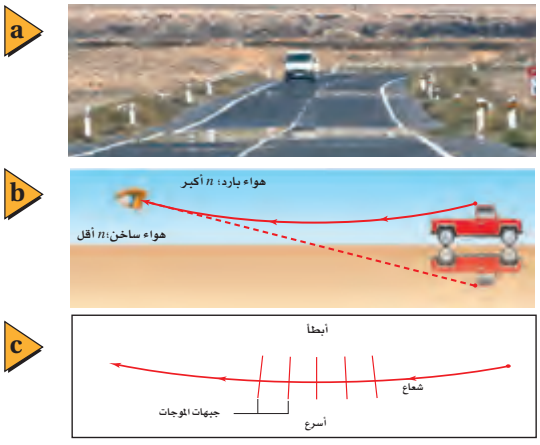
تجربة

الزاوية الحرجة

1. **ارسم** دائرة على ورقة بيضاء وقسِّمها إلى أربعة أقسام متساوية، واستخدم المنقلة لتقسيم كل جزء إلى درجات من $0°$ إلى $90°$.
2. **ضع** قرصًا زجاجيًّا على شكل نصف دائرة فوق الدائرة التي رسمتها في الخطوة 1، بحيث ينطبق مركز القرص على مركز الدائرة.
3. **عتِّم** الغرفة، وأسقط شعاعًا ضوئيًّا من الصندوق الضوئي على الجهة الدائرية للقرص باتجاه مركزه. سجِّل مقدار كل من زاوية السقوط وزاوية الانكسار.
4. **زِد** مقدار زاوية السقوط تدريجيًّا حتى تصبح زاوية الانكسار في الهواء $90°$، وسجِّل مقدار زاوية السقوط هذه على أنها الزاوية الحرجة، θ_c.
5. **زِد** مقدار زاوية السقوط لتصبح أكبر من θ_c. سجِّل ملاحظاتك.

التحليل والاستنتاج

6. **احسب** معامل انكسار مادة القرص.
7. **احسب** مقدار الزاوية الحرجة باستخدام قانون سنل، وقارنها بالزاوية التي سجَّلتها عمليًّا. هل هما متطابقتان؟ فسِّر إجاباتك.
8. ماذا حدث للشعاع المنكسر عندما أصبحت زاوية السقوط أكبر من θ_c؟ وماذا تسمى هذه الظاهرة؟



■ **الشكل 28–6** سراب يُرى على سطح الطريق (a). ينحرف الضوء القادم من السيارة إلى أعلى في اتجاه عين المشاهد (b). يتحرك قاع جبهة الموجة أسرع من قمتها (c).

ويبيِّن **الشكل 28c–6** كيف يحدث هذا؛ فعندما ينتقل الضوء من جسم بعيد إلى أسفل نحو الطريق، فإن معامل انكسار الهواء يقل بسبب سخونة الهواء القريب من سطح الأرض، ويكون تغير درجة الحرارة تدريجيًّا. وفي السراب تنتقل جبهات الموجات القريبة من سطح الأرض أسرع من تلك التي في الأعلى، مما يؤدي إلى انحراف جبهات الموجات تدريجيًّا إلى أعلى. وتحدث ظاهرة مشابهة تُسمّى السراب القطبي؛ عندما يبدو انعكاس قارب بعيد فوق القارب نفسه، حيث يُبقي الماء الهواء القريب من سطحه باردًا.

تفريق (تحليل) الضوء Dispersion of light

تتحدّد سرعة الضوء في وسط ما من خلال التفاعلات بين الضوء وذرات الوسط. وتعرف من دراستك السابقة أن درجة الحرارة والضغط يرتبطان بطاقة الجسيمات على المستوى الذري، لذا تتغير سرعة الضوء، ويتغير تبعًا لذلك معامل الانكسار للوسط الغازي قليلاً مع تغيّر درجة الحرارة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن سرعة الضوء ومعامل الانكسار يختلفان للأطوال الموجية المختلفة في الوسط نفسه.

يتحلل الضوء الأبيض إلى طيف من الألوان عند مروره خلال منشور زجاجي، كما يبيِّن **الشكل 29a–6**، حيث تُسمى هذه الظاهرة **التحليل Dispersion**. وإذا نظرت بدقة إلى الضوء الذي يمر خلال المنشور، فستلاحظ أن اللون البنفسجي ينكسر أكثر من اللون الأحمر، كما يبيِّن **الشكل 29b–6**؛ وهذا يحدث لأن سرعة الضوء البنفسجي خلال الزجاج أقل من سرعة الضوء الأحمر؛ حيث إن تردّد الضوء البنفسجي أكبر من تردد الضوء الأحمر، مما يجعله يتفاعل بصورة مختلفة مع ذرات الزجاج، وهذا يؤدي إلى جعل معامل انكسار الزجاج للضوء البنفسجي أكبر منه للضوء الأحمر.

ماذا قرأت؟ لماذا يحدث تحليل للضوء الأبيض عند مروره خلال منشور زجاجي؟

■ **الشكل 29–6** يسقط ضوء أبيض على منشور، فيتحلل إلى حزم من ألوان مختلفة (a). وتنحرف الألوان المختلفة من الضوء بدرجات مختلفة عند عبورها وسط ما (b).

تجربة

تحليل اللون الأبيض

1. **أسقط** بزاوية شعاع ضوء أبيض من الصندوق الضوئي على أحد جوانب منشور.
2. ضع ورقة بيضاء في الجهة المقابلة لسقوط الضوء، وسجّل ملاحظاتك.
3. **دوِّر** المنشور وغيِّر زاوية سقوط الضوء عليه، وسجّل ملاحظاتك.
4. استمر في تدوير المنشور مع تغيير الجانب الذي يسقط عليه الضوء، وسجّل ملاحظاتك.

التحليل والاستنتاج

5. **ماذا** حدث للضوء الأبيض بعد خروجه من المنشور؟ ولماذا؟
6. أيُّ الألوان انكسر بزاوية أكبر من غيره؟ ولماذا؟
7. رتّب ألوان الطيف بحسب معاملات انكسارها.
8. ارسم مخطّطًا يوضّح الشعاع الساقط والمنشور وألوان الأشعة الخارجة من المنشور بالترتيب.
9. **ماذا** حدث عند تدوير المنشور في الخطوة 4؟

ومن التطبيقات البصرية على الانكسار والتشتت والتحليل:

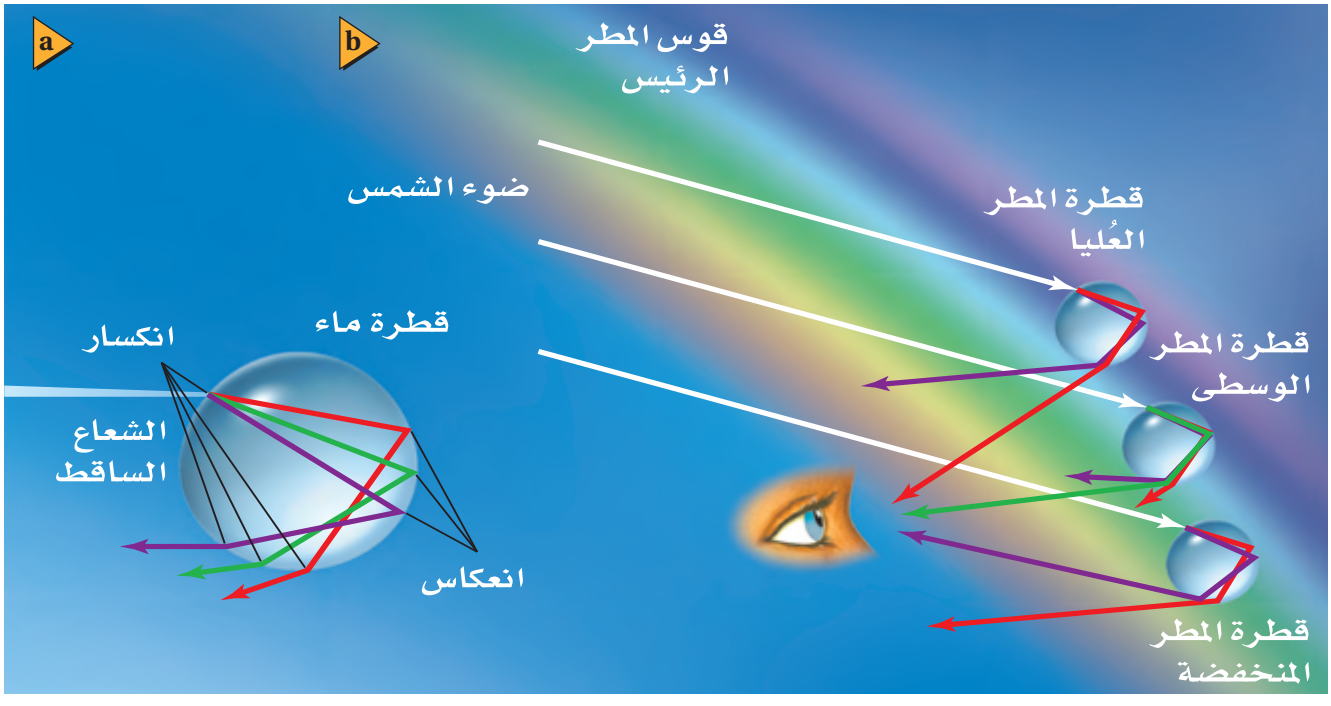
الربط مع الفلك

الخسوف الأحمر للقمر Red lunar eclipse of the moon يرجع اللون الأحمر للقمر خلال مرحلة خسوفه إلى الانكسار؛ إذ يحدث خسوف القمر عندما تحجب الأرض ضوء الشمس عن القمر. ونتيجة لهذا، قد تتوقع أن يصبح القمر معتمًا تمامًا، ولكن ما يحدث هو أن الضوء ينكسر خلال الغلاف الجوي للأرض، وينحرف حول الأرض في اتجاه القمر. ولأن الغلاف الجوي للأرض يشتّت معظم الضوء الأزرق والأخضر؛ لذا ينير اللون الأحمر أغلب القمر. وبما أن القمر يعكس معظم ألوان الضوء بالدرجة نفسها، فإنه يعكس الضوء الأحمر إلى الأرض، فيظهر القمر باللون الأحمر. انظر **الشكل 30–6**.

■ **الشكل 30–6** يظهر القمر باللون الأحمر في أثناء الخسوف؛ نتيجة تشتت ضوء الشمس في الغلاف الجوي للأرض.

قوس المطر Rainbow المنشور ليس الوسيلة الوحيدة لتحليل الضوء الأبيض إلى ألوانه، فقوس المطر طيف يتشكّل عندما يتحلل ضوء الشمس بفعل قطرات الماء في الغلاف الجوي. وينكسر ضوء الشمس الساقط على قطرات الماء، حيث ينكسر كل لون بزاوية انكسار مختلفة قليلاً؛ بسبب اختلاف معامل انكسار الماء لألوان الضوء الأبيض، فيحدث تحليل الضوء، كما هو موضّح في **الشكل 31a–6**. ويحدث انعكاس داخلي لبعض الضوء على السطح الخلفي للقطرة. وعند خروج الضوء من القطرة يحدث له انكسار مرة أخرى. وعلى الرغم من أن كل قطرة تنتج طيفًا كاملاً إلا أن المراقب الموجود بين الشمس والمطر سيرى من كل قطرة طولاً موجيًا معينًا للضوء فقط؛ حيث يعتمد الطول الموجي على المواقع النسبية للشمس، والقطرة، والمراقب، كما يبيّن **الشكل 31b–6**. وسيظهر طيف كامل؛ لأنه يوجد الكثير من القطرات في السماء. وستصنع القطرات التي تعكس الضوء الأحمر زاوية 42° بالنسبة لأشعة الشمس؛ في حين تصنع القطرات التي تعكس الضوء الأزرق زاوية 40°.

■ **الشكل 31–6** يتشكّل قوس المطر، بسبب تحلّل الضوء الأبيض عند دخوله الحد الفاصل وانعكاسه عن الحد الفاصل الداخلي، وخروجه من قطرات المطر (a). يصل لون واحد فقط إلى المراقب من كل قطرة مطر بسبب التحليل (b).



■ **الشكل 32–6** يسمح وجود الضباب خلال رؤيتك للضوء المشتمل على الطيف الكامل للألوان بأن يصل إلى عينيك على صورة قوس مطر. وقد يمكّنك الانعكاس عن قطرات المطر أحيانًا من رؤية قوس مطر آخر بألوان معكوسة الترتيب.

قد ترى أحيانًا قوس مطر ثانيًا باهتًا، كما في **الشكل 32–6**. ويقع قوس المطر الثاني خارج الأول، كما يكون باهتًا، وله ترتيب ألوان معكوس. وينتج هذا التأثير بسبب انعكاس أشعة الضوء مرتين في داخل قطرة الماء. وقد يظهر قوس مطر ثالث خارج الاثنين، ولكن بصورة نادرة جدًّا. ما توقعك حول عدد مرات انعكاس الضوء في قطرة الماء وترتيب ظهور الألوان لقوس المطر الثالث؟

ماذا قرأت؟ ما سبب تكوّن قوس المطر؟

لون السماء Color of the sky تظهر السماء خلال النهار باللون الأزرق؛ وذلك بسبب تشتت ضوء الشمس خلال مروره بالغلاف الجوي للأرض؛ حيث تعمل جزيئات الهواء والجسيمات العالقة في الغلاف الجوي – مثل الغبار والدخان والأتربة وقطرات الماء – على تشتيت الضوء الأزرق ذي الطول الموجي الأقصر بمقدار أكبر من تشتيتها للضوء الأحمر ذي الطول الموجي الأكبر؛ وذلك لأن تشتت الضوء يتناسب عكسيًّا مع الطول الموجي لموجات الضوء. فموجات الضوء ذات الطول الموجي القصير – وهي البنفسجي والنيلي

■ **الشكل 33–6** تظهر السماء باللون الأزرق خلال النهار؛ بسبب تشتت ضوء الشمس في الغلاف الجوي.

تجربة

تشتت اللون الأزرق

1. املأ حوضًا زجاجيًّا بالماء، وأضف إليه عدة قطرات من الحليب أو الصابون السائل.
2. عتّم الغرفة، ثم سلّط ضوءًا أبيض بشكل أفقي على الحوض من أحد جوانبه.
3. انظر إلى الحوض من جهة خروج الشعاع، ومن جانبيه الآخرين. وسجّل ما تشاهده.

التحليل والاستنتاج

4. ما اللون الذي ظهر به جانبا الحوض؟ فسّر ذلك.
5. ما اللون الذي ظهرت به جهة خروج الشعاع؟ فسّر ذلك.

والأزرق – تشتَّت بمقدار أكبر من تشتت موجات الضوء ذات الطول الموجي الكبير، وهي البرتقالي والأصفر والأحمر، انظر **الشكل 33–6**.

أما خلال وقتي الشروق والغروب، فإن الضوء ينتقل مسافة أطول خلال الغلاف الجوي، مما يعمل على تشتت الضوء الأزرق بمقدار كبير بحيث لا يصل إلينا، لذا تظهر السماء باللون الأصفر إذا كان الهواء نظيفًا ولا توجد به ملوِّثات. أما إذا كان الهواء ملوّثًا بجسيمات دقيقة من ملوّثات طبيعية أو صناعية، فتظهر السماء باللون الأحمر. وتظهر السماء باللون البرتقالي خلال الشروق والغروب عند مشاهدتها فوق البحار أو المحيطات؛ وذلك لوجود جسيمات الملح في الهواء فوقها، انظر **الشكل 34–6**.

الشكل 34–6. صورة للسماء باللون البرتقالي في أثناء الغروب.

ماذا قرأت؟ **لماذا يظهر لون السماء خلال النهار بلون مختلف عنه في أثناء الشروق والغروب؟**

6–2 مراجعة

18. **معامل الانكسار** عند نفاذ الضوء من الماء إلى سائل معين، فإنه ينحرف مقتربًا من العمود المقام، ولكن عند نفاذ الضوء من زجاج العدسات إلى السائل نفسه، فإنه ينحرف مبتعدًا عن العمود المقام. ما الذي تستنتجه عن معامل انكسار السائل؟
19. **معامل الانكسار** سقط شعاع ضوئي في الهواء بزاوية 30.0° على قالب من مادة غير معروفة، فانكسر فيها بزاوية 20.0°. ما معامل انكسار المادة؟
20. **سرعة الضوء** هل يمكن أن يكون معامل الانكسار أقل من 1؟ وما الذي يعنيه هذا بالنسبة لسرعة الضوء في ذلك الوسط؟
21. **الانعكاس الكلي الداخلي** إذا توافر لديك الكوارتز وزجاج العدسات لتصنع ليفًا ضوئيًّا، فأيّهما تستخدم لطبقة الغلاف؟ ولماذا؟ (معامل انكسار الكوارتز 1.54، ومعامل انكسار زجاج العدسات 1.52).
22. **سرعة الضوء** ما سرعة الضوء في الكلوروفورم $(n=1.51)$؟
23. **زاوية الانكسار** تعبر حزمة ضوئية الماء $(n=1.33)$ إلى داخل البولي إيثيلين $(n=1.50)$. فإذا كانت $\theta_i=57.5°$، فما قياس زاوية الانكسار في البولي إيثيلين؟
24. **الزاوية الحرجة** هل هناك زاوية حرجة للضوء المنتقل من الزجاج إلى الماء، وللضوء المنتقل من الماء إلى الزجاج؟ (معامل انكسار الزجاج 1.52، ومعامل انكسار الماء 1.33).
25. **التشتت** لماذا تستطيع رؤية صورة الشمس فوق الأفق تمامًا عندما تكون الشمس نفسها قد غابت فعلاً؟
26. **التفكير الناقد** في أيِّ اتجاه تستطيع رؤية قوس المطر في مساء يوم ماطر؟ وضّح إجابتك.

6–3 العدسات وتصحيح البصر Lenses and vision correction

معايير الأداء الرئيسة

29.3– 29.8

معايير البحث والاستقصاء

1.1 – 1.3 – 1.8 – 2.1 – 2.3 –
3.4 – 4.1 – 4.2

الأهداف

- **تصف** كيف تتكون الصور الحقيقية والخيالية بواسطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة على الترتيب.
- **تعيّن** موقع الصور المتكوّنة بواسطة العدسات بالطريقة الهندسية.
- **توضّح** كيف يمكن تقليل الزوغان اللّوني.
- **تصف** كيف تُجمِّع العين الضوء لتكوّن الصور.
- **توضّح** المقصود بكل من: قصر النظر وطول النظر، وكيف تُصحِّح عدسات النظارات هذه العيوب.
- **تصف** الأنظمة البصرية في بعض الأدوات البصرية الشائعة.

المفردات

- العدسة Lens
- العدسة المحدبة Convex lens
- العدسة المجمِّعة Converging lens
- المحور الرئيس Principal axis
- العدسة المقعرة Concave lens
- العدسة المفرِّقة Diverging lens
- التكبير Magnification
- صورة حقيقية Real image
- صورة خيالية Virtual image
- مقلوب Inverted

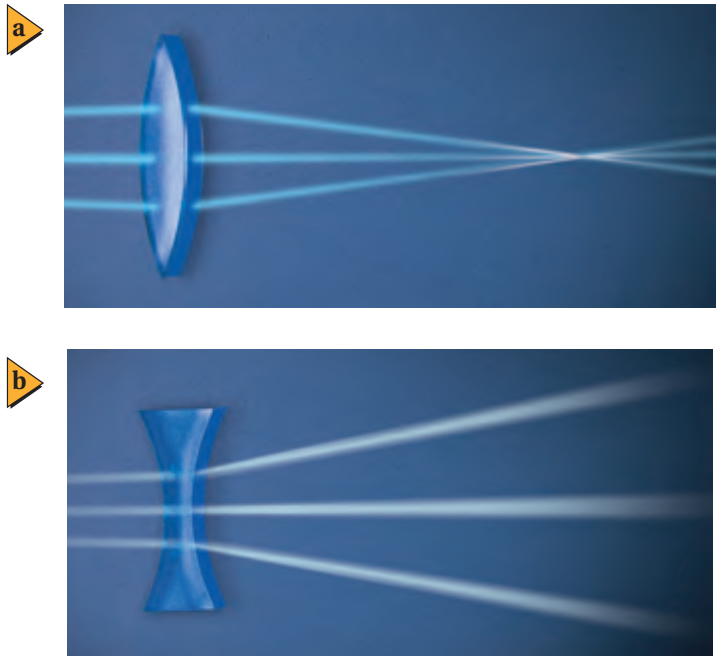
يكون انكسار الضوء في الطبيعة جميلاً؛ إذ ينتج عنه قوس المطر والخسوف الأحمر للقمر. وهناك فوائد كثيرة للانكسار في حياتنا؛ فقد كتب الفيزيائي الفرنسي برنارد أوف جوردون عام 1303 حول استخدام العدسات لتصحيح النظر. واستخدم جاليليو عام 1610 عدستين؛ لصنع التلسكوب الذي اكتشف بواسطته أقمار المشتري. واستُخدمت العدسات منذ زمن جاليليو في أجهزة عديدة، منها الميكروسكوبات وآلات التصوير. وقد تكون العدسات أكثر الأدوات البصرية فائدة.

أنواع العدسات Types of lenses

العدسة Lens قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تُستخدم في تجميع الضوء أو تفريقه وتكوين الصور. ويمكن أن يكون أي سطح من سطحي العدسة منحنيًا أو مستويًا. وقد تكون العدسات أسطوانية الشكل؛ وهي تلك التي تشكِّل جزءًا من أسطوانة شفافة، وقد تكون محدبة أو مقعرة. وتمتاز هذه العدسات بأنها تجمِّع الأشعة الضوئية الساقطة عليها على امتداد محورها؛ حيث إن لها خطًّا بؤريًّا موازيًا لمحور العدسة وليس نقطة بؤرية. انظر **الشكل 35–6**.

والنوع الآخر الأكثر انتشارًا هو العدسات الكروية؛ وهي تلك المصنوعة من مادة شفافة محصورة بين سطحين كرويين، ومن أشكالها: محدبة الوجهين (محدبة)، ومستوية محدبة، ومحدبة مقعرة (هلالية)، ومقعرة الوجهين (مقعرة)، ومستوية مقعرة. وهذا النوع من العدسات له بؤرة، حيث تُجمِّع بعضها الأشعة المتوازية الساقطة عليها في نقطة واحدة (البؤرة)، وبعضها الآخر يحرف هذه الأشعة المتوازية بحيث تبدو خارجة من نقطة معينة (البؤرة). وسندرس هنا العدسات الكروية.

الشكل 35–6. بعض أشكال العدسات الأسطوانية.



الشكل 36–6 تعمل العدسة المحدبة على تجميع أشعة الضوء (a). أمّا العدسة المقعرة فتفرّق أشعة الضوء (b).

وتُسمّى العدسة التي في **الشكل 36a–6 عدسة محدبة Convex lens**؛ لأنها أكثر سمكًا عند الوسط مما عند الأطراف، وتُسمّى أيضًا **العدسة المجمِّعة Converging lens**؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمادةٍ معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة، فإنها تعمل على تجميع الأشعة الضوئية الساقطة عليها متوازية وموازية **للمحور الرئيس Principal axis** في نقطة واحدة بعد انكسارها. وتُسمّى العدسة التي في **الشكل 36b–6 عدسة مقعرة Concave lens**؛ لأنها أدقّ وأرقّ عند الوسط مما عند الطرفين، وتُسمّى أيضًا **العدسة المفرِّقة Diverging lens**؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة، فإنها تعمل على تفريق أشعة الضوء الساقطة عليها متوازية بعد انكسارها.

عندما يمر الضوء خلال عدسة يحدث الانكسار عند سطحيها. ويمكنك التنبؤ بمسار الأشعة المارة خلال العدسات باستخدام قانون سنل والهندسة. ولتسهيل مثل هذه المسائل افترض أن الانكسار يحدث كاملاً في مستوى يُسمّى المستوى الأساسي، يمر في مركز العدسة وطرفيها. ويُسمّى هذا التقريب نموذج العدسة الرقيقة، والذي سيطبق على العدسات جميعها التي تدرسها في هذا القسم.

ماذا قرأت؟ ما الفرق بين عمل العدسة المحدبة والعدسة المقعّرة؟

التكبير Magnification للعدسات الكروية خاصية **التكبير** m، **Magnification**، ويُقصد به كم مرّة تكون الصورة أكبر من الجسم أو أصغر منه. والتكبير عمليًّا هو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم. ويمكن استخدام هندسة تطابق المثلثات لكتابة هذه النسبة بدلالة كلٍّ من بُعد الجسم وبُعد الصورة.

تجربة

أنواع العدسات

1. **احصل** على أنواع مختلفة من العدسات الكروية والأسطوانية.
2. **تفحّص** كل نوع من هذه العدسات، وانظر من خلالها إلى جسم قريب ثم إلى جسم بعيد؛ مرة عندما تكون العدسة قريبة من عينك، ومرة أخرى عندما تكون بعيدة عنها، وسجّل ملاحظاتك.
3. **أسقط** ثلاثة أشعة ضوئية متوازية من الصندوق الضوئي على كل عدسة من هذه العدسات.
4. **قِس** بُعد النقطة التي تجمّعت فيها الأشعة المنكسرة عن العدسة، وإذا لم تُجمِّع العدسة الأشعة فانظر من خلالها إلى الأشعة الساقطة من الصندوق الضوئي، وحدّد بعد النقطة التي تبدو أنها خارجة منها عن العدسة، وسجّل ملاحظاتك.

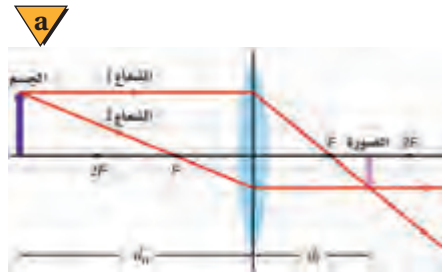
التحليل والاستنتاج

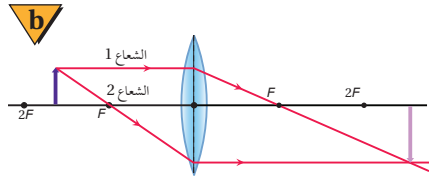
5. ما نوع العدسات التي عملت على تجميع الأشعة الضوئية الساقطة عليها؟
6. ما نوع العدسات التي عملت على تفريق الأشعة الضوئية؟
7. ماذا تُسمّى النقطة التي تجمّعت فيها الأشعة الضوئية بعد انكسارها؟ وماذا تُسمّى المسافة بين هذه النقطة والعدسة؟

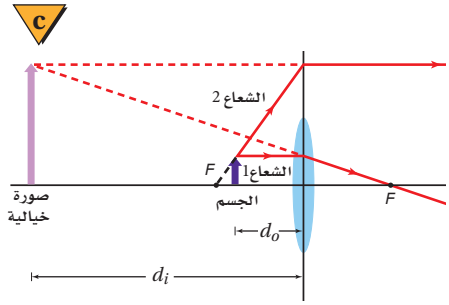
الجدول 3–6

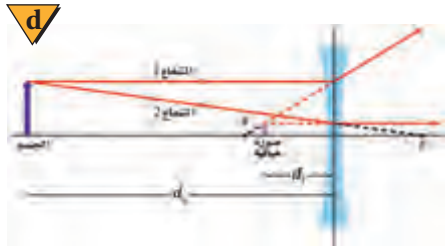
خصائص العدسات الكروية

نوع العدسة	f	d_o	d_i	m	الصورة
محدبة	+	$d_o > 2f$ الشكل 6–37a	$2f > d_i > f$	مصغرة مقلوبة	حقيقية
		$2f > d_o > f$ الشكل 6–37b	$d_i > 2f$	مكبرة مقلوبة	حقيقية
		$f > d_o > 0$ الشكل 6–37c	$\lvert d_i \rvert > d_o$ سالب	مكبرة	خيالية
مقعرة	−	$d_o > 0$ الشكل 6–37d	$\lvert f \rvert > \lvert d_i \rvert > 0$ سالب	مصغرة	خيالية









الشكل 6–37 يبين رسومًا تخطيطية توضح الحالات المختلفة لتكوّن الصور في العدسات المحدبة والمقعرة كما يلي: (a) الجسم على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري. (b) الجسم بين البؤرة ومركز التكور. (c) الجسم بين العدسة وبؤرتها. (d) حالة واحدة لتكوّن الصور في العدسة المقعرة مهما كان بُعد الجسم عنها.

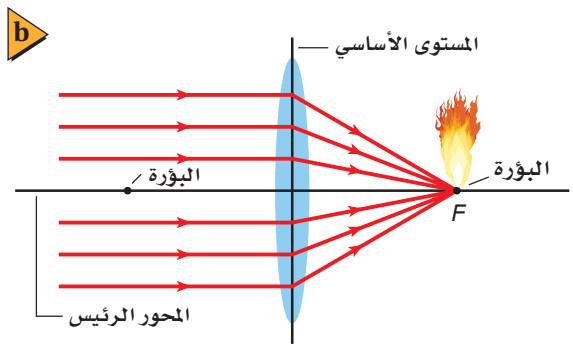
التكبير $m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$

يُعرّف تكبير عدسة كروية لجسم ما على أنه: طول الصورة مقسومًا على طول الجسم. ويساوي حاصل قسمة سالب بُعد الصورة عن العدسة على بُعد الجسم عن العدسة.

من المهم استخدام نظام إشارات مناسب عند استخدام معادلة التكبير. ويبيِّن **الجدول 3–6** مقارنة بين بُعد الصورة، والتكبير، ونوع الصورة المتكوّنة بواسطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة عند وضع الجسم في مواقع متعددة d_o بالنسبة للعدسة. ويبين **الشكل 37–6** رسومًا تخطيطية توضح الحالات المختلفة لتكون الصور في العدسات المحدبة والمقعرة. ولاحظ التشابه بين هذا الجدول **والجدول 1–6** الخاص بالمرايا. وكما في المرايا، فإن المسافة بين المستوى الأساسي للعدسة والبؤرة هي البعد البوري f. ويعتمد البعد البؤري على شكل العدسة ومعامل انكسار مادتها. ويمكن أن تكون الأبعاد البؤرية وأبعاد الصورة سالبة. كما يمكن بواسطة العدسات تكوين **صورة حقيقية Real image**؛ وهي التي تتكون من التقاء الأشعة المنكسرة الخارجة من العدسة، ويمكن جمعها على ستار، ويكون بُعد الصورة موجبًا. كما يمكن تكوُّن **صورة خيالية Virtual image**، وهي التي تتكوّن من التقاء امتدادات الأشعة الضوئية المنكسرة الخارجة من العدسة، ولا يمكن جمعها على ستار.

تكون الصورة الخيالية للعدسات دائمًا في الجانب نفسه الموجود فيه الجسم، مما يعني أن بُعد الصورة سالب. وتكون الصورة أصغر من الجسم عندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر وواحد. في حين تمثّل القيمة المطلقة للتكبير التي تكون أكبر من واحد، الصور الأكبر من الأجسام. أما التكبير السالب فيعني أن الصورة **مقلوبة Inverted** بالنسبة للجسم. لاحظ أيضًا أن العدسة المقعرة تنتج صورًا خيالية فقط، في حين تنتج العدسة المحدبة صورًا حقيقية أو خيالية.

ماذا قرأت؟ ما الفروق بين الصور الحقيقية والصور الخيالية؟



■ **الشكل 38–6** يمكن استخدام عدسة مجمّعة لحرق ألياف خشبية (a). يتجمّع الضوء الداخل بصورة موازية للمحور الرئيس عند بؤرة العدسة، ولذا تتركز الطاقة الشمسية (b).

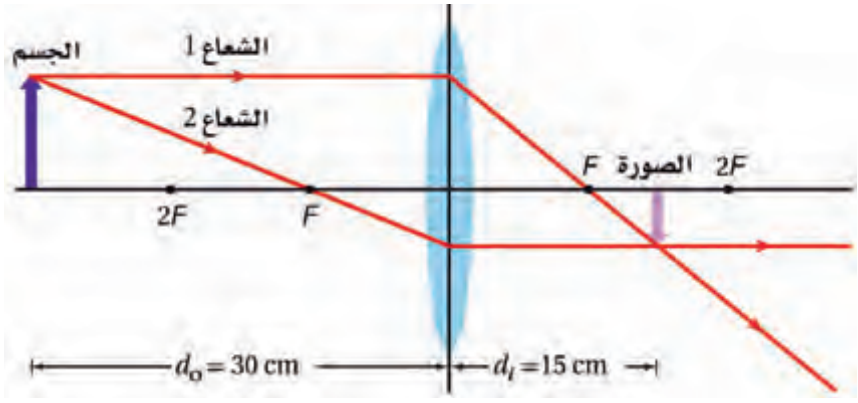
العدسات المحدّبة والصور الحقيقية

Convex lenses and real images

يمكن إشعال ورقة أو ألياف خشبية ـ كما في **الشكل 38a–6** ـ بتكوين صورة للشمس عليها. تذكر من خلال دراستك السابقة أن أشعة الشمس تصل إلى الأرض بصورة متوازية تقريبًا. وتتجمّع الأشعة بعد انكسارها بواسطة العدسة عند البؤرة *F* للعدسة. و**الشكل 38b–6** يبيّن نقطتين بؤريتين، واحدة في كل جانب من جوانب العدسة، وإذا دوّرت العدسة حول نفسها، فإنها ستعمل بالطريقة نفسها.

مخطّط الأشعة Ray diagram وفقًا لمخطّط الأشعة، الموضّح في **الشكل 39–6**، ستحتاج إلى استخدام شعاعين فقط لتحديد موقع صورة نقطة على جسم؛ إذ يكون الشعاع 1 موازيًا للمحور الرئيس، وينكسر مارًّا بالنقطة *F* في الجانب الآخر للعدسة. ويمرّ الشعاع 2 بالنقطة *F* في طريقه إلى العدسة، ويكون مساره بعد الانكسار موازيًا للمحور الرئيس، حيث يتقاطع الشعاعان عند نقطةٍ ما بعد *F* ، فيحدّدان موقع الصورة. وتتقاطع الأشعة المختارة من نقاط أخرى على الجسم عند نقاط مماثلة لتكوين الصورة على نحوٍ كامل. لاحظ أن الصورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة بالنسبة للجسم.

تستطيع استخدام **الشكل 39–6** لتعيين موقع الصورة لجسم يكون قريبًا من العدسة أكثر من الجسم الذي في الشكل. فإذا عُكِس اتجاه الشعاع المنكسر فإنه سيتبع مساره الأصلي في



■ **الشكل 39–6** إذا وضع جسم على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري للعدسة تتكون صورة حقيقية مقلوبة ومصغرة بالنسبة للجسم. وإذا وضع الجسم في مكان الصورة أمكنك تعيين موقع الصورة الجديدة من خلال رسم الأشعة نفسها في الاتجاه المعاكس.

تجربة

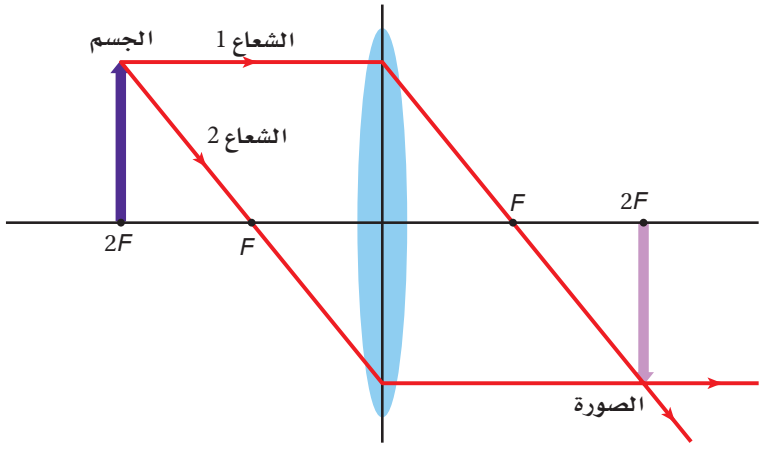
صور العدسات المحدبة

1. **ثبّت** مسطرة مترية على طاولة المختبر حتى تتزن على حافتها، وتظهر الأرقام معتدلة على أحد جانبيها.
2. **ضع** مصباحًا (أو شمعة) بجانب المسطرة بحيث يكون مركزه عند التدريج 0 cm للمسطرة المترية.
3. **ضع** عدسة محدبة معلومة البعد البؤري على حاملها، وثبّتها على المسطرة بحيث يكون المصباح على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري.
4. **أضئ** المصباح، وأطفئ أنوار الغرفة، واحمل بطاقة الفهرسة بحيث تكون العدسة بين المصباح والبطاقة.
5. **حرّك** بطاقة الفهرسة إلى الأمام والخلف حتى تتكوّن صورة واضحة عليها. وسجّل صفات الصورة المتكوّنة.
6. **حرّك** العدسة في اتجاه المصباح بحيث يصبح على بُعد يساوي ضعف البعد البؤري، وكرّر الخطوة السابقة.
7. **كرّر** الخطوة السابقة بتحريك العدسة في اتجاه المصباح ليصبح قريبًا من البؤرة، ثم في البؤرة، وأخيرًا بين العدسة وبؤرتها.

ملاحظة: *إذا لم تتكون صورة على البطاقة، فانظر إلى المصباح من خلال العدسة، وسجّل صفات الصورة التي تشاهدها.*

التحليل والاستنتاج

8. ما صفات الصورة التي تكوّنت في كل حالة؟ ارسم مخطّط الأشعة لكل حالة.
9. ما الشروط التي يتطلبها تكوين صور حقيقية؟ وما الشروط التي يتطلبها تكوين صور خيالية؟
10. ما مصادر الخطأ في التجربة؟



الشكل 40–6 عندما يوضع جسم على بُعد مساوٍ لضعف البعد البؤري عن العدسة، فإن أبعاد الصورة تكون مساوية لأبعاد الجسم.

الاتجاه المعاكس، وهذا يعني أنه يمكن تبادل المواقع بين الجسم والصورة بتغيير اتجاه الأشعة.

أما إذا وُضع الجسم على بُعد يساوي ضعف البعد البؤري من العدسة عند نقطة $2F$، كما في **الشكل 40–6**، فإن الصورة تتكون عند $2F$، ويكون للصورة والجسم البعدان نفساهما بسبب التماثل. لذا تستطيع استنتاج أنه إذا كان بُعد الجسم عن العدسة أكبر من ضعف البعد البؤري للعدسة فستكون الصورة مصغَّرة. وإذا كان الجسم بين F و$2F$، فستكون الصورة مكبّرة.

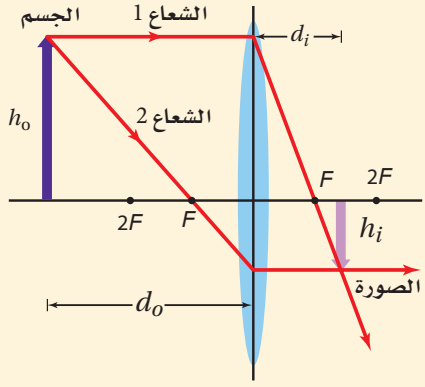
مثـــال 3

الصورة المتكونة بواسطة عدسة محدبة وضع جسم على بُعد 32.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 8.0 cm، فتكونت له صورة على بُعد 11.0 cm .

a. ما تكبير الصورة؟

b. إذا كان طول الجسم 3.0 cm، فما طول الصورة؟

c. ما اتجاه الصورة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحالة، وعيّن موقع كلٍّ من الجسم والعدسة.
- ارسم الشعاعين الأساسيين.

المعلوم

$d_o = 32.0\ \text{cm}$ ،$h_o = 3.0\ \text{cm}$

$d_i = 11.0\ \text{cm}$ ،$f = 8.0\ \text{cm}$

المجهول

$h_i = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم معادلة التكبير.

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

بالتعويض $d_i = 11.0\ \text{cm}$، $d_o = 32.0\ \text{cm}$.

$$= \frac{-11.0\ \text{cm}}{32.0\ \text{cm}}$$

$$= -0.34$$

الإشارة السالبة تعني أن الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم، والقيمة المطلقة للتكبير أقل من واحد؛ أي أن الصورة مصغَّرة.

b. استخدم معادلة التكبير وحل لإيجاد طول الصورة.

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o}$$

بالتعويض $d_o = 32.0\ \text{cm}$، $h_o = 3.0\ \text{cm}$، $d_i = 11\ \text{cm}$

$$= \frac{-(11\ \text{cm})(3.0\ \text{cm})}{32.0\ \text{cm}}$$

$$= -1.0\ \text{cm}\ (1.0\ \text{cm}\ \text{طول الصورة})$$

c. إن الإشارة السالبة في الفرع **b** تعني أن الصورة مقلوبة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الأبعاد كلها بالسنتمتر cm.
- **هل تعني الوحدات أي شيء؟** بُعد الصورة موجب (صورة حقيقية)، أمّا طولها فسالب؛ أيْ مقلوبة بالنسبة للجسم، مما يدل على أن العدسة محدبة.

مسائل تدريبية

27. تكوَّن لجسم موجود بالقرب من عدسة محدبة صورة حقيقية مقلوبة طولها 1.8 cm على بُعد 10.4 cm منها. فإذا كان بُعد الجسم عن العدسة $2.0\times10^{1}\ \text{cm}$ فما طول الجسم؟ وما تكبير الصورة؟

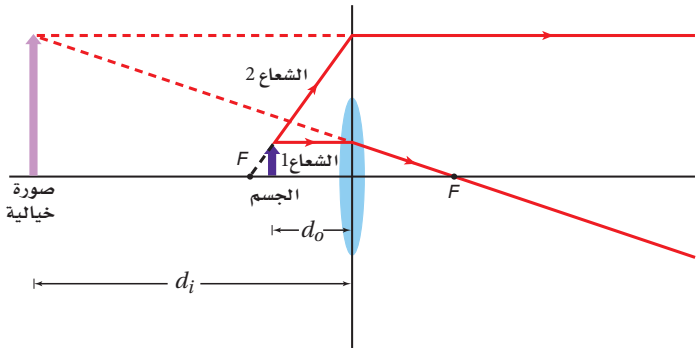
28. وضع جسم عن يسار عدسة محدبة بعدها البؤري 25 mm، فتكوّنت له صورة حجمها يساوي حجم الجسم. ما بُعد كل من الجسم والصورة؟

العدسات المحدّبة والصور الخيالية

Convex lenses and virtual images

عندما يوضع جسم في بؤرة عدسة محدبة، فإن الأشعة ستنكسر في حزمة متوازية ولا تتكوّن صورة له. وعندما يقترب الجسم من المستوى الأساسي للعدسة تنحرف الأشعة وتتشتّت في اتجاه الجانب المعاكس للعدسة، وتظهر هذه الأشعة للشاهد كأنها قادمة من بقعة في جانب العدسة نفسه الذي فيه الجسم، وتكون الصورة خيالية، ومعتدلة ومكبّرة.

يبيّن **الشكل 41–6** كيف تكوِّن العدسة المحدّبة صورة خيالية. فعندما يكون الجسم بين F والعدسة يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازيًا المحور الرئيس، وينكسر



الشكل 41–6 يبيّن مخطط الأشعة أن العدسة المحدّبة تكوّن صورة خيالية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالجسم عندما يكون الجسم بين العدسة والبؤرة. ولأن الأشعة الرئيسة جزء من نموذج يساعد على تعيين موقع الصورة فإنهما يجب ألا يمرّا خلال صورة العدسة في مخطط الأشعة. وتتكون الصورة في الواقع فقط بواسطة الضوء الذي يمرّ خلال العدسة.

مـارًّا بالبـؤرة F. أمّا الشـعاع 2 فينتقـل من قمة الجسـم، وفي اتجاه مماثـل إلى الاتجاه الذي يسـلكه إذا بـدأ من F في جانب العدسـة الذي يوجد فيه الجسـم. ويبـيّن الخط المتقطع من F إلى الجسـم كيف ترسـم الشـعاع 2، حيث يخرج الشعاع 2 من العدسـة موازيًا للمحور الرئيس. ويتباعد الشعاعان 1 و 2 عندما يخرجان من العدسة. لذا لا يمكن تكوين صورة حقيقية. إن رسـم الامتداد الخلفي للشـعاعين المنكسرين لتعيين مكان تقاطعهما الظاهري يحـدّد موضع الصورة الخيالية، ويكون موضعها في جانب العدسـة نفسـه الذي يوجد فيه الجسـم، وتكون الصورة معتدلة ومكبّرة. لاحظ أن الصورة الحقيقية تتكوّن بفعل الضوء الذي يمرّ خلال العدسة، ولكن بإمكانك تحديد الصورة الخيالية برسم امتدادات الأشعة التي لا تمرّ فعلًا من خلال العدسة.

ماذا قرأت؟ **متى تكوِّن العدسات المحدبة صورًا حقيقية؟ ومتى تكوِّن صورًا خيالية؟**

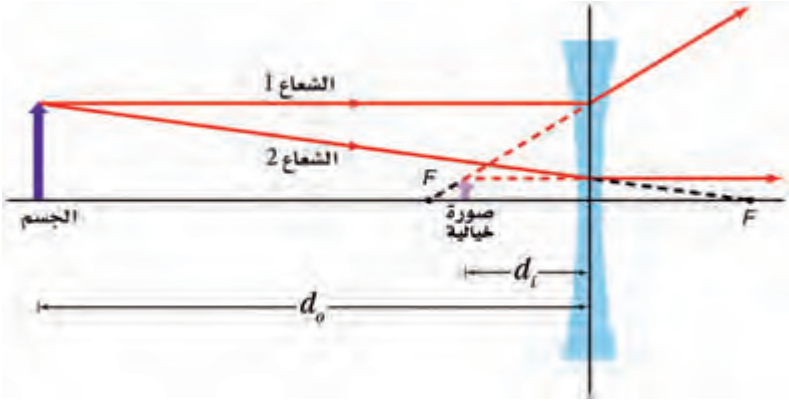
مسائل تدريبية

29. وضعـت صحيفـة عـلى بُعـد 6.0 cm مـن عدسـة محدبـة بعدهـا البـؤري 20.0 cm، فتكوَّنـت صـورة خيالية على بُعد 8.6 cm. ارسـم مخطط الأشـعة لتحديد موقع الصورة، واحسب تكبيرها.

30. إذا وضعت عملة معدنية قطرها 2.0 cm على بُعد 3.4 cm من عدسـة مُكبِّرة بعدها البؤري 12.0 cm، فتكونت لها صورة خيالية على بُعد 4.7 cm، فأوجد قطر الصورة.

العدسات المقعرة Concave lenses

تفرّق العدسـة المقعرة الأشـعة كلّها. و**الشـكل 42–6** يبيّن كيف تكوّن مثل هذه العدسة صورة خيالية، حيث يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازيًا المحور الرئيس. ويخرج من العدسة على شـكل شـعاع يمرّ امتداده في البؤرة. أما الشعاع 2 فَيصِل إلى العدسة كما لو كان سيمر خـلال البـؤرة في الجانب المعاكس، ويبتعد عن العدسـة موازيًا المحـور الرئيس. وتتقاطع الامتدادات الخلفية للشـعاعين 1 و 2 في الجانب نفسه من العدسة الذي يوجد فيه الجسم. ولأن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة، فإنها تكوّن صورة خيالية. ويكون موضع الصورة



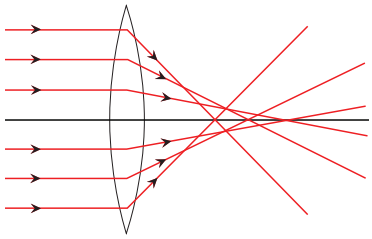
الشكل 42–6 تكوّن العدسـات المقعرة صـورًا خياليـة ومعتدلـة ومصـغرة فقط مقارنة بالأجسام.

عند النقطة التي يظهر عندها أن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة منها. وتكون الصورة أيضًا معتدلة وأصغر من الجسم (مصغّرة). وهذا صحيح بغض النظر عن بُعد الجسم عن العدسة، كما يكون البعد البؤري للعدسة المقعرة سالبًا.

عيوب العدسات الكروية Defects of spherical lenses

درست خلال هذا القسم العدسات التي تكوِّن صورة كاملة عند مواضع محدّدة. وفي الواقع، فإن للعدسات الكروية عيوبًا جوهرية ـ مثل المرايا الكروية ـ ينجم عنها مشكلات في وضوح الصورة وألوانها؛ حيث تواجه العدسات الكروية تشتّتًا (زوغانًا) متعلِّقًا بتصميمها الكروي، مثل المرايا تمامًا. وإضافة إلى ذلك، فإن تشتّت الضوء خلال العدسة الكروية يسبّب زوغانًا لا تسبّبه المرايا.

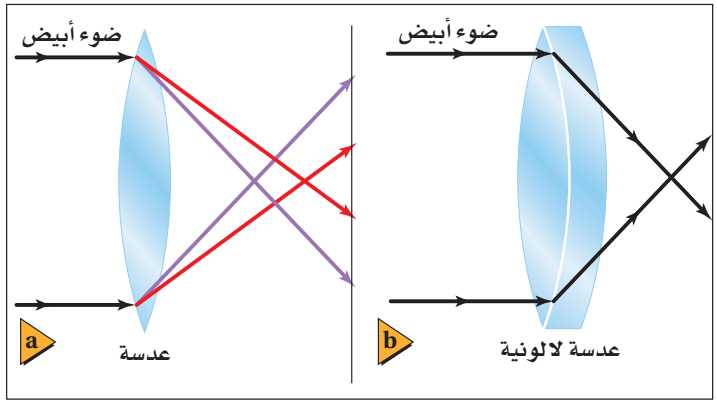
الزوغان الكروي Spherical aberration يقترح النموذج الذي استخدمته لرسم الأشعة خلال العدسات الكروية أن الأشعة التي تسقط متوازية تتجمّع في الموضع نفسه، وهذا مجرد تقريب. وفي الحقيقة، تتجمّع الأشعة المتوازية التي تمر خلال أطراف العدسة الكروية في مواضع مختلفة عن المواضع التي تتجمّع فيها الأشعة المتوازية والقريبة من المحور الرئيس. ويُسمى عدم قدرة العدسة الكروية على تجميع الأشعة المتوازية جميعها في نقطة واحدة الزوغان الكروي، وسببه اتساع سطح العدسة. ويوضح **الشكل 43–6** الزوغان الكروي. ويعالج الزوغان الكروي بمراعاة أن تكون الأشعة الضوئية التي تسقط على العدسة قريبة من المحور الرئيس، وتستخدم العديد من العدسات في الأدوات العالية الدقة، حيث تستخدم غالبًا خمس عدسات أو أكثر لتكوين صور واضحة ودقيقة.



الشكل 43–6 تتجمّع الأشعة المتوازية التي تمر خلال أطراف العدسة الكروية في مواضع مختلفة عن المواضع التي تتجمّع فيها الأشعة المتوازية والقريبة من المحور الرئيس، وهذا يسمى الزوغان الكروي.

الزوغان اللّوني Chromatic aberration هناك عيب آخر في العدسات لا يوجد في المرايا. فالعدسة مثل المنشور، تنكسر فيها الأطوال الموجية المختلفة للضوء بزوايا مختلفة، كما يبيِّن **الشكل 44a–6**. ولذلك يتجمّع الضوء أو يتفرق عند مروره خلال العدسة المحدبة أو المقعرة على الترتيب، وخصوصًا بالقرب من الأطراف، ويظهر الجسم عند النظر إليه من خلال العدسة محاطًا بالألوان. ويُسمّى هذا التأثير الزوغان اللّوني.

ويحدث الزوغان اللوني دائمًا عندما تستخدم عدسة مفردة. ويمكن تخفيض أثر هذا العيب كثيرًا باستخدام العدسات اللّالونية؛ وهي نظام مكوَّن من عدستين أو أكثر، كعدسة محدبة



الشكل 44–6 للعدسات البسيطة جميعها زوغان لوني، حيث يتركز الضوء ذو الأطوال الموجية المختلفة في نقاط مختلفة (**a**). العدسة اللّالونية نظام من العدسات يؤدي إلى تقليل العيب اللوني (**b**).

مع عدسة مقعرة، لهما معاملا انكسار مختلفان. ويبيِّن **الشكل 6–44b** مثل هذا التركيب للعدسات. فكلتا العدستين في الشكل تشتّت الضوء، ولكن التشتّت الذي تُسبِّبه العدسة المحدبة يلغيه تقريبًا التشتّت الذي تُسبِّبه العدسة المقعرة. ويُختار معامل انكسار العدسة المحدبة على أن يؤدي النظام المكوّن من العدسات إلى تجميع الضوء.

ماذا قرأت؟ ما الفرق بين الزوغان الكروي والزوغان اللوني؟

تطبيقات العدسات Application of lenses

إن الخصائص التي تعلّمتها حول انكسار الضوء خلال العدسات تستخدم في أغلب الآلات البصرية. وتستخدم في حالات عديدة مجموعة من العدسات والمرايا لتكوين صورة واضحة لأجسام صغيرة أو بعيدة؛ إذ يحتوي كل من المنظار الفلكي (التلسكوب)، والمنظار، وآلة التصوير، والمجهر (الميكروسكوب)، وحتى العين ـ على عدسات.

العدسات في العينين Lenses in eyes

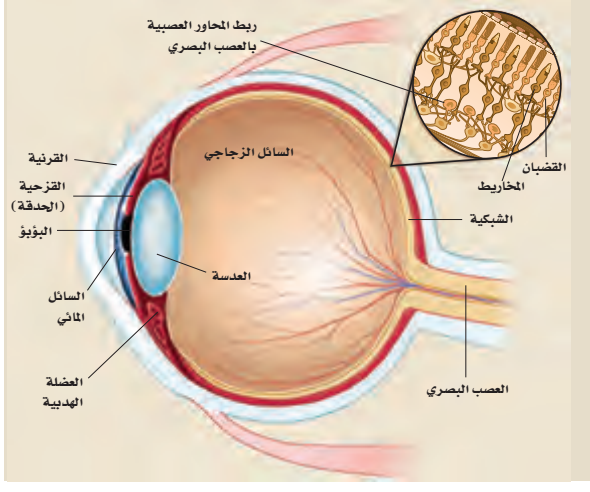
من بديع صنع الخالق –عز وجل– خلق العين البشرية، وهي أداة بصرية، مملوءة بسائل. وهي على هيئة وعاء كروي تقريبًا كما يبيِّن **الشكل 45–6**. وينتقل الضوء المنبعث أو المنعكس عن الجسم إلى داخل العين خلال القرنية، ثم يمر الضوء بعدها خلال العدسة، ويتجمّع على الشبكية الموجودة في مؤخرة العين. وتمتص خلايا متخصّصة في الشبكية الضوء، وترسل المعلومات المتعلّقة بالصورة بواسطة العصب البصري إلى الدماغ.

تكوُّن الصور Focusing images قد تعتقد ـ بسبب التسمية ـ أن عدسة العين هي المسؤولة عن تجميع الضوء على الشبكية. ولكن في الحقيقة، يتجمّع الضوء الداخل إلى العين أساسًا بواسطة القرنية؛ لأن الفرق بين معاملي انكسار الهواء ومادة القرنية كبير نسبيًّا. أما العدسة فهي المسؤولة عن التجميع الدقيق الذي يسمح لك برؤية الأجسام البعيدة والقريبة بوضوح تام. وتستطيع العضلات المحيطة بالعين من خلال عملية تُسمى التكيّف أن تجعل العدسة تنقبض أو تنبسط، مما يغيّر من شكلها، فيؤدي بدوره إلى تغيير

تطبيق الفيزياء

العدسات اللاصقة تعمل العدسات اللاصقة عمل النظارات الزجاجية؛ حيث توضع هذه العدسات الصغيرة الرقيقة مباشرة على القرنية. وتعمل طبقة رقيقة من الدمع بين القرنية والعدسة على ثبات العدسة في مكانها، ويحدث أغلب الانكسار عند سطح الهواء والعدسة، حيث يكون الفرق بين معاملي الانكسار كبيرًا.

الربط مع الأحياء



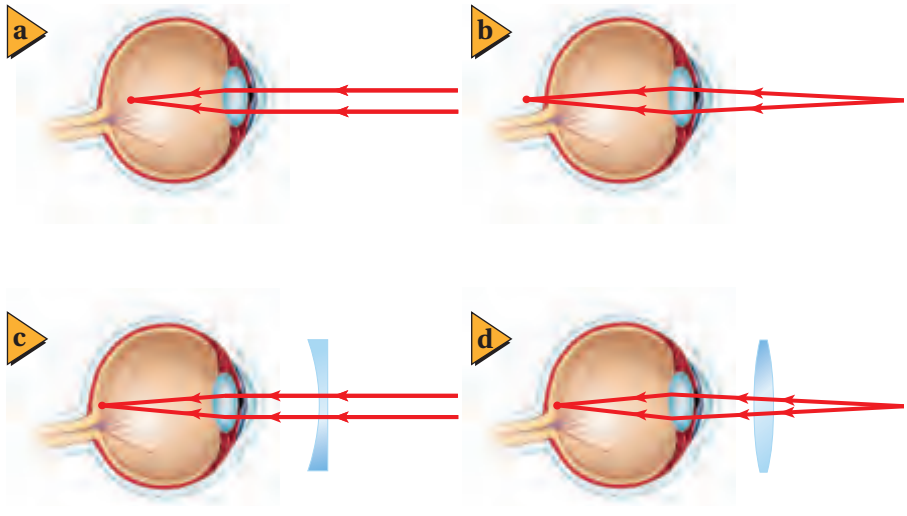
الشكل 45–6 العين البشرية معقدة، وتتركّب من أجزاء متعدّدة تعمل جميعها بدقة متناهية.

البعد البؤري لعدسة العين. فعندما ترتخي العضلات تتركّز صورة الجسم البعيد على الشبكية. وعندما تنقبض العضلات يقل البعد البؤري للعدسة، مما يسمح لصور الأجسام القريبة بالتجمع على الشبكية.

قصر النظر وطول النظر Nearsightedness and farsightedness لا تُكوِّن عيون بعض الناس صورًا واضحة على الشبكية؛ إذ تتكوّن الصور إما أمام الشبكية وإما خلفها. فتصبح هناك حاجة إلى العدسات الخارجية على هيئة نظارات أو عدسات لاصقة؛ لضبط الصور لتقع على الشبكية. ويبيِّن **الشكل 46a–6** حالة قصر النظر Nearsightedness؛ حيث يكون البعد البؤري للعين في هذه الحالة أقل من البعد البؤري للعين السليمة، مما لا يمكِّنها من تجميع الضوء على الشبكية، فتتكون الصور أمام الشبكية. وتُستخدم عدسات مقعرة لتصحيح ذلك بتفريق الضوء كما يبيِّن **الشكل 46c–6**، لذا يؤدي ذلك إلى زيادة بُعد الصور عن العدسة، وتكوين الصور على الشبكية.

ويبيِّن **الشكل 46b–6** حالة طول النظر Farsightedness؛ حيث يكون البعد البؤري للعين في هذه الحالة أكبر من البعد البؤري للعين السليمة، فتتشكّل الصور خلف الشبكية، وتحدث حالة مماثلة أيضًا للأشخاص فوق عمر 45 عامًا، حيث تزداد صلابة عدسات العينين، ولا تستطيع العضلات تقصير البعد البؤري إلى الحدّ الذي يكفي لتكوين صور الأجسام القريبة على الشبكية. وتُستخدم عدسات محدبة لتصحيح هذا العيب؛ إذ تكوِّن صورًا خيالية أبعد عن العين من أجسامها، كما يبيِّن **الشكل 46d–6**، فتصبح الصور عندئذ هي الأجسام بالنسبة لعدسة العين، ومن ثَم تتكوّن على الشبكية.

ماذا قرأت؟ ما الفرق بين قصر النظر وطول النظر؟ وكيف يُعالج كلّ منهما؟



الشكل 46–6 لا يستطيع شخص مصاب بقصر النظر رؤية الأجسام البعيدة بوضوح؛ لأن الصور تتركز أمام الشبكية (a). وتُصحّح العدسة المقعرة هذا العيب (c). ولا يستطيع شخص مصاب بطول النظر رؤية الأجسام القريبة بوضوح؛ لأن الصور تتركّز خلف الشبكية (b). وتصحّح العدسة المحدبة هذا العيب (d).

تجربة

طول النظر وقصر النظر

1. **ثبّت** ثلاث عدسات هلالية مختلفة البعد البؤري بجانب بعضها بعضًا على جانب دورق زجاجي كروي، وثبّت على جانبه المقابل قطعة ورقة مبللة بالماء لتعمل عمل شبكية العين.
2. **املأ** الدورق بالماء، وأضف بضع قطرات من محلول فلورسنتي أو الحليب إلى الماء؛ لترى الأشعة الضوئية بوضوح.
3. **ثبّت** بطاقة سميكة في مركزها ثقب قطره 5 cm على حاملها، واجعلها مقابلة للعدسة متوسطة البعد البؤري، وضع مصدرًا ضوئيًا (12 V، 100 W) مقابلًا للثقب.
4. **أضئ** المصدر الضوئي، وأطفئ أنوار المختبر، وحرّك المصدر الضوئي حتى تتكون صورة واضحة له على قطعة الورق المبلّلة. صف ما ترى.
5. **دوِّر** الدورق لتصبح العدسة ذات البعد البؤري الأقل مواجهة للثقب والمصدر الضوئي، هل تكوّنت صورة واضحة على الورقة؟ إذا لم تتكوّن صورة فضع عدسة مقعرة في مسار الأشعة وغيِّر موقعها حتى تتكوّن صورة واضحة على الورقة.
6. **دوِّر** الدورق لتصبح العدسة ذات البعد البؤري الأكبر مواجهة للثقب والمصدر الضوئي، هل تكوّنت صورة على الورقة؟ إذا لم تتكوّن صورة فضع عدسة محدبة في مسار الأشعة وغيِّر موقعها حتى تتكوّن صورة واضحة على الورقة.

تحذير: *لا تنظر إلى المصدر الضوئي من خلال العدسات.*

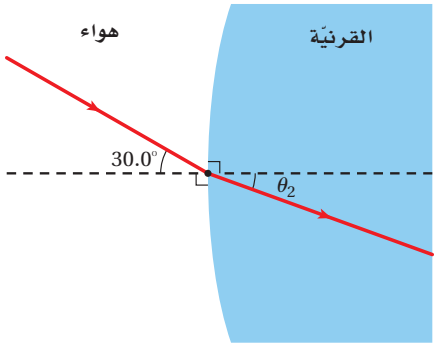
التحليل والاستنتاج

7. ما عيب العين الذي تم نمذجته في الخطوة 5؟ وأين تكوّنت الصورة في هذه الحالة؟ وكيف يعالج؟
8. ما عيب العين الذي تم نمذجته في الخطوة 6؟ وأين تكوّنت الصورة في هذه الحالة؟ وكيف يعالج؟
9. كيف يمكنك تكوين الصورة على الورقة في الخطوتين 5 و6 بدون استخدام العدستين المحدبة والمقعرة؟

مسألة تحفيز

عندما يدخل الضوء إلى العين فإنه يواجه الحد الفاصل بين الهواء والقرنية. فإذا دخل شعاع ضوء الحد الفاصل بين الهواء والقرنية لعين شخص بزاوية 30° بالنسبة للعمود المقام، وكان معامل انكسار القرنية 1.4 تقريبًا، فأجب عن الأسئلة التالية:

1. استخدم قانون سنل لحساب زاوية الانكسار.
2. ما مقدار زاوية الانكسار إذا كان الشخص يسبح أسفل الماء؟
3. أيهما أكبر: الانكسار في الهواء أم في الماء؟ وهل يعني هذا أن الأجسام التي تحت الماء تبدو أقرب أم أبعد مما لو كانت في الهواء؟
4. لو أردت أن تكون زاوية الانكسار لشعاع الضوء في الماء مساوية لها كما في الهواء، فكم يجب أن تكون زاوية السقوط الجديدة؟

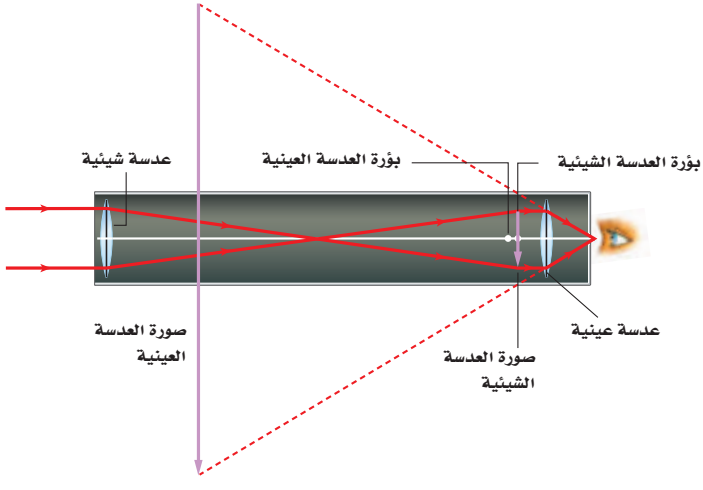


التلسكوب (المنظار الفلكي) الكاسر

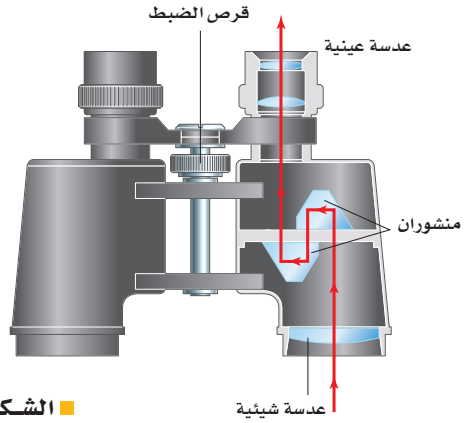
Refracting telescopes

يستخدم المنظار الفلكي الكاسر العدسات لتقريب الأجسام البعيدة وتكبير صورها. ويبيِّن **الشكل 47–6** النظام البصري للمنظار الكبلري؛ حيث يكون الضوء القادم من النجوم والأجسام الفلكية الأخرى عادة بعيدًا جدًّا؛ لذا يمكن اعتبار الأشعة متوازية. وتدخل أشعة الضوء المتوازية العدسة الشيئية المحدبة، وتتجمّع بوصفها صورة حقيقية عند بؤرة العدسة الشيئية، وتكون الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. ثم تصبح هذه الصورة بمنزلة الجسم بالنسبة للعدسة العينية المحدبة. لاحظ أن العدسة العينية موضوعة بحيث تقع بؤرة العدسة الشيئية بين العدسة العينية وبؤرتها. وذلك يعني أنه تتكوّن صورة خيالية معتدلة وأكبر من الصورة الأولى عن طريق العدسة العينية. ولأن الصورة الأولى كانت مقلوبة فإن الصورة النهائية تبقى مقلوبة. ويعدّ انعكاس الصورة مقبولاً لمشاهدة الأجسام الفلكية.

وتستخدم عدسات عينية محدبة لالونية في المنظار دائمًا. وتعمل مجموعة العدسات هذه على إزالة الألوان المحيطة، أو التخلّص من الزوغان اللّوني المتشكّل مع الصورة.



الشكل 47–6 يُكوِّن المنظار الفلكي الكاسر صورة خيالية ومقلوبة مقارنة بالجسم.



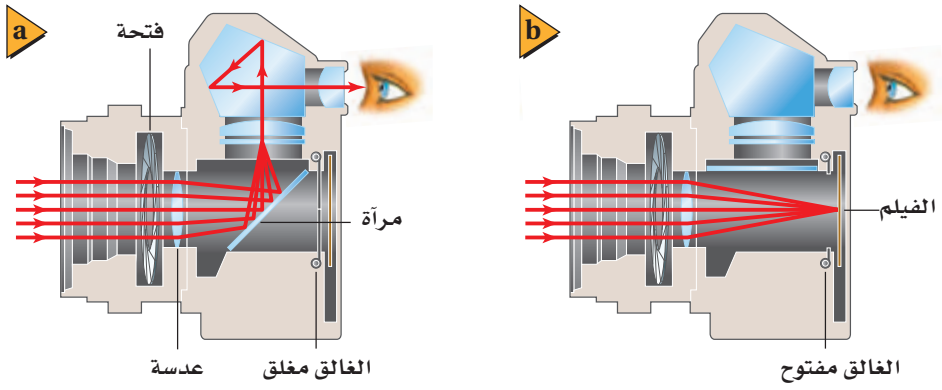
الشكل 48–6 المنظار عبارة عن تلسكوبين كاسرين متجاورين.

المنظار Binoculars

يكوِّن المنظار ـ مثل المنظار الفلكي الكاسر ـ صورًا مكبّرة للأجسام البعيدة. ويبيِّن **الشكل 48–6** تصميمًا لمنظار نموذجي. ويشبه كل جانب من المنظار تلسكوبًا صغيرًا ؛ حيث يدخل الضوء العدسة الشيئية المحدّبة، فتكون صورة مقلوبة، ثم ينتقل الضوء خلال منشورين يَستخدمان ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي ليقلبا الصورة مرة أخرى، حيث يرى المشاهد صورة معتدلة للجسم. ويؤدي المنشوران كذلك إلى إطالة مسار انتقال الضوء وتوجيهه إلى العدسة العينية للمنظار. وكما تزوِّدك المسافة الفاصلة بين عينيك بإحساس الأبعاد الثلاثية والعمق، فإن المنشورين يؤديان إلى زيادة المسافة الفاصلة بين العدستين الشيئيتين، ممّا يحسّن من الرؤية الثلاثية الأبعاد للجسم البعيد عن المنظار.

آلات التصوير Cameras

يبيِّن **الشكل 49a–6** النظام البصري المستخدم في آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة. فعندما يدخل الضوء إلى آلة التصوير، فإنه يمر خلال عدسة لالونية. ويعمل نظام العدسة هذا على كسر الضوء، بطريقة تُشبه إلى حد كبير عمل عدسة محدبة مفردة، ويكوّن صورة مقلوبة على المرآة العاكسة. وتنعكس هذه الصورة إلى أعلى في اتجاه المنشور، الذي يؤدي بدوره



الشكل 49–6 يبيِّن الشكل آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة، التي تعكس الصورة المتكوّنة بواسطة العدسة من خلال المنشور لمشاهدتها (a)، أو توجيهها في اتجاه الفيلم (b).

تجربة

صنع تلسكوب فلكي

1. **ثبِّت** عدسة محدبة بعدها البؤري وقطرها كبيران في نهاية أنبوب كرتوني.
2. **ثبِّت** عدسة محدبة بعدها البؤري وقطرها صغيران في نهاية أنبوب كرتوني آخر، بحيث يمكن إدخال هذا الأنبوب في أنبوب الخطوة 1.

ملاحظة : *يجب أن يكون طول الأنبوبين معًا مساويًا لمجموع البعد البؤري للعدستين.*

3. أدخل الأنبوب الكرتوني الصغير في الأنبوب الكرتوني الكبير؛ بحيث يمكن تحريكه داخله.
4. **انظر** من خلال العدسة الصغيرة للتلسكوب الذي صنعته إلى جسم بعيد، وغيِّر المسافة بين العدستين بتحريك الأنبوبين بالنسبة إلى بعضهما حتى ترى صورة واضحة. صف ما تراه.
5. **انظر** من خلال العدسة الصغيرة للتلسكوب الذي صنعته إلى جسم قريب، وغيِّر المسافة بين العدستين بتحريك الأنبوبين بالنسبة إلى بعضهما حتى ترى صورة واضحة. صف ما تراه.

تحذير : *لا تنظر إلى الشمس أو أي مصدر ضوئي متوهّج بشدة من خلال العدسات.*

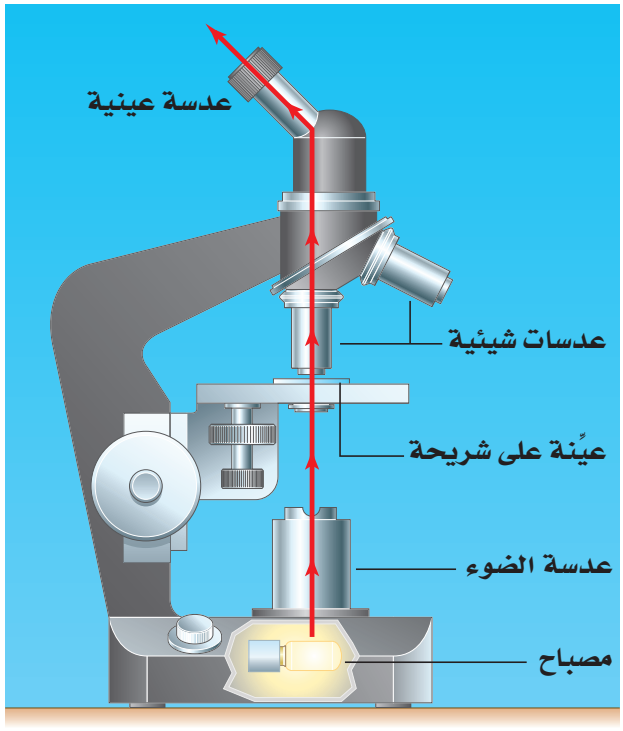
التحليل والاستنتاج

6. ما صفات الصورة التي شاهدتها في الخطوتين 4 و5؟ ولماذا؟
7. هل تغيَّرت صفات الصورة بتغير بُعد الجسم الذي تنظر إليه؟ وهل تغيَّرت المسافة بين العدستين بتغير بُعد الجسم الذي تنظر إليه؟
8. في العين البشرية، المسافة بين العدسة والشبكية ثابتة، فما النعمة التي أنعم الله بها علينا بحيث يمكننا تغيير نظرنا مباشرة من النظر إلى أجسام قريبة إلى النظر إلى أجسام بعيدة؟ وضّح إجابتك.

إلى عكس الضوء وتوجيهه إلى عين المشاهد. وعندما يحمل الشخص آلة التصوير لالتقاط صورة فإنه يضغط زر الغالق، الذي يرفع المرآة فترة وجيزة، كما في **الشكل 6–49b**. وبدل أن يتجه الضوء إلى المنشور فإنه ينتقل في خط مستقيم ليكوّن صورة على الفيلم.

المجهر (الميكروسكوب) Microscopes

للمجهر عدستان محدبتان مثل المنظار الفلكي، إحداهما شيئية والأخرى عينية. ويستخدم المجهر في مشاهدة الأجسام الصغيرة. ويبيِّن **الشكل 6–50** النظام البصري المستخدم في المجهر المركّب، حيث يوضع الجسم في منطقة بين بؤرة العدسة الشيئية ومركز تكوّرها، فتتكوّن صورة حقيقية مقلوبة ومكبّرة. ثم تصبح هذه الصورة بمثابة جسم للعدسة العينية؛ إذ يكون هذا الجسم بين العدسة العينية وبؤرتها، فتتكوّن له صورة خيالية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالصورة التي كوّنتها العدسة الشيئية. لذا يرى المشاهد صورة مقلوبة مكبَّرة جدًّا.



الشكل 6–50 تُكوِّن العدسة الشيئية والعدسة العينية في هذا المجهر صورة مقلوبة ومكبرة مقارنة بالجسم.

6–3 مراجعة

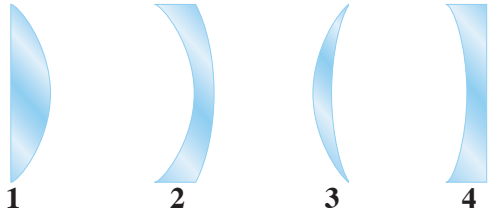
31. **التكبير** تُستخدم العدسات المكبّرة عادة لتكوين صور أكبر من الأجسام، ولكنها أيضًا يمكن أن تكوّن صورًا أصغر من الأجسام. وضّح ذلك.

32. **بُعد الصورة وطولها** وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 2.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 6.0 cm. ارسم مخطّط الأشعة لتحديد موقع الصورة وطولها.

33. **أنواع العدسات** يبيّن الشكل 6–51 المقطع العرضي لأربع عدسات رقيقة. أيّ هذه العدسات:

a . محدبة (لامّة)؟

b . مقعرة (مفرّقة)؟



■ الشكل 6–51

34. **الزوغان اللوني** للعدسات البسيطة كلها زوغان لوني. فسِّر ذلك. لماذا لا ترى هذا الأثر عندما تنظر خلال الميكروسكوب (المجهر)؟

35. **الانكسار** فسّر لماذا تُعدّ القرنية عنصر التجميع الرئيس للأشعة في العين؟

36. **أنواع العدسات** أيّ العدسات المحدبة أم المقعرة ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بقصر النظر؟ وأيها ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بطول النظر؟

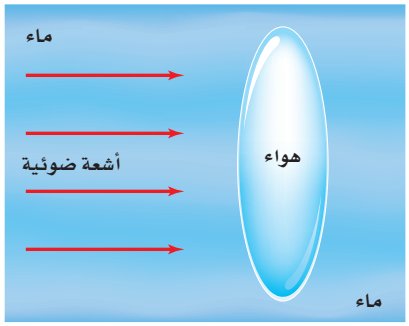
37. **الصورة** لماذا تكون الصورة المُشاهَدةُ في التلسكوب مقلوبة؟

38. **المنشور** ما المزايا الثلاث لاستخدام المنشورين في المنظار؟

39. **البعد البؤري** افترض أنك ركّزت آلة التصوير التي لديك على شخص يبعد 2 m، ثم أردت أن تُركِّزها على شجرة أبعد من ذلك، فهل يتعيَّن عليك أن تحرك العدسة قريبًا من الفيلم أم بعيدًا عنه؟

40. **الزوغان اللوني** إذا سمحت لضوء أبيض بالمرور من خلال عدسة محدبة إلى شاشة، وضبطت المسافة بين الشاشة والعدسة لتجمّع اللون الأحمر، ففي أي اتجاه يجب أن تحرّك الشاشة لتُجمِّع الضوء الأزرق؟

41. **التفكير الناقد** تتكون عدسة هوائية من غطاءي ساعتين زجاجيين، موضوعة في خزان ماء. انسخ الشكل 6–52 في دفترك، وارسم تأثير هذه العدسة في أشعة الضوء المتوازية الساقطة عليها.



■ الشكل 6–52

مختبر الفيزياء

كيف ينحرف الضوء؟

يصف قانون سنل في الانكسار زاوية الانكسار θ_2 التي تحدث للضوء عند انتقاله من وسط معامل انكساره n_1 إلى وسط شفاف آخر معامل انكساره n_2، حيث: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

إن معامل انكسار الفراغ يساوي 1، وحيث إن سرعة الضوء في الهواء مقاربة لسرعته في الفراغ فإنه يمكن اعتبار معامل انكسار الهواء يساوي 1. وحيثما كان الهواء هو وسط السقوط بالنسبة للضوء فإن قانون سنل يُبسّط على النحو التالي: $n_2 = \sin\theta_1 / \sin\theta_2$

ستقيس في هذه التجربة زاوية انكسار الضوء في متوازي مستطيلات زجاجي لزوايا سقوط مختلفة، ثم تحسب معامل انكسار الزجاج.

سؤال التجربة

هل يتغير معامل انكسار مادة بتغير زاوية سقوط الشعاع الضوئي، أم أن معامل انكسار المادة ثابت؟

الأهداف

- **ترسم** مخطّط الأشعة لنموذج انكسار الضوء عند انتقاله من الهواء إلى الزجاج.
- **تستنتج** ما إذا كان معامل الانكسار للمادة مقدارًا ثابتًا أم لا.
- **تستنتج** من خلال البيانات التجريبية ما إذا كان الانكسار عملية عكسية أم غير عكسية.

احتياطات السلامة

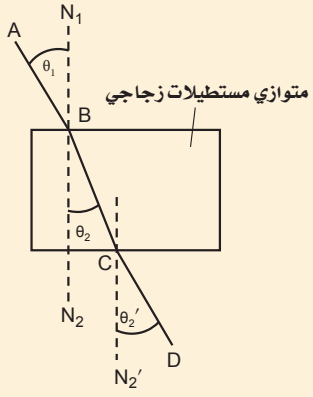
- **تأكد من أن الصندوق الضوئي مطفأ قبل وصله بالكهرباء وبعد فصله.**
- **تعامل مع الدبابيس بحذر؛ لكيلا تجرحك.**
- **تعامل مع متوازي المستطيلات الزجاجي بحذر؛ لكيلا ينكسر.**

المواد والأدوات

متوازي مستطيلات زجاجي، مسطرة مترية، منقلة، دبوسان مستقيمان، ورقة بيضاء، قلم رصاص، صندوق ضوئي، أقلام تلوين.

الخطوات

1. ضع متوازي المستطيلات الزجاجي في وسط الورقة، واستخدم قلم الرصاص لتحديد الحدود الخارجية له على الورقة، ثم ارفع متوازي المستطيلات الزجاجي عنها.
2. باستخدام المنقلة وقلم الرصاص، عيّن نقطة تصنع زاوية 90° مع الجانب الطويل للحد الخارجي، بحيث تكون عن يسار الجانب العلوي للخط الخارجي كما هو موضّح في **الشكل A**، وارسم النقطة N_1. وسمِّ النقطة التي على جانب الخط الخارجي عند مركز المنقلة بالنقطة B. ثم ارسم خطًّا متقطّعًا من النقطة N_1 إلى النقطة B. يمثّل هذا العمود المقام على سطح اللوح الزجاجي. استمر برسم العمود المقام إلى الجانب الآخر من الخط الخارجي، وسمِّ النقطة التي يمر بها بالجانب الآخر من الخط الخارجي بالنقطة N_2.



الشكل A

جدول البيانات						
المحاولة	θ_1 (°)	θ_2 (°)	θ'_2 (°)	$\sin\theta_1$	$\sin\theta_2$	n_2
1	30					
2						
3						
4						
5						
6						

3. عيّن نقطة تصنع زاوية 30° مع العمود المقام، وسمِّها A، وارسم مستخدمًا المسطرة وقلم التلوين خطًّا مستقيمًا بين النقطتين A وB.

4. أعد اللوح الزجاجي إلى مكانه داخل المخطط على الورقة، ثم أسقط شعاعًا ضوئيًّا من الصندوق الضوئي بحيث ينطبق الشعاع الضوئي على الخط AB، واستخدم الدبوسين لتحديد نقطتين (C وD) في مسار الشعاع الخارج من متوازي المستطيلات، واستخدم المسطرة وقلم التلوين السابق نفسه لتصل بين النقطتين، وتكمل الخط حتى يتلاقى مع الحد الخارجي لمتوازي المستطيلات، ولتصل أيضًا بين النقطتين B وC.

5. ارسم خطًّا متقطعًا عموديًّا على الحد الخارجي عند النقطة C، وسمِّ النقطة على العمود المقام N'_2.

6. قِس باستخدام المنقلة الزاوية θ_2، وسجّل هذه الزاوية في جدول البيانات لزاوية السقوط 30°.

7. قِس باستخدام المنقلة الزاوية θ'_2، وسجّل هذه الزاوية في جدول البيانات لزاوية السقوط 30°.

8. كرّر الخطوات من 3 إلى 7 لخمس زوايا أخرى من اختيارك، واستخدم قلم تلوين مختلفًا لكل محاولة. وسجّل النتائج في جدول البيانات.

التحليل

1. **استخدام الأرقام** احسب $\sin\theta_1$ و$\sin\theta_2$ لكل محاولة، وسجّل النتائج في جدول البيانات.

2. **استخدام الأرقام** احسب n_2 لكل محاولة. وسجّل النتائج في جدول البيانات.

الاستنتاج والتطبيق

1. **تفسير البيانات** قارن بين معامل الانكسار للزجاج لكل محاولة. هل هناك توافق بينها؟ ماذا تستنتج؟

2. **تفسير البيانات** قارن بين قيم θ_1 وθ'_2 لكل محاولة. هل هناك علاقة بينهما؟ وإذا كان هناك علاقة، فعلام يدل ذلك؟

التوسع في البحث

1. ماذا يحدث لو أُجريت هذه التجربة أسفل الماء؟ قارن النتائج التي تحصل عليها في حال حدوث ذلك مع النتائج التي حصلت عليها من هذه التجربة.

2. ما الذي يمكنك أن تفعله لجعل قياساتك للزوايا أكثر دقة؟

الفيزياء في الحياة

يعاني الشعاع الخارج من متوازي المستطيلات الزجاجي من إزاحة جانبية في مساره بعد عبوره متوازي المستطيلات الزجاجي، فهل هذا يعني أنك إذا نظرت من زجاج نافذة فسترى الأشياء مزاحة جانبيًّا؟ وضِّح إجابتك.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات حول الضوء والبصريات ارجع إلى شبكة الإنترنت أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني: obeikaneducation.com

الأنظمة البصرية المتكيفة Adaptive Optical Systems

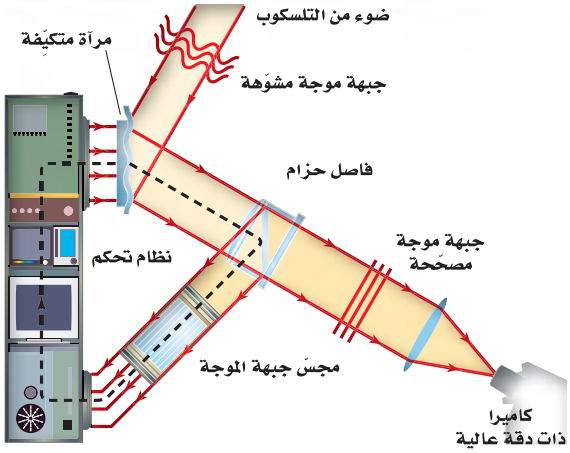
الأجسام الموجودة في الفضاء يصعب ملاحظتها من الأرض؛ لأنها برّاقة ومتلألئة؛ حيث تؤدي حركة الغلاف الجوي والتسخين غير المتساوي له إلى انكسار الضوء القادم من تلك الأجسام بصورة فوضوية، ويمكن تشبيه ذلك بمحاولة النظر إلى جسم صغير من خلال الجزء السفلي لبرطمان فارغ مصنوع من الزجاج الشفاف في أثناء تدويره.

المرآة المتكيّفة المرنة يعوِّض النظام البصري المتكيّف AOS باستمرار التشوهات الناجمة عن الغلاف الجوي من خلال إزالة اللمعان من صور النجوم؛ حتى يتمكن الفلكيون من مشاهدة صور ثابتة لأبعد الأجسام في الكون المرئي وتصويرها.

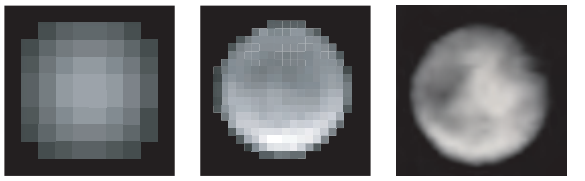
ينقل النظام البصري المتكيّف AOS صورة النجم المكبَّرة من المقراب إلى مرآة متكيّفة مرنة مصنوعة من زجاج رقيق، وتُشد هذه المرآة بواسطة 20 –30 مكبسًا متحركًا، إذ تؤدي تلك المكابس إلى دفع سطح المرآة أو سحبه إلى أي شكل مهما كان معقَّدًا أو صعبًا. ويعمل كل مكبس بمحرك سريع، يتم التحكم فيه آليًّا عن طريق حاسوب. وعندما يصبح سطح المرآة مطابقًا تمامًا للنمط المحدّد في الوقت المحدّد فإنها تُعوِّض عن حركة الحمل الحراري في الغلاف الجوي بين التلسكوب والنجم، وستعكس صورة واضحة نحو المراقب أو الكاميرا.

مجس جبهة الموجة يُوجَّه مجس جبهة الموجة نحو نجم واحد خلال التلسكوب للكشف عن التشوّه الناجم بفعل الغلاف الجوي في كل لحظة؛ إذ تحتوي هذه الأداة على مجموعة مرتبة من العدسات الرقيقة في صفوف متعدّدة، وتكوّن كل مجموعة عدسات صورة للنجم على شاشة حساسة خلفها، ويمكن أن يُقرأ موقع كل صورة بواسطة الحاسوب.

وإذا كانت الصورة لا تقع خلف مجموعة العدسات الخاصة بها تمامًا فإن برمجيّات الحاسوب تميّز أن موجات النجم الضوئية تكون مشتّتة بفعل الغلاف الجوي. لاحظ أن النجم يمثّل مصدرًا ضوئيًّا نقطيًّا بعيدًا، لذا فإنه يُنتج موجات مستوية.



يلغي النظام البصري المتكيّف التشويه في صورة تيتان – أكبر أقمار زحل



تلسكوب تقليدي | تلسكوب هابل الفضائي | تلسكوب كيك الذي يستخدم النظام البصري المتكيّف

والصورة المشوّهة للنجم ناتجة عن موجات ضوء غير مستوية، وهذه الموجات غير المستوية تؤدي إلى إزاحة صور النجم خلف بعض مجموعات العدسات فتختفي الصورة.

وتعالج برمجيّة الحاسوب هذا الخطأ، وتحسب كيف يجب أن تُثنى المرآة لإعادة الصور المختفية جميعها إلى مكانها؛ إذ تنعكس صورة النجم نحو المشاهد (المراقب) ثم تُصحّح، ولذا سترى صورة جميع الأجسام (مثل المجرات والكواكب) القريبة بوضوح. ونستطيع تغيير شكل المرآة المتكيّفة 1000 مرة تقريبًا في الثانية.

التوسع

1. **ابحث** ما الإجراء المتّبع إذا لم يكن هناك نجم مناسب لتحليله أو دراسته باستخدام مجس جبهة الموجة، وذلك في منطقة من الفضاء تحت المراقبة؟
2. **طبّق** ابحث في كيفية استخدام المتكيّف البصري في المستقبل لتصحيح الرؤية.

الوحدة 6
دليل مراجعة الوحدة

6–1 الانعكاس والمرايا Reflection and mirrors

المفردات
- نموذج الشعاع الضوئي
- العمود المقام
- زاوية السقوط
- زاوية الانعكاس
- الجسم
- الصورة
- مرآة مقعرة
- مرآة مجمِّعة
- البؤرة
- البعد البؤري
- مرآة محدبة
- مرآة مفرِّقة

المفاهيم الرئيسة
- وفق قانون الانعكاس، فإن الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام على السطح عند النقطة نفسها.
- يُطبَّق قانون الانعكاس على السطوح الخشنة والسطوح المصقولة، حيث يكون العمود المقام على السطح الخشن في اتجاهات كثيرة مختلفة، وهذا يعني أن الأشعة الساقطة المتوازية تنعكس مشتّتة.
- الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية خياليّة دائمًا، وحجمها يساوي حجم الجسم نفسه، ولها اتجاه الجسم نفسه، وبعدها عن المرآة يساوي بُعد الجسم عن المرآة.
- يمكنك تحديد موقع الصورة التي تكوّنها مرآة كرويّة من خلال رسم شعاعين من نقطة على الجسم إلى المرآة، وتكون نقطة تقاطع الشعاعين المنعكسين أو امتداديهما هي صورة نقطة الجسم.
- تُعبّر النسبة بين بُعد الصورة وبُعد الجسم، أو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم عن تكبير الصورة في المرآة.
- تُكوِّن المرآة المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة عندما يكون بُعد الجسم أكبر من البعد البؤري.
- تُكوّن المرآة المقعرة صورة خيالية ومعتدلة عندما يكون بُعد الجسم أقل من البعد البؤري.
- تُكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورة خيالية ومعتدلة ومصغرة.
- يمكن استخدام المرايا في مجموعات أو ضمن تراكيب لإنتاج صور بأحجام وأوضاع ومواقع مختلفة بحسب الحاجة أو الرغبة. ويُعدّ التلسكوب الاستخدام الأكثر شيوعًا لمثل هذه التراكيب.

6–2 الانكسار والتحليل Refraction and dispersion

المفردات
- الانكسار
- زاوية الانكسار
- معامل الانكسار
- قانون سنل في الانكسار
- الزاوية الحرجة
- الانعكاس الكلي الداخلي
- التحليل

المفاهيم الرئيسة
- ينحرف مسار الضوء عندما ينتقل من وسط ذي معامل انكسار n_1 إلى وسط آخر معامل انكساره مختلف n_2.
- النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ c إلى سرعته في أيّ وسط آخر تساوي معامل انكسار الوسط n.
- ينص قانون سنل في الانكسار على أن حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الأول في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار.
- عندما ينتقل الضوء من وسط لوسط آخر معامل انكساره أقل وبزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة θ_c، فإن الضوء ينعكس انعكاسًا كليًّا داخليًّا في الوسط نفسه الذي هو فيه، ولا ينفذ إلى الوسط الآخر.

6–3 العدسات وتصحيح البصر Lenses and vision correction

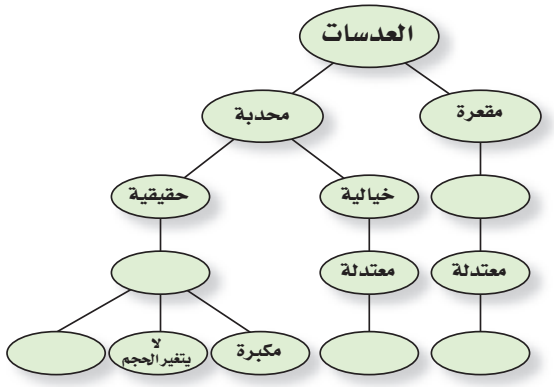
المفردات
- العدسة
- العدسة المحدبة
- العدسة المجمِّعة
- المحور الرئيس
- العدسة المقعرة
- العدسة المفرِّقة
- التكبير
- صورة حقيقية
- صورة خيالية
- مقلوب

المفاهيم الرئيسة
- يُعرَّف التكبير m للصورة الناتجة عن عدسة بالطريقة نفسها التي عُرِّف بها التكبير للصورة الناتجة عن مرآة.
- تُكوِّن العدسة المحدبة المفردة صورة حقيقية مقلوبة عندما يكون بُعد الجسم أكبر من البعد البؤري، وتكون الصورة مصغّرة أو مكبّرة وفقًا لبعد الجسم.
- تُكوِّن العدسة المحدبة المفردة صورة خيالية معتدلة ومكبّرة عندما يوضع الجسم بين العدسة والبؤرة.
- تُكوِّن العدسة المقعرة صورًا خيالية دائمًا، وتكون معتدلة ومصغّرة.
- جميع العدسات لها زوغان لونيّ، وجميع العدسات التي لها سطوح كروية لها زوغان كروي.
- يُعدّ الفرق بين معاملي انكسار الهواء والقرنية المسؤول الرئيس عن تجميع الضوء في العين.
- تستخدم الآلات البصرية مجموعة من العدسات للحصول على صور واضحة للأجسام الصغيرة أو البعيدة.

الوحدة 6
التقويم

خريطة المفاهيم

42. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: مقلوبة، مكبرة، مصغّرة، خيالية.



إتقان المفاهيم

43. كيف يختلف الانعكاس المنتظم عن الانعكاس غير المنتظم؟

44. ماذا يُقصد بالعبارة "العمود المقام على السطح"؟

45. أين تقع الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية؟

46. صف خصائص المرآة المستوية وصفات الصور التي تكوّنها.

47. يعتقد طالب أن فيلمًا فوتوجرافيًّا حسّاسًا جدًّا يمكنه الكشف عن الصورة الخيالية، فوضع الطالب الفيلم في موقع تكوّن الصورة الخيالية. هل ينجح هذا الإجراء؟ وضّح ذلك.

48. كيف تثبت لشخص أن صورة ما هي صورة حقيقية؟

49. ما الخلل أو العيب الموجود في جميع المرايا الكروية المقعرة؟ وما سببه؟

50. ما العلاقة بين نصف قُطر تكور المرآة المقعرة وبعدها البؤري؟

51. إذا عرفت بُعد الصورة وبُعد الجسم عن مرآة كروية، فكيف يمكنك تحديد تكبير هذه المرآة؟

52. لماذا تُستخدم المرايا المحدّبة على أنها مرايا مخصّصة للنظر إلى الخلف؟

53. لماذا يستحيل تكوين صور حقيقية بالمرآة المحدبة؟

54. قارن زاوية السقوط بزاوية الانكسار عندما ينتقل شعاع الضوء من الزجاج إلى الهواء بزاوية لا تساوي صفرًا.

55. على الرغم من أنّ الضوء القادم من الشمس ينكسر في أثناء مروره في الغلاف الجويّ للأرض، إلّا أنّ الضوء لا يتحلّل إلى طيفه. فإلامَ يشير هذا بالنسبة لسرعات الألوان المختلفة للضوء المنتقلة في الهواء؟

56. فسّر لماذا يبدو القمر أحمر اللون في أثناء الخسوف؟

57. ما العامل الذي يحدّد موقع البؤرة للعدسة، غير تقوّس سطح العدسة؟

58. عند عرض صورة بآلة عرض الأفلام على شاشة، فإنَّ الفيلم يوضع بين F و $2F$ لعدسة مجمِّعة. ويُنتج هذا الترتيب صورة مقلوبة، فلماذا يظهر مشهد الفيلم معتدلاً عندما يعرض الفيلم؟

59. وضّح لماذا تستخدم الآلات البصرية الدقيقة العدسات اللّالونية.

60. ما الحالة التي يكون عندها البعد البؤري للعين قصيرًا جدًّا بحيث لا يمكنه تجميع الضوء على الشبكية؟

61. ما طبيعة الصورة المتكوّنة بالعدسة الشيئية في المنظار الفلكي الكاسر؟

62. لماذا تعد زيادة المسافة بين العدستين الشيئيتين في المنظار أمرًا نافعًا؟

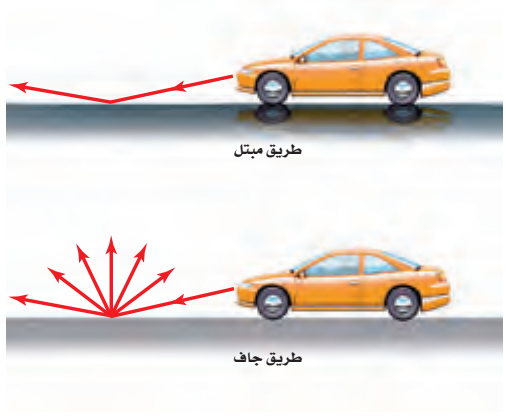
63. ما الغرض من المرآة العاكسة في آلة التصوير؟

عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

تقويم الوحدة 6

تطبيق المفاهيم

64. الطريق المبتلّة تُفرِّق الطريق الجافة الضوء بمقدار أكبر من الطريق المبتلّة. بالاعتماد على **الشكل 53–6**، اشرح لماذا تبدو الطريق المبتلّة أكثر سوادًا من الطريق الجافة بالنسبة للسائق؟



الشكل 53–6

65. صفحات الكتاب لماذا يُفضل أن تكون صفحات الكتاب خشنة على أن تكون ملساء ومصقولة؟

66. اذكر الصفات الفيزيائية للصورة التي تكوّنها مرآة مقعرة إذا كان الجسم موضوعًا عند مركز تكوّرها، وحدّد موقعها.

67. إذا وضع جسم خلف مركز تكوّر مرآة مقعرة، فحدّد موقع الصورة، واذكر صفاتها الفيزيائية.

68. المنظار الفلكي (التلسكوب) إذا احتجت إلى مرآة مقعرة كبيرة لصنع تلسكوب يكوّن صورًا ذات جودة عالية فهل تستخدم مرآة كروية أم مرآة قطع مكافئ؟ وضّح ذلك.

69. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة حقيقية باستخدام مرآة كروية مقعرة؟

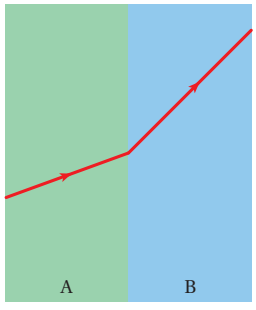
70. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة مصغرة بمرآة كروية محدبة أو مقعرة؟

71. صف خصائص الصورة التي كوّنتها المرآة المحدبة الموضّحة في **الشكل 54–6**.

الشكل 54–6

72. المرايا المستخدمة للرؤية الخلفية يُكتب على مرايا السيارة الجانبية المستخدمة في النظر إلى الخلف التحذير التالي: "الأجسام في المرآة أقرب مما تبدو عليه". ما نوع هذه المرايا؟ وبمَ تمتاز عن غيرها؟

73. أيُّ المادتين: A، أم B، في **الشكل 55–6** لها معامل انكسار أكبر؟ وضّح ذلك.



الشكل 55–6

74. كيف يتغير مقدار الزاوية الحرجة مع زيادة معامل الانكسار؟

75. قوس المطر لماذا لا تستطيع رؤية قوس المطر في السماء جنوبًا إذا كنت في نصف الكرة الأرضية الشمالي؟ وإذا كنت في نصف الكرة الأرضية الجنوبي فإلى أيِّ اتجاه يجب أن تنظر لترى قوس المطر؟

تقويم الوحدة 6

76. يستخدم سبّاح عدسة مكبِّرة لمشاهدة جسم صغير في قاع بركة سباحة، واكتشف أنها لا تُكبِّر الجسم بشكل جيد، فسّر لماذا لا تعمل العدسة المكبّرة في الماء كما كانت تعمل في الهواء.

77. لماذا يكون هنالك زوغان لوني للضوء المار خلال عدسة، في حين لا يكون للضوء الذي ينعكس عن مرآة زوغان لوني؟

78. يكون بؤبؤ العينين صغيرًا عندما تتعرض لضوء الشمس الساطع مقارنة بالتعرض لضوء أخفت، وضّح لماذا تستطيع عيناك تجميع الضوء بشكل أفضل في الضوء الساطع؟

إتقان حل المسائل

6–1 الانعكاس والمرايا

79. سقط شعاع ضوئي بزاوية 38° مع العمود المقام عند نقطة السقوط. ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام؟

80. إذا سقط شعاع ضوئي بزاوية 53° مع سطح المرآة؛ فأوجد مقدار:

a. زاوية الانعكاس.

b. الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.

81. ارسم مخطّط أشعة لمرآة مستوية تبيِّن فيه أنه إذا أردت رؤية نفسك من قدميك حتى قمة رأسك فيجب أن يكون طول المرآة المستخدمة على الأقل يساوي نصف طولك.

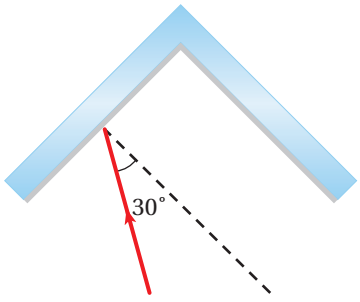
82. **الصورة في المرآة** أراد طالب أن يلتقط صورة لصورته في مرآة مستوية كما في **الشكل 6–56**. فإذا كانت الكاميرا على بعد 1.2 m أمام المرآة، فعلى أيِّ بُعد يجب أن يركّز عدسة الكاميرا لالتقاط الصورة؟

الشكل 6–56

83. يبيِّن **الشكل 6–57** مرآتين مستويتين متجاورتين بينهما زاوية 90°، فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30°، فأجب عما يلي:

a. ما زاوية انعكاس الشعاع عن المرآة الأخرى؟

b. البريسكوب العاكس هو أداة تعكس الأشعة الضوئية في اتجاه معاكس وموازٍ لاتجاه الأشعة الضوئية الساقطة. ارسم مخطّطًا يبيِّن زاوية السقوط على إحدى المرآتين بحيث يعمل نظام المرآتين عمل عاكس.



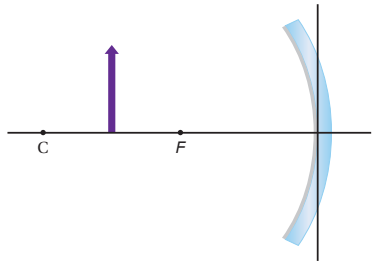
الشكل 6–57

84. وضِعت مرآتان مستويتان بحيث كانت الزاوية بينهما 45°. فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30° وانعكس عن المرآة الثانية، فاحسب زاوية انعكاسه عن المرآة الثانية.

تقويم الوحدة 6

85. بيت الألعاب يقف طالب بالقرب من مرآة محدبة في بيت الألعاب، فلاحظ أن صورته تظهر بطول 0.60 m. فإذا كان تكبير المرآة $\frac{1}{3}$، فما طول الطالب؟

86. صف الصورة المتكوّنة للجسم في **الشكل 58–6**، مبينًا هل هي حقيقية أم خيالية، مقلوبة أم معتدلة؟ وهل هي أقصر من الجسم أم أطول منه؟



الشكل 58–6

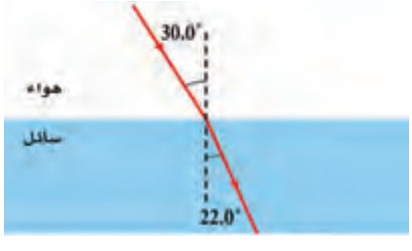
87. صورة نجم جُمع الضوء القادم من نجم بواسطة مرآة مقعرة. ما بُعد صورة النجم عن المرآة إذا كان نصف قطر تكوّر المرآة 150 cm؟

6–2 الانكسار والتحليل

88. ينتقل شعاع ضوء من الهواء إلى سائل ما، كما في **الشكل 59–6**، حيث يسقط الشعاع على السائل بزاوية 30.0°، وينكسر بزاوية 22.0°.

a. احسب معامل انكسار السائل باستخدام قانون سنل.

b. قارن معامل الانكسار الذي حسبته بالقيم الموجودة في الجدول 1–5، وماذا يمكن أن يكون هذا السائل؟



الشكل 59–6

89. يسقط شعاع ضوئي على زجاج مسطَّح لأحد جوانب حوض سمك، بزاوية مقدارها 40.0° بالنسبة للعمود المقام. فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج $n = 1.50$، فاحسب مقدار:

a. زاوية انكسار الضوء في الزجاج.

b. زاوية انكسار الضوء في الماء.

90. ارجع إلى الجدول 2–6، واستخدم معامل انكسار الألماس لحساب سرعة الضوء فيه.

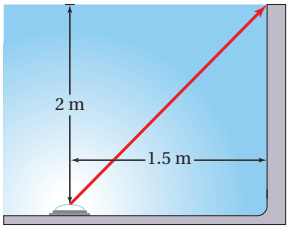
91. ارجع إلى الجدول 2–6، وأوجد الزاوية الحرجة للألماس في الهواء.

92. حوض سمك استخدمت صفيحة سميكة من البلاستيك $n = 1.500$، في صنع حوض سمك، فإذا انعكس ضوء عن سمكة موجودة في الماء وسقط على صفيحة البلاستيك بزاوية 35.0°، فما مقدار الزاوية التي سيخرج فيها الضوء إلى الهواء؟

93. أضواء حوض السباحة وضع مصدر ضوء في قاع حوض سباحة على عمق 2.0 m من سطح الماء، ويبعد عن طرف الحوض 1.5 m كما في **الشكل 60–6**. وكان الحوض مملوءًا بالماء إلى قمته.

a. ما مقدار الزاوية التي يصل فيها الضوء طرف المسبح خارجًا من الماء؟

b. هل تؤدي رؤية الضوء بهذه الزاوية إلى ظهوره بشكل أعمق أم أقل عمقًا مما هو عليه في الواقع؟



الشكل 60–6

94. إذا كانت سرعة الضوء في بلاستيك شفاف $1.90\times10^{8}\ m/s$. وسقط شعاع ضوء على البلاستيك بزاوية 22.0°، فما مقدار الزاوية التي ينكسر بها الشعاع؟

6–3 العدسات وتصحيح البصر

95. وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 15 cm أمام عدسة، فتكوّنت له صورة حقيقية على بُعد 10 cm من العدسة.

a. ما نوع العدسة؟

b. ما تكبير الصورة؟

c. ما طول الصورة؟

96. وضع جسم على بُعد 7.5 cm أمام عدسة بُعدها البؤري 15.0 cm–، وعند النظر من خلال العدسة شوهد له صورة طولها 2.0 cm على بُعد 5.0 cm من العدسة.

a. ما نوع العدسة؟

b. ما تكبير الصورة؟

c. ما طول الجسم؟

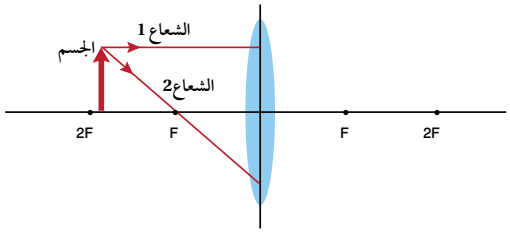
97. وضع جسم على بُعد 10 cm أمام عدسة محدبة، فتكوّن له صورة مكبّرة بمقدار أربع مرات. ما بُعد الصورة عن العدسة؟

98. صِف الصورة المتكوّنة للجسم في **الشكل 6–61**، من خلال رسم مخطط الأشعة، ثم أجب عما يلي:

a. هل الصورة حقيقية أم خيالية؟

b. هل الصورة مقلوبة أم معتدلة؟

c. هل الصورة أقصر من الجسم أم أطول منه؟

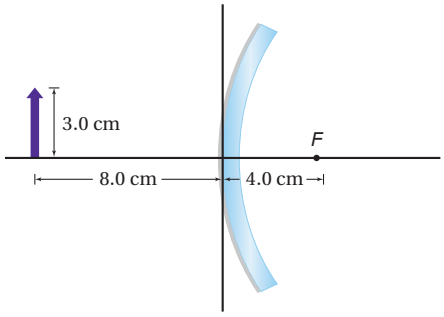


الشكل 6–61

مراجعة عامة

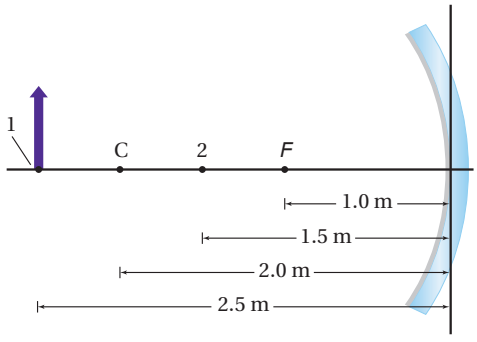
99. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 28°، فإذا حُرّك مصدر الضوء بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 34°، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟

100. انسخ **الشكل 6–62** إلى دفترك، ثم ارسم أشعة على الشكل لتحديد طول الصورة المتكوّنة وموقعها.



الشكل 6–62

101. تحرّك الجسم في **الشكل 6–63** من الموقع 1 إلى الموقع 2. انسخ الشكل إلى دفترك، ثم ارسم أشعة تبيّن كيف تتغيَّر الصورة.



الشكل 6–63

تقويم الوحدة 6

102. وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 30.0 cm أمام مرآة، فتكوَّنت له صورة حقيقية طولها 1.8 cm.

a. ما نوع المرآة؟

b. ارسم مخطط الأشعة للمسألة.

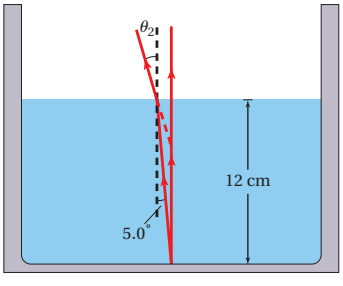
c. ما تكبير الصورة؟

d. ما بُعد الصورة عن المرآة؟

103. **العمق الظاهري** ينعكس ضوء الشمس من قاع حوض سمك وينتشر في جميع الاتجاهات. ويوضّح **الشكل 64–6** شعاعين من هذه الأشعة المنعكسة من نقطة في قاع الحوض ينتقلان إلى السطح، فتنكسر الأشعة في الهواء كما هو مبين. إنّ امتداد الخط الأحمر المتقطع إلى الخلف، من شعاع الضوء المنكسر هو خط النظر الذي يتقاطع مع الشعاع الرأسي عند الموقع الذي سيرى فيه المشاهد صورة قاع الحوض.

a. أوجد زاوية انكسار الشعاع في الهواء.

b. على أيّ عمق سيبدو قاع الحوض عندما تنظر إلى الماء؟ اقسم العمق الظاهري على العمق الحقيقي وقارن هذه النسبة بمعامل الانكسار.



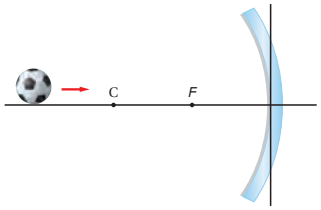
الشكل 64–6

104. إذا كانت الزاوية الحرجة لقالب زجاجي 45.0°، فما معامل انكساره؟

105. أوجد سرعة الضوء في حجر ثالث أوكسيد الأنتيموني (antimony trioxide)، إذا كان معامل انكساره 2.35.

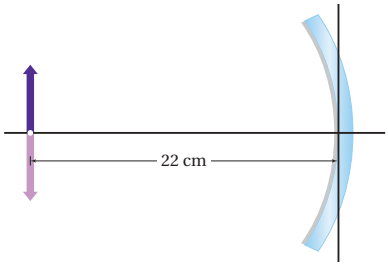
التفكير الناقد

106. **تطبيق المفاهيم** تتدحرج الكرة في **الشكل 65–6** ببطء إلى اليمين نحو مرآة مقعَّرة. صف كيف يتغيّر حجم صورة الكرة في أثناء تدحرجها نحو المرآة.



الشكل 65–6

107. **التحليل والاستنتاج** وُضع جسم على بُعد 22 cm من مرآة مقعرة، كما في **الشكل 66–6**، ما البعد البؤري للمرآة؟

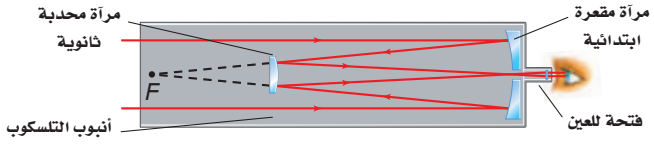


الشكل 66–6

108. **تطبيق المفاهيم** هل يكون الزوغان الكروي للمرآة أقل إذا كان ارتفاعها أكبر من نصف قطر تكورها، أم إذا كان ارتفاعها أقل من نصف قطر تكوّرها؟ وضّح ذلك.

تقويم الوحدة 6

109. التحليل والاستنتاج يستخدم ترتيب بصري في بعض التلسكوبات يُسمى (تركيز كاسيجرين) كما في **الشكل 67–6**. ويستخدم هذا التلسكوب مرآة محدبة ثانوية توضع بين المرآة الابتدائية وبؤرتها. أجب عما يلي:



الشكل 67–6

a. تكوِّن المرآة المحدبة المفردة صورًا خيالية فقط. اشرح كيف تكوّن هذه المرآة في هذا النظام من المرايا صورًا حقيقية؟

b. هل الصور المتكوّنة في هذا النظام معتدلة أم مقلوبة؟ وما علاقة ذلك بعدد مرات تقاطع الأشعة؟

110. إدراك العلاقة المكانية ينتقل ضوء أبيض في هواء معامل انكساره 1.0003، ويدخل شريحة زجاجية بزاوية سقوط 45°. فإذا كان معامل انكسار الزجاج الصواني الكثيف يساوي 1.7708 للضوء الأزرق، ويساوي 1.7273 للضوء الأحمر، فما مقدار زاوية الانكسار (التشتت) التي ينحصر فيها الطيف المرئي؟ علمًا بأن الطول الموجي للضوء الأزرق 435.8 nm، والطول الموجي للضوء الأحمر 643.8 nm.

111. قارن أوجد الزاوية الحرجة للجليد الذي معامل انكساره 1.31. في المناطق الباردة جدًّا، هل تكون أسلاك الألياف الضوئية المصنوعة من الجليد أفضل من تلك المصنوعة من الزجاج لحفظ الضوء داخل السلك؟ وضِّح ذلك.

112. التحاليل والاستنتاج عندما تستخدم التكبير الأقصى في المجهر، فإن الصورة تكون معتمة أكثر منها في حالة التكبير الأقل. ما الأسباب المحتملة لتكوّن الصورة المعتمة؟ وما الذي يمكن أن تفعله للحصول على صورة أوضح؟

الكتابة في الفيزياء

113. تعكس المرايا الأشعة؛ لأنها مطلية بالفلزات. ابحث في واحد مما يأتي، واكتب ملخَّصًا حوله:

a. الأنواع المختلفة للطلاء المستخدم، ومزايا كل نوع وسلبياته.

b. صقل الألومنيوم بدرجة دقيقة من النعومة، بحيث لا تحتاج إلى زجاج لعمل مرآة.

114. ابحث في نظام العدسات المستخدم في الآلات البصرية، ومنها جهاز عرض الشفافيات أو آلات التصوير الخاصة أو التلسكوب، وحضِّر عرضًا تصويريًّا للصف تبيِّن من خلاله كيف تكوّن هذه الآلات الصور.

مراجعة تراكمية

115. ما سرعة الموجات المتولِّدة في وتر طوله 60.0 cm، إذا نُقر في منطقة الوسط فأصدر نغمة تردّدها 440 Hz؟

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

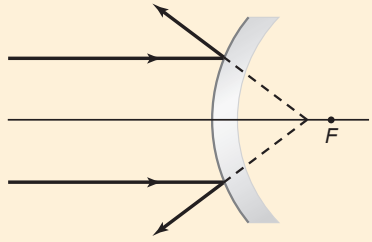
اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أين يجب وضع جسم بحيث تكوِّن له مرآة مقعرة صورة مصغّرة؟

(A) في بؤرة المرآة
(B) بين البؤرة والمرآة
(C) بين البؤرة ومركز التكوّر
(D) خلف مركز التكوّر

2. لا تتجمع امتدادات الأشعة الضوئية بدقة في البؤرة في الشكل أدناه. وهذه المشكلة تحدث في:

(A) المرايا الكروية جميعها
(B) مرايا القطع المكافئ جميعها
(C) المرايا الكروية المعيبة فقط
(D) مرايا القطع المكافئ المعيبة فقط



3. وُضعت كأس على بُعد 17 cm من مرآة مقعرة، فتكوّنت لها صورة على بُعد 34 cm أمام المرآة. ما تكبير الصورة؟ وما اتجاهها؟

(A) 0.5، (مقلوبة)
(B) 0.5، (معتدلة)
(C) 2.0، (مقلوبة)
(D) 2.0، (معتدلة)

4. وُجِّه شعاع من مصباح يدوي على بركة سباحة في الظلام بزاوية 46° بالنسبة للعمود المقام على سطح الماء. ما مقدار زاوية انكسار الشعاع في الماء؟ (معامل انكسار الماء 1.33)

(A) 18°
(B) 30°
(C) 33°
(D) 44°

5. إذا كانت سرعة الضوء في الألماس 1.24×10^8 m/s، فما معامل انكسار الألماس؟

(A) 0.0422
(B) 0.413
(C) 1.24
(D) 2.42

6. ما الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي، عندما ينتقل الضوء من زجاج معامل انكساره 1.52 إلى الماء الذي معامل انكساره 1.33؟

(A) 29.0°
(B) 41.2°
(C) 48.8°
(D) 61.0°

7. ماذا يحدث للصورة المتكوّنة من عدسة محدبة عندما يُغطَّى نصفها؟

(A) تختفي نصف الصورة
(B) تعتم الصورة
(C) تصبح الصورة ضبابية
(D) تنعكس الصورة

الأسئلة الممتدة

8. إذا كانت الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي عند الحدّ الفاصل بين الألماس والهواء 24.4°، فما زاوية الانكسار في الهواء إذا كانت زاوية سقوط الشعاع على الحد الفاصل 20°؟

9. يتكوّن لجسم يبعد 6.98 cm عن عدسةٍ صورةٌ تبعد 2.95 cm عن العدسة في الجانب نفسه. حدّد نوع العدسة، ووضّح كيف عرفت ذلك.

✓ إرشاد

دوِّن حساباتك

دوّن حساباتك وملاحظاتك حيثما كان ذلك ممكنًا. وأجر الحسابات كتابيًّا لا ذهنيًّا، ثم ضع خطًّا تحت الحقائق المهمة في العبارات والأشكال، وأعد قراءتها، ولا تحاول حفظها.

الوحدة 7

الكهرباء Electricity

رقمُ الوحدة: 10AP.6 – 10AP.7

ما الذي ستتعلمه في هذه الوحدة؟

- التمييز بين الكهرباء الساكنة والتيار الكهربائي.
- تعرُّف كيفية شحن الأجسام العازلة.
- تعرُّف كيفية تأثير المجال الكهربائي في الشحنات.
- توضيح المقصود بكل من: المجال الكهربائي، والتيار الكهربائي، وفرق الجهد الكهربائي، والقدرة الكهربائية.
- حساب مقدار كل من: شدة التيار الكهربائي، وفرق الجهد الكهربائي بين نقطتين، والقدرة الكهربائية.

الأهمية

تتحكم الكهرباء الساكنة في عمل كثير من الأجهزة، ومنها آلة الطباعة وآلة تصوير الأوراق، ومع ذلك فإن لها آثارًا سلبية على بعض المكونات الإلكترونية لأجهزة أخرى. ويُعدّ **البرق** مثالًا على تفريغ الكهرباء الساكنة، وهو مشابه لتكون الشرارة الكهربائية الصغيرة التي تحس بها عندما تلمس مقبض الباب الفلزي في يومٍ جاف.

فكِّر

ما أسباب تراكم الشحنات على السحب الرعدية؟ وكيف يحدث تفريغها على شكل برق؟

7–1 الكهرباء الساكنة
Electrostatics

معايير الأداء الرئيسة

30.2– 30.3

الأهداف

- **تتعرف** كيفية شحن الأجسام العازلة بالكهرباء.
- **تستخدم** الكشاف الكهربائي لمعرفة نوع شحنة جسم.
- **توضح** كيفية توزيع الشحنات الكهربائية على الموصلات المشحونة.
- **تبين** كيف يؤثر المجال الكهربائي في الشحنات.

المفردات

- شحنة Charge
- كهرباء سكونية Electrostatics
- كولوم Coulomb
- ثنائي القطب الكهربائي Electric dipole
- المجال الكهربائي Electric field
- خطوط المجال الكهربائي Electric field lines

أجرى العالم بنيامين فرانكلن عام 1752 م تجربة على طائرة ورقية، وربط مفتاحًا فلزيًّا في نهاية الخيط المتصل بها. وعندما اقتربت عاصفة رعدية من الطائرة الورقية لاحظ أن ألياف الخيط الرخوة قد انتصبت وتنافر بعضها مع بعض. وعندما قرب إصبعه من المفتاح لاحظ حدوث شرارة كهربائية بين المفتاح وإصبعه كادت أن تصعقه. وانطلقت بعد ذلك سلسلة من البحوث والتجارب في مجال الكهرباء، خاصة بعدما أظهرت تجربة فرانكلين أن البرق يشبه الشرر الناجم عن الاحتكاك. وتسمى التأثيرات الكهربائية التي تتولد بهذه الطريقة الكهرباء الساكنة.

ستستقصي في هذه الوحدة الكهرباء الساكنة، وهي دراسة الشحنات الكهربائية التي تتراكم على سطح ما، كما ستستقصي الكهرباء التيارية كتلك المتولدة من البطاريات وغيرها.

تجربة استهلالية

كيف تتفاعل الأجسام المشحونة عن بُعد؟

سؤال التجربة كيف يتأثر جسم مشحون بتفاعله عن بُعد مع أجسام أخرى مشحونة؟

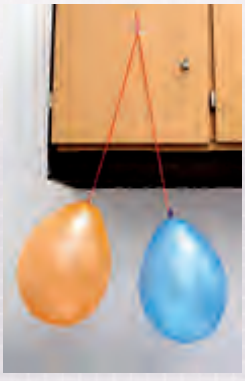
الخطوات

1. انفخ بالونين، ثم اربط كلًّا منهما بخيط طوله $\frac{1}{2}$m.
2. ادلك أحد البالونين بثوبك 8–5 مرات حتى تشحنه، ثم علّقه في خزانة أو طاولة أو غيرهما من وسائل التعليق، مستعملًا شريطًا لاصقًا لتثبيت طرف الخيط.
3. ادلك البالون الثاني بالطريقة نفسها، ثم علّقه بالقرب من البالون الأول.
4. **لاحظ** قرّب البالون الثاني إلى البالون الأول ببطء، وصِفْ سلوك البالونين. ألصق طرف خيط البالون الثاني بحيث يصبح معلّقًا بجانب البالون الأول.
5. **لاحظ** قرّب يدك من البالونين المشحونين. ماذا يحدث؟

التحليل

ماذا تلاحظ عندما تقرّب أحد البالونين إلى الآخر؟ وماذا يحدث عندما تقرّب يدك إلى البالونين؟

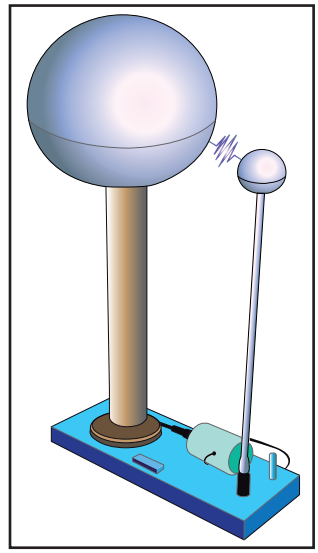
التفكير الناقد اذكر جسمين آخرين (غير البالونين) يؤثر كل منهما في الآخر بقوة عن بُعد.



الشحنة الكهربائية Electric charge

درست سابقًا أن المادة تتكون من ذرات، وأن الذرة تكون متعادلة كهربائيًّا في الحالة الطبيعية؛ أي أن عدد الشحنات الموجبة (البروتونات) فيها يساوي عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات). وتكتسب الذرة **شحنة Charge** إذا فقدت أو اكتسبت إلكترونات سالبة، وأن المادة العازلة مثل البلاستيك والزجاج تشحن بالكهرباء عند دلكها بمواد أخرى كالحرير والصوف، فدلك ساق من البلاستيك بالصوف يكسبها شحنة كهربائية سالبة، بينما يصبح الصوف موجب الشحنة. كما أن دلك الزجاج بالحرير يولد شحنة موجبة على الزجاج، بينما تتولد شحنة سالبة على الحرير.

يستخدم جهاز الفان دي جراف لتوليد الشحنات الكهربائية؛ حيث تتولد شحنة كهربائية موجبة على كرته الفلزية (القبة) عند تشغيله. وللتأكد من شحن كرته نقرب منها إلى مسافة كافية كرة فلزية صغيرة متعادلة، فنشاهد شرارة (وميضًا) تنطلق من كرة الجهاز (قبته) في اتجاه الكرة الأخرى لاحظ **الشكل 1–7**. وهذا دليل على أن كرة الجهاز كانت مشحونة. لكن ما تلك الشرارة التي انطلقت من كرة الجهاز إلى الكرة الصغيرة؟ وكيف تم شحنها؟ إن هذه الشرارة عبارة عن شحنات كهربائية تولدت على كرة الجهاز نتيجة لحركة الجزء الأسفل منه، ثم عمل الحزام المتحرك على نقل تلك الشحنات إلى الكرة فسكنت عليها. إن الشحنات الكهربائية التي تولدت بالطرق السابقة على الصوف أو البلاستيك أو على كرة الفان دي جراف أو غيرها تسمى **كهرباء سكونية Electrostatics**.



الشكل 1–7 تفريغ شحنة الفان دي جراف إلى كرة فلزية.

الأجسام المشحونة Charged Objects

هل لاحظت انجذاب شعرك نحو المشط عند تمشيطه في يوم جاف؟ لعلك لاحظت أيضًا التصاق الجوارب أحيانًا بعضها ببعض عند إخراجها من مجفّفة الملابس. ولعلك لاحظت كذلك انجذاب قصاصات الورق إلى المسطرة البلاستيكية المدلوكة بالصوف كما في **الشكل 2–7**. من المؤكد وجود قوة جديدة سببت انجذاب هذه الأجسام (الشعر، الجوارب، قصاصات الورق)، وأن هذه القوة أكبر من قوة جذب الأرض بدليل أنها تغلبت عليها وسببت تسارع قصاصات الورق إلى أعلى.

وهناك اختلافات أخرى بين القوة التي جذبت القصاصات نحو المسطرة وقوة الجاذبية الأرضية؛ فقصاصات الورق لا تنجذب إلى المسطرة إلا بعد دلك المسطرة، كما أن المسطرة تفقد خاصية الجذب هذه بعد فترة قصيرة. أما قوة الجاذبية الأرضية فلا تحتاج إلى دلك

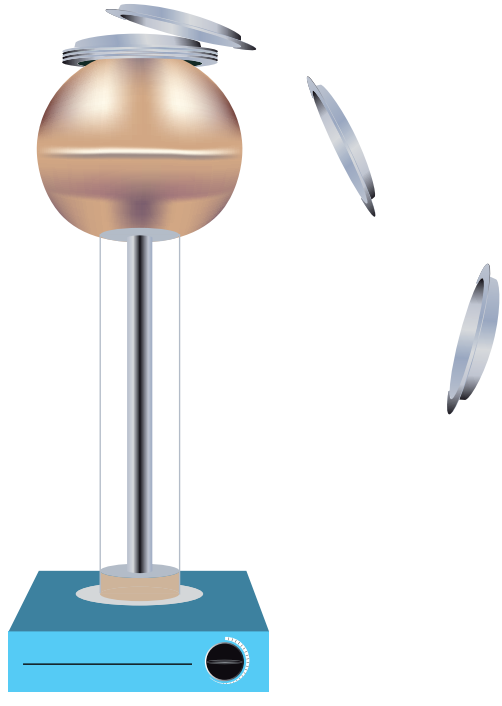
الشكل 2–7 يولّد دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف قوة تجاذب جديدة بين المسطرة وقصاصات الورق. وعند تقريب المسطرة أكثر إلى قصاصات الورق تعمل قوة الجذب الكهربائية على تسارع هذه القصاصات رأسيًّا إلى أعلى في اتجاه معاكس لتسارع قوة الجاذبية الأرضية.

حتى تتولّد، كما أنها لا تفقد خاصية الجذب. لقد لاحظ قدماء الإغريق آثارًا مماثلة لتأثير المسطرة المدلوكة عندما دلكوا العنبر (الكهرمان). (**والكلمة اليونانية التي تكافئ عنبر هي "إلكترون"**)، وتُسمّى خاصية الجذب هذه الآن الكهرباء. وتسمّى الأجسام التي تبدي تفاعلاً كهربائيًّا بعد الدلك الأجسامَ المشحونة.

ولكن كيف تتفاعل الشحنات الكهربائية بعضها مع بعض؟ للإجابة على ذلك ضع عددًا من الأطباق المصنوعة من ورق الألومنيوم بعضها فوق بعض على سطح قبة جهاز الفاندي جراف، ثم شغل الجهاز، وانتظر فترة بسيطة من الزمن، ستلاحظ تطاير الأطباق تتابعًا عن القبة، كما في **الشكل 3–7** وهذا لا يمكن أن يتم إلا بوجود قوة أدت إلى تنافرها. وبالرجوع إلى تلك الأطباق نلاحظ أنها كانت ملامسة للقبة، أي أنها اكتسبت نوع الشحنة نفسه للقبة؛ لذا فإن تلك القوة ناتجة عن تنافر بين الشحنات الكهربائية المتشابهة. أي أن الشحنات المتشابهة تتنافر. أما الشحنات المختلفة فنستنتج العلاقة بينها من خلال تقريب ساق زجاجي مدلوك بالحرير (موجب الشحنة) من ساق بلاستيكي مدلوك بالصوف (سالبة الشحنة) معلق من منتصفه بخيط عازل، نلاحظ أنهما يتجاذبان. أي أن الشحنات المختلفة تتجاذب. وقوة التجاذب والتنافر بين الشحنات الكهربائية تشبه قوة جذب الأرض للأجسام من حيث تأثير بعضها في بعض بقوة عن بُعد دون تلامس.

وقد اصطلح على تسمية المنظومة المكونة من جسمين منفصلين مشحونين بشحنتين كهربائيتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع ويؤثر كل منهما في الآخر، **ثنائي القطب الكهربائي Electric dipole**.

ماذا قرأت؟ ما المقصود بالكهرباء السكونية؟



الشكل 3–7 عند تشغيل جهاز الفان دي جراف تشحن الأوجه المتقابلة من صحون الألومنيوم بشحنات متشابهة فتتنافر مما يسبب تطايرها تباعًا.

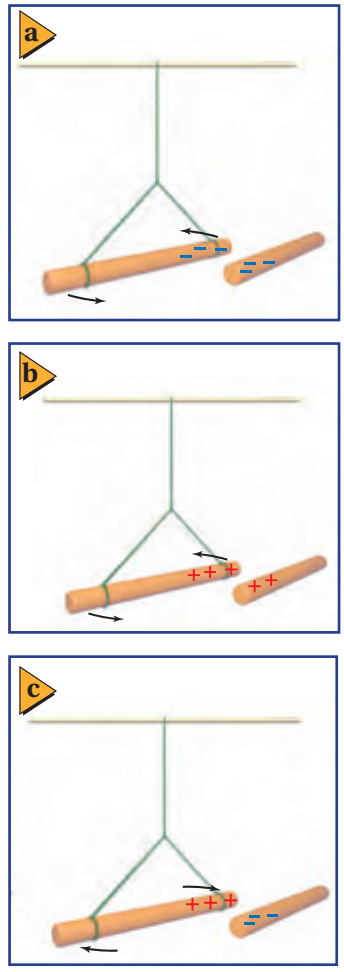
القوى المؤثرة في الأجسام المشحونة
Forces on charged objects

يمكن توضيح القوى التي سببت تنافر الأطباق الموضوعة فوق قبة الفاندي جراف أو التي جذبت الكرة الزجاجية إلى المسطرة البلاستيكية من خلال تعليق قضيب مطاطي صلب ذي شحنة سالبة، بحيث يدور بسهولة، كما هو موضح في **الشكل 4–7**. إذا قرّبت قضيبًا آخر ذا شحنة سالبة من القضيب المعلّق فسوف يدور القضيب المعلّق مبتعدًا؛ حيث تتنافر الشحنات السالبة على القضيبين. وليس من الضروري أن يحدث تلامس بين القضيبين حتى يظهر هذا التأثير؛ فهذه القوة التي تسمى القوة الكهربائية تؤثر عن بُعد. وإذا علّقت قضيبًا زجاجيًّا مشحونًا بشحنة موجبة، ثم قربّت إليه قضيبًا زجاجيًّا آخر مشحونًا بشحنة موجبة أيضًا فسيتنافر القضيبان. أما إذا قرّبت قضيبًا مشحونًا بشحنة سالبة إلى قضيب آخر مشحون بشحنة موجبة فسيجذب كل منهما الآخر، وسيدور القضيب المعلّق مقتربًا من القضيب الآخر.

يمكن تلخيص ما توصلت إليه من خلال المشاهدات السابقة وسلوك القضبان المشحونة كما يأتي:

- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: موجبة وسالبة.
- تؤثر الشحنات بعضها في بعض بقوى عن بُعد.
- الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.

لا يعد تنافر الأطباق أو انجذاب الكرة الزجاجية إلى المسطرة ولا القضيب المعلّق في الهواء طريقة دقيقة أو ملائمة لتحديد نوع الشحنة الكهربائية ومقدارها. وعوضًا عن ذلك يستخدم جهاز يسمّى الكشّاف الكهربائي، يتركّب من كرة فلزّية (أو قرص فلزي) مُثبّتة على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين، تسمّيان الورقتين. ويبين **الشكل 5–7** كشّافًا كهربائيًّا متعادلًا. لاحظ أن الورقتين معلّقتان بصورة حرة داخل إناء زجاجي شفاف مغلق؛ وذلك للحد من تأثير تيارات الهواء.



الشكل 4–7 عند تقريب قضيب مشحون إلى آخر معلّق ومشحون فإنهما يتجاذبان أو يتنافران.

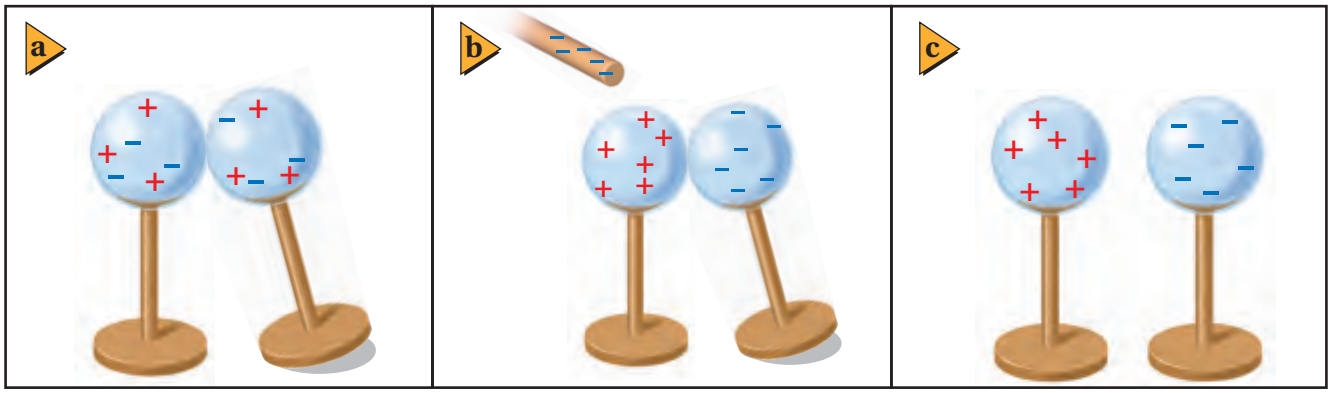
الشكل 5–7 الكشاف الكهربائي؛ جهاز يستخدم للكشف عن الشحنات الكهربائية. في الكشاف الكهربائي المتعادل تكون الورقتان معلقتين رأسيًّا بحرية، وتلامس إحداهما الأخرى.

الشكل 6–7 تكون ورقتا الكشاف الكهربائي المشحون بشحنة سالبة منفرجتين (a). يدفع القضيب ذو الشحنة السالبة الإلكترونات من القرص إلى الورقتين فيزداد انفراجهما (b). يجذب القضيب ذو الشحنة الموجبة بعض الإلكترونات من الورقتين إلى القرص فيقل انفراجهما (c).

الشحن بالتوصيل Charging by conduction عندما يلمس قضيب مشحون بشحنة سالبة الكرة الفلزية للكشاف الكهربائي تنتقل الإلكترونات منه إلى الكرة، وتتوزع هذه الشحنات على سطح الفلز. وكما هو موضح في **الشكل 6a–7**، تشحن الورقتان بشحنات سالبة، لذا فإنهما تتنافران وتنفرجان، ويصبح الكشاف الكهربائي مشحونًا. ويُسمّى شحن الجسم المتعادل بملامسته جسمًا آخر مشحونًا الشحنَ بالتوصيل. كما تنفرج الورقتان أيضًا عند شحن الكشاف بشحنات موجبة، فكيف يمكنك إذن معرفة ما إذا كان الكشّاف الكهربائي مشحونًا بشحنة موجبة أم سالبة؟ يمكن تحديد نوع الشحنة بملاحظة ورقتي الكشاف الكهربائي المشحون عند تقريب قضيب مشحون بشحنة معلومة من كرته دون ملامسته لها؛ إذ يزداد انفراج الورقتين أكثر عند تقريب جسم شحنته مشابهة لشحنة الكشّاف، كما في **الشكل 6b–7**، وسيقل انفراج الورقتين إذا كانت شحنة الكشاف مخالفة لشحنة الجسم المُقرّب، كما في **الشكل 6c–7**.

الشحن بالحث Charging by induction افترض أن كرتين فلزيتين متماثلتين متعادلتين (عدد الشحنات الموجبة يساوي عدد الشحنات السالبة)، ومعزولتين قد تلامستا، كما في **الشكل 7a–7**. عند تقريب قضيب مشحون بشحنة سالبة إلى إحداهما، كما في **الشكل 7b–7**، تنتقل الإلكترونات من الكرة الأولى إلى الكرة الثانية البعيدة عن القضيب؛ بسبب قوة التنافر مع الشحنات السالبة التي على القضيب، وتصبح سالبة الشحنة، في حين تصبح الكرة الأولى (الأقرب إلى القضيب) موجبة الشحنة. وإذا فُصلت الكرتان إحداهما عن الأخرى والقضيب قريب فإنهما ستُشحنان بشحنتين متساويتين

الشكل 7–7 من طرائق شحن الأجسام الشحنُ بالحث، حيث يبدأ بتلامس كرتين متعادلتين (a)، ثم يقرّب قضيب مشحون إليهما (b). ثم تفصل الكرتان إحداهما عن الأخرى أولاً، ثم يُبعد القضيب المشحون(c). تتساوى الشحنات على الكرتين في المقدار، ولكنها تختلف في النوع.



مقدارًا ومختلفتين نوعًا، كما هو موضح في **الشكل 7c–7**. وتسمى عملية شحن الجسم دون ملامسته الشحن بالحث.

وحدة الشحنة الكهربائية: الكولوم The unit of charge: the coulomb يصعب قياس كمية الشحنة على جسم مباشرة. وقد بيّنت تجارب كولوم أنه يمكن ربط كمية الشحنة بالقوة الكهربائية، لذا تمكَّن كولوم من تعريف كمية معيارية أو قياسية للشحنة بدلالة مقدار القوة التي تولّدها. وسمّيت هذه الوحدة المعيارية للشحنة الكهربائية في النظام العالمي للوحدات SI الكولوم C. ويعرف **الكولوم coulomb** بأنه مقدار الشحنة التي إذا وضعت على بعد 1m في الفراغ أو الهواء من أخرى مماثلة لها لتأثرت بقوة مقدارها 9×10^{9}N. والكولوم الواحد يساوي مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون، ومقدار شحنة الإلكترون المفرد تساوي 1.6×10^{-19} C، ويسمّى مقدار شحنة الإلكترون الشحنة الأساسية. ويمكن للصاعقة أن تحمل شحنة مقدارها 5 C إلى 25 C. وحتى المواد الصغيرة –ومنها قطعة العملة المعدنية– تحتوي على شحنة سالبة قد تصل إلى 10^{6} C، وهذا المقدار الهائل من كمية الشحنة السالبة لا يولد قوى كهربائية تؤثر على الأجسام الأخرى؛ لأنه مُعادَل ومُوازَن بكمية شحنة موجبة مساوية له. أما إذا كانت الشحنات غير متعادلة فستتولد قوى كهربائية، وحتى لو كانت الشحنة صغيرة، 10^{-9} C مثلًا، فإنها يمكن أن تولّد قوى كهربائية كبيرة.

تطبيقات القوى الكهروسكونية Applications of electrostatic forces للقوى الكهروسكونية المؤثرة على الجسيمات الكثير من التطبيقات في الحياة. فمثلاً تستطيع هذه القوى تجميع السناج (السواد الناتج عن الدخان) من المداخن كما هو موضح في **الشكل 8–7**، مما يحدُّ من تلوث الهواء، كما يمكن شحن قطرات الطلاء الصغيرة جدًّا بالحث، واستعمالها لطلاء السيارات وغيرها بنسق موحد على كافة الأجزاء المطلية (طلاءً منتظمًا ليس فيه طبقات ولا إعوجاج). وتستخدم آلات التصوير الفوتوجرافي الكهرباء السكونية لوضع الحبر الأسود على الورق، بحيث يتم نسخ صورة طبق الأصل للوثيقة الأصلية. لكن في المقابل يكون لتجمع الشحنات السكونية أثارًا سلبية، فمثلاً تجمع شحنات سكونية على فيلم قد يكون سببًا في جذب الغبار إليه مما يسبب تلفه، كما يمكن أن تتعطل معدات إلكترونية عند تفريغ الشحنة الساكنة؛ لذا تصمّم التطبيقات في هذه الحالات لتجنّب تراكم الشحنة السكونية، وإزالة أي شحنة قد تتراكم بطريقة آمنة.

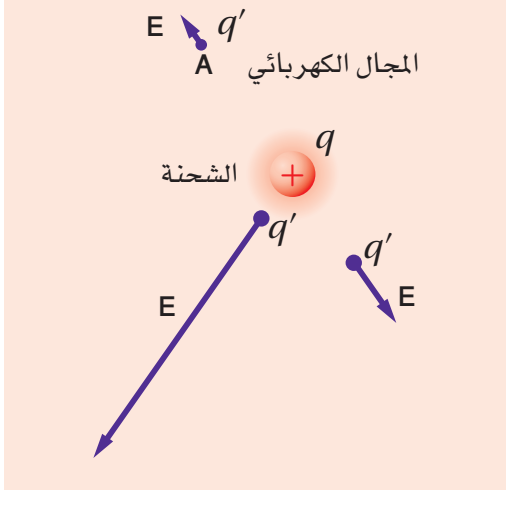
ماذا قرأت؟ **ما وحدة قياس الشحنة الكهربائية؟ وما تعريفها؟**

الشكل 8–7 الرماد المتصاعد من المداخن نتيجة ثانوية لاحتراق الفحم. ويمكن استعمال مرشّحات تعمل بالترسيب الكهروسكوني على تجميع معظم هذا الرماد المتصاعد، وبذلك تعمل على التقليل من تلوث الهواء والحفاظ على البيئة.

المجال الكهربائي The electric field

بالرجوع إلى تجربة تأرجح كرة تنس الطاولة، ما الذي سبَّب انجذاب الكرة قبيل ملامستها للصفيحة؟ وما الذي جعل الكرة تستمر في حركتها بين الصفيحتين؟ عند اقتراب الكرة من إحدى الصفيحتين أُعيد ترتيب شحناتها بحيث تجمعت شحنات مخالفة لشحنة تلك الصفيحة على طرف الكرة الأقرب إليها، وتجمعت الشحنات المشابهة لشحنة الصفيحة على طرفها الأبعد، وهذا يعني أن الشحنات الكهربائية للصفيحتين أثرت في الحيز الموجود بينهما بحيث تؤثر كل شحنة في الحيز المحيط بها، وهذا التأثير نفسه هو الذي يسبب قوى التجاذب والتنافر بين الشحنات الكهربائية للأجسام المشحونة، وهو ما يطلق عليه المجال الكهربائي للشحنات. والمجال الكهربائي بين الصفيحتين هو الذي شَحَن الكرة. فالشحنة الكهربائية تولد حولها مجالًا يمتد في المنطقة المحيطة بها. ويعرف **المجال الكهربائي Electric field** بأنه الحيز المحيط بالشحنة الكهربائية الذي يظهر فيه تأثير تلك الشحنة في الشحنات الأخرى الموجودة فيه. والمجال الكهربائي كمية متجهة لها مقدار واتجاه محددان، حيث يعتمد مقدارها على مقدار الشحنة التي سببت المجال، ويكون اتجاهها في اتجاه القوة الكهربائية التي يؤثر بها المجال في شحنة موجبة. ويقاس المجال الكهربائي E للشحنة بدلالة القوة F التي يؤثر فيها المجال في شحنة اختبار موجبة صغيرة جدًا q موضوعة عند تلك النقطة.

لاحظ **الشكل 9–7** الذي يوضّح جسمًا مشحونًا بشحنة مقدارها q. وافترض أنك وضعت شحنة الاختبار الموجبة في نقطة معينة، ولتكن النقطة A مثلًا، ثم حسبت القوة F المؤثرة فيها. ستلاحظ أن هذه القوة تتناسب طرديًّا مع مقدار شحنة الاختبار q'؛ أي أنه إذا تضاعفت الشحنة فستتضاعف القوة كذلك؛ لذا تبقى النسبة بين القوة والشحنة ثابتة. وإذا قسمت القوة F على شحنة الاختبار q' فستحصل على كمية متجهة F/q'. وهذه الكمية لا تعتمد على شحنة الاختبار، وإنما تعتمد فقط على كل من القوة المؤثرة F والمسافة بين الشحنة وشحنة الاختبار A والتي عُرّفت سابقًا بالمجال الكهربائي. ويعبّر عن شدة المجال



الشكل 9–7 تُستخدم الأسهم لتمثيل مقدار المجال الكهربائي المتولّد حول شحنة كهربائية عند مواقع مختلفة، واتجاهه.

تجربة

تأرجح كرة تنس الطاولة

1. غلف كرة تنس طاولة بغلاف موصل للكهرباء مثل ورق الألومنيوم وعلقها بخيط عازل.
2. ثبّت صفيحتين فلزيتين إحداهما على بعد عدة سنتمترات من الأخرى، بحيث تصبح الكرة المعلقة بينهما ويمكنها التحرك بحرّية.
3. صل الصفيحتين على التوالي مع أميتر ومصدر قدرة كهربائي.
4. أمسك الخيط وحرك الكرة في اتجاه إحدى الصفيحتين بحيث تلامسها ثم اتركه.
5. صف ملاحظاتك وفسّرها.

التحليل والاستنتاج

6. ماذا حدث للكرة بعد ملامستها إحدى الصفيحتين؟
7. ماذا حدث للأميتر لحظة الملامسة؟
8. ماذا تتوقع أن يحدث لكل من حركة الكرة وقراءة الأميتر ما دامت الصفيحتان مشحونتين؟

دلالة الألوان

- خطوط المجال الكهربائي باللون النيلي.
- الشحنة الموجبة باللون الأحمر.
- الشحنة السالبة باللون الأزرق.

الكهربائي عند النقطة A؛ أي النقطة التي تمثل موقع شحنة الاختبار، بالمعادلة التالية:

شدة المجال الكهربائي $E = \frac{F}{q'}$

شدة المجال الكهربائي تساوي مقدار القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.

ويكون اتجاه المجال الكهربائي في نفس اتجاه القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة. وتقاس شدة المجال الكهربائي بوحدة نيوتن/كولوم (N/C).

يمكن تكوين صورة للمجال الكهربائي باستعمال الأسهم لتمثيل متجهات المجال عند مواقع مختلفة، كما هو موضح في **الشكل 9–7**؛ حيث يدل طول السهم على شدة المجال الكهربائي، بينما يدل اتجاه السهم على اتجاه المجال. ولإيجاد المجال الكهربائي الناشئ عن شحنتين عند نقطةٍ يتم إيجاد المجال الكهربائي الناشئ عن كل شحنة على انفراد عند تلك النقطة، ثم يُجمع هذان المجالان جمعًا متجهًا. وتستخدم شحنة اختبار لرسم المجال الناشئ عن أي تجمّع للشحنات. ويوضح **الجدول 1–7** قيم المجالات الكهربائية المثالية الناتجة عن تجمعات معينة للشحنات.

والسؤال هنا لماذا يجب قياس شدة المجال الكهربائي باستخدام شحنة اختبار صغيرة جدًا؟ لأن شحنة الاختبار تؤثر أيضًا بقوة في الشحنة q. ومن المهم ألّا تؤدي القوة التي تؤثر بها شحنة الاختبار إلى إعادة توزيع شحنات الموصل، مما يسبّب تحرك الشحنة q إلى موقع آخر عليه، فيؤدي ذلك إلى تغيّر القوة المؤثرة في q'، ومن ثَم تغيّر شدة المجال الكهربائي الذي يتم قياسه. لذا يجب أن تكون شحنة الاختبار صغيرة جدًّا، بحيث يمكن إهمال تأثيرها في الشحنة q.

ماذا قرأت؟ ما المقصود بالمجال الكهربائي ؟ و كيف يحسب ؟

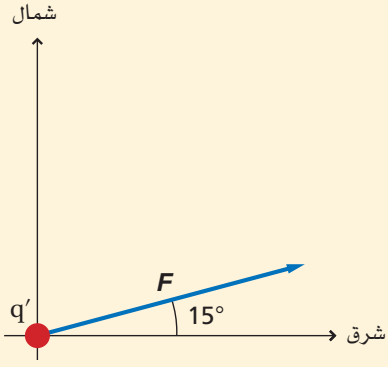
الجدول 1-7

القيم التقريبية لمجالات كهربائية مثالية

المجال	المقدار (N/C)
بالقرب من قضيب مطاط صلب ومشحون	1×10^{3}
في أنبوب الأشعة المهبطية في التلفاز	1×10^{5}
الضروري لإحداث شرارة كهربائية في الهواء	3×10^{6}
عند مدار إلكترون ذرة الهيدروجين	3×10^{11}

مثـــــال 1

شدة المجال الكهربائي قِيس مجال كهربائي في الهواء باستخدام شحنة اختبار موجبة مقدارها $3.0\times10^{-6}\ C$، فتأثرت هذه الشحنة بقوة مقدارها $0.12\ N$ في اتجاه يميل بزاوية $15°$ شمال الشرق. ما شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟ وما اتجاهه؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم شحنة الاختبار q'.
- حدّد نظام إحداثيات على أن يكون مركزه شحنة الاختبار.
- ارسم متجه القوة بزاوية $15°$ شمال الشرق.

المعلوم	المجهول
$q' = +3.0\times10^{-6}\ C$	$E = ?$
بزاوية $15°$ شمال الشرق، $F = 0.12\ N$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$E = \frac{F}{q'}$$

بالتعويض عن $F = 0.12\ N$، $q' = 3.0\times10^{-6}\ C$

$$= \frac{0.12\ N}{3.0\times10^{-6}\ C}$$

$$= 4.0\times10^{4}\ N/C$$

إن كلًّا من القوة المؤثرة في شحنة الاختبار والمجال الكهربائي في الاتجاه نفسه.

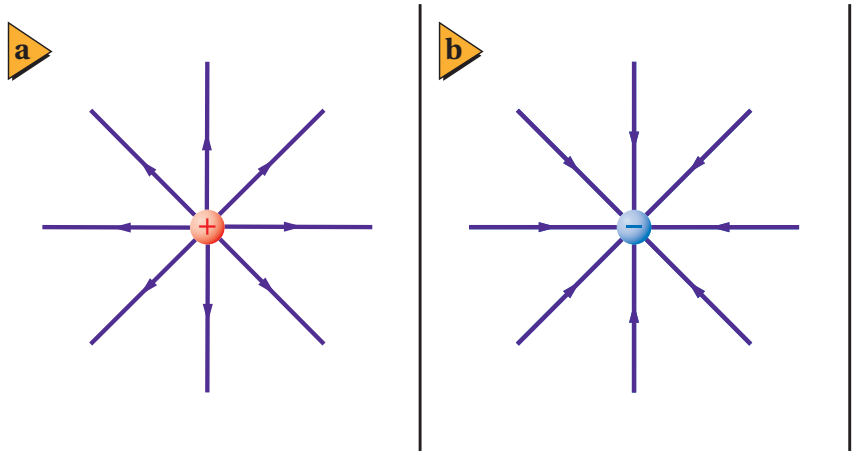
$E = 4.0\times10^{4}\ N/C$، ويميل بزاوية $15°$ شمال الشرق

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة قياس شدة المجال الكهربائي N/C.
- **هل للاتجاه معنى؟** اتجاه المجال في اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة نفسه؛ لأن شحنة الاختبار موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة المجال تتفق مع القيم الموجودة في **الجدول 1–7**.

مسائل تدريبية

1. يؤثر مجال كهربائي بقوة مقدارها $2.0\times10^{-4}\ N$ في شحنة اختبار موجبة مقدارها $5.0\times10^{-6}\ C$. ما شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟
2. وُضِعت شحنة سالبة مقدارها $2.0\times10^{-8}\ C$ في مجال كهربائي، فتأثرت بقوة مقدارها $0.060\ N$ في اتجاه اليمين. ما شدة المجال الكهربائي عند موقع الشحنة؟ وما اتجاهه؟
3. وُضِعت شحنة موجبة مقدارها $3.0\times10^{-7}\ C$ في مجال كهربائي شدته $27\ N/C$ يتجه إلى الجنوب. ما مقدار القوة المؤثرة في الشحنة؟
4. وُضِعت كرة بيلسان وزنها $2.1\times10^{-3}\ N$ في مجال كهربائي شدته $6.5\times10^{4}\ N/C$، يتجه رأسيًّا إلى أسفل. ما مقدار الشحنة التي يجب أن توضع على الكرة وما نوعها، بحيث توازِن القوة الكهربائية المؤثرة فيها قوة الجاذبية الأرضية، وتبقى الكرة معلّقة في المجال؟



الشكل 10–7 رُسمت خطوط القوى بصورة متعامدة خارجة من جسم شحنته موجبة (a)، ورُسمت بصورة متعامدة داخلة إلى جسم شحنته سالبة (b).

تمثيل المجال الكهربائي Representation of the electric field

يُمثل الرسم في **الشكل 10–7 خطوط المجال الكهربائي Electric field lines**. وهي خطوط وهمية تستخدم لتمثيل المجال الكهربائي والتعبير عنه من حيث الشدة والاتجاه. فيكون اتجاه المجال الكهربائي عند أي نقطة هو اتجاه القوة التي يؤثر بها المجال في شحنة اختبار موجبة. وتشير المسافات الفاصلة بين خطوط المجال الكهربائي إلى شدة المجال الكهربائي؛ فكلما كانت هذه الخطوط متقاربة كان المجال الكهربائي أقوى، وكلما كانت الخطوط متباعدة كان المجال الكهربائي أضعف، وعلى ذلك فإن شدة المجال تقل كلما ابتعدنا عن الشحنة وتزداد كلما اقتربنا منها. وقد مُثّلت خطوط المجال هنا في بُعدين، إلا أنها – في الحقيقة – تنتشر في ثلاثة أبعاد.

يكون اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة موجبة (+) على الخط في اتجاه الخارج. لذا تنتشر خطوط المجال شعاعيًّا إلى الخارج كما هو موضّح في **الشكل 10a–7** مثل أسلاك عجلات الدراجة الهوائية. أما اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة سالبة (–) فهو اتجاه الخط المقترب من الشحنة السالبة (–) على الخط في اتجاه الداخل كما هو موضح في **الشكل 10b–7**.

وخطوط المجال الكهربائي **Electric field lines** وهمية لا وجود لها في الواقع، وإنما تستخدم بوصفها نموذجًا لتوضيح المجال الكهربائي حول شحنة أو بين شحنات كهربائية. وهي غير متقاطعة، وتكون خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى الشحنة السالبة، وتكون كثافتها أكبر كلما اقتربنا من الشحنة الكهربائية، بينما تقل كثافتها كلما ابتعدنا عنها. ولتحديد وتوضيح خطوط المجال الكهربائي يمكن استخدام بذور بعض الأعشاب؛ حيث توضع بذور بعض الأعشاب كالكتان في طبق بتري يحوي زيت الخروع، ثم توضع قطعتان من ورق الألومنيوم في الزيت، وتوصلان بأسلاك توصيل إلى مصدر قدرة كهربائية أو مولد الشرر في ولاعة غاز، سنلاحظ أن البذور قد ترتبت على شكل

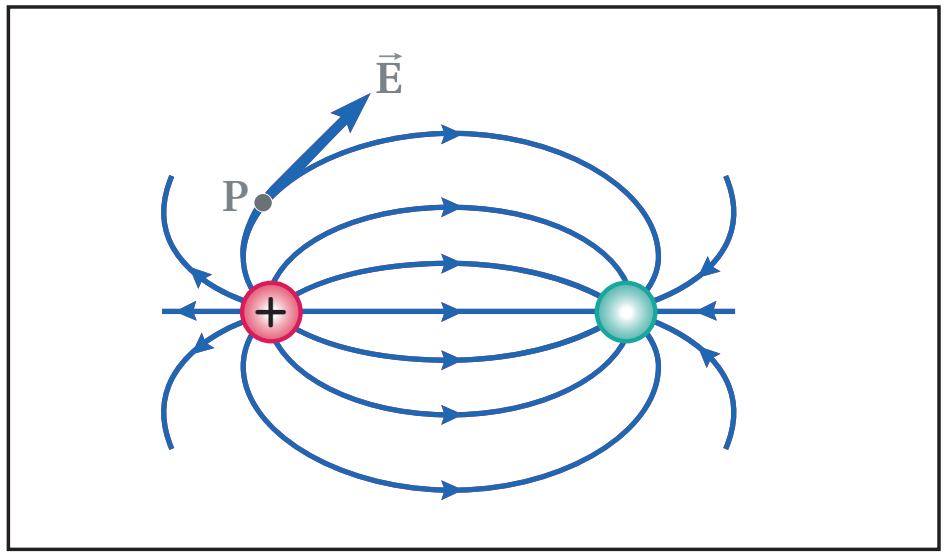
تجربة

توصيل الأيونات الملونة

1. ثبت ورقة ترشيح رطبة على شريحة ميكروسكوب (عند منتصفها).
2. ضع قطعة صغيرة من بلورات بيرمنجنات البوتاسيوم $KMnO_4$ وأخرى من كبريتات النحاس $CuSO_4$ على ورقة الترشيح.
3. صل الشريحة باستخدام مشبك توصيل كهربائي وأسلاك توصيل مع مصدر قدرة كهربائي.
4. لاحظ حركة كل من أيونات البيرمنجنات MnO_4^- وحركة أيونات النحاس الزرقاء Cu^{2+}.

التحليل والاستنتاج

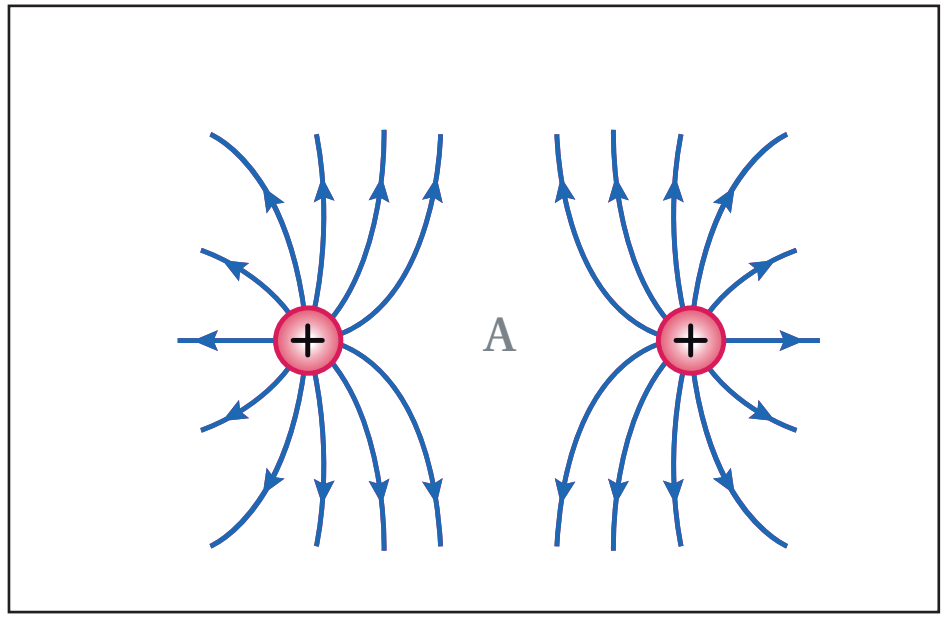
5. في أي اتجاه تحركت كل من أيونات البيرمنجنات MnO_4^- وأيونات النحاس الزرقاء Cu^{2+}؟
6. كيف تفسر حركة كل من أيونات البيرمنجنات MnO_4^- وأيونات النحاس الزرقاء Cu^{2+}؟



الشكل 11–7 خطوط المجال الكهربائي تبدأ من السطح المشحون بشحنة موجبة، وتنتهي عند السطح المشحون بشحنة سالبة.

خطوط، وهذه الخطوط تمثل المجال الكهربائي؛ حيث عمل المجال على شحن البذور فأصبحت متأينة، وأخذت شكل المجال الكهربائي، الذي يكون على شكل خطوط مستقيمة حول الشحنة خارجًا من الشحنة الموجبة وداخلًا في اتجاه الشحنة السالبة. أما في حالة ثنائي القطب الكهربائي فتظهر خطوط المجال الكهربائي منحنية غير متقاطعة، تخرج من الشحنة الموجبة وتدخل إلى الشحنة السالبة كما في **الشكل 11–7**، ويكون اتجاه المجال الكهربائي عند أي نقطة مماسًا للخط عندها. أما خطوط المجال الكهربائي لشحنتين متساويتين في المقدار ومتشابهتين في النوع فتكون كما في **الشكل 12–7**، والنقطة A تسمى نقطة التعادل، وهي النقطة التي تكون عندها محصلة المجالات الكهربائية تساوي صفرًا. وإذا وضعت شحنة عند تلك النقطة فإنها لا تتأثر بقوة كهربائية.

ماذا قرأت؟ ما خصائص خطوط المجال الكهربائي؟



الشكل 12–7 خطوط المجال الكهربائي تبدأ من السطوح المشحونة بشحنة موجبة.

7–1 مراجعة

5. **فصل الشحنات** يُشحن قضيب مطاط بشحنة سالبة عند دلكه بالصوف. ما نوع الشحنة المتكونة على الصوف؟ ولماذا؟

6. **شحن الموصلات** افترض أنك علّقت قضيبًا فلزيًّا طويلًا بخيوط حرير بحيث أصبح القضيب معزولاً، ثم لامست أحد طرفي القضيب الفلزي بقضيب زجاجي مشحون لفترة قصيرة. صِفْ كيف يُشحن القضيب الفلزي، وحدد نوع الشحنات عليه.

7. **قياس المجالات الكهربائية** افترض أنه طلب إليك قياس المجال الكهربائي في مكان أو فضاء معين، فكيف تستكشف وجود المجال عند نقطة معينة في ذلك الفضاء؟ وكيف تحدّد شدة المجال؟ وكيف تختار مقدار شحنة الاختبار؟ وكيف تحدِّد اتجاه المجال؟

8. **شدة المجال واتجاهه** تؤثر قوة كهربائية مقدارها 1.50×10^{-3} N في اتجاه الشرق في شحنة اختبار موجبة مقدارها 2.40×10^{-8} C، أوجد المجال الكهربائي في موقع شحنة الاختبار.

9. **المجال مقابل القوة** كيف يختلف المجال الكهربائي E عند موضع شحنة اختبار عن القوة F المؤثرة في هذه الشحنة؟

10. مصدر قدرة كهربائية وصل مع صفيحتين فأصبحت شدة المجال الكهربائي بينهما 2.00×10^{4} N/C، علمًا بأن شدة المجال الكهربائي متساوٍ عند جميع النقاط بين الصفيحتين.

a. ما القوة الكهربائية التي تؤثر في إلكترون موضوع بينهما؟

b. إذا وضعت كرة من مادة معزولة بينهما وتأثرت بقوة 4×10^{-4} N فما شحنتها؟

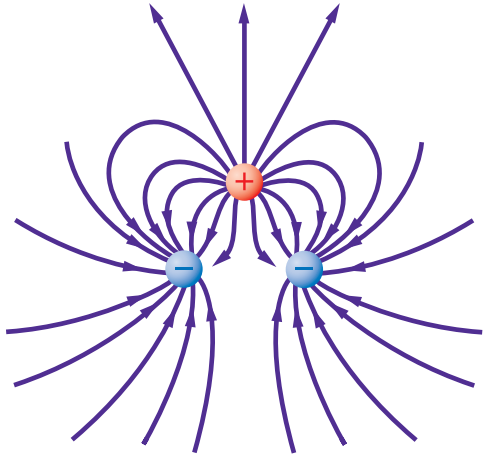
علمًا بأن شحنة الإلكترون 1.6×10^{-19} C.

11. ارسم خطوط المجال الكهربائي حول:

a. شحنة كهربائية موجبة.

b. شحنة كهربائية سالبة.

12. **التفكير الناقد** افترض أن الشحنة العلوية في **الشكل 13–7** هي شحنة اختبار موضوعة في ذلك المكان؛ لقياس محصلة المجال الناشئ عن الشحنتين السالبتين. هل الشحنة صغيرة بدرجة كافية للقيام بعملية القياس بدقة؟ وضّح إجابتك.



الشكل 13–7

7–2 فرق الجهد وشدة التيار الكهربائي
Potential difference and electric current

الطاقة والجهد الكهربائيان Energy and electric potential

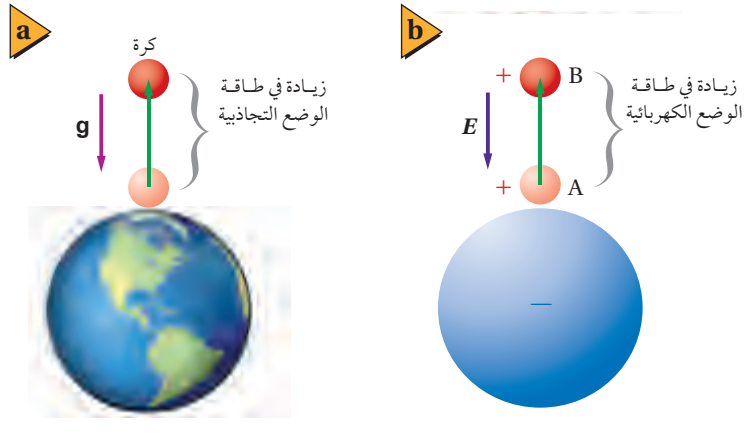
تذكّر التغير في طاقة وضع الجاذبية لكرة عند رفعها، كما هو موضّح في **الشكل 14–7**. إن كلًّا من قوة الجاذبية F ومجال الجاذبية $g=\frac{F}{m}$ يتجه نحو الأرض. فإذا رفعت كرة في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية فإنك تبذل شغلًا عليها، مما يؤدي إلى زيادة طاقة وضعها.

وهذه الحالة مماثلة لحالة شحنتين مختلفتين في النوع؛ حيث تجذب كل منهما الأخرى، لذا يجب أن تبذل شغلًا لسحب إحدى الشحنتين وإبعادها عن الأخرى. وعندما تبذل ذلك الشغل تكون قد نقلت طاقة إلى الشحنة، حيث تختزن هذه الطاقة فيها على شكل طاقة وضع كهربائية، وكلما زاد مقدار الشحنة كانت الزيادة في طاقة وضعها الكهربائية $\triangle E_p$ أكبر.

على الرغم من اعتماد القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار q' على مقدارها، إلا أن المجال الكهربائي في موقعها لا يعتمد عليه؛ حيث إن المجال الكهربائي $E=\frac{F}{q'}$ هو القوة لكل وحدة شحنة. ويُعرّف **فرق الجهد الكهربائي Electric potential difference** بين نقطتين $\triangle V$ بأنه الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بين نقطتين في مجال كهربائي مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.

فرق الجهد الكهربائي $\triangle V=\frac{W_{q'}}{q'}$

الفرق في الجهد الكهربائي هو النسبة بين الشغل اللازم لتحريك شحنة ومقدار تلك الشحنة.



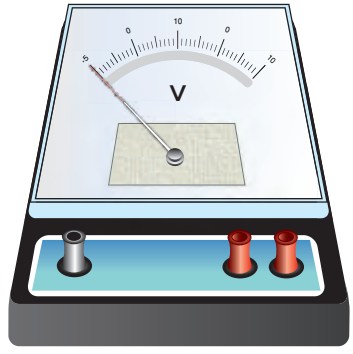
الشكل 14–7 هناك حاجة إلى بذل شغل لتحريك جسم في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية الأرضية (a)، وفي اتجاه معاكس لاتجاه القوة الكهربائية (b). وفي كلتا الحالتين ستزداد طاقة وضع الجسم.

معايير الأداء الرئيسة
31.1–31.2

معايير البحث والاستقصاء العلمي
1.1–1.2–4.1–4.2

الأهداف
- **توضح** المقصود بكل من: التيار الكهربائي والشحنة الكهربائية والكولوم.
- **تحسب** مقدار الشحنة الكهربائية المتدفقة في موصل خلال فترة زمنية محددة.
- **تعرف** كلًّا من: فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين، والفولت.
- **تحسب** فرق الجهد الكهربائي.

المفردات
- شدة التيار الكهربائي
- Electric current
- الأمبير
- Ampere
- الأميتر
- Ammeter
- فرق الجهد
- Electric potential difference
- فولت
- volt
- فولتميتر
- Voltmeter



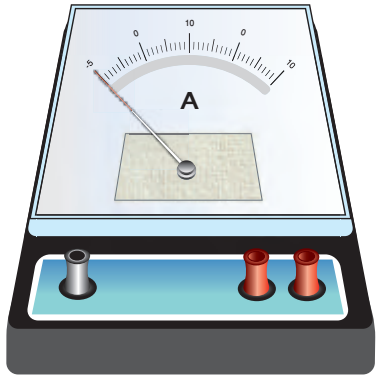
الشكل 15–7 يستخدم جهاز الفولتميتر لقياس فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين.

ويقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة جول لكل كولوم، ويسمّى الجول الواحد لكل كولوم **الفولت volt**، ويعبَّر عنه بالرموز V = J/C. ويستخدم جهاز **الفولتميتر Voltmeter** كالموضّح في **الشكل 15–7** لقياس فرق الجهد بين نقطتين.

التيار الكهربائي Electric current

لاحظت أن الشحنات الكهربائية قد تنتقل من موصّل مشحون إلى موصّل آخر غير مشحون كما في انتقال الشحنات من كرة الفان دي جراف إلى الكرة الصغيرة التي قربت منها. إن هذا الانتقال للشحنات يسمى تيارًا كهربائيًّا. وتقسم المواد من حيث توصيلها للتيار الكهربائي إلى مواد موصلة ومواد عازلة ومواد شبه موصلة. فالمواد الموصلة تحوي شحنات كهربائية حرة الحركة أكثر من سواها من المواد، وهذه الشحنات تتحرك في الموصل حركة عشوائية، وإذا تأثرت هذه الشحنات بقوة كهربائية ناشئة عن مجال كهربائي، فإنها تتحرك جميعًا في اتجاه محدد، والشحنات الحرة في الموصلات الفلزية هي إلكترونات سالبة، بينما في المحاليل الكهربائية (الموصلة للكهرباء) هي أيونات موجبة وسالبة. وإذا وُصِّل طرفا موصل فلزي (سلك نحاسي مثلًا) بمصدر قدرة كهربائية (بطارية مثلًا) فإن مجالًا كهربائيًّا ينشأ خلال السلك، ونتيجة لذلك تتحرك الإلكترونات (الشحنات الحرة) بتأثير المجال الكهربائي في اتجاه يعاكس اتجاهه، وعندها نقول إن تيارًا كهربائيًّا قد سرى في السلك. ويسمى معدل تدفق الشحنات في مقطع الموصل بالنسبة للزمن **شدة التيار Electric current** الكهربائي. وتقاس شدة التيار الكهربائي بوحدة **الأمبير Ampere** ويستخدم لقياسه جهاز **الأميتر Ammeter**، الموضح في **الشكل 16–7**. من هنا يمكن تعريف التيار الكهربائي بأنه تدفق الشحنات الكهربائية. وفي الدوائر الكهربائية تتدفق الشحنات الكهربائية من النقطة التي يكون جهدها أعلى إلى النقطة التي يكون جهدها أقل، ويستمر تدفق الشحنات بين النقطتين باستمرار وجود فرق جهد بين قطبي المصدر.

ويمكن رؤية الشحنات الكهربائية المتحركة أحيانًا كما في حركة الأيونات الملونة. ويمكن أحيانًا سماع صوتها كما في صوت الفرقعة المصاحب للتفريغ الكهربائي، أو استنتاج أثر مرورها كما في إضاءة المصابيح الكهربائية، أو إضاءة الشاشة.



الشكل 16–7 يستخدم جهاز الأميتر لقياس شدة التيار الكهربائي.

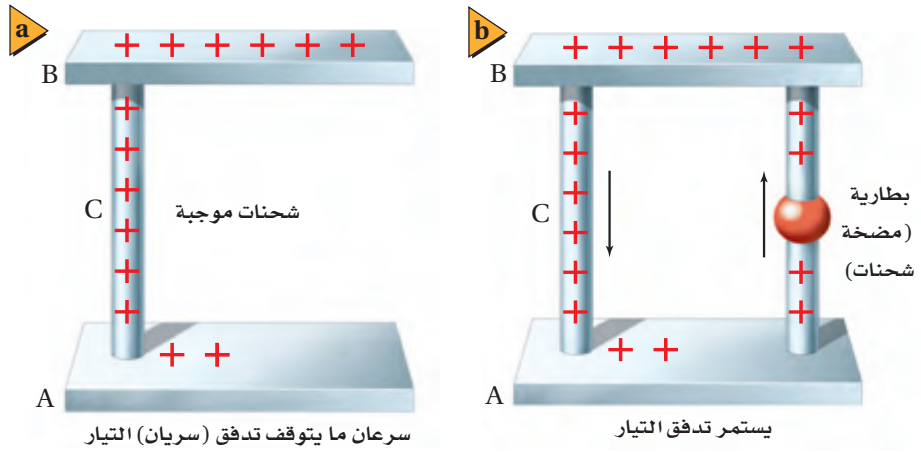
أما المواد العازلة مثل الخشب والبلاستيك فتتميز بمقاومة كبيرة لإمرار التيار الكهربائي خلالها. لكن أشباه الموصلات مثل السليكون فهي مواد صلبة مقاومتها تقع بين المواد الموصلة والمواد العازلة، ويتم التحكم في موصليتها الكهربائية بإضافة عناصر معينة إليها كشوائب. وتستخدم أشباه الموصلات في صناعة الخلايا والألواح الشمسية والترانزستورات والدوائر المتكاملة. وستتعرف المزيد عنها في صفوف لاحقة إن شاء الله.

توليد التيار الكهربائي Producing electric current درست سابقًا أن حركة الشحنات الكهربائية تستمر في موصل باستمرار وجود فرق جهد بين طرفيه، حيث تنتقل الشحنات من الجهد الأعلى إلى الجهد الأقل.

لذ فإنه لاستمرار تدفق التيار الكهربائي نحتاج إلى المحافظة على وجود فرق الجهد . فكيف يتم ذلك؟ يوضح **الشكل 7–17a** لوحين موصلين A وB، تم توصيلهما بسلك موصل C. ولأن جهد B أكبر من جهد A فإن الشحنات تتدفق من B إلى A عبر السلك C. ويسمّى تدفق الشحنات الموجبة التيار الاصطلاحي. ولكن سرعان ما يتوقف تدفق الشحنات (سريان التيار) عندما يصبح فرق الجهد الكهربائي بين A وB و C صفرًا. ويمكنك المحافظة أو الإبقاء على وجود فرق جهد كهربائي بين A وB عن طريق ضخ جسيمات مشحونة من اللوح A لتعود إلى اللوح B، كما هو موضّح في **الشكل 7–17b**.

ولأن المضخة (مصدر الجهد) تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات، فإنها تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي حتى تعمل. ولهذه الطاقة مصادر متنوعة؛ فمثلًا تعد الخلية الفولتية، أو الخلية الجلفانية (البطارية الجافة الشائعة)، أحد هذه المصادر المألوفة؛ إذ تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية داخلها إلى طاقة كهربائية. وعند وصل عدة خلايا جلفانية معًا يتشكل ما يسمى البطارية. وهناك مصدر آخر للطاقة الكهربائية، وهو الخلية الفولتية الضوئية أو الخلية الشمسية، حيث تعمل هذه الخلية على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية.

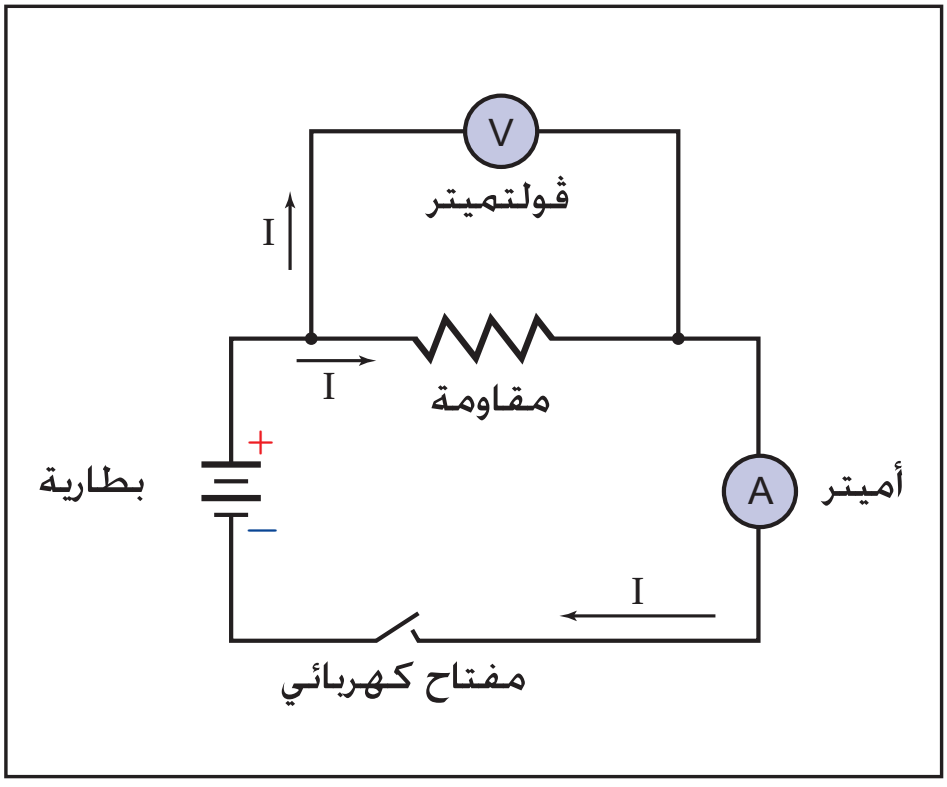
ماذا قرأت؟ ما المقصود بالتيار الكهربائي ؟ و كيف يقاس ؟



الشكل 17–7 يُعرّف التيار الكهربائي اصطلاحًا بأنه تدفق الشحنات الموجبة من اللوح الموجب إلى اللوح السالب (a). ويضخ المولّد الشحنات الموجبة لتعود إلى اللوح الموجب، مما يؤدي إلى استمرار سريان التيار (b). وفي أغلب الفلزات تتدفق الإلكترونات ذات الشحنة السالبة من اللوح السالب إلى اللوح الموجب، مما يجعل الشحنات الموجبة تبدو وكأنها تتحرك في الاتجاه المعاكس.

الطاقة في الدوائر الكهربائية Energy in electric circuits لاحظت أن الشحنات تتحرك كما في **الشكل 7–17b** في مسار مغلق، بحيث تتحرك في دورة تبدأ من البطارية (المضخة)، ثم تصل إلى اللوح B من خلال الموصل C، وتصل بعد ذلك إلى اللوح A لتعود إلى المضخة مرة أخرى. وتسمى أي حلقة مغلقة أو مسار موصل يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية **الدائرةَ الكهربائية**. وتحتوي الدائرة الكهربائية على بطارية (مضخة للشحنات)، تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من A إلى B، كما تحتوي أيضًا على مقاومة كهربائية تقلل من طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من B إلى A. وتتحول عادة طاقة الوضع التي تفقدها الشحنات المتحركة (qV) عبر المقاومة إلى أشكال أخرى للطاقة. فمثلاً يعمل المحرك على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية، ويحوّل المصباح الكهربائي (مقاومة) الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية وطاقة حرارية، وتحوّل المدفأة الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

فدور البطارية هو تزويد الشحنات الكهربائية بطاقة تمكنها من التدفق في الدائرة مشكلة تيارًا كهربائيًا. وترسم الدائرة الكهربائية البسيطة كما في **الشكل 18–7** . لاحظ أن الأميتر (A) يوصل في الدائرة من دون وجود تفرع في أسلاك التوصيل، بينما يلزم لتوصيل الفولتميتر (V) تفرع في أسلاك التوصيل.



الشكل 18–7 دائرة كهربائية بسيطة. (يوصل الأميتر على التوالي بينما يوصل الفولتميتر على التوازي) .

حفظ الشحنة Conservation of charge الشحنات لا تفنى ولا تستحدث، ولكن يمكن فصلها؛ لذا فإن الكمية الكلية للشحنة – عدد الإلكترونات السالبة والأيونات الموجبة – في الدائرة لا تتغير. فإذا تدفق كولوم واحد من الشحنات الكهربائية خلال ثانية واحدة في جزء من الدائرة الكهربائية المغلقة فسيتدفق المقدار نفسه من الشحنات في جميع أجزاء الدائرة نفسها إذا لم يكن بها تفرعات،أما إذا تفرعت توصيلاتها فسيكون المجموع الكلي للشحنات المتدفقة عبر الأفرع جميعها مساويًا للشحنات المتدفقة من المصدر. لذا تكون كمية الشحنة محفوظة. كما تكون الطاقة محفوظة أيضًا؛ حيث إن التغير في الطاقة الكهربائية ΔE يساوي qV. ولأن q محفوظة فإن التغير الكلي في طاقة الوضع للشحنات التي تحركت دورة كاملة في الدائرة الكهربائية يساوي صفرًا.

2–7 مراجعة

13. **رسم تخطيطي** ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة كهربائية تحتوي على بطارية ومصباح كهربائي، وتأكد من أن المصباح الكهربائي سيضيء في هذه الدائرة.

14. يمكن لبطارية سيارة جهدها 12 V ومشحونة تمامًا أن تختزن شحنة مقدارها 1.44×10^{6} C. ما مقدار الشغل الذي يمكن أن تبذله البطارية قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها؟

15. يتحرك إلكترون عبر أنبوب الأشعة المهبطية لتلفاز، بفرق جهد مقداره 18000 V. ما مقدار الشغل المبذول على الإلكترون؟

16. **التفكير الناقد** يوصل الأميتر في الدائرة الكهربائية مباشرة دون تفرع (على التوالي)، بينما لوصل الفولتميتر فيها يلزم تفرع في الدائرة (على التوازي). لماذا؟

7–3 المقاومة الكهربائية والقوة الدافعة الكهربائية
Resistance and the Electromotive force

معايير الأداء الرئيسة

31.3– 31.4

معايير البحث والاستقصاء

1.1– 1.3 –1.4– 3.1–3.2– 3.4–4.1

الأهداف

- **تعرف** كلًّا من المقاومة الكهربائية والأوم.
- **تقارن** بين الفلزات واللافلزات من حيث التوصيل الكهربائي.
- **تحسب** كلًّا من المقاومة الكهربائية والقدرة الكهربائية.
- **تقارن** بين توصيل التوالي وتوصيل التوازي في الدوائر الكهربائية.

المفردات

- المقاومة الكهربائية • Resistance
- الأوم • Ohm
- قانون أوم • Ohm's law
- موصلات أومية • Ohmic
- موصلات غير أومية • Non – ohmic
- القدرة الكهربائية • Power
- الجول • joule
- الواط • watt
- دائرة التوالي • Series circuit
- دائرة التوازي • Parallel circuit
- القوة الدافعة الكهربائية • Electromotive force
- دائرة مفتوحة • Open circuit
- دائرة قصر • Short circuit

المقاومة الكهربائية وقانون أوم

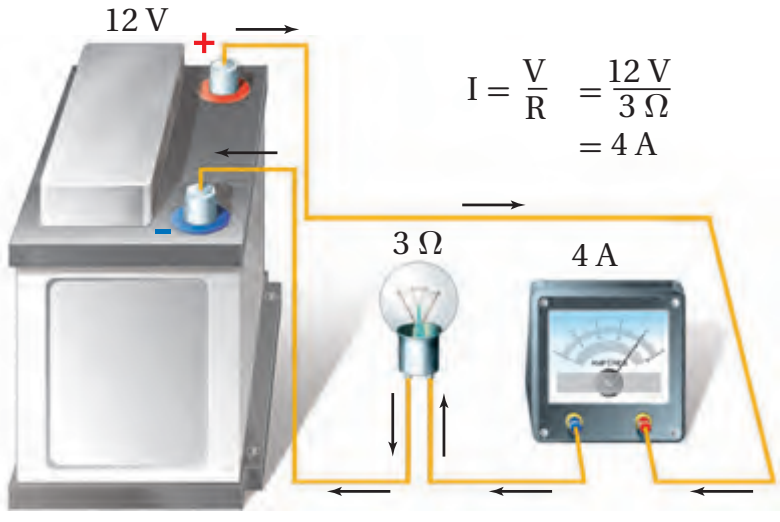
Resistance and Ohm's law

يمر تيار كهربائي في الدائرة الكهربائية المغلقة، لكن إذا تم استبدال جزء من سلك التوصيل بسلك بلاستيكي (نايلون) لن يمر تيار كهربائي في تلك الدائرة غالبًا؛ فبعض المواد – ومنها البلاستيك والخشب وغيرها – تمانع مرور التيار الكهربائي (الشحنات) خلالها، وخاصية تلك المواد التي تحدد مقدار التيار الذي يمر في الدوائر الكهربائية تسمّى **المقاومة الكهربائية Resistance**، وهي مقاومة المادة لمرور الشحنات خلالها، حيث يتم قياس المقاومة بتطبيق فرق جهد على طرفي الموصل، ثم قسمة فرق الجهد على شدة التيار المار، وتعرّف المقاومة R بأنها نسبة فرق الجهد الكهربائي V إلى شدة التيار الكهربائي I.

المقاومة $R = \frac{V}{I}$

المقاومة تساوي فرق الجهد الكهربائي مقسومًا على شدة التيار.

تُقاس مقاومة موصل R بوحدة **الأوم Ohm**، ويعرّف الأوم الواحد (1 Ω) بأنه مقاومة موصل يمر فيه تيار شدته 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V. ويوضّح **الشكل 19–7** دائرة كهربائية بسيطة تتكون من مصدر قدرة، ومقاومة، وجهاز أميتر (لقياس شدة التيار) وصلت معًا دون تفرع. ويمكن حساب شدة التيار المار في تلك الدائرة من العلاقة $R = \frac{V}{I}$ كما يلي:



الشكل 19–7 يُعرّف الأوم الواحد (1 Ω) بأنه 1 V/A. يمر تيار كهربائي مقداره 4 A في دائرة كهربائية تحوي مقاومة كهربائية مقدارها 3 Ω عند وصلها ببطارية فرق الجهد بين قطبيها 12 V.

تطبيق الفيزياء

المقاومة الكهربائية تبلغ مقاومة مصباح كهربائي مُضاء قدرته الكهربائية 100 W حوالي 140 Ω. أما عند إطفائه وتركه حتى تصبح درجة حرارته مساويةً درجة حرارة الغرفة فتنخفض مقاومته إلى 10 Ω فقط. ويرجع سبب هذا الاختلاف في المقاومة إلى الاختلاف الكبير بين درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة المصباح المُضاء.

وقد سُمّيت وحدة المقاومة الأوم نسبة إلى العالم الألماني جورج سيمون أوم، الذي وجد أن النسبة بين فرق الجهد بين طرفي موصل وشدة التيار المار فيه ثابتة عند ثبات درجة الحرارة، وهذا يسمى **قانون أوم Ohm's law**. ولا تتغير مقاومة معظم الموصلات بتغير مقدار أو اتجاه الجهد المُطبّق عليها. ويُقال عن الموصل إنه يُحقّق قانون أوم إذا كانت مقاومته لا تعتمد على فرق الجهد بين طرفيه.

وتُحقّق معظم الموصلات الفلزية قانون أوم ضمن حدود معينة لفروق الجهد، وتسمى **موصلات أومية Ohmic**، إلا أن هناك العديد من الموصلات والأدوات الكهربائية لا تُحقّق قانون أوم، وتسمى **موصلات غير أومية Non – ohmic**. ومنها المذياع والآلة الحاسبة، وحتى المصباح الكهربائي له أيضًا مقاومة تعتمد على درجة حرارته، كما أنه لا يُحقّق قانون أوم. وتعتمد مقاومة تلك الموصلات على طول الموصل ومساحة مقطعه العرضي ونوع مادته إضافة إلى درجة حرارته. وقد توصل العلماء من خلال التجارب إلى أن مقاومة الموصل تتناسب طرديًّا مع طوله ℓ وعكسيًّا مع مساحة مقطعه A، وتم ربط هذه العوامل بالعلاقة:

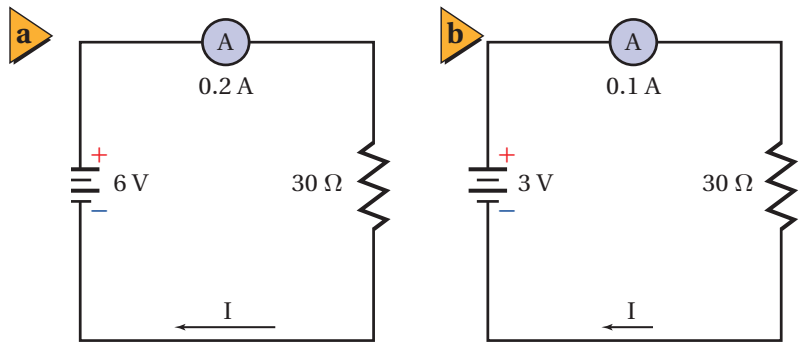
المقاومة $R = \rho \frac{\ell}{A}$

المقاومة تساوي المقاومة النوعية مضروبة في طول الموصل مقسومًا على مساحة المقطع.

حيث ترمز ρ إلى المقاومة النوعية للمادة، وهي ثابتة للمادة الواحدة عند درجة حرارة محددة. وتعرف **المقاومة النوعية** للمادة بأنها مقاومة موصل طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ m^2$. وتقاس بوحدة $\Omega.m$.

إن مقاومة الأسلاك المستخدمة في توصيل الأجهزة الكهربائية تكون منخفضة. فمقاومة سلك طوله 1 m من النوع المستخدم عادةً في مختبرات الفيزياء تساوي 0.03 Ω، أما الأسلاك المستخدمة في التمديدات المنزلية فتكون مقاومتها أقل من ذلك وتساوي 0.004 Ω تقريبًا لكل متر من طولها. ولأن مقاومة هذه الأسلاك قليلة جدًّا فإنه لا يحدث – غالبًا – نقصان أو هبوط للجهد خلالها. ويمكن صنع المقاومات من الجرافيت أو باستعمال أسلاك طويلة ورفيعة.

وهناك طريقتان للتحكم في شدة التيار المار في دائرة كهربائية؛ حيث يمكن التحكم في شدة التيار الكهربائي I عن طريق تغيير V أو R أو كليهما؛ وذلك لأن $I = \frac{V}{R}$. ويوضّح **الشكل 7–20a** دائرة بسيطة؛ فعندما تكون V تساوي 6 V، و R تساوي 30 Ω يكون مقدار التيار 0.2 A. أما إذا قلّ فرق الجهد المُطبّق على المقاومة إلى النصف فسوف تقل شدة التيار



الشكل 7–20 يمكن التحكم في التيار المار في الدائرة البسيطة الموضّحة في الشكل (a) عن طريق إزالة بعض الخلايا الجافة (b).

المار فيه إلى النصف أيضًا. ويوضح **الشكل 7-20b** أن الجهد المُطبّق على طرفي المقاومة قلّ من 6 V إلى 3 V؛ وذلك لتقليل التيار ليصبح 0.1 A. وتُستخدم المقاومات عادةً للتحكم في التيار المار في الدائرة الكهربائية، أو في أجزاء منها. فيمكن تعديل سرعة محرك من دوران سريع عندما يكون طول السلك في الدائرة قصيرًا (مقاومة كهربائية صغيرة)، ليصبح دورانه بطيئًا عند زيادة طول السلك في الدائرة (مقاومة كهربائية كبيرة). وهناك أمثلة أخرى على استخدام المقاومات المتغيرة للتحكم في مستويات الطاقة الكهربائية في التلفاز وضبطها، مثل التحكم في الصوت ودرجة سطوع الصورة وتباينها والألوان، وتعدّ جميع أدوات الضبط هذه مقاومات متغيرة.

الربط مع الأحياء

جسم الإنسان The human body يعمل جسم الإنسان بوصفه مقاومة متغيرة؛ حيث تكون مقاومة الجلد الجاف كبيرة بقدر كافٍ لجعل التيارات الناتجة عن الجهود الصغيرة والمعتدلة ضعيفة. أما إذا أصبح الجلد رطبًا فستكون مقاومته أقل. وقد يرتفع التيار الكهربائي الناتج عن هذه الجهود إلى مستويات خطرة. ويمكن الإحساس بتيار كهربائي صغير يصل مقداره إلى قيمة قريبة من 1 mA في صورة صدمة كهربائية خفيفة. أما التيارات التي مقاديرها قريبة من 15 mA فقد تؤدي إلى فقدان السيطرة على العضلات. في حين أن التيارات التي مقاديرها قريبة من 100 mA قد تؤدي إلى الموت.

ماذا قرأت؟ قارن بين الموصلات الأومية والموصلات غير الأومية.

مثال 2

حساب مقاومة موصل سلك موصل طوله 1.8 m ومساحة مقطعه $0.3\ mm^2$ مصنوع من مادة مقاومتها النوعية تساوي $5 \times 10^{-6}\ \Omega.m$. احسب مقاومة السلك الكهربائي.

1 تحليل المسألة

المعلوم

$\ell = 1.8\ m$

$A = 0.3 \times 10^{-6}\ m^2$

$\rho = 5 \times 10^{-6}\ \Omega.m$

المجهول

$R = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

تستخدم علاقة المقاومة النوعية.

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

بالتعويض عن قيم كل من ρ ، A ، ℓ

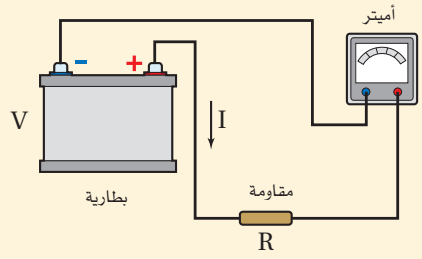
$$R = \frac{5 \times 10^{-6}\ \Omega.m \times 1.8\ m}{0.3 \times 10^{-6}\ m^2} = 30\ \Omega$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس المقاومة بوحدة Ω.
- **هل الجواب منطقي؟** مساحة مقطع الموصل صغيرة جدًا فمن المنطق أن تكون مقاومته كبيرة.

مثـــــال 3

التيار المار في مقاومة وصلت بطارية فرق الجهد بين قطبيها 30.0 V بمقاومة مقدارها 10.0 Ω. ما شدة التيار المار في الدائرة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم دائرة تحتوي على بطارية وأميتر ومقاوم.
- وضّح اتجاه التيار الاصطلاحي.

المعلوم	المجهول
$V = 30.0\ V$ ، $R = 10.0\ \Omega$	$I = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم المعادلة $I = V/R$ لإيجاد التيار:

بالتعويض عن $V = 30.0\ V$، $R = 10.0\ \Omega$

$$I = \frac{V}{R}$$
$$= \frac{30.0\ V}{10.0\ \Omega} = 3.00\ A$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُقاس التيار بوحدة الأمبير A.
- **هل الجواب منطقي؟** الجهد كبير والمقاومة قليلة؛ لذا يكون مقدار التيار 3.00 A منطقيًّا.

مسائل تدريبية

افترض في هذه المسائل جميعها أن جهد البطارية ومقاومات المصابيح ثابتة، بغض النظر عن مقدار التيار.

17. إذا وُصل محرك بمصدر جهد، وكانت مقاومة المحرك في أثناء تشغيله 33 Ω، ومقدار التيار المار في تلك الدائرة 3.8 A، فما مقدار جهد المصدر؟

18. يمر تيار مقداره $2.0\times10^{-4}\ A$ في مجسّ عند تشغيله ببطارية جهدها 3.0 V. ما مقدار مقاومة دائرة جهاز المجسّ؟

19. احسب المقاومة النوعية لمادة سلك طوله 2m ومساحة مقطعه $0.3mm^2$ ومقاومته 8 Ω.

20. سلك موصل نصف قطر مقطعه 1.0 mm ومقاومته النوعية $1.5\times10^{-6}\ \Omega.m$، كم يجب أن يكون طوله لتصبح مقاومته الكهربائية 20 Ω؟

القدرة الكهربائية والطاقة الكهربائية

Electrical power and energy

عنـد مرور تيار كهربائي في دائرة كهربائية تتحول الطاقة الكهربائية إلى أشـكال أخرى من الطاقة بحسـب نوع المقاومـة الموجودة في الدائرة. ويسـمى المعدل الزمنـي لتحوّل الطاقة مـن شـكل إلى آخـر **القـدرة الكهربائيـة Power**؛ أي أن: $P = \mathrm{E}/t$، حيث تُمثّـل P القدرة الكهربائيـة، و E الطاقـة المُحوّلة، وt الزمن الذي تحوّلت خلالـه الطاقة بوحدة s. وتُقاس الطاقـة المحوّلـة بوحـدة **الجـول joule (J)**. أما القـدرة الكهربائيـة فتكون وحدة قياسـها بحسـب النظام الدولي للوحدات J/s، وتسمى **الواط watt**، ويرمز لها بالرمز W. ويُعرف 1 W بأنـه قدرة آلـة أو جهاز تحوّل طاقة مقدارها 1 J خلال ثانيـة واحدة. فإذا حوّل مولّد كهربائي 1 J من الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية في كل ثانية فعندئذٍ يمكننا القول إن المولد يحوّل الطاقة بمعدل 1 J/s أو 1 W. وتعتمد الطاقة التي يحملها التيار الكهربائي على كمية الشـحنات المنقولة q، كما تعتمد أيضًا على فرق الجهد V بين طرفي المسـار الذي يتحرك فيه التيار؛ أي أن:

$$\mathrm{E} = q\mathrm{V}$$

وحيث إن شدة التيار الكهربائي تعطى بالعلاقة:

$$\mathrm{I} = q/t$$

أي أن: $q = \mathrm{I}t$. وبتعويض قيمة q في العلاقة $\mathrm{E} = q\mathrm{V}$ نجد أن:

$$\mathrm{E} = \mathrm{I}t\mathrm{V}$$

وبقسمة طرفي المعادلة على t:

$$\frac{\mathrm{E}}{t} = \frac{\mathrm{I}t\mathrm{V}}{t}$$

أي أن: $$\mathrm{P} = \mathrm{IV}$$

وهذه هي الصورة المألوفة لمعادلة القدرة الكهربائية الواصلة إلى جهاز كهربائي.

القدرة $P = \mathrm{IV}$

القدرة الكهربائية تساوي شدة التيار الكهربائي مضروبة في فرق الجهد.

ماذا قرأت؟ ما القدرة الكهربائية؟ وما وحدة قياسها؟

ويمكن استخدام قانون أوم ($V = IR$) للحصول على عدة صور لمعادلة القدرة، كما يلي:

$$P = IV$$

$$= IV = I\,(IR) = I^2R$$

$$= IV = (\frac{V}{R})V = \frac{V^2}{R}$$

تسخين مقاومة Heating resistance عند مرور تيار كهربائي في مقاومة فإنها تسخن؛ وذلك بسبب تصادم الإلكترونات مع ذراتها؛ حيث تعمل هذه التصادمات على زيادة الطاقة الحركية للذرات، ونتيجة لذلك ترتفع درجة حرارة المقاومة. لقد صُمّمت كل من المدفأة الحرارية وصفيحة التسخين وأسلاك التسخين في مجفّف الشعر لتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. وهذه التطبيقات وغيرها من الأجهزة المنزلية، ومنها الموضّحة في **الشكل 21–7**، تعمل عمل مقاومات عند توصيلها في الدوائر الكهربائية. ويمكن استخدام معادلات القدرة السابقة لحساب الطاقة الكهربائية المُحوَّلة إلى أشكال أخرى من الطاقة، فمثلاً يمكن حساب الطاقة الكهربائية المُحوَّلة إلى طاقة حرارية في مقاومة مسخِّن مغمور في الماء أو مقاومة صفيحة تسخين خلال فترة زمنية t من مرور التيار الكهربائي فيها بالعلاقة:

$$E = Pt$$

ويمكن التعبير عن الطاقة الكلية المُحوّلة بصيغ مختلفة كما يلي:

الطاقة الحرارية

$$E = Pt$$
$$E = I^2\,Rt$$
$$E = (\frac{V^2}{R})t$$

الطاقة الحرارية تساوي القدرة المستهلكة مضروبة في الزمن، كما أنها تساوي مربع شدة التيار مضروبًا في المقاومة والزمن، وتساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة، ومضروبًا في الزمن.

الشكل 21–7 صُمّمت هذه الأجهزة لتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

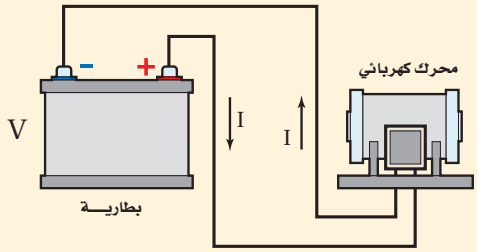
مثـــــال 2

القدرة الكهربائية والطاقة ولّدت بطارية جهدها 6.0 V تيارًا شدته 0.50 A في محرك كهربائي عند وصله بطرفيها. احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة إلى المحرك.

b. الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك، إذا تم تشغيله مدة 5.0 min.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم دائرة تبين فيها الطرف الموجب لبطارية موصولة بمحرك، والسلك الراجع من المحرك موصول بالطرف السالب للبطارية.
- وضّح اتجاه التيار الاصطلاحي.

المعلوم	المجهول
V= 6.0 V	P = ?
I = 0.50 A	E = ?
t = 5.0 min	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم المعادلة P = IV لإيجاد القدرة.

بالتعويض عن V = 6.0 V ،I = 0.50 A

$$P = IV$$
$$= (0.50\ A)(6.0\ V)$$
$$= 3.0\ W$$

b. تعلمت سابقًا أن P = E/t. حل هذه المعادلة بالنسبة لـ E لإيجاد الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك.

بالتعويض عن P = 3.0 W ،t = 5.0 min

$$E = Pt$$
$$= (3.0\ W)(5.0\ min)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$
$$= 9.0\times10^{2}\ J$$

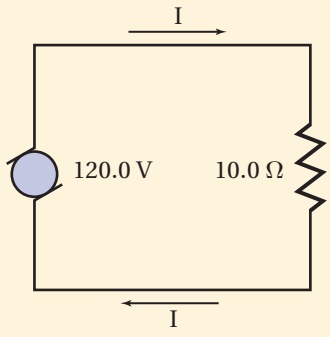
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس القدرة بالواط، والطاقة بالجول.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة التيار وفرق الجهد صغيران نسبيًّا؛ لذا يكون المقدار الصغير للقدرة منطقيًّا.

مثـــــال 5

التسخين الكهربائي يعمل سخّان كهربائي مقاومته 10.0 Ω على فرق جهد مقداره 120.0 V. احسب مقدار:
a. القدرة التي يستهلكها السخان الكهربائي. **b**. الطاقة الحرارية التي ينتجها السخان خلال 10.0 s.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم الحالة.
- عيّن العناصر المعلومة في الدائرة، وهي مصدر جهد مقداره 120.0 V، ومقاومة 10.0 Ω

المعلوم	المجهول
$R = 10.0\ \Omega$	$P = ?$
$V = 120.0\ V$	$E = ?$
$t = 10.0\ s$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لأن مقداري R و V معلومان فإننا نستخدم المعادلة $P = V^2/R$.

بالتعويض عن $R = 10.0\ \Omega$، $V = 120.0\ V$

$$P = \frac{(120.0\ V)^2}{10.0\ \Omega} = 1.44\ kW$$

b. حل لإيجاد الطاقة:

بالتعويض عن $P = 1.44\ kW$، $t = 10.0\ s$

$$E = Pt$$
$$= (1.44\ kW)\ (10.0\ s) = 14.4\ kJ$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القدرة بوحدة الواط، والطاقة بوحدة الجول.
- **هل الجواب منطقي؟** القدرة في حدود: $10^2 \times 10^2 \times 10^{-1} = 10^3$، لذلك فإن مقدار القدرة الناتج بالكيلوواط منطقي. أما الطاقة فهي في حدود: $10^3 \times 10^1 = 10^4$، لذا فإن المقدار 10000 جول منطقي (حسب معطيات السؤال).

مسائل تدريبية

21. إذا مرّ تيار شدته 0.50 A في مصباح كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 125 V، فما المعدل الزمني لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية؟ افترض أن كفاءة المصباح 100%.

22. تَوَلّد تيار شدته 2.0 A في مصباح متصل ببطارية سيارة. ما مقدار القدرة المستهلكة في المصباح إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 12 V؟

23. ما شدة التيار الكهربائي المار في مصباح قدرته 150 W متصل بمصدر فرق جهده 220 V؟

24. يمرّ تيار كهربائي شدته 210 A في جهاز بدء تشغيل السيارة. فإذا كان فرق الجهد بين قطبي البطارية 12 V فما مقدار الطاقة الكهربائية التي تصل إلى جهاز بدء التشغيل خلال 10.0 s؟

25. مصباح كهربائي كُتب عليه 0.90 W. إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 3.0 V فما شدة التيار المار فيه؟

26. تحوِّل دائرة كهربائية طاقة مقدارها 2.2×10^3 J عندما تُشغّل ثلاث دقائق. حدّد مقدار الطاقة التي ستحوّلها عندما تشغل مدة ساعة واحدة.

27. يسحب مصباح تيارًا شدته 0.50 A عند توصيله بمصدر جهد مقداره 120 V. احسب مقدار:

a. مقاومة المصباح. **b.** القدرة الكهربائية المستهلكة في المصباح.

28. وصِل مصباح كُتب عليه 75 W بمصدر جهد 125 V، احسب مقدار:

a. التيار المار في المصباح. **b.** مقاومة المصباح.

29. في المسألة السابقة، إذا أُضيفت مقاومة للمصباح لتقليل التيار المار فيه إلى نصف قيمته الأصلية، فما مقدار كل من:

a. فرق الجهد بين طرفي المصباح. **b.** المقاومة التي أُضيفت إلى الدائرة. **c.** القدرة الكهربائية المستهلكة في المصباح.

30. يعمل سخّان كهربائي مقاومته 15 Ω على فرق جهد مقداره 120 V. احسب مقدار:

a. شدة التيار المار في السخان. **b.** الطاقة المستهلكة في السخان خلال 30.0 s.

c. الطاقة الحرارية الناتجة في هذه المدة.

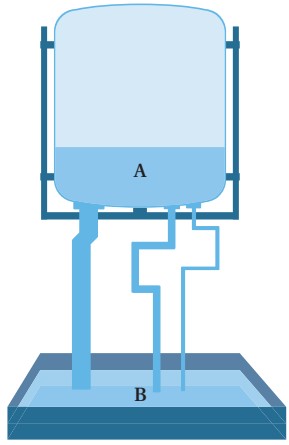
31. إذا وُصِلت مقاومة مقدارها 39 Ω ببطارية جهدها 45 V فاحسب مقدار:

a. شدة التيار المار في الدائرة. **b.** الطاقة المستهلكة في المقاومة خلال 5.0 min.

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية

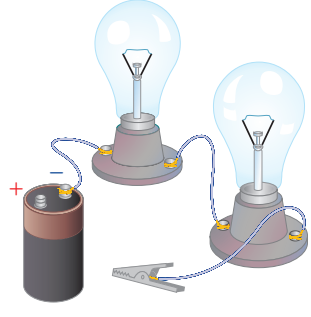
Series and parallel circuits

يمكن اعتبار نموذج تفريغ الماء من خزان علوي إلى خزان سفلي كما في **الشكل 22–7** نموذجًا لتوضيح التوصيلات الكهربائية في دائرة مغلقة. حيث ينحدر ماء الخزان العلوي A نحو الخزان السفلي B، ويكون التغير في الارتفاع عند جريان الماء هو نفسه بغض النظر عن المسار الذي يسلكه ماء الخزان A، حيث ينحدر جزء من مائه في مسرات مختلفة. وبغض النظر عن عدد المسارات التي ينحدر فيها الماء فإن الكمية الكلية للماء المتدفق للخزان السفلي تبقى ثابتة. إن المسافة التي ينحدرها مسار الخزان A مشابهة لفرق الجهد في دائرة كهربائية، وكمية الماء المتدفق مشابهة للتيار الكهربائي المار في الدائرة الكهربائية، والمسارات الضيقة التي تعيق حركة الماء مشابهة للمقاومة الكهربائية. ارجع إلى نموذج الخزان في أثناء دراستك للتيار الكهربائي في الدوائر الكهربائية كلما دعت الحاجة إلى ذلك.



الشكل 22–7 من قانون حفظ الطاقة فإن المجموع الكلي لطاقة الماء في خزان A يساوي المجموع الكلي لطاقته في الخزان B.

دوائر التوالي الكهربائية Series circuits وَصَل ثلاثة طلاب مصباحين متماثلين بطرفي بطارية، كما هو موضّح في **الشكل 23–7**. وقبل إغلاقهم الدائرة الكهربائية طلب إليهم المعلم توقع مدى سطوع المصباحين.



الشكل 23–7 ما توقعك بشأن سطوع المصباحين بعد إغلاق الدائرة الكهربائية؟

يعلم كل طالب منهم أن سطوع مصباح ما يعتمد على مقدار التيار المار فيه، فتوقع الطالب الأول أن المصباح الأقرب إلى القطب الموجب (+) للبطارية هو فقط الذي سيضيء؛ وذلك لأن التيار سيُستهلك جميعه على شكل طاقة حرارية وضوئية. وتوقع الطالب الثاني أن المصباح الأول سيستهلك جزءًا من التيار، وأن المصباح الثاني سيتوهج، ولكن بسطوع

أقل من المصباح الأول. أما الطالب الثالث فتوقع أن يكون سطوعَا المصباحين متساويين؛ لأن التيار عبارة عن تدفق للشحنات، والشحنات التي تخرج من المصباح الأول لا تجد لها أي منفذ آخر للحركة في الدائرة الكهربائية إلا من خلال المصباح الثاني. وأضاف الطالب الثالث: لأن التيار نفسه سيمر في كلٍّ من المصباحين فإن سطوعيهما سيكونان متساويين. كيف تتوقع أنت أن يكون سطوع المصباحين؟

إذا رجعت إلى تدفق الماء في نموذج تفريغ الخزان، وتذكرت ما درسته عن قانون حفظ الطاقة فسوف تستنتج أن المجموع الكلي لطاقة الماء في خزان A تساوي المجموع الكلي في الخزان B عند اكتمال تفريغ الخزان A مهما اختلف حجم وشكل المسارات التي يسلكها الماء المنقول بين الخزانين. والآن إذا قارنت نموذج الخزان بالدوائر الكهربائية فستدرك أن توقع الطالب الثالث هو التوقع الصحيح. تذكّر ممّا تعلمته سابقًا أن الشحنة لا تفنى ولا تستحدث. ولأن للشحنة مسارًا واحدًا فقط تسلكه في هذه الدائرة، وهي لا تفنى، فإنه يجب أن تكون كمية الشحنة التي تدخل الدائرة الكهربائية مساوية للكمية التي تخرج منها؛ وهذا يعني أن التيار يكون هو نفسه في أيّ جزء من أجزاء الدائرة. فإذا وُصِلت ثلاثة أجهزة أميتر في الدائرة، كما هو موضّح في **الشكل 24–7**، فإن قراءات الأجهزة جميعها ستكون متساوية. وتسمّى مثل هذه الدائرة التي يمر التيار نفسه في كلٍّ جزء من أجزائها **دائرة التوالي Series circuit**.

إذا كان التيار متساويًا في أجزاء الدائرة جميعها فما الذي يستهلكه المصباح لإنتاج الطاقة الحرارية والضوئية؟ تذكّر أن القدرة الكهربائية هي المعدل الزمني لتحوُّل الطاقة الكهربائية، وتُمثّل بالعلاقة $P = IV$. لذا إذا كان هناك فرق في الجهد أو هبوط في الجهد عبر المصباح فإن الطاقة الكهربائية ستتحوّل من شكل إلى آخر من أشكال الطاقة. ولأن مقاومة المصباح تعرّف بالعلاقة $R = V/I$، فإن فرق الجهد بين طرفي هذه المقاومة، والذي يسمّى أيضًا الهبوط في الجهد يساوي $V = IR$.

التيار والمقاومة في دائرة التوالي Current and resistance in a series circuit

بالرجوع إلى نموذج الخزان وربطه بما درسته سابقًا عن حفظ الطاقة فإن المجموع الكلي للهبوطات في المسارات المختلفة للماء من الخزان العلوي إلى الخزان السفلي يساوي الهبوط الكلي للماء بين الخزانين وهذا يشبه الهبوط في الجهد في المسارات المختلفة للتيار في الدائرة الكهربائية. وعلى ذلك تكون الزيادة في الجهد الذي يوفّره المولد أو أيّ مصدر طاقة $V_{مصدر}$، مساويةً مجموع الهبوط (النقصان) في فرق الجهد في كلا المصباحين A و B، ويمكن تمثيلها بالمعادلة:

$$V_{مصدر} = V_A + V_B$$

ولإيجاد الهبوط في الجهد عبر مقاومة، اضرب مقدار التيار المار في الدائرة الكهربائية في مقدار تلك المقاومة. ولأن التيار المار في كلا المصباحين هو نفسه فإن:

$V_A = IR_A$ و $V_B = IR_B$، لذا يكون:

$V_{مصدر} = IR_A + IR_B$ أو $V_{مصدر} = I(R_A + R_B)$.

تجربة

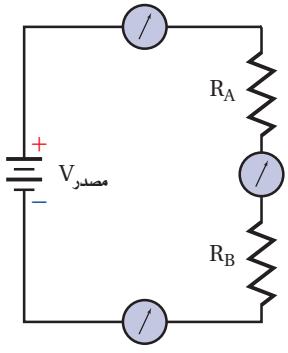
شدة التيار في دوائر التوالي

هل تعتقد أن التيار يقل عند مروره خلال عناصر مختلفة في الدائرة؟ اعمل كالعلماء لكي تتمكّن من اختبار هذا السؤال عمليًا.

1. ارسم دائرة كهربائية تتضمن مصدر قدرة ومصباحين كهربائيين صغيرين.
2. أعد رسم الدائرة مرة أخرى، وضمّن رسمك أميترًا؛ حتى تتمكن من قياس التيار بين مصدر القدرة والمصباحين.
3. ارسم رسمًا تخطيطيًا ثالثًا للدائرة الكهربائية، على أن توضح فيه الأميتر في موقع يُمكّنك من قياس التيار الكهربائي المار بين المصباحين.

التحليل والاستنتاج

4. **توقع** هل يكون التيار بين المصباحين أكبر من التيار الذي يكون قبلهما، أو أقل منه، أو يبقى ثابتًا؟ وضّح إجابتك.
5. **اختبر** توقعك عن طريق توصيل دوائر كهربائية متضمنة أميترات. ***تحذير: نهايات الأسلاك حادة، وقد تجرح الجلد.***



الشكل 24–7 تبين قراءة أجهزة الأميتر أن التيار يكون متساويًا في جميع أجزاء دائرة التوالي.

تطبيق الفيزياء

اختبار قياس المقاومة

تعمل الأوميترات، وهي أجهزة تستخدم في قياس المقاومات، بتطبيق فرق جهد معلوم بين طرفي المقاومة فتقيس التيار، ثم يُظهر الجهاز مقدار المقاومة. وتَستخدم بعض الأوميترات جهودًا أقل من فولت واحد 1V لتجنب إتلاف المكونات الإلكترونية الحساسة، في حين قد يستخدم بعضها الآخر مئات الفولتات للتحقق من سلامة المواد العازلة.

ويمكن إيجاد التيار من خلال المعادلة:

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R_A + R_B}$$

يمكن تعميم الفكرة نفسها لتشمل أي عدد من المقاومات المتصلة على التوالي، وليس مقاومتين فقط. وسيمر التيار نفسه في هذه الدائرة الكهربائية إذا وضعنا فيها مقاومة واحدة R تساوي مجموع مقاومتي المصباحين، وتسمى مثل هذه المقاومة **المقاومة المكافئة** للدائرة الكهربائية. إذن المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة على التوالي هي مجموع المقاومات المفردة، ويُعبّر عنها بالمعادلة التالية:

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة على التوالي $R = R_A + R_B + \ldots$

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة على التوالي تساوي مجموع المقاومات المفردة.

لاحظ أن المقاومة المكافئة في حالة التوصيل على التوالي تكون أكبر من أي مقاومة مفردة، لذا إذا لم يتغير جهد البطارية فإن إضافة أجهزة جديدة على التوالي ستقلل من شدة التيار المار في الدائرة. ولحساب شدة التيار في دائرة توالٍ نحسب المقاومة المكافئة أولاً، ثم نستخدم المعادلة التالية:

التيار الكهربائي $I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R}$

التيار الكهربائي في دائرة التوالي يساوي فرق جهد المصدر مقسومًا على المقاومة المكافئة.

مسائل تدريبية

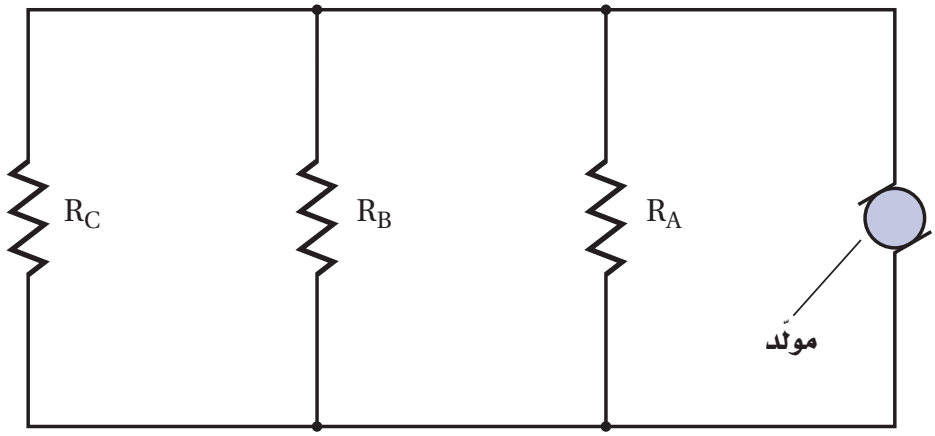
32. وصِلت المقاومات 5 Ω و15 Ω و10 Ω في دائرة توالٍ كهربائية ببطارية جهدها 90 V. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟ وما مقدار التيار المار فيها؟

33. وصِلت بطارية جهدها 9 V بثلاث مقاومات موصولة على التوالي في دائرة كهربائية. إذا زاد مقدار إحدى المقاومات فأجب عما يلي:

a. كيف تتغير المقاومة المكافئة؟

b. ماذا يحدث للتيار؟

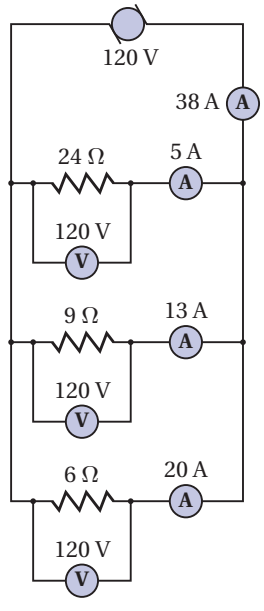
c. هل يكون هناك أي تغير في جهد البطارية؟



الشكل 25–7 تكون المسارات المتوازية للتيار الكهربائي في هذا المخطط مماثلة للمسارات المتعددة التي يمكن أن يسلكها الماء في أثناء انحداره من الخزان A.

دوائر التوازي الكهربائية Parallel circuits انظر إلى الدائرة الكهربائية الموضّحة في **الشكل 25–7**. ما عدد مسارات التيار فيها؟ يمكن أن يمر التيار الخارج من المولّد في أي من المقاومات الثلاث. وتسمّى مثل هذه الدائرة التي تحتوي على مسارات متعددة للتيار الكهربائي **دائرة التوازي Parallel circuits**. فالمقاومات الثلاث في الشكل موصولة على التوازي؛ حيث يتصل طرفا كل مسار بطرفي المسار الآخر. بالرجوع إلى نموذج الخزان تلاحظ أن مثل هذه الدائرة الكهربائية موضحة بعِدّة مسارات مختلفة تشبه تدفق الماء من الخزان A في عدة أنابيب، حيث يمكن أن يكون تدفق الماء في بعض الأنابيب كبيرًا، وفي بعضها الآخر أقل، ولكن يظل التدفق الكلي مساويًا مجموع التدفُّقات في كل الأنابيب. وبالمثل يكون التيار الكلي في دائرة التوازي الكهربائية مساويًا مجموعَ التيارات التي تمر في كل المسارات، مع تساوي فرق الجهد في جميع المسارات والذي يساوي فرق الجهد بين طرفي المصدر.

الشكل 26–7 التيار الكلي في دائرة توازٍ كهربائية يساوي مجموع التيارات في المسارات المفردة.



ما مقدار التيار المار في كل مقاومة في دائرة توازٍ كهربائية؟ تعتمد شدة التيار المارّ في كل فرع على مقدار مقاومته. ففي **الشكل 26–7** مثلًا يكون فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة 120 V، ويعطى التيار المار في كل مقاومة بالعلاقة $I = V/R$، وبالمثل يمكنك حساب التيار المار في المقاومة 24 Ω كما يلي: $I = (120\ V)/(24\ \Omega) = 5.0\ A$، ثم تحسب التيار المار في كل من المقاومتين الأخريين. ويكون التيار الكلي المار في المولّد مساويًا مجموع التيارات في المسارات الثلاثة، ويساوي في هذه الحالة 38 A.

ماذا يحدث عند فصل المقاومة 6 Ω من الدائرة؟ وهل تتغير قيمة التيار المار في المقاومة 24 Ω؟ تعتمد قيمة هذا التيار فقط على مقدار المقاومة وعلى فرق الجهد بين طرفيها. ولأن أيًّا منهما لم يتغير فإن التيار يبقى ثابتًا ولا يتغير. وينطبق ذلك على التيار الذي يمر في المقاومة 9 Ω؛ أي أن فروع دائرة التوازي الكهربائية لا يعتمد بعضها على بعض. أما التيار الكلي المار في المولّد فيتغير عند فصل أي من المقاومات الثلاث، فعند فصل المقاومة 6 Ω يصبح مجموع التيارين في المسارين 18 A.

تجربة

مقاومة التوازي

ركّب دائرة كهربائية تتكوّن من مصدر قدرة، ومقاومة، وأميتر.

1. **توقع** ماذا يحدث للتيار في الدائرة الكهربائية عند توصيل مقاومة أخرى مماثلة للمقاومة الأولى على التوازي مع المقاومة الأولى؟
2. **اختبر** توقعك.
3. **توقع** مقداري التيارين إذا تضمنت الدائرة ثلاث أو أربع مقاومات متماثلة موصولة على التوازي.
4. **اختبر** توقعك.

التحليل والاستنتاج

5. **أنشئ** جدول بيانات لتوضيح النتائج.
6. **فسّر** نتائجك بتضمينها كيفية تغير المقاومة.

المقاومة في دائرة التوازي Resistance in a parallel circuit كيف يمكن إيجاد المقاومة المكافئة لدائرة توازٍ كهربائية؟ مقدار التيار الكلي المار في المولّد الموضّح في **الشكل 26–7** يساوي 38 A، لذا فإن قيمة المقاومة المُفردة التي يمر فيها تيار مقداره 38 A عند توصيلها بفرق جهد مقداره 120 V هي:

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

$$= \frac{120\ V}{38\ A}$$

$$= 3.2\ \Omega$$

لاحظ أن هذه المقاومة تكون أقل من أي مقاومة من المقاومات الثلاث الموصولة على التوازي. فتوصيل مقاومتين أو أكثر على التوازي يقلّل دائمًا من المقاومة المكافئة للدائرة؛ وذلك لأن كل مقاومة جديدة توصل على التوازي تُضيف مسارًا جديدًا للتيار، وهذا يزيد من قيمة التيار الكلي مع بقاء فرق الجهد ثابتًا.

لحساب المقاومة المكافئة لدائرة توازٍ، لاحظ أولًا أن التيار الكلي في الدائرة هو مجموع التيارات في كل الفروع، فإذا كانت التيارات I_A و I_B و I_C هي التيارات المارة في الفروع و I هو التيار الكلي فإن:

$$I = I_A + I_B + I_C$$

أما فرق الجهد بين طرفي أيّ مقاومة فسيكون هو نفسه في كل المقاومات، لذا يمكن إيجاد التيار المار في المقاومة R_A بالعلاقة التالية:

$$I_A = \frac{V}{R_A}$$

وبناءً على ذلك يمكن إعادة كتابة معادلة مجموع التيارات في الدائرة كما يلي:

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_A} + \frac{V}{R_B} + \frac{V}{R_C}$$

وبقسمة طرفي المعادلة على V، نوجد المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث المتصلة على التوازي.

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة معًا على التوازي

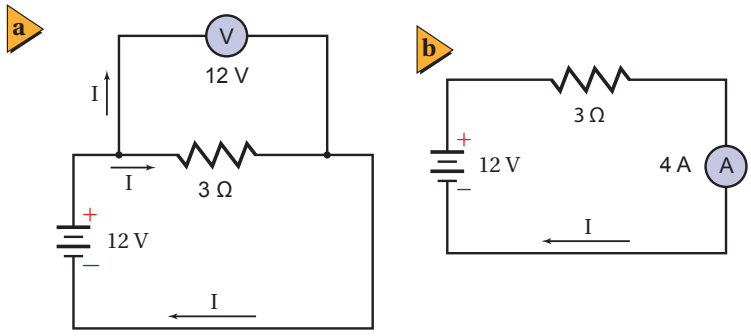
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} \ldots\ldots$$

مقلوب المقاومة المكافئة يساوي مجموع مقلوب المقاومات المفردة.

ويمكن استخدام هذه المعادلة لإيجاد المقاومة المكافئة لأيّ عدد من المقاومات الموصولة على التوازي.

بالرجوع إلى ما درسته عن توصيل المقاومات، وباعتبار أجهزة القياس الكهربائية مقاومات، وأن الأميتر يقيس شدة التيار الكهربائي فإنه يجب توصيله في الدائرة الكهربائية دائمًا على التوالي. أما الفولتميتر والذي يستخدم لقياس فرق الجهد بين نقطتين فيجب أن يوصل على التوازي معهما كما في **الشكل 27–7**.

ماذا قرأت؟ قارن بين توصيل المقاومات على التوالي وتوصيلها على التوازي في الدوائر الكهربائية من حيث شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة المكافئة.



الشكل 27–7 يبين توصيل الأميتر والفولتميتر في الدائرة الكهربائية (a) الأميتر يوصل على التوالي (b) الفولتميتر يوصل على التوازي.

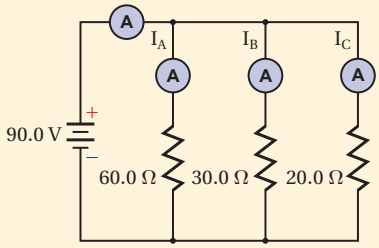
مثـــال 6

المقاومة المكافئة والتيار في دائرة توازٍ كهربائية وصِلت المقاومات الثلاث التالية: 60.0 Ω و30.0 Ω و20.0 Ω على التوازي ببطارية جهدها 90.0 V، احسب مقدار:

a. التيار المار في كل فرع في الدائرة الكهربائية.

b. المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية.

c. التيار المار في البطارية.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للدائرة الكهربائية.
- ضمِّن رسمك مجموعة من الأميترات لتبين أين توصلها لتقيس التيارات جميعها.

المعلوم			المجهول
$R_A = 60.0\ \Omega$	$R_C = 20.0\ \Omega$		$I_A = ?$
$R_B = 30.0\ \Omega$	$V = 90.0\ V$		$I_B = ?$
			$I_C = ?$
			$I = ?$
			$R = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لأن الجهد على كلّ مقاومة يكون هو نفسه لجميع المقاومات، لذا نستخدم العلاقة $I = \frac{V}{R}$ في كل فرع.

بالتعويض عن $V = 90.0\ V$، $R_A = 60.0\ \Omega$

$$I_A = \frac{V}{R_A} = \frac{90.0\ V}{60.0\ \Omega} = 1.50\ A$$

بالتعويض عن $V = 90.0\ V$، $R_B = 30.0\ \Omega$

$$I_B = \frac{V}{R_B} = \frac{90.0\ V}{30.0\ \Omega} = 3.00\ A$$

بالتعويض عن $V = 90.0\ V$، $R_C = 20.0\ \Omega$

$$I_C = \frac{V}{R_C} = \frac{90.0\ V}{20.0\ \Omega} = 4.50\ A$$

b. استخدم معادلة المقاومة المكافئة لدوائر التوازي.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}$$

بالتعويض عن $R_A = 60.0\ \Omega$ ، $R_B = 30.0\ \Omega$ ، $R_C = 20.0\ \Omega$

$$= \frac{1}{60.0\ \Omega} + \frac{1}{30.0\ \Omega} + \frac{1}{20.0\ \Omega} = \frac{1}{10.0\ \Omega}$$

$$R = 10.0\ \Omega$$

c. استخدم $I = \frac{V}{R}$ لإيجاد التيار الكلي (وهو التيار المار بالبطارية).

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

بالتعويض عن $V = 90.0\ V$ ، $R = 10.0\ \Omega$

$$= \frac{90.0\ V}{10.0\ \Omega} = 9.00\ A$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس التيار بوحدة الأمبير، والمقاومة بوحدة الأوم.
- **هل الجواب منطقي؟** المقاومة المكافئة أقل من أي مقاومة مفردة، والتيار في الدائرة I يساوي مجموع التيارات المارة في كل المقاومات $I = I_A + I_B + I_C$.

مسائل تدريبية

34. وصِلت ثلاث مقاومات مقاديرها $120.0\ \Omega$ و $60.0\ \Omega$ و $40.0\ \Omega$ على التوازي مع بطارية جهدها $12.0\ V$، احسب مقدار كل من:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

b. التيار الكهربائي الكلي المار في الدائرة.

c. التيار المار في كل مقاومة.

35. إذا أردنا خفض مقاومة فرع في دائرة كهربائية من $150\ \Omega$ إلى $93\ \Omega$ فيجب إضافة مقاومة إلى هذا الفرع. ما مقدار المقاومة التي يجب إضافتها؟ وكيف يتم توصيلها؟

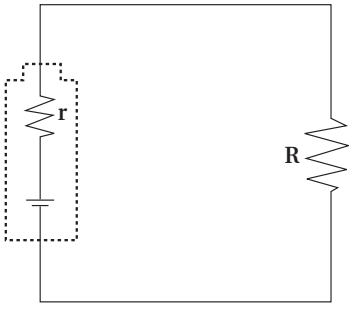
36. وُصلت مقاومة مقدارها $12\ \Omega$ وقدرتها $2\ W$ على التوازي بمقاومة أخرى مقدارها $6.0\ \Omega$ وقدرتها $4\ W$. ما أقصى فرق جهد تتحمله المقاومتان؟ وأي من المقاومتين تصل إلى القيمة العظمى لاستهلاك الطاقة أولاً عند الجهد نفسه؟

القوة الدافعة الكهربائية Electromotive force

علمت أن التيار الكهربائي تدفق للشحنات الكهربائية عبر موصل، ولا بد من وجود فرق جهد بين نقطتين حتى تتدفق هذه الشحنات الكهربائية بينهما. حيث تتدفق الشحنات الكهربائية من النقطة التي جهدها أعلى إلى النقطة التي جهدها أقل؛ لذا لا بد من وجود مصدر قدرة كهربائية (بطارية مثلًا) لإحداث فرق الجهد المطلوب. وحتى يكتمل مسار الشحنات في المسار المغلق (دائرة كهربائية مغلقة) فلا بد للشحنات أن تتحرك داخل البطارية، وهذا لا يتم إلا بوجود البطارية التي تنتج طاقة تدفع تلك الشحنات داخل البطارية (من القطب السالب إلى القطب الموجب لها) وخارجها (من القطب الموجب إلى القطب السالب لها) لتتحرك الشحنات الكهربائية في المسار المغلق؛ أي أن عملها يشبه إلى حد ما عمل المضخة التي ترفع الماء من المكان المنخفض إلى المكان المرتفع. ويعرف الشغل الذي يبذله مصدر القدرة في نقل وحدة الشحنات الموجبة داخله من القطب السالب إلى القطب الموجب، ومن القطب الموجب إلى القطب السالب خارج المصدر بـ **القوة الدافعة الكهربائية (emf) Electromotive force** للمصدر. أي أن :

$$\text{emf}\ (\mathcal{E}) = W / Q$$

وللعلم فإن القوة الدافعة الكهربائية ليست قوة، وإنما هي فرق جهد، وتقاس بوحدة الفولت (V)، فعندما نقول إن القوة الدافعة الكهربائية لبطارية تساوي 6V فهذا يعني أن فرق الجهد بين قطبيها يساوي 6V. لكن البطارية كأي مادة أخرى لها مقاومة كهربائية وتسمى مقاومة داخلية للبطارية يرمز لها بالرمز r وتعتمد على مكوناتها، وفي الحسابات الكهربائية الدقيقة لا بد أن تؤخذ هذه المقاومة الداخلية في الحسبان. ويوضح **الشكل 28–7** رسمًا تخطيطيًّا تظهر فيه المقاومة الداخلية لبطارية r، والمقاومة الخارجية R الموصولة مع البطارية. ويمكن التقليل من أثر هذه المقاومة بتوصيل البطارية مع مقاومة أكبر بكثير من مقاومتها الداخلية على التوازي ؛ حيث التوصيل على التوازي يقلل من المقاومة الكلية، وعندها يمكن اعتبار البطارية مثالية تقريبًا (البطارية المثالية تكون مقاومتها الداخلية صفرًا)، ويمكن ملاحظة تأثير وجود المقاومة الداخلية للبطارية عند لحظة تشغيل سيارة مضاءة المصابيح، حيث نلاحظ خفوتًا في إضاءتها عند تلك اللحظة قبل أن تعود الإضاءة إلى ما كانت عليه. من هنا يمكن حساب القوة الدافعة الكهربائية للبطارية من العلاقة:



الشكل 28–7 رسم تخطيطي يبين المقاومة الداخلية لبطارية (r)، والمقاومة الخارجية (R) الموصولة مع البطارية.

$$\mathcal{E} = I\,(R + r) = V + Ir$$

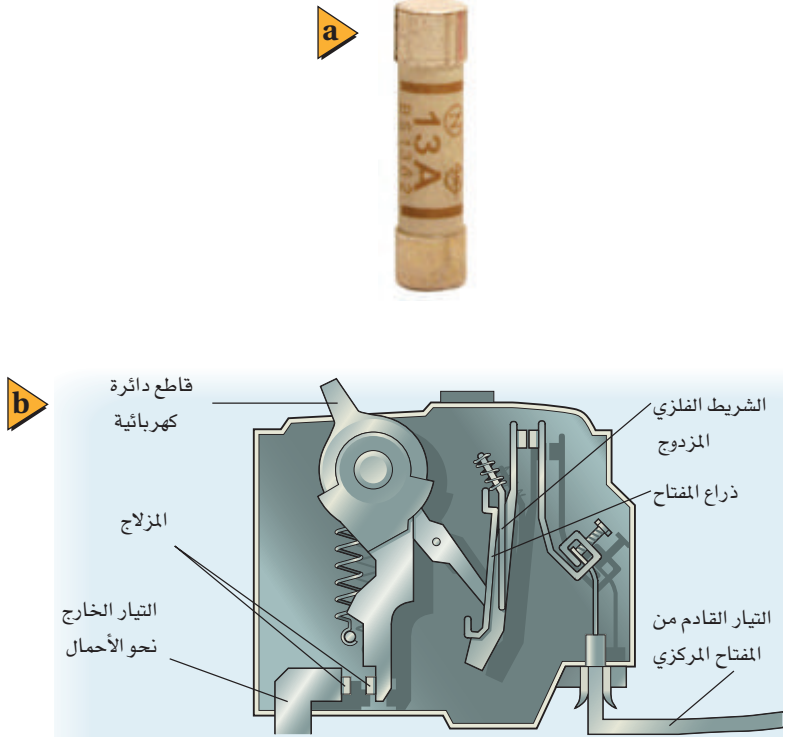
ويمكن إعادة صياغة المعادلة السابقة لتصبح كما يلي:

$$V = \mathcal{E} - Ir$$

حيث r المقاومة الداخلية للمصدر، بينما R المقاومة الكلية في الدائرة الخارجية، وكذلك فإن V تمثل فرق الجهد الكلي خارج البطارية، بينما Ir تمثل فرق الجهد الداخلي (بين قطبيها)، وإذا كانت **الدائرة مفتوحة Open circuit** فإن V تصبح صفرًا، وبذلك فإن $\mathcal{E} = Ir$ او $I = \mathcal{E} / r$. من هنا يمكن تعريف القوة الدافعة الكهربائية بأنها فرق الجهد بين قطبي البطارية عندما تكون الدائرة مفتوحة.

دائـرة القصـر Short circuit تحـدث دائـرة القـصر **Short circuit** في الدائـرة الكهربائيـة، عندمـا تصبـح المقاومة الكلية صغيرة جـدًّا، يكون التيار المـار فيها كبير جدًّا. فعنـد توصيـل مجموعة من الأجهـزة الكهربائية على التوازي تقل المقاومـة المكافئة للدائرة الكهربائيـة أكثـر كلما شـغّلنا جهازًا منها، مما يـؤدي إلى زيادة التيار المار في الأسـلاك، وقد يُنتج هذا التيار الإضافي طاقة حرارية كافية لصهر المادة العازلة للأسلاك، فيؤدي ذلك إلى تلامس الأسلاك وحدوث دائرة قصر وقد تُحدث حريقًا.

تعمـل المنصهـرات والقواطـع الكهربائيـة بوصفها أدوات حماية وسـلامة عـلى منع مرور تيـارات كهربائيـة زائـدة في الدوائـر الكهربائيـة ناتـج عـن تشـغيل عـدد مـن الأجهـزة الكهربائيـة عـلى المقبـس نفسـه أو عند حدوث دائـرة قصر في أحـد الأجهـزة الكهربائية. والمنصهـر الكهربائـي عبـارة عن قطعة قصـيرة من فلز تنصهـر عندما يمرّ فيهـا تيار كبير **الشـكل 29a–7**. وسـمك هذه القطعة الفلزية يُحـدّده مقدار التيار الـلازم لعمل الدائرة الكهربائيـة، بحيث يمر فيهـا التيار الكهربائي بأمان دون أن يـؤدي إلى تلفها. وإذا مر تيار أكـبر مـن التيار الـذي تتحملـه الدائرة تنصهر هـذه القطعة وتقطـع التيـار الكهربائي عن الدائـرة، وتصبـح الدائـرة مفتوحة (لا يمر فيهـا تيار). وهـذا يؤدي إلى حمايـة الدائرة من التلف. يوضّح **الشـكل 29b–7** قاطع الدائرة الكهربائية، وهو مفتاح كهربائي آلي يعمل عـلى فتـح الدائرة الكهربائية عندما يتجاوز مقدار التيار المار فيها القيمة المسـموح بها؛ لأن مـرور مثل هذا التيار في الدائرة يشـكل خطرًا كبيرًا قـد يؤدي إلى حرائق أو أضرار أخرى. لذا يعمل القاطع على فتح الدائرة الكهربائية وإيقاف مرور التيار.



الشكل 29–7 المنصهر الكهربائي (a) قاطع الدائرة الكهربائية (b).

مثـــــال 7

القوة الدافعة الكهربائية لبطارية 24 V ومقاومتها الداخلية 0.5 Ω وصل قطباها بمقاومة كهربائية مقدارها 5.5 Ω، احسب:

a. شدة التيار الكهربائي المار في الدائرة.

b. فرق الجهد بين قطبي البطارية.

1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد المتغيرات emf و r و R

المعلوم	المجهول
$emf = 24\ V$	$I = ?$
$r = 0.5\ \Omega$	$V_{\text{بطارية}} = ?$
$R = 5.5\ \Omega$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a.

$$\mathcal{E} = I\,(R + r)$$

$$24\ V = I\ A\ (5.5\Omega\ + 0.5\ \Omega)$$

$$I = 24\ V/6\ \Omega$$

$$= 4\ A$$

b.

$$V = I\,R$$

$$V_{\text{بطارية}} = 4\ A \times 5.5\ \Omega$$

$$= 22\ V$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يجب أن يقاس التيار الكهربائي بوحدة A وفرق الجهد بوحدة V. وهذا يتفق مع المعطيات.
- **هل الجواب منطقي؟** إذا ضربنا شدة التيار الناتجة في المقاومة الكهربائية الكلية في الدائرة فسيكون الناتج 24 V، وهو مقدار القوة الدافعة الكهربائية. وكذلك فإن فرق الجهد بين قطبي البطارية يساوي الفرق بين القوة الدافعة الكهربائية والهبوط في الجهد (شدة التيار في المقاومة الداخلية). وهذا يتفق مع القيم المعطاة.

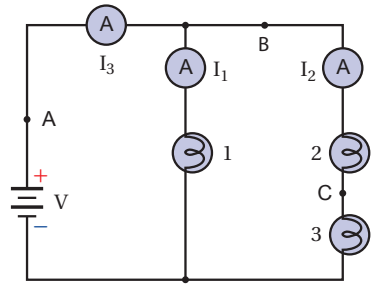
مسائل تدريبية

37. وصلت مقاومتان كهربائيتان مقدارهما 3 Ω و 2.5 Ω على التوالي، ثم وصل طرفاهما مع بطارية قوتها الدافعة الكهربائية 12 V ومقاومتها الداخلية 0.5 Ω احسب مقدار التيار المار في كل من المقاومتين.

38. مقاومتان كهربائيتان مقدارهما 3 Ω و 6 Ω وصلتا على التوازي، ثم وصل طرفاهما مع بطارية قوتها الدافعة الكهربائية 24 V ومقاومتها الداخلية 0.4 Ω احسب مقدار التيار المار في كل من المقاومتين.

3–7 مراجعة

39. التيار الكهربائي بالرجوع إلى **الشكل 30–7** وبافتراض أن جميع المصابيح في الدائرة الكهربائية متماثلة للفروع a, b, c أجب عما يلي:



الشكل 30–7

a. قارن بين سطوع المصابيح.

b. إذا كان $I_1 = 1.1\ A$ و $I_3 = 1.7\ A$ فما مقدار التيار المار في المصباح 2؟

c. إذا فُصِل السلك عند النقطة C، ووُصِلت مقاومة صغيرة على التوالي بالمصباحين 2 و3 فماذا يحدث لسطوع كل منهما؟

إذا تم استبدال بعض المصابيح في الدائرة، أجب عن التالي:

d. عند وصل فولتمتر بين طرفي المصباح 2 كانت قراءته 3.8 V، وعند وصل فولتمتر آخر بين طرفي المصباح 3 كانت قراءته 4.2 V. ما مقدار جهد البطارية؟

e. بالرجوع إلى المعلومات الواردة في الفرع السابق، هل المصباحان 2 و3 متماثلان؟

f. هل هناك طريقة لجعل المصابيح الثلاثة في الشكل تُضيء بالشدة نفسها إذا كان المصباحان 2 و3 متماثلين؟ وضّح إجابتك.

40. المقاومة الكهربائية يدَّعي طارق أن المقاومة ستزداد بزيادة فرق الجهد؛ وذلك لأن $R = V/I$. فهل ما يدعيه طارق صحيح؟ فسر ذلك.

41. المقاومة الكهربائية إذا أردت قياس مقاومة سلك طويل فبيّن كيف تركّب دائرة كهربائية باستخدام بطارية وفولتمتر وأميتر والسلك الذي تريد قياس مقاومته. حدّد ما الذي ستقيسه. وبيّن كيف تحسب المقاومة.

42. القدرة تتصل دائرة كهربائية مقاومتها 12 Ω ببطارية جهدها 12 V. حدّد التغير في القدرة إذا قلّت المقاومة إلى 9.0 Ω؟

43. التفكير الناقد نقول إن القدرة تستهلك وتُستنفد في مقاومة. والاستنفاد يعني الاستخدام، أو الضياع. فما (الاستخدام) عند مرور شحنات في مقاومة كهربائية؟

المركبة الفضائية والكهرباء الساكنة Spacecraft and Static Electricity

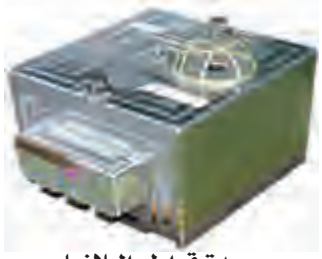
معظم الأجسام على الأرض لا تتراكم عليها شحنات كهربائية ساكنة كبيرة؛ وذلك بسبب ملامسة سطوح هذه الأجسام لطبقة رطبة تعمل على نقل الشحنات من الأرض أو إليها؛ حيث يمكن للأرض استيعاب أي كمية من الشحنات، كما تعلّمت في هذا الفصل. أما في الفضاء فلا توجد رطوبة، كما أن الأرض بعيدة، لذا تصطدم الجسيمات المشحونة التي تنطلق خارجة من الشمس أو تلك الموجودة في طبقة الأيونوسفير بالمركبة الفضائية وتلتصق بها، فتشحن سطح المركبة الفضائية بآلاف الفولتات.

البلازما والشحن البلازما إحدى حالات المادة، وتتكون من إلكترونات حرة وأيونات موجبة. تكون المركبة الفضائية في مدارها محاطة بسحابة رقيقة من هذه البلازما. وتتحرك الإلكترونات في البلازما بسهولة أكثر من الأيونات الموجبة الضخمة، لذا يميل سطح المركبة الفضائية إلى جذب الإلكترونات، فيحدث تراكم للشحنة السالبة. وتجذب هذه الشحنة السالبة بعض الأيونات الموجبة الثقيلة، التي تصطدم بالمركبة الفضائية فتلحق الضرر بسطحها.

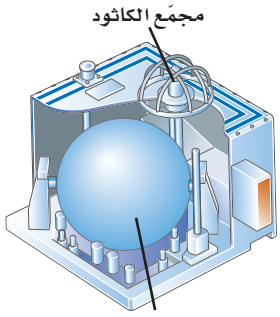
هناك صعوبة إضافية على متن *محطة الفضاء الدولية*؛ ناجمة عن صفِّ الألواح الشمسية التي تحوّل الطاقة الشمسية إلى كهرباء. فعندما تزوّد هذه الألواح محطة الفضاء بالطاقة يصبح جهد سطح المركبة قريبًا من جهد الألواح الشمسية. ونتيجة لذلك قد يحدث قوس كهربائي (تفريغ كهربائي مستمر في صورة شرر متكرر الحدوث) بين محطة الفضاء والبلازما المحيطة بها.

عواقب تكوُّن القوس درجة حرارة الأقواس الكهربائية المتكوّنة كبيرة جدًّا، كما أنها تحمل تيارًا كهربائيًّا كبيرًا، لذا يمكنها أن تُشعل الصواريخ الرجعية قبل أوان تشغيلها، ويمكنها تفجير براغي التثبيت، وتتداخل مع المعدات الإلكترونية الخاصة بتشغيل المركبة الفضائية. كما أن الألواح الشمسية معرّضة بصورة خاصة لضرر القوس الكهربائي. وإضافة إلى الأضرار التي قد تلحق بمكوِّنات المركبة الفضائية فإن تراكم الشحنة قد يعرّض طاقم المركبة إلى الخطر في أثناء سيرهم في الفضاء.

لتفريغ فرق الجهد وحماية المركبة والطاقم يجب أن يوصل السطح الخارجي لمحطة الفضاء بسحابة البلازما المحيطة به؛ وذلك بموصل كهربائي، يسمى قواطع البلازما. يبدأ التوصيل على متن المحطة في مكان تأين غاز الزينون –المتدفق من مستودع في وحدة قواطع البلازما PCU– بواسطة تيار كهربائي. ويحدث هذا التأين عند مجمّع الكاثود (القطب السالب). ويكون الزينون المتأين في حالة البلازما، ويخرج من المركبة عن طريق مجمّع الكاثود. ويعمل تيار البلازما الموصل على وصل المركبة بسحابة البلازما المحيطة بها، مما يؤدي إلى خفض فرق الجهد إلى مستويات آمنة.



وحدة قواطع البلازما



نموذج PCU

تطبيقات مستقبلية قد تصمّم المركبة الفضائية المستقبلية بدمج قواطع البلازما في نظام الدفع. ففي صاروخ البلازما المغناطيسية ذي الدفع النوعي المتغير مثلًا قد يستخدم عادم البلازما الناتج لتوفير الربط الكهربائي بين المركبة الفضائية والبلازما المحيطة بها. ويعتقد العلماء أن هذا النوع من الصواريخ سيستخدم في المستقبل للسفر بين الكواكب.

التوسع

1. **طبّق** ما الغرض من استخدام قواطع البلازما؟ وإلى أي مدى تشبه استخدام إصبعك في تأريض الكشّاف الكهربائي؟
2. **ابحث** كيف يمكن للعلماء معرفة مقدار الشحنة على سطح *محطة الفضاء الدولية*؟

مختبر الفيزياء

الجهد والتيار والمقاومة

درست في هذا الفصل العلاقات بين الجهد والتيار والمقاومة في دوائر كهربائية بسيطة. فالجهد هو فرق الجهد الذي يدفع التيار خلال الدائرة، في حين تحدّد المقاومة التيار الذي يمر عند تطبيق فرق جهد. وستجمع في هذه التجربة البيانات، وتعد رسومًا بيانيّة لاستقصاء العلاقات الرياضية بين الجهد والتيار، وكذلك بين المقاومة والتيار.

سؤال التجربة

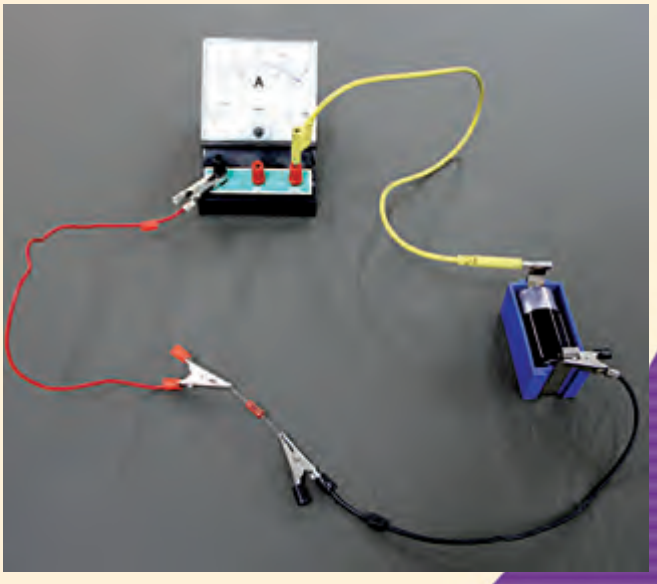
ما العلاقة بين الجهد والتيار؟ وما العلاقة بين المقاومة والتيار؟

الأهداف

- **تقيس** التيار وفقًا للنظام الدولي SI.
- **تصف** العلاقة بين مقاومة دائرة كهربائية والتيار الكهربائي الكلي المار فيها.
- **تصف** العلاقة بين الجهد والتيار الكلي المار في الدائرة الكهربائية.
- **تنشئ رسومًا بيانية وتستخدمها** لتبين العلاقة بين التيار والمقاومة، وبين التيار والجهد.

احتياطات السلامة

- ***تحذير: قد تسخن الدوائر الكهربائية والمقاومات.***
- ***تحذير: نهايات الأسلاك حادة، وقد تجرح الجلد.***



المواد والأدوات

أربع بطاريات من نوع D جهد كل منها 1.5 V، وأربعة حوامل للبطاريات، وأميتر 500 μA، ومقاومة 10 kΩ، ومقاومة 20 kΩ، ومقاومة 30 kΩ، ومقاومة 40 kΩ، وخمسة أسلاك مزوّدة بمشابك فم التمساح.

الخطوات

الجزء A

1. ضع البطارية في حاملها.
2. ركّب دائرة تحتوي على بطارية، ومقاومة 10 kΩ، وأميتر 500 μA.
3. دوّن مقداري المقاومة والتيار في جدول البيانات1، على أن تدوّن مقدار المقاومة في عمود المقاومة، أما لعمود التيار فاستخدم قراءة الأميتر.
4. ضع المقاومة 20 kΩ بدلًا من المقاومة 10 kΩ.
5. دوّن مقداري المقاومة والتيار في جدول البيانات 1.
6. كرّر الخطوتين 4 و5، على أن تضع المقاومة 30 kΩ بدلًا من المقاومة 20 kΩ.
7. كرّر الخطوتين 4 و5، على أن تضع المقاومة 40 kΩ بدلًا من المقاومة 30 kΩ.

الجزء B

8. أعد تركيب الدائرة التي ركّبتها في الخطوة 2، ثم تحقق من مرور التيار في الدائرة، ودوّن مقداري الجهد والتيار في جدول البيانات 2.

جدول البيانات 1		
الجهد (V)	المقاومة (kΩ)	التيار (μA)
1.5		
1.5		
1.5		
1.5		

جدول البيانات 2		
الجهد (V)	المقاومة (kΩ)	التيار (μA)
	10	
	10	
	10	
	10	

9. أضف بطارية ثانية جهدها 1.5 V إلى الدائرة، ودوّن مقداري الجهد والتيار في جدول البيانات 2. عندما تستعمل أكثر من بطارية واحدة دوّن مجموع جهود البطاريات بوصفها قيمة للجهد في جدول البيانات 2.
10. كرّر الخطوة 9 مع ثلاث بطاريات جهد كلّ منها 1.5 V.
11. كرّر الخطوة 9 مع أربع بطاريات جهد كلّ منها 1.5 V.

التحليل

1. **أنشئ رسومًا بيانيّة واستخدمها** ارسم التيار بوصفه متغيرًا مقابل المقاومة، على أن تضع المقاومة على المحور x، والتيار على المحور y.
2. **أنشئ رسومًا بيانيّة واستخدمها** ارسم التيار بوصفه متغيرًا مقابل الجهد، على أن تضع الجهد على المحور x، والتيار على المحور y.
3. **حلّل الخطأ** ما العوامل التي تؤثر في التيار في الجزء A إضافة إلى قيم المقاومات؟ وكيف يمكن التقليل من تأثير هذه العوامل؟
4. **حلّل الخطأ** ما العوامل التي تؤثر في التيار في الجزء B إضافة إلى البطاريات المضافة؟ وكيف يمكن التقليل من تأثير هذه العوامل؟

الاستنتاج والتطبيق

1. صِف العلاقة بين المقاومة والتيار بالنظر إلى الرسم البياني الأول الذي أنشأته؟
2. لماذا افترضت وجود هذه العلاقة بين المقاومة والتيار؟
3. كيف يمكنك وصف العلاقة بين الجهد والتيار بالنظر إلى الرسم البياني الثاني الذي أنشأته؟
4. لماذا افترضت وجود هذه العلاقة بين الجهد والتيار؟

التوسع في البحث

1. ما مقدار التيار الكهربائي الذي يمر في دائرة كهربائية إذا كان الجهد 3.0 V والمقاومة 20 kΩ؟ كيف حدّدت هذا التيار؟
2. بالاستعانة ببياناتك التي حصلت عليها في التجربة، هل يمكنك اشتقاق علاقة بين الجهد والتيار والمقاومة؟ *مساعدة: انظر إلى العلاقة البيانية بين التيار وفرق الجهد، وافترض أنها خط مستقيم تمر في نقطة الأصل.*
3. كيف تتفق بياناتك مع هذه العلاقة؟ وضح إجابتك.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن التيار الكهربائي ارجع الى شبكة الإنترنت أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

الوحدة 7

دليل مراجعة الوحدة

7–1 الكهرباء الساكنة Electrostatics

المفردات

- شحنة
- كهرباء ساكنة
- ثنائي القطب الكهربائي
- المجال الكهربائي
- خطوط المجال الكهربائي

المفاهيم الرئيسة

- الكهرباء الساكنة دراسة للشحنات الكهربائية التي تُحتجز في مكان ما.
- يستخدم جهاز الفان دي جراف لتوليد الشحنات الكهربائية ، بينما يستخدم الكشاف الكهربائي للكشف عن نوع شحنة الجسم، وتمييز الأجسام المشحونة عن غير المشحونة.
- تستخدم طرق الدلك والتوصيل والحث لشحن الأجسام.
- الشحنات الكهربائية المتشابهة تتنافر، بينما تتجاذب الشحنات المختلفة.
- تقاس شحنة الجسم بوحدة الكولوم C.
- المجال الكهربائي هو الحيز المحيط بالشحنة الكهربائية ويظهر فيه تأثيرها.
- خطوط المجال الكهربائي وهمية وغير متقاطعة، وتخرج من الشحنة الموجبة وتدخل للشحنة السالبة، وتزداد كثافتها بزيادة المجال الكهربائي.
- تقاس شدة المجال الكهربائي بوحدة N /C.

7–2 فرق الجهد وشدة التيار الكهربائي Potential difference and electrtic current

المفردات

- شدة التيار الكهربائي
- الأمبير
- الأميتر
- فرق الجهد
- فولت
- فولتميتر

المفاهيم الرئيسة

- التيار الكهربائي عبارة عن انتقال الشحنات الكهربائية.
- يستمر تدفق الشحنات الكهربائية بين نقطتين حتى يصبح فرق الجهد بينهما صفرًا.
- يقاس التيار الكهربائي بوحدة الأمبير، بينما يقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة الفولت.
- يستخدم جهاز الأميتر لقياس شدة التيار الكهربائي، بينما يستخدم الفولتمتر لقياس فرق الجهد الكهربائي.
- الدائرة الكهربائية مسار مغلق يحوي مصدرًا للقدرة ومقاومة كهربائية.
- شدة التيار الكهربائي عبارة عن معدل تدفق الشحنات الكهربائية في موصل وتقاس بوحدة الأمبير A.

7–3 المقاومة الكهربائية والقوة الدافعة الكهربائية Resistance and electronotive force

المفردات

- المقاومة الكهربائية
- الأوم
- قانون أوم
- موصلات أومية
- موصلات غير أومية
- القدرة الكهربائية
- الجول
- الواط
- دائرة التوالي
- دائرة التوازي
- القوة الدافعة الكهربائية
- دائرة مفتوحة
- دائرة قصر

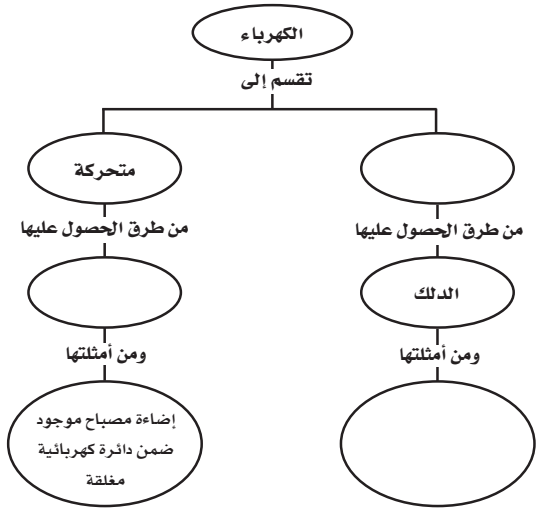
المفاهيم الرئيسة

- الخاصية التي تحدد مقدار التيار الكهربائي الذي سيمر في دائرة كهربائية تسمى مقاومة كهربائية.
- المقاومة الكهربائية تساوي فرق الجهد الكهربائي مقسومًا على شدة التيار.
- ينص قانون أوم على أن النسبة بين فرق الجهد الكهربائي بين طرفي موصل وشدة التيار المار فيه ثابتة.
- معظم الموصلات الفلزية تحقق قانون أوم ضمن حدود معينة وتسمى موصلات أومية.
- الموصلات التي لا تحقق قانون أوم تسمى موصلات غير أومية.
- القدرة الكهربائية تساوي شدة التيار الكهربائي مضروبة في فرق الجهد، وتقاس بوحدة الواط W.
- الطاقة الحرارية تساوي القدرة المستهلكة مضروبة في الزمن.
- في التوصيل على التوالي للمقاومات يكون التيار ثابتًا، والمقاومة المكافئة تساوي مجموع المقاومات، بينما عند توصيلها على التوازي فإن فرق الجهد يكون ثابتًا، ويكون مقلوب المقاومة المكافئة مساويًا لمجموع مقلوب المقاومات.

عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

خريطة المفاهيم

44. أكمل خريطة المفاهيم التالية باستخدام المصطلحات التالية: انجذاب قصاصات ورقية إلى مسطرة بلاستيكية مدلوكة بالصوف، الساكنة، المولدات الكهربائية.



إتقان المفاهيم

45. إذا مشّطت شعرك في يوم جاف فسوف يُشحن المشط بشحنة موجبة. هل يمكن أن يبقى شعرك متعادلًا؟ وضّح إجابتك.

46. **غسّالة الملابس** عندما نخرج الجوارب من مجفّفة الملابس تكون أحيانًا ملتصقة بملابس أخرى. لماذا؟

47. ما الخاصيتان اللتان يجب أن تكونا لشحنة الاختبار؟

48. كيف يحدّد اتجاه المجال الكهربائي؟

49. ارسم بعض خطوط المجال الكهربائي لكلٍّ من الحالات التالية:

a. شحنتين متساويتين في المقدار ومتماثلتين في النوع.

b. شحنتين مختلفتين في النوع ولهما المقدار نفسه.

c. لوحين متوازيين مختلفين في الشحنة.

50. كيف يتم الإشارة لشدة المجال الكهربائي من خلال خطوط المجال الكهربائي؟

51. ما وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائية؟ وما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي، وفْق النظام الدولي للوحدات SI؟

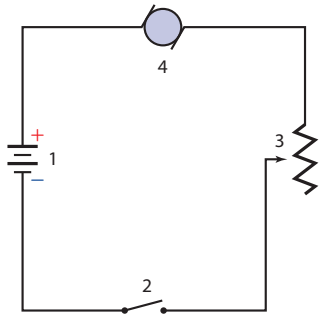
52. عرّف الفولت بدلالة التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة تتحرك في مجال كهربائي.

53. لماذا يفقد الجسم المشحون شحنته عند وصله بالأرض؟

54. **أجهزة الحاسوب** لماذا توضع الأجزاء الدقيقة في الأجهزة الإلكترونية – كتلك الموضحة في **الشكل 31–7**– داخل صندوق فلزي موضوع داخل صندوق آخر بلاستيكي؟

الشكل 31–7

ارجع إلى **الشكل 32–7** للإجابة عن الأسئلة ***58–55***.



الشكل 32–7

55. كيف يجب وصل فولتمتر في الشكل لقياس جهد المحرك؟

56. كيف يجب وصل أميتر في الشكل لقياس تيار المحرك؟

تقويم الوحدة 7

57. ما اتجاه التيار الاصطلاحي في المحرك؟

58. ما رقم الأداة التي:

a. تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية؟

b. تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية؟

c. تعمل على فتح الدائرة وإغلاقها؟

d. تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية؟

59. صف تحوّلات الطاقة التي تحدث في الأدوات التالية:

a. مصباح كهربائي متوهّج.

b. مجفّفة ملابس.

c. مذياع رقمي مزوّد بساعة.

60. عند عمل دائرة قصر لبطارية بوصل طرفي سلك نحاسي بقطبي البطارية ترتفع درجة حرارة السلك. فسّر لماذا يحدث ذلك.

61. اشتقّ وحدة القدرة الكهربائية بدلالة الوحدات الأساسية MKS.

تطبيق المفاهيم

62. فيم تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون؟ وفيم تتشابهان؟

63. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كان جسم ما موصلًا أم لا، باستخدام قضيب مشحون وكشّاف كهربائي؟

64. قُرّب قضيب مشحون إلى مجموعة كرات بلاستيكية صغيرة جدًّا، فانجذبت بعض الكرات إلى القضيب، إلا أنها لحظة ملامستها للقضيب اندفعت مبتعدة عنه في اتجاهات مختلفة. فسّر ذلك.

65. **البرق** يحدث البرق عادة عندما تنتقل الشحنات السالبة في الغيوم إلى الأرض. فإذا كان سطح الأرض متعادلاً فما الذي يوفر قوة الجذب المسؤولة عن سحب الإلكترونات نحو الأرض؟

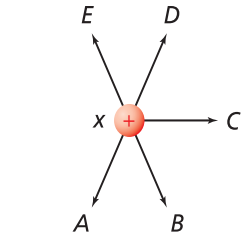
66. وضّح ما يحدث لورقتي كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة عند تقريب قضيب مشحون بالشحنات التالية إليه، مع مراعاة عدم لمس القضيب للكشّاف الكهربائي:

a. شحنة موجبة.

b. شحنة سالبة.

67. ماذا يحدث لطاقة الوضع الكهربائية لجسيم مشحون موجود داخل مجال كهربائي عندما يُطلق الجسيم ليصبح حُرَّ الحركة؟

68. يبيّن **الشكل 33–7** ثلاث كرات مشحونة بالمقدار نفسه. بالشحنات الموضّحة في الشكل. الكرتان y وz ثابتتان في مكانيهما، والكرة x حرة الحركة. والمسافة بين الكرة x وكل من الكرتين y وz في البداية متساوية. حدّد المسار الذي ستبدأ الكرة x في سلوكه، مفترضًا أنه لا يوجد أي قوى أخرى تؤثر في الكرات.



الشكل 33–7

69. **المصابيح الكهربائية** يعمل مصباحان كهربائيان في دائرة كهربائية جهدها 120 V. إذا كانت قدرة أحدهما 50 W والآخر 100 W، فأيّ المصباحين مقاومته أكبر؟ وضّح إجابتك.

70. **قانون أوم** وجدت سارة أداة تُشبه مقاومة. عندما وصلت هذه الأداة ببطارية جهدها 1.5 V مرَّ فيها تيار مقداره 45×10^{-6} A فقط، ولكن عندما

تقويم الوحدة 7

استخدمت بطارية جهدها 3.0 V مر فيها تيار مقداره 25×10^{-3} A ، فهل تحقّق هذه الأداة قانون أوم؟

71. إذا غُيّر موقع الأميتر المبين في **الشكل 7–20a** ليُصبح أسفل الشكل، فهل تبقى قراءة الأميتر نفسها؟ وضّح ذلك.

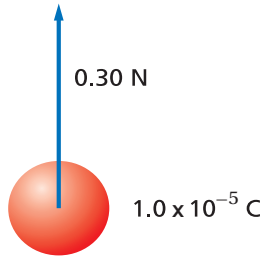
إتقان حل المسائل

72. **البرق** إذا نقلت صاعقة برق قوية شحنة مقدارها 25 C إلى الأرض، فما عدد الإلكترونات المنقولة؟

شحنة الإلكترون تساوي -1.60×10^{-19} C، استخدم هذه القيمة حيث يلزم.

73. ما مقدار شحنة اختبار إذا تعرضت لقوة مقدارها 1.4×10^{-8} N عند نقطة شدة المجال الكهربائي فيها 5.0×10^{-4} N/C ؟

74. يوضّح **الشكل 7–34** شحنة موجبة مقدارها 1.0×10^{-5} C، تتعرض لقوة 0.30 N، عند وضعها عند نقطة معينة. ما شدة المجال الكهربائي عند تلك النقطة؟



الشكل 7–34

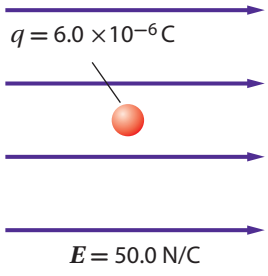
75. ارسم بدقة الحالات التالية:

a. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة مقدارها $+1.0\ \mu C$.

b. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة $+2.0\ \mu C$

(اجعل عدد خطوط المجال متناسبًا مع التغير في مقدار الشحنة).

76. وضعت شحنة اختبار موجبة مقدارها 6.0×10^{-6} C في مجال كهربائي شدته 50.0 N/C، كما هو موضّح في **الشكل 7–35**. ما مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار؟



الشكل 7–35

77. يمر تيار كهربائي مقداره 0.50 A في مصباح متصل بمصدر جهده 120 V، احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة.

b. الطاقة التي يتم تحويلها خلال 5.0 min.

78. **مجفّفات الملابس** وُصِلت مجفّفة ملابس قدرتها 4200 W بدائرة كهربائية جهدها 220 V، احسب مقدار التيار المار فيها.

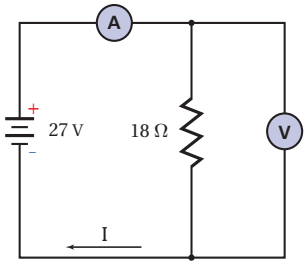
79. ارجع إلى **الشكل 7–36** للإجابة عن الأسئلة التالية:

a. ما قراءة الأميتر؟

b. ما قراءة الفولتمتر؟

c. ما مقدار القدرة الواصلة إلى المقاومة؟

d. ما مقدار الطاقة التي تصل إلى المقاومة كل ساعة؟



الشكل 7–36

80. **المصابيح اليدوية** إذا وصِل مصباح يدوي بفرق

تقويم الوحدة 7

جهد 3.0 V، فمرّ فيه تيار مقداره 1.5 A:

a. فما معدل الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصباح؟

b. ما مقدار الطاقة الكهربائية التي يحولها المصباح خلال 11 min؟

81. ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة توالٍ كهربائية تحوي مقاومة مقدارها 16 Ω، وبطارية، مع أميتر قراءته 1.75 A، حدّد كلًّا من الطرف الموجب للبطارية وجهدها، والطرف الموجب للأميتر، واتجاه التيار الاصطلاحي.

82. يمر تيار كهربائي مقداره 66 mA في مصباح عند توصيله ببطارية جهدها 6.0 V، ويمر فيه تيار مقداره 75 mA عند استخدم بطارية جهدها 9.0 V، أجب عن الأسئلة التالية:

a. هل يحقّق المصباح قانون أوم؟

b. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح عند توصيله ببطارية 6.0 V؟

مراجعة عامة

83. وصِلت مقاومة مقدارها 6.0 Ω ببطارية جهدها 15 V

a. ما مقدار التيار المار في الدائرة؟

b. ما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال 10.0 min؟

84. **المصابيح الكهربائية** تبلغ مقاومة مصباح كهربائي متوهّج 10.0 Ω قبل إنارته، وتُصبح 40.0 Ω عند إنارته بتوصيله بمصدر جهد 120 V. أجب عن الأسئلة التالية:

a. ما مقدار التيار الذي يمر في المصباح عند إنارته؟

b. ما مقدار التيار الذي يمر في المصباح لحظة إنارته (التيار اللحظي)؟

c. متى يَستهلِك المصباح أكبر قدرة كهربائية؟

التفكير الناقد

85. **تطبيق المفاهيم** على الرغم من تصميم قضيب مانعة الصواعق ليوصل الشحنات بأمان إلى الأرض، إلا أن هدفه الرئيس هو منع ضربة الصاعقة في المقام الأول، فكيف تؤدي مانعة الصواعق هذا الهدف؟

86. **تطبيق المفاهيم** تتراوح أحجام مقاومة مقدارها 10 Ω بين رأس دبوس ووعاء حساء. وضح ذلك.

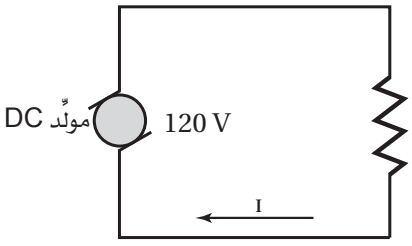
الكتابة في الفيزياء

87. **تاريخ العلم** ابحث في الأجهزة المختلفة التي كانت تستخدم في القرنين السابع عشر والثامن عشر في دراسة الكهرباء الساكنة. قد تتطرق مثلاً إلى قارورة ليدن وآلة ويمشورست. اكتب تقريرًا يبين كيف تم بناؤهما، ومبدأ عمل كل منهما.

88. تتمدد المادة عند تسخينها. ابحث في العلاقة بين التمدد الحراري وأسلاك التوصيل المستخدمة لنقل الجهد العالي.

مراجعة تراكمية

89. يبين الرسم أدناه دائرة كهربائية بسيطة تحتوي على مولّد DC، ومقاومة. فإذا كانت المقاومة في الرسم تمثل مُجفّف شعر مقاومته 8.5 Ω فما مقدار التيار المار في الدائرة؟ وما مقدار الطاقة التي يستهلكها مجفف الشعر إذا تم تشغيله 2.5 min؟



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. ما عدد الإلكترونات المنتقلة من كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة إذا كان صافي شحنته 7.5×10^{-11} C؟

(A) 7.5×10^{-11} إلكترون

(B) 2.1×10^{-9} إلكترون

(C) 1.2×10^{8} إلكترون

(D) 4.7×10^{8} إلكترون

2. تسمى عملية شحن جسم متعادل عن طريق ملامسته بجسم مشحون:

(A) التوصيل (C) التأريض

(B) الحث (D) التفريغ

3. لماذا يقاس المجال الكهربائي بشحنة اختبار صغيرة فقط؟

(A) حتى لا تُشتّت الشحنة المجال.

(B) لأن الشحنات الصغيرة بطيئة الحركة.

(C) حتى لا يؤدي مقدارها إلى دفع الشحنة المراد قياسها جانبًا.

(D) لأن الإلكترون يستخدم دائمًا بوصفه شحنة اختبار، وشحنة الإلكترونات صغيرة.

4. إذا تأثرت شحنة مقدارها 2.1×10^{-9} C بقوة مقدارها 14 N، فما مقدار المجال الكهربائي المؤثر؟

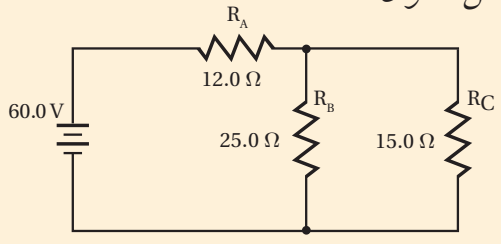
(A) 0.15×10^{-9} N/C

(B) 6.7×10^{-9} N/C

(C) 29×10^{-9} N/C

(D) 6.7×10^{9} N/C

استخدم الرسم التخطيطي أدناه الذي يمثل دائرة كهربائية للإجابة عن السؤال 5.



5. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟

(A) 8.42 Ω (C) 21.4 Ω

(B) 10.7 Ω (D) 52.0 Ω

6. إذا وصل مصباح كهربائي قدرته 100 W بسلك كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 120 V فما مقدار التيار المار في المصباح؟

(A) 0.8 A (C) 1.2 A

(B) 1 A (D) 2 A

7. يمرّ تيار مقداره 2.0 A في دائرة تحتوي على محرك مقاومته 12 Ω، ما مقدار الطاقة المُحوّلة إذا تم تشغيل المحرك دقيقة واحدة؟

(A) 4.8×10^{1} J (C) 2.9×10^{3} J

(B) 2.0×10^{1} J (D) 1.7×10^{5} J

8. إذا مرّ تيار مقداره 5.00 mA في مقاومة مقدارها 50.0 Ω في دائرة كهربائية موصولة مع بطارية فما مقدار القدرة الكهربائية المستنفدة في الدائرة؟

(A) 1.00×10^{-2} W (C) 1.25×10^{-3} W

(B) 1.00×10^{-3} W (D) 2.50×10^{-3} W

الأسئلة الممتدة

9. تحتوي دائرة توالٍ كهربائية على بطارية جهدها 8.0V وأربع مقاومات: $R_1=4.0\,\Omega$ و$R_2=8.0\,\Omega$ و$R_3=13.0\,\Omega$ و$R_4=15.0\,\Omega$. احسب مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة، والقدرة المستنفدة في المقاومات؟

✓ إرشاد

حاول أن تتخطّى

قد ترغب في تخطّي المسائل الصعبة وتعود إليها لاحقًا. إن إجابتك عن الأسئلة السهلة قد تساعدك على الإجابة عن الأسئلة التي تخطيتها.

الوحدة 8

الكهرومغناطيسية
Electromagnetism

رقمُ الوحدة: 10AP.6 – 10AP.7

ما الذي ستتعلمه في هذه الوحدة؟

- التمييز بين المواد الفيرومغناطيسية والمواد الأخرى.
- التعرف على المجال المغناطيسي وتخطيطه.
- استنتاج أن مرور تيار كهربائي في موصل يولِّد مجالاً مغناطيسيًّا حوله.
- استنتاج أن حركة موصل يسري فيه تيار كهربائي عموديًّا على مجال مغناطيسي تولد قوة مغناطيسية تكون عمودية على كل منهما.
- حساب شدة المجال المغناطيسي.

الأهمية

تشكّل العلاقة بين المجالات المغناطيسية والتيار الكهربائي حجر الأساس للأركان الثلاثة التي تقوم عليها التقنيات الكهربائية: المولدات الكهربائية، والمحركات الكهربائية، والمحولات الكهربائية.

المحركات الكهربائية تُؤدِّي المحركات الكهربائية دورًا مهمًّا في مجالات الحياة كافة، وأسهمت في تطوير الصناعة والتقدم في كل المجالات، وتعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية في وجود مجال مغناطيسي.

فكِّر ◄

كيف تعمل المحركات الكهربائية على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية؟

8–1 المغناطيسية Magnetism

معايير الأداء الرئيسة

30.4 – 30.5 – 30.6

معايير البحث والاستقصاء العلمي

1.2 – 3.4 – 4.2 – 4.1

الأهداف

- **يصنع** مغناطيسًا من مواد مغناطيسية (فيرومغناطيسية) بطرق مختلفة.
- **يتعرف** خصائص المغناطيس.
- **يصف** المجال المغناطيسي للمغناطيس كونه مجالًا للقوة، ويعبر عنه بخطوط مجال مغناطيسي.
- **يعرف** التدفق المغناطيسي.
- **يفسر** قابلية المواد الفيرومغناطيسية للتمغنط.

المفردات

- قطب مغناطيسي Magnetic pole
- المواد الفيرومغناطيسية Ferromagnetic materials
- المجال المغناطيسي Magnetic field
- خطوط المجال المغناطيسي Magnetic field lines
- ثنائية القطب المغناطيسي Magnetic dipole
- نقطة التعادل Neutral point
- التدفق المغناطيسي Magnetic flux
- كثافة التدفق المغناطيسي Magnetic flux density

تجربة استهلالية

في أي اتجاه تؤثر المجالات المغناطيسية؟

سؤال التجربة ما اتجاه القوة التي تؤثر في جسم ممغنط موضوع في مجال مغناطيسي؟

الخطوات

1. ضع أمامك قضيبًا مغناطيسيًّا أفقيًّا على أن يكون قطبه الشمالي نحو اليسار.
2. ضع قضيبًا مغناطيسيًّا آخر أفقيًّا أيضًا عن يسار القضيب الأول وعلى بُعد 5.0 cm منه، بحيث يكون متاحًا وضع بوصلة بين القضيبين المغناطيسيين، على أن يكون قطبه الشمالي نحو اليسار أيضًا.
3. ارسم شكلًا توضيحيًّا لما قمت به على ورقة، وتحقق من تحديد الأقطاب عليه.
4. ضع البوصلة بالقرب من أحد القطبين، وارسم الاتجاه الذي يشير إليه سهمها.
5. استمر في تغيير موضع البوصلة نحو القطب الآخر عدة مرات، وفي كل مرة ارسم الاتجاه الذي يشير إليه السهم حتى تحصل على 20–15 سهمًا.
6. كرّر الخطوات 5 – 3 على أن يكون القطبان الشماليان متقابلين في هذه المرة.

التحليل

ما الاتجاه الذي يشير إليه الطرف الأحمر لإبرة البوصلة عادة؟ وما الاتجاه الذي يبتعد عنه؟ ولماذا قد لا تشير بعض الأسهم إلى أي الاتجاهين في السؤالين؟

التفكير الناقد المخطط الذي حصلت عليه بعد رسمك للأسهم يسمى المجال المغناطيسي. تذكر المقصود بكل من: مجال الجاذبية الأرضية، والمجال الكهربائي، وعرّف المجال المغناطيسي.

عُرفت المغانط والمجالات المغناطيسية منذ أكثر من 2000 سنة مضت. واستخدم البحارة الصينيون المغانط في صورة بوصلات ملاحية قبل 900 سنة تقريبًا. ودرس العلماء منذ القدم وفي أنحاء العالم كافة الصخور المغناطيسية التي تسمى مغانط طبيعية.

وللمغانط اليوم أهمية متنامية في حياتنا اليومية؛ فالمولدات الكهربائية، والمحركات الكهربائية البسيطة، وأجهزة التلفاز، وأجهزة العرض التي تعمل بالأشعة المهبطية، وأشرطة التسجيل، ومشغلات الأقراص الصلبة الموجودة داخل أجهزة الحاسوب، جميعها تعتمد على الآثار المغناطيسية للتيارات الكهربائية.

الخصائص العامة للمغانط

General properties of magnets

الشكل 1–8 المغانط الشائعة التي تباع في معظم محال الأدوات المنزلية والمكتبات.

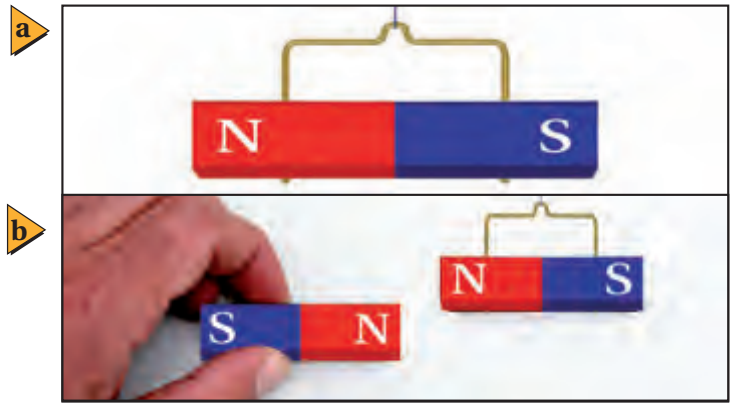
إذا كنت قد استخدمت البوصلة يومًا ما، أو التقطت الدبابيس أو مشابك الورق بالمغناطيس فقد لاحظت بعض الآثار المغناطيسية. ولربما صنعت مغناطيسًا كهربائيًّا أيضًا، وذلك بلف سلك معزول حول مسمار، ثم وصلت طرفي السلك ببطارية. ولدراسة المغناطيسية بصورة أفضل يمكنك التجريب بالمغانط، كتلك الموضحة في **الشكل 1–8**.

علّق مغناطيسًا بخيط، كما هو موضّح في **الشكل 2a–8**. إذا استخدمت قضيبًا مغناطيسيًّا فعليك تعليقه بسلك ينتهي بخطافين لتجعله أفقيًّا. عندما يستقر المغناطيس يتخذ اتجاهًا معينًا. حرّك المغناطيس بحيث يشير إلى اتجاه مختلف ثم اتركه. هل استقر القضيب المغناطيسي عند الاتجاه الأول نفسه؟ إذا حدث ذلك فإلى أي اتجاه يشير؟

ستجد أن القضيب المغناطيسي قد استقر في اتجاه شمال – جنوب. اكتب الحرف N عند الطرف الذي يشير إلى اتجاه الشمال بوصفه مرجعًا ويسمى **قطبًا مغناطيسيًّا Magnetic pole**. يمكنك أن تستنتج من خلال هذه التجربة البسيطة أن المغناطيس له قطبان متميزان متعاكسان: أحدهما القطب الباحث عن الشمال، ويسمى القطب الشمالي، والآخر القطب الباحث عن الجنوب، ويسمى القطب الجنوبي، وهذا يسمى **ثنائية القطب المغناطيسي Magnetic dipole**. والبوصلة ليست أكثر من مغناطيس صغير حر الدوران.

علّق مغناطيسًا آخر بالطريقة نفسها، وحدد القطب الشمالي له كما فعلت مع المغناطيس الأول. ولاحظ تفاعل المغناطيسين؛ وذلك بتقريب أحدهما إلى الآخر، كما هو موضح في **الشكل 2b–8**. ماذا يحدث عند تقريب القطبين الشماليين أحدهما إلى الآخر؟ حاول ذلك مع الأقطاب الجنوبية. وأخيرًا ماذا يحدث عند تقريب القطبين المختلفين أحدهما إلى الآخر؟

لعلك لاحظت أن القطبين الشماليين يتنافران وكذلك الجنوبيان. ولعلك لاحظت كذلك أن القطب الجنوبي لأحدهما انجذب نحو القطب الشمالي للآخر؛ أي أن الأقطاب المتشابهة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب. ومن الخصائص العامة للمغانط أن لها جميعًا قطبين مختلفين. وإذا قسمت المغناطيس نصفين فسينتج مغناطيسان جديدان، كل منهما له قطبان. وقد حاول العلماء كسر المغناطيس ليفصلوا القطبين أحدهما عن الآخر للحصول على



الشكل 2–8 إذا علّقت مغناطيسًا بخيط فإن المغناطيس سيتخذ اتجاهًا يتناسب مع الخصائص المغناطيسية للأرض؛ أي سيشير القطب الشمالي للمغناطيس نحو الشمال (a). وإذا قرّبت القطب الشمالي للمغناطيس الآخر نحو القطب الشمالي للمغناطيس المعلق سيبتعد المغناطيس المعلق (b).

■ **الشكل 3–8** ينجذب المسمار نحو المغناطيس. وفي هذه العملية يصبح المسمار نفسه ممغنطًا، ويمكنك أن ترى أنه عندما يحدث تلامس بين المغناطيس والمسمار فإن المسمار يصبح قادرًا على جذب أجسام فلزية أخرى. وعند فصل المسمار عن المغناطيس تسقط بعض الأجسام الفلزية؛ وذلك لأن المسمار يفقد جزءًا من مغناطيسيته.

قطب مغناطيسي مفرد، إلا أن أحدًا لم ينجح في ذلك حتى على المستوى المجهري.

وإذا علمنا أن المغانط تنتظم دائمًا في اتجاه شمال – جنوب فسوف يظهر لنا أن الأرض نفسها مغناطيس عملاق. ولأن الأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب، والقطب المغناطيسي الشمالي لإبرة البوصلة يشير نحو الشمال؛ لذا يجب أن يكون القطب المغناطيسي الجنوبي للأرض بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي لها. كيف تؤثر المغانط في المواد الأخرى؟ عرفت منذ طفولتك أن المغانط تجذب مغانط أخرى وبعض الأجسام القريبة، ومنها المسامير والدبابيس ومشابك الورق، والعديد من الأجسام الفلزية الأخرى والمواد المصنوعة من هذه الأدوات تسمى مواد **فيرومغناطيسية Ferromagnetic materials**. ومن أكثرها شيوعًا الحديد والنيكل والكوبلت. وخلافًا للتفاعل بين مغناطيسين فإن أي طرف للمغناطيس يجذب أي طرف لقطعة حديد. فكيف تفسر هذا السلوك؟ أولًا، إذا لامس المغناطيس مسمارًا، ثم لامس المسمار قطع حديد صغيرة فسيصبح المسمار نفسه مغناطيسًا، كما هو موضّح في **الشكل 3–8**. فالمغناطيس يمغنط المسمار ليصبح مغناطيسًا. ويعتمد اتجاه قطبية المسمار على قطبية المغناطيس. وإذا أبعدت المغناطيس فسيفقد المسمار بعض مغناطيسيته، ولن يطول جذبه للأجسام الفلزية الأخرى.

وإذا كرّرت التجربة الموضّحة في **الشكل 3–8**، ووضعت قطعة من الحديد المطاوع (حديد يحتوي على القليل من الكربون) بدلًا من المسمار، فستلاحظ أن الحديد المطاوع يفقد كل جاذبيته للأجسام الفلزية الأخرى مباشرة عند إبعاد المغناطيس؛ وذلك لأن الحديد المطاوع مغناطيس مؤقت. أما المسمار فيحتوي على فلزات أخرى (مواد فيرومغناطيسية) تتيح له الاحتفاظ ببعض مغناطيسيته عند إبعاد المغناطيس الدائم.

المغناطيس الدائم Permanent magnet تتولد مغناطيسية المغناطيس الدائم بالطريقة نفسها التي تولدت بها مغناطيسية المسمار. وبسبب التركيب المجهري للمادة التي يتكون منها المغناطيس فإن المغناطيسية المستحثة تصبح دائمة. يُصنع العديد من المغانط الدائمة من سبيكة حديد تحتوي على خليط من الألومنيوم والنيكل والكوبالت. وهناك مجموعة متنوعة من العناصر الأرضية النادرة – ومنها النيوديميوم والجادولينيوم – تنتج مغانط دائمة قوية جدًّا مقارنة بأحجامها.

ماذا قرأت؟ ما المواد الفيرومغناطيسية؟ اذكر مثالًا عليها.

تجربة

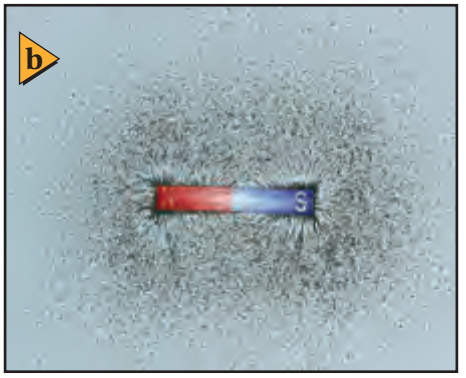
المواد الفيرومغناطيسية

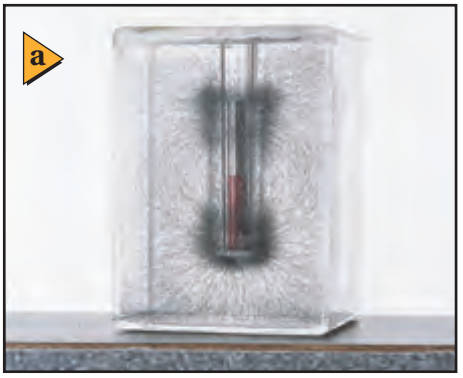
1. أحضر أجسامًا من مواد مختلفة، مثلًا حديد وفولاذ وخشب وبلاستيك وكوبلت وألعاب يدخل في تركيبها الحديد والورق ومواد مختلفة أخرى.
2. قرب مغناطيسًا إلى كل منها ولاحظ أيًّا منها ينجذب للمغناطيس بقوة (فيرومغناطيسية) وأيًّا منها لا ينجذب للمغناطيس (غير مغناطيسية).
3. رتب أسماء المواد بحسب نوعها في الجدول أدناه.

فيرومغناطيسية	غير مغناطيسية

التحليل والاستنتاج

4. لماذا انجذبت بعض المواد للمغناطيس بينما لم تنجذب مواد أخرى له؟ **فسّر** نتائجك.





■ **الشكل 4–8** يظهر المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي بوضوح في الأبعاد الثلاثة، وذلك عند تعليق المغناطيس في الجليسرول مع برادة الحديد (**a**)، إلا أنه من الأسهل وضع المغناطيس أسفل ورقة، ثم رش برادة الحديد فوقها لمشاهدة نمط المجال المغناطيسي في بعدين (**b**).

المجالات المغناطيسية حول المغانط الدائمة

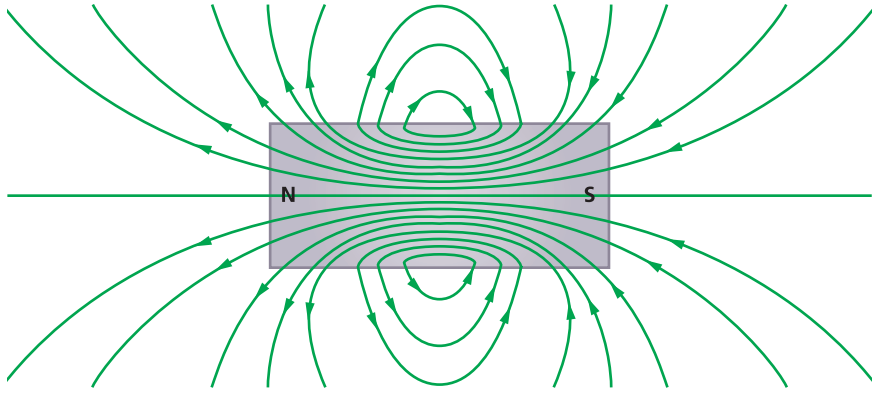
Magnetic fields around permanent magnets

عندما تجري تجربة باستخدام مغناطيسين تلاحظ أن القوى بينهما – سواء أكانت قوة تجاذب أو تنافر – تحدث حتى قبل تلامسهما. وبالطريقة نفسها التي وصفت بها قوة الجاذبية والقوة الكهربائية من خلال مجال الجاذبية الأرضية والمجال الكهربائي، يمكن وصف القوى المغناطيسية من خلال المجالات المغناطيسية المتولدة حول المغناطيس. وهذا **المجال المغناطيسي Magnetic field** يوجد في المنطقة التي تؤثر فيها القوة المغناطيسية.

يمكن تمثيل المجال المغناطيسي الموجود حول المغناطيس باستخدام برادة الحديد؛ فكل قطعة صغيرة من برادة الحديد تصبح مغناطيسًا بالحث. وتدور برادة الحديد حتى تصبح موازية للمجال المغناطيسي، مثل إبرة البوصلة تمامًا. ويوضّح **الشكل 4a–8** برادة الحديد في محلول الجليسرول، وهي تحيط بالقضيب المغناطيسي. ويمكن ملاحظة صورة ثلاثية الأبعاد للمجال. وفي **الشكل 4b–8** ترتبت برادة الحديد، وأعطت رسمًا ثنائي الأبعاد للمجال المغناطيسي، ويساعدك ذلك على تصور خطوط المجال المغناطيسي. ويمكن لبرادة الحديد أن تُظهر أيضًا كيف يتشوّه المجال المغناطيسي بتأثير جسم ما.

خطوط المجال المغناطيسي Magnetic field lines لاحظ أن **خطوط المجال المغناطيسي Magnetic field lines** تشبه خطوط المجال الكهربائي في أنها وهمية، وهي تستخدم لتساعدنا على تصور المجال، وتزوِّدنا بمقياس لشدة المجال المغناطيسي. ويسمّى عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق عموديًّا السطح **التدفق المغناطيسي Magnetic flux**. والتدفق عبر وحدة المساحة يتناسب طرديًّا مع شدة المجال المغناطيسي. وكما تلاحظ في **الشكل 4–8** فإن معظم التدفق المغناطيسي مركّز عند القطبين؛ حيث يكون المجال المغناطيسي عندهما أكبر ما يمكن. أما **كثافة التدفق المغناطيسي Magnetic flux density** فتعرف بأنها عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تجتاز عموديًّا وحدة المساحات من السطح، وتقاس بوحدة تسلا (T).

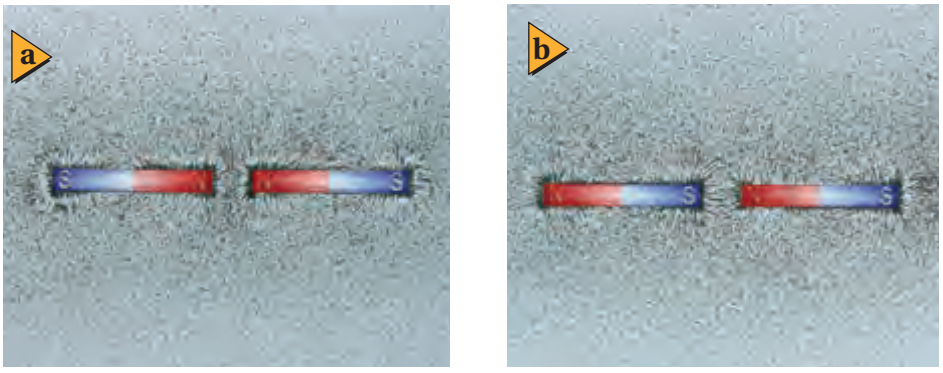
ويُعرّف اتجاه خط المجال المغناطيسي بأنه الاتجاه الذي يشير إليه القطب الشمالي لإبرة البوصلة عند وضعها في المجال المغناطيسي. ويحدد اتجاه خطوط المجال المغناطيسي بحيث



الشكل 5–8 يمكن تصوّر خطوط المجال المغناطيسي على شكل حلقات مغلقة تخرج من القطب الشمالي وتدخل إلى القطب الجنوبي للمغناطيس نفسه لتكمل دورتها إلى القطب الشمالي.

تكون خارجة من القطب الشمالي للمغناطيس وداخلة إلى القطب الجنوبي له، كما هو موضّح في **الشكل 5–8**. ماذا يحدث داخل المغناطيس؟ لا توجد أقطاب مفردة تنتهي فيها أو تبدأ منها خطوط المجال المغناطيسي؛ لذا فهي تكمل دورتها داخل المغناطيس دائمًا من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لتشكّل حلقات مقفلة. ما نوع المجالات المغناطيسية المتكونة بواسطة أزواج من القضبان المغناطيسية؟ يمكن مشاهدة هذه المجالات بوضع مغناطيسين أسفل ورقة، ورشّ برادة حديد عليها. يبين **الشكل 6a–8** خطوط المجال بين قطبين متشابهين. وفي المقابل إذا وضع قطبان مختلفان متقاربان فإنهما يكوّنان مجالًا، كما هو موضح في **الشكل 6b–8**. وتبين برادة الحديد أن خطوط المجال بين قطبين مختلفين تتجه مباشرة من أحد المغناطيسين لتصل إلى الآخر.

نقطة التعادل Neutral point تسمى النقطة التي ينعدم عندها المجال المغناطيسي **نقطة التعادل Neutral point**؛ فعند هذه النقطة تكون محصلة المجالات المغناطيسية صفرًا، وإذا وضع جسم عند تلك النقطة فإنه لا يتأثر بأي قوة مغناطيسية؛ أي أن القوة المغناطيسية وشدة



الشكل 6–8 تبين خطوط المجال المغناطيسي الممثلة ببرادة الحديد أن الأقطاب المتشابهة تتنافر (a)، والأقطاب المختلفة تتجاذب (b). ولا تشكل برادة الحديد خطوطًا متصلة بين الأقطاب المتشابهة. لكنها تبين أن خطوط المجال المغناطيسي تنقل مباشرة بين القطبين الشمالي والجنوبي.

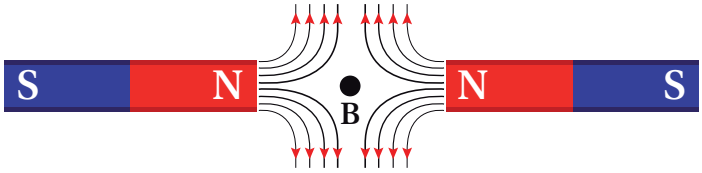
تجربة

خطوط المجال المغناطيسي

1. ضع قضيبًا مغناطيسيًّا فوق ورقة بيضاء على سطح طاولة.
2. أحضر ثماني بوصلات وضعها حول المغناطيس.
3. راقب اتجاه القطب الشمالي للإبر المغناطيسية للبوصلات.
4. حرك قلم رصاص حول المغناطيس ليرسم إطارًا حوله، ثم حَدِّد عليه كلاً من القطبين الشمالي والجنوبي.
5. ارسم خطوطًا موازية للإبر المغناطيسية، وارسم مسارًا منحنيًا حول المغناطيس بحيث تكون الخطوط التي تمثل الإبر المغناطيسية مماسات له.
6. ارسم سهمًا على الخط المنحني بحيث يتجه رأسه إلى اتجاه القطب الجنوبي للمغناطيس، ثم ارفع المغناطيس والبوصلات.
7. أعد التجربة بنثر برادة حديد حول قضيب مغناطيسي موضوع فوق ورقة بيضاء، وارسم خطوطًا تبين كيفية ترتيبها حول المغناطيس.

التحليل والاستنتاج

8. ما شكل خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس؟
9. في أي الأماكن حول المغناطيس كان انحراف الإبرة المغناطيسية أكبر؟ ماذا تستنتج من ذلك؟
10. هل اختلفت الخطوط المعبرة عن المجال المغناطيسي عند استخدام البوصلات أو برادة الحديد؟



الشكل 7–8 النقطة B تمثل نقطة التعادل، وهي النقطة التي تكون عندها محصلة المجالات المغناطيسية صفرًا.

المجال المغناطيسي عندها تساوي صفرًا، ويوضح **الشكل 7–8** موقع تلك النقطة بين قطبين مغناطيسيين متشابهين.

القوى المؤثرة في الأجسام الموضوعة في مجالات مغناطيسية Forces on objects in magnetic fields

تؤثر المجالات المغناطيسية بقوى في مغانط أخرى؛ فالمجال المغناطيسي الناتج عن القطب الشمالي لمغناطيس يدفع القطب الشمالي لمغناطيس آخر بعيدًا في اتجاه خط المجال، والقوى الناتجة عن المجال نفسه والمؤثرة في قطب جنوبي لمغناطيس آخر تجذبه في عكس اتجاه خطوط المجال. وفي الوقت نفسه فإن المغناطيس الثاني يحاول أن يصطف أو يترتب مع المجال، كما في إبرة البوصلة.

عندما توضع عينة مصنوعة من الحديد أو الكوبالت أو النيكل في المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم تصبح خطوط المجال مركزة أكثر خلال هذه العينة، وتتمغنط بالحث، وتبدو خطوط المجال كأنها تخرج من القطب الشمالي للمغناطيس وتدخل أحد طرفي العينة، وتمر خلالها، ثم تخرج من الطرف الآخر للعينة، ولذلك يكون طرف العينة القريب من القطب الشمالي للمغناطيس قطبًا جنوبيًّا، فتنجذب العينة نحو المغناطيس.

المقارنة بين المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي Comparing between electric and magnetic fields

كلٌّ من المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي يؤثر بقوة وله خصائص محددة، ويوجد أوجه شبه وأوجه اختلاف بينهما. **الجدول 1–8** يوضح بعض أوجه الشبه والاختلاف بينهما.

الجدول 1-8

المجال المغناطيسي	المجال الكهربائي
يؤثر بقوة في المواد الفيرومغناطيسية.	يؤثر بقوة في الشحنات الكهربائية.
لا يوجد قطب مغناطيسي مفرد.	توجد شحنات كهربائية مفردة مستقلة بعضها عن بعض.
تكون الأقطاب المغناطيسية دائمًا على شكل ثنائية القطبية المغناطيسية.	إذا وجدت شحنتان كهربائيتان متساويتان في المقدار ومختلفتان في النوع فإنهما تشكلان ثنائية القطب الكهربائي.
اتجاه خطوط المجال حول مغناطيس يكون من القطب الشمالي للمغناطيس نحو القطب الجنوبي.	اتجاه خطوط المجال يكون من الشحنة الموجبة نحو الشحنة السالبة.
تزيد شدة المجال بتقارب خطوطه.	تزيد شدة المجال بتقارب خطوطه.
خطوطه غير متقاطعة.	خطوطه غير متقاطعة.

ماذا قرأت؟ كيف تخطط المجال المغناطيسي لمغناطيس ؟

تجربة

شدة المجال المغناطيسي

1. غلِّف قضيبًا مغناطيسيًّا بورق شفاف (حافظ طعام).
2. ضعْه على سطح طاولة ثم انثر عليه برادة حديد.
3. لاحظ ما يحدث للبرادة.
4. ارسم شكلًا يمثل الطريقة التي ترتبت فيها برادة الحديد.

التحليل والاستنتاج

5. في أي المناطق كان تجمّع برادة الحديد أكبر؟
6. ماذا تستنتج من ذلك؟
7. عند أي النقاط كان تجمّع برادة الحديد أقل ما يمكن؟ ماذا تستنتج؟

1–8 مراجعة

1. **التجاذب والتنافر** إذا حملت قضيبين مغناطيسيين على راحتي يديك، ثم قربت يديك إحداهما إلى الأخرى فهل ستكون القوة تنافرًا أم تجاذبًا في كل من الحالتين الآتيتين؟
   a. تقريب القطبين الشماليين أحدهما إلى الآخر.
   b. تقريب القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي.
2. **تأثير المغناطيس** يجذب مغناطيس مسمارًا، ويجذب المسمار بدوره قطعًا صغيرة، كما هو موضّح في **الشكل 3–8**. فإذا كان القطب الشمالي للمغناطيس الدائم عن اليمين كما هو موضّح فأي طرفي المسمار يمثل قطبًا جنوبيًّا؟
3. **البوصلة** لماذا تكون قراءة البوصلة المغناطيسية غير صحيحة أحيانًا؟
4. **نقطة التعادل** ما المقصود بنقطة التعادل؟
5. **رسم المجال** ارسم شكلًا توضيحيًّا يبين خطوط المجال المغناطيسي بين قطبين:
   a. متشابهين لمغناطيسين.
   b. مختلفين لمغناطيسين.
6. **المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي** قارن بين المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي.
7. **التدفق المغناطيسي** ما المقصود بكل من التدفق المغناطيسي وكثافة التدفق المغناطيسي؟
8. **خطوط المجال المغناطيسي** اذكر خصائص خطوط المجال المغناطيسي.
9. **المواد الفيرومغناطيسية** قارن بين المواد الفيرومغناطيسية والمواد غير الفيرومغناطيسية من حيث انجذابها للمغناطيس.
10. **التفكير الناقد** يبين **الشكل 8–8** خمسة مغانط في صورة أقراص مثقوبة بعضها فوق بعض. فإذا كان القطب الشمالي للقرص العلوي متجهًا إلى أعلى فما نوع القطب الذي يكون نحو الأعلى لكلٍّ من المغانط الأخرى؟

الشكل 8–8

8–2 المجالات المغناطيسية الناتجة عن التيارات الكهربائية
Magnetic fields caused by electric current

معايير الأداء

30.7– 30.8

معايير البحث والاستقصاء العلمي

3.4– 1.2–4.1– 4.2

الأهداف

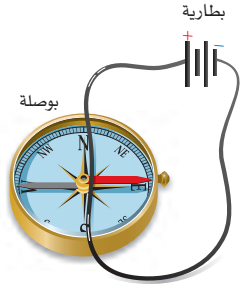
- **يستنتج** أن مرور تيار كهربائي مستمر في موصل يولِّد مجالًا مغناطيسيًّا حوله.
- **يعدد** العوامل التي يعتمد عليها المجال المغناطيسي حول سلك يمر فيه تيار كهربائي.
- **يوضح** العلاقة بين كثافة التدفق المغناطيسي وشدة التيار الكهربائي المار في الموصل.
- **يرسم** خطوط المجال المغناطيسي الناتجة من مرور تيار كهربائي في كل من: سلك مستقيم وملف دائري وملف لولبي.
- **يستنتج** العوامل التي تعتمد عليها شدة المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربائي في ملف يسري فيه تيار كهربائي.

المفردات

- ملف لولبي (حلزوني) Solenoid
- الكهرومغناطيسية Electromagnetism
- القاعدة الثانية لليد اليمنى Second right hand rule

المجال المغناطيسي حول موصل يمر فيه تيار كهربائي
Magnetic field around wire carrying an electric current

أجرى الفيزيائي الدنماركي هانز كريستيان أورستد عام 1820م تجارب على التيارات الكهربائية المارة في الأسلاك الموصلة للكهرباء، فوضع سلكًا فوق محور بوصلة صغيرة، وأوصل نهايتي السلك بدائرة كهربائية مغلقة، وكان يتوقع أن تشير إبرة البوصلة إلى اتجاه السلك أو اتجاه سريان التيار فيه، لكن بدلًا من ذلك تعجب لرؤية إبرة البوصلة تدور لتصبح في اتجاه عمودي على السلك، كما هو موضّح في **الشكل 9–8**. واتضح من التجارب أنه عندما ينعكس اتجاه التيار في السلك فإن اتجاه انحراف إبرة البوصلة ينعكس أيضًا؛ أي أن القوى المؤثرة في قطبي مغناطيس البوصلة كانت متعامدة مع اتجاه التيار داخل السلك. ووجد أورستد أيضًا أنه لو لم يكن هناك تيار في السلك لما كان هناك قوى مغناطيسية.

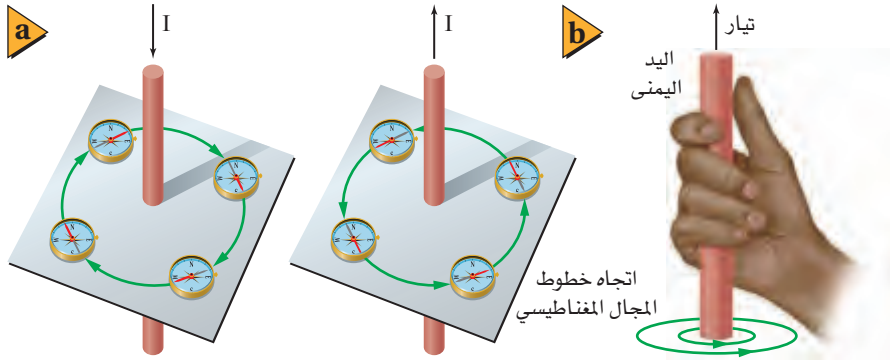


الشكل 9–8 انحرفت إبرة البوصلة عند مرور تيار كهربائي مستمر في سلك موضوع فوقها.

إذا انحرفت إبرة البوصلة عند وضعها بالقرب من سلك يحمل تيارًا يكون ذلك ناتجًا عن مجال مغناطيسي ولَّده التيار الكهربائي، ومن هنا سميت الظاهرة الناشئة عن تولد مجال مغناطيسي حول موصل يمر فيه تيار كهربائي **الكهرومغناطيسية Electromagnetism**. ويمكنك بسهولة ملاحظة المجال المغناطيسي حول سلك يحمل تيارًا عن طريق إنفاذ سلك رأسيًّا خلال قطعة كرتون أفقية، ورشّ برادة حديد عليها. فعند مرور التيار في السلك ستلاحظ أن برادة الحديد تترتب وتشكل نمطًا في صورة دوائر متحدة المركز حول السلك، كما هو موضّح في **الشكل 10–8**.

تشير الخطوط الدائرية إلى أن خطوط المجال المغناطيسي حول السلك الطويل الذي يسري فيه تيار كهربائي تشكل حلقات مغلقة بالطريقة نفسها التي تشكل بها خطوطُ المجال المغناطيسي حلقات مغلقة حول المغانط الدائمة. وتتناسب

الشكل 10–8 يظهر المجال المغناطيسي حول سلك يمر فيه تيار كهربائي ويخترق قرصًا كرتونيًّا في صورة دوائر متحدة المركز من برادة الحديد حول السلك.



الشكل 11–8 ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار في سلك موصل مستقيم عندما ينعكس اتجاه التيار المار فيه (a). ويُحدّد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن سلك مستقيم يحمل تيارًا باستخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى (b).

شدة المجال المغناطيسي المتولد حول سلك مستقيم وطويل طرديًّا مع شدة التيار المار في السلك، وعكسيًّا مع البعد عنه؛ أي أن كثافة التدفق المغناطيسي حول السلك تعتمد على العدد الكلي لخطوط المجال المغناطيسي التي تجتاز مساحة ما؛ لذا فإن كثافة التدفق المغناطيسي تزداد بزيادة تقارب خطوط المجال المغناطيسي؛ أي أنها تزداد كلما اقتربنا من السلك الذي يمر فيه تيار كهربائي وتقل بزيادة البعد عنه. وتبين البوصلة اتجاه خطوط المجال. وإذا عكس اتجاه التيار فستعكس إبرة البوصلة اتجاهها أيضًا، كما هو موضّح في **الشكل 11a–8**. تُستخدم **القاعدة الأولى لليد اليمنى** في تحديد اتجاه المجال المغناطيسي بالنسبة إلى اتجاه التيار الاصطلاحي. تخيل أنك تمسك بيدك اليمنى قطعة من سلك معزول. اجعل إبهامك في اتجاه التيار الاصطلاحي. ستشير أصابعك التي تدور حول السلك إلى اتجاه المجال المغناطيسي، كما هو موضّح في **الشكل 11b–8**.

تطبيق الفيزياء

الكهرومغناطيسية تستخدم الكهرومغناطيسية غالبًا في روافع نقل الحديد والفولاذ في مواقع الصناعات. والمغناطيس الذي يعمل بفرق جهد 230 V وتيار 156 A يمكن أن يرفع كتلة مقدارها 11300 kg.

حساب المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في سلك مستقيم Calculating the magnetic field produced by current through straight wire

لاحظنا أن مرور التيار الكهربائي في موصل يولِّد مجالًا مغناطيسيًّا حول الموصل وأطلق على هذه الظاهرة الكهرومغناطيسية. فإذا سرى تيار كهربائي مستمر في سلك مستقيم فإن مجالًا مغناطيسيًّا يتولَّد حوله، ويكون هذا المجال على شكل دوائر مغلقة حول السلك ومركزها السلك نفسه، ويكون اتجاه المجال المغناطيسي عند أي نقطة في اتجاه المماس للدائرة التي تمثل خط المجال، وأن كثافة التدفق المغناطيسي تقل كلما ابتعدنا عنه، ويمكن استنتاج النتيجة نفسها إذا وضعنا عدة بوصلات على أبعاد مختلفة من السلك، حيث سنلاحظ أن انحراف إبرة البوصلة الأقرب إلى السلك هو الأكبر، بينما يقل انحراف الإبر المغناطيسية للبوصلات بزيادة البعد عن السلك. وقد أثبتت التجارب العملية أن شدة المجال المغناطيسي عند نقطة بالقرب من سلك مستقيم يمر فيه تيار كهربائي تتناسب عكسيًّا مع بعد النقطة عن السلك؛ أي أن:

$B \propto 1/r$ حيث إن B شدة المجال المغناطيسي و r البعد العمودي بين السلك والنقطة المراد حساب المجال عندها. وكذلك أثبتت التجارب العملية أن شدة المجال المغناطيسي عند النقطة نفسها تزداد بزيادة شدة التيار الكهربائي (I) المار في السلك؛ أي أن $B \propto I$. من ذلك نستنتج أن $B \propto I/r$ أي أن:

$$B = \frac{\mu_\circ I}{2\pi r}$$

حيث إن $\frac{\mu_\circ}{2\pi}$ ثابت التناسب أما $\mu_\circ$ فيسمى النفاذية المغناطيسية ومقداره في الفراغ يساوي $4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A

وإذا مر التيار في سلكين متوازيين متقاربين فإن أي نقطة بينهما أو بالقرب منهما في الخارج ستتأثر بمجالين مغناطيسيين (مجال عن كل سلك)، وتحسب محصلة المجال المغناطيسي عند هذه النقطة بجمع المجالين اتجاهيًّا، حيث يُجمع المجالان إذا كانا في اتجاه واحد ويطرحان من بعضهما إذا كانا في اتجاهين متعاكسين.

ماذا قرأت؟ ما خصائص خطوط المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يمر فيه تيار كهربائي؟

مثـــال 1

حساب المجال المغناطيسي عند نقطة بالقرب من سلك مستقيم يمر فيه تيار كهربائي سلك موصل مستقيم عمودي على مستوى الصفحة يمر فيه تيار كهربائي شدته 20A من أسفل إلى أعلى، ما شدة المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد 10 cm شمال السلك؟ وما اتجاهه؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططًا يمثل السلك، وحدد اتجاه التيار الكهربائي عليه.
- حدد النقطة المراد حساب المجال المغناطيسي عندها.
- ارسم دائرة تمثل أحد خطوط المجال الذي يمر بالنقطة، ثم ارسم مماسًّا للدائرة عند تلك النقطة.

المعلوم	المجهول
شدة التيار الكهربائي $I = 20\ A$	$B = ??$
بعد النقطة عن السلك $r = 10\ cm$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

بالتعويض عن $I = 20\ A$ و $r = 10cm$

$$B = \frac{\mu_\circ I}{2\pi r}$$

$$B = (4\pi \times 10^{-7}\ T.m/A)\ (20A)/2\pi\ (10\times10^{-2}m)$$

$$= 4\times10^{-5}\ T$$

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى ورسم المماس للدائرة التي تمثل المجال عند تلك النقطة يكون اتجاه المجال المغناطيسي عندها في اتجاه الغرب.

3 تقويم الجواب

- إذا ضربنا الجواب في $2\pi r$ سيكون الناتج هو الناتج نفسه عن ضرب $\mu_\circ$ في مقدار التيار.
- بتطبيق قاعدة اليد اليمنى ورسم المماس، نجد أن اتجاه المجال عند تلك النقطة هو اتجاه الغرب.

مسائل تدريبية

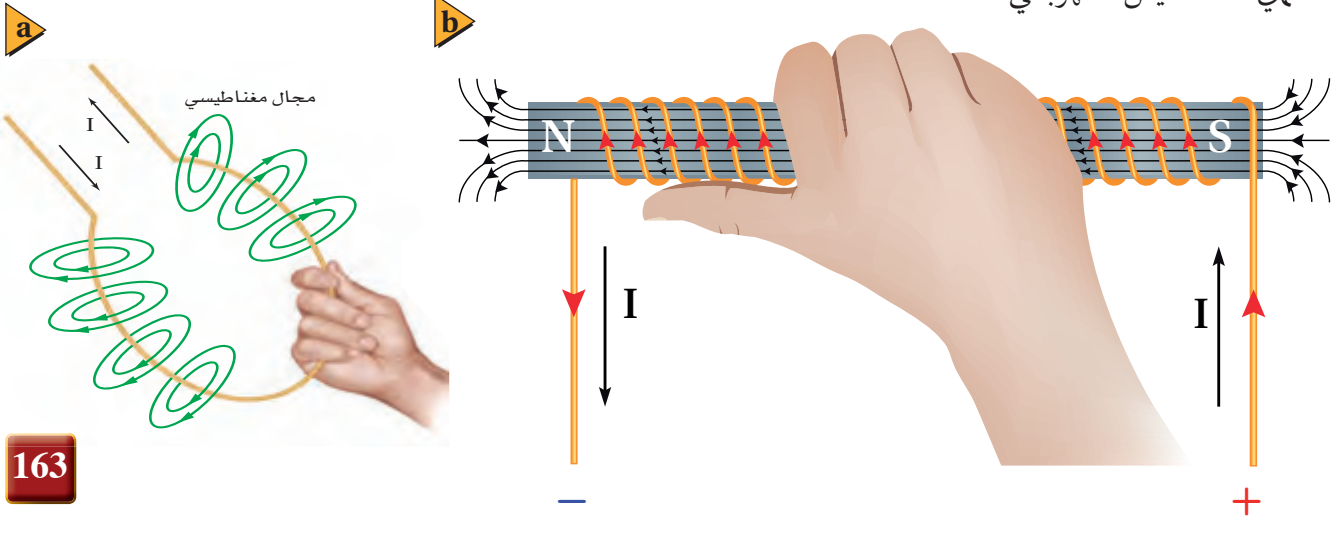
11. سلكان مستقيمان طويلان عموديان على مستوى الصفحة، البعد بينهما 12cm، ويحملان تيارين 4A و 8A في الاتجاه نفسه. احسب المجال المغناطيسي عند نقطة تقع في منتصف البعد بينهما.

12. في السؤال السابق إذا عكس اتجاه التيار 4A وبقيا على البعد نفسه أحدهما من الآخر، فاحسب المجال المغناطيسي عند نقطة تقع في منتصف البعد بينهما.

المجال المغناطيسي بالقرب من ملف Magnetic field near a coil يولّد التيار الكهربائي المار في حلقة سلكية مجالًا مغناطيسيًّا حول جميع أجزاء الحلقة. وعند تطبيق القاعدة الأولى لليد اليمنى على أي جزء من أجزاء الحلقة السلكية ستجد أن اتجاه المجال المغناطيسي داخل الحلقة يكون دائمًا في الاتجاه نفسه. ففي **الشكل 12a–8** يكون اتجاه المجال المغناطيسي داخل الحلقة خارجًا من الصفحة، أما اتجاه المجال المغناطيسي خارج الحلقة فيكون دائمًا داخلًا إلى الصفحة. وعند لفّ السلك عدة لفات لتكوين **ملف لولبي (حلزوني) Solenoid**، كما هو موضّح في **الشكل 12b–8**، ثم تمرير تيار في الملف، فسيكون اتجاه المجال حول جميع اللفات في الاتجاه نفسه. ويكون المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي مساويًا لمجموع المجالات الناتجة عن لفاته. وعندما يسري تيار في ملف سلكي يصبح لهذا الملف مجال مغناطيسي يشبه المجال الناتج عن مغناطيس دائم. وعند تقريب الملف الذي يسري فيه تيار من مغناطيس معلّق فإن أحد طرفي الملف سيتنافر مع القطب المماثل له من المغناطيس، وهذا يعني أن الملف الذي يسري فيه تيار يمثّل مغناطيسًا له قطبان، شمالي وجنوبي. والمغناطيس الذي ينشأ عن سريان تيار كهربائي في ملفٍّ يسمى المغناطيس الكهربائي. وتتناسب شدة المجال المغناطيسي الناتج في ملف طرديًّا مع شدة التيار المار فيه ومع عدد لفاته؛ ذلك لأن المجالات المغناطيسية للّفات متساوية، وتكون هذه المجالات في الاتجاه نفسه؛ لذا فإن كثافة التدفق المغناطيسي تزداد بالقرب من الملف وتقل بزيادة البعد عنه.

يُمكن زيادة قوة المغناطيس الكهربائي أيضًا عن طريق وضع قضيب حديدي (قلب) داخل الملف؛ حيث يدعم هذا القلب المجال المغناطيسي ويقويه. فيعمل القلب على زيادة المجال المغناطيسي؛ لأن مجال الملف اللولبي يولّد مجالًا مغناطيسيًّا مؤقتًا في القلب، تمامًا كما يعمل المغناطيس الدائم عند تقريبه إلى قطعة حديد.

وتستخدم **القاعدة الثانية لليد اليمنى Second right hand rule** في تحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيس كهربائي بالنسبة إلى اتجاه سريان التيار الاصطلاحي. تخيل أنك تمسك بيدك اليمنى ملفًّا معزولًا، فإذا دوّرت أصابعك حول الحلقات في اتجاه سريان التيار الاصطلاحي، كما هو موضّح في **الشكل 12–8**، فسيشير إبهامك نحو القطب الشمالي للمغناطيس الكهربائي.



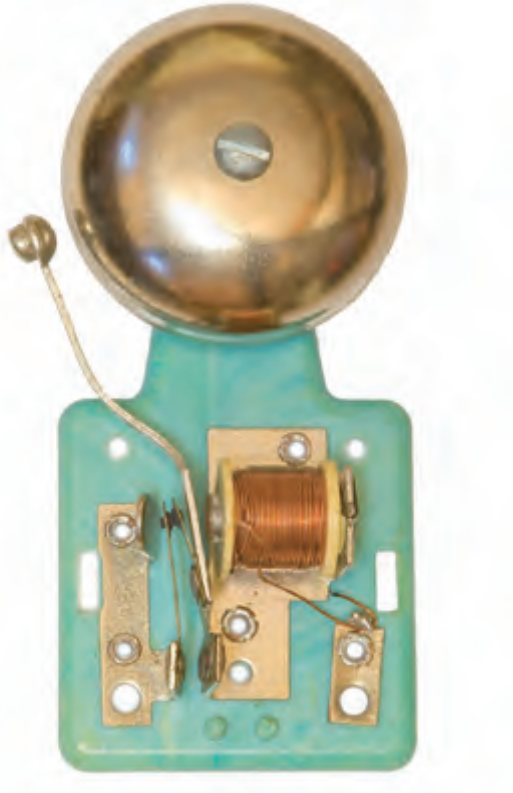
الشكل 12–8 يمكن تمثيل المجال المغناطيسي حول حلقة سلكية تحمل تيارًا باستخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى (a). يولد التيار المار بالملف الحلزوني مجالاً مغناطيسيًّا بحيث يضاف مجال كل لفة إلى اللفات الأخرى (b).

استخدام المغناطيس الكهربائي

Using electromagnet

الجرس الكهربائي Electric bell من التطبيقات المهمة على المغانط الكهربائية؛ حيث إن مرور التيار الكهربائي في ملفه يولد مجالًا مغناطيسيًّا يستمر وجوده باستمرار مرور التيار في الملف، وهذا المجال يجذب مطرقة الجرس ثم يفلتها عندما تُفتح دائرة الملف ولا يسري تيار كهربائي في دائرته. وباستمرار إغلاق الدائرة الكهربائية وفتحها يستمر جذب المطرقة لتضرب قطعة من الحديد ثم إفلاتها. ارجع إلى المراجع العلمية وشبكة الإنترنت واجمع المعلومات الضرورية لصناعة جرس كهربائي، ثم تعاون مع زملائك في الصف لصناعة وتركيب جرس كهربائي، واكتب تقريرًا يبين المواد المستخدمة وخطوات العمل وتقريرًا علميًّا يوضح مبدأ العمل، ثم قَدِّمه مع نموذج الجرس إلى معلمك كما هو موضح في الشكل **13–8**.

ماذا قرأت؟ ما خصائص المجال المغناطيسي بالقرب من ملف يسري فيه تيار كهربائي؟

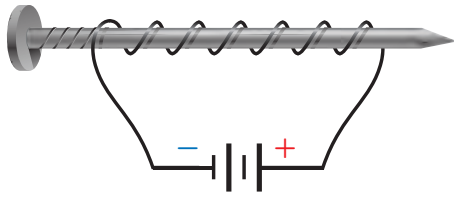


الشكل 13–8 توضح التركيب الداخلي للجرس الكهربائي.

13. **المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يمر فيه تيار كهربائي** يسري تيار كهربائي في سلك مستقيم طويل من الشمال إلى الجنوب. أجب عما يأتي:
   a. عند وضع بوصلة فوق السلك لوحظ أن قطبها الشمالي اتجه شرقًا. ما اتجاه التيار في السلك؟
   b. إلى أي اتجاه تشير إبرة البوصلة إذا وضعت أسفل السلك؟

14. **شدة المجال المغناطيسي** ما شدة المجال المغناطيسي على بعد 1 cm من سلك يسرى فيه تيار، مقارنة بكل مما يأتي؟
   a. شدة المجال المغناطيسي على بعد 2 cm من السلك.
   b. شدة المجال المغناطيسي على بعد 3 cm من السلك.

15. **المغناطيس الكهربائي** صنع طالب مغناطيسًا بلفّ سلك حول مسمار، ثم وصل طرفي السلك ببطارية، كما هو موضّح في **الشكل 14–8**. أيّ طرفي المسمار (المدبب أم المسطح) سيكون قطبًا شماليًّا؟



الشكل 14–8

16. **المغناطيس الكهربائي** إذا كان لديك بكرة سلك وقضيب زجاجي وقضيب حديدي وآخر من الألومنيوم، فأي قضيب تستخدم لعمل مغناطيس كهربائي يجذب قطعًا فولاذية؟ وضّح إجابتك.

17. يعمل المغناطيس الكهربائي الوارد في المسألة السابقة جيدًا، فإذا أردت أن تجعل قوته قابلة للتعديل والضبط باستخدام مقاومة متغيرة فهل ذلك ممكن؟ وضّح إجابتك.

18. **حساب المجال المغناطيسي** جزء من سلك موصل يسري فيه تيار كهربائي شدته 25 A من أسفل إلى أعلى عموديًّا على مستوى ورقة أفقية. احسب شدة المجال المغناطيسي عند نقطة تقع إلى الشرق منه وتبعد عنه 5 cm.

19. **التفكير الناقد** سلكان أفقيان وضع أحدهما على بعد 20 cm من الآخر في الفراغ، مُرِّر فيهما تياران كهربائيان مقدار كل منهما 10 A في اتجاه واحد.
   a. احسب شدة المجال المغناطيسي عند نقطة تنصف البعد بينهما. ماذا تسمى هذه النقطة؟ ماذا تستنتج من هذه المسألة؟
   b. إذا عكس اتجاه التيار في أحدهما، فكم تصبح شدة المجال المغناطيسي عند تلك النقطة؟

8–3 القوة المغناطيسية Magnetic force

معايير الأداء

30.8– 30.9

معايير البحث والاستقصاء العلمي

1.1– 1.4 –1.3–1.5– 3.1–3.3– 3.4–

4.2– 4.1

الأهداف

- **يستنتج** أن المجال المغناطيسي يؤثر بقوة مغناطيسية في موصل يسري فيه تيار كهربائي يوضع فيه.
- **يحل** مسائل تطبيقية على القوة الكهرومغناطيسية.
- **يعرف** الأمبير بالاعتماد على القوة المغناطيسية المتبادلة بين سلكين متوازيين يمر فيهما تياران.
- **يذكر** أمثلة على تطبيقات الكهرومغناطيسية.

المفردات

- القوة الكهرومغناطيسية
- Electromagnetic force
- القاعدة الثالثة لليد اليمنى
- The third right– hand rule
- أمبير Ampere

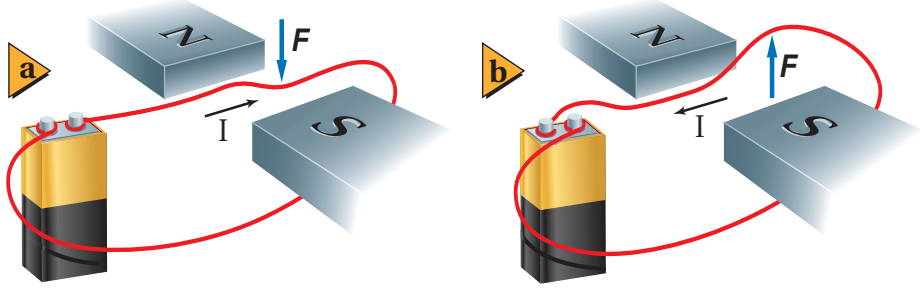
بينما كان أمبير يدرس سلوك المغانط لاحظ أن التيار الكهربائي يولد مجالاً مغناطيسيًّا مشابهًا للمجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيس دائم. ولأن المجال المغناطيسي يؤثر بقوة في المغانط الدائمة فقد افترض أمبير أنه توجد قوة تؤثر في السلك الذي يسري فيه تيار عند وضعه في المجال المغناطيسي.

القوى المؤثرة في التيارات الكهربائية المارة في مجالات مغناطيسية
Forces on currents in magnetic fields

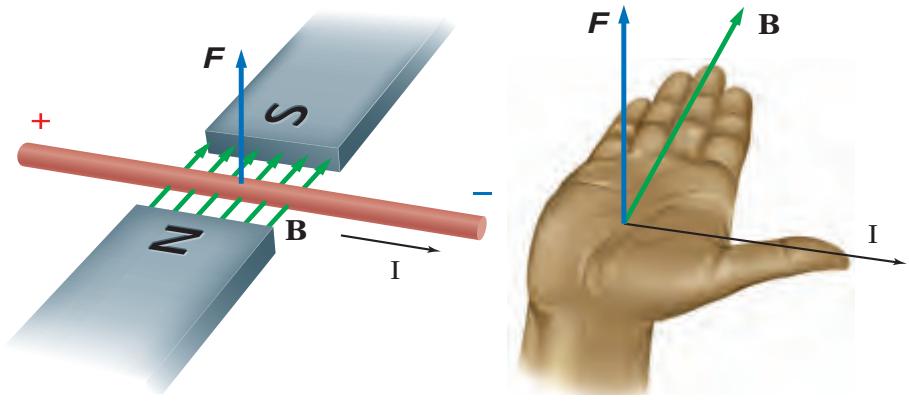
يمكن توضيح القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار وضع في مجال مغناطيسي، التي تسمى **القوة الكهرومغناطيسية Electromagnatic force** باستعمال الترتيب الموضّح في **الشكل 15–8**. فالبطارية تولّد تيارًا كهربائيًّا يسري في السلك الموضوع بين قضيبين مغناطيسيين. تذكر أن اتجاه المجال المغناطيسي بين المغناطيسين يكون من القطب الشمالي لأحدهما إلى القطب الجنوبي للآخر. وعندما يسري تيار كهربائي في السلك تتولد قوة تؤثر فيه، ويكون اتجاه تلك القوة نحو الأسفل، كما هو موضّح في **الشكل 15a–8**، أو نحو الأعلى، كما في **الشكل 15b–8**، وذلك يعتمد على اتجاه التيار المار في السلك. اكتشف مايكل فاراداي أن القوة المؤثرة في السلك تكون عمودية على اتجاه كل من التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي.

تحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك مستقيم موضوع في مجال مغناطيسي
Determining the direction of the megnetic force acting on a wire in a megnetic field

لم يكن وصف فاراداي لاتجاه القوة المؤثرة في السلك الذي يسري فيه تيار وصفًا كافيًا؛ لأن القوة قد تكون إلى أعلى أو إلى أسفل. ويمكن تحديد اتجاه القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار وموضوع في مجال مغناطيسي باستخدام



الشكل 15–8 تتأثر الأسلاك التي تسري فيها تيارات كهربائية بقوى عند وضعها في مجالات مغناطيسية. وفي هذه الحالة يمكن أن تكون القوة إلى أسفل (a) أو إلى أعلى (b)، وهذا يعتمد على اتجاه التيار الكهربائي.

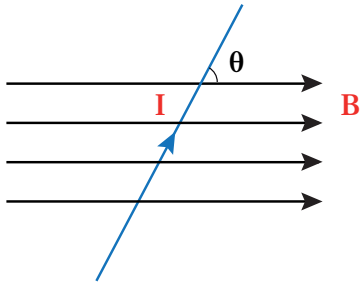


■ **الشكل 16–8** يمكن استعمال القاعدة الثالثة لليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة عند معرفة اتجاه كل من التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي.

القاعدة الثالثة لليد اليمنى The third right –hand rule، الموضّحة في **الشكل 16–8**؛ حيث يمثِّل الرمز **B** المجال المغناطيسي، ويحدّد اتجاهه بواسطة مجموعة أسهم. ولاستخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى اجعل أصابع يدك اليمنى في اتجاه المجال المغناطيسي، واجعل إبهامك يشير إلى اتجاه التيار الاصطلاحي في السلك، فيكون اتجاه القوة المؤثرة في السلك في اتجاه العمودي على باطن الكف نحو الخارج. ولرسم الأسهم المتجهة إلى داخل الورقة أو خارجها يستخدم الرمز (×) للإشارة إلى أن السهم داخل في الورقة، والرمز (•) للإشارة إلى أنه خارج من الورقة.

ماذا قرأت؟ كيف تحدد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك موضوع في مجال مغناطيسي ؟

القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في سلك Force on a wire resulting from a megnetic field يمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار عند وضعه عموديًّا على مجال مغناطيسي؛ حيث دلت التجارب على أن مقدار القوة المؤثرة في السلك F يتناسب طرديًّا مع كلٍّ من شدة المجال المغناطيسي B، وشدة التيار I، وطول السلك L الموضوع داخل المجال المغناطيسي. وتكون العلاقة بين هذه المتغيرات الأربعة على النحو الآتي:



■ **الشكل 17–8** الزاوية θ هي الزاوية بين خطوط المجال المغناطيسي واتجاه التيار الكهربائي المار في السلك.

القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي $F = ILB$

القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار موضوع في مجال مغناطيسي تساوي حاصل ضرب شدة المجال المغناطيسي في شدة التيار وطول السلك.

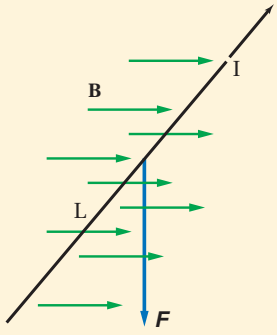
تُقاس شدة المجال المغناطيسي B بوحدة تسلا T؛ وهي تساوي $1\ N/A.m$.

لاحظ أنه إذا كان المجال المغناطيسي غير متعامد مع السلك كما في **الشكل 17–8** فسيظهر المعامل $\sin\theta$ في المعادلة السابقة لتصبح كما يأتي: $F=ILB\sin\theta$. فإذا أصبح السلك موازيًا للمجال المغناطيسي تصبح $\theta = 0^\circ$، وستؤول القوة إلى الصفر. أما عندما تكون الزاوية $\theta=90^\circ$ فستصبح المعادلة مرة أخرى على الصورة الآتية: $F=ILB$.

مثـــــال 2

حساب شدة المجال المغناطيسي يسري تيار كهربائي شدته 5.0 A في سلك مستقيم موضوع عموديًّا على مجال مغناطيسي منتظم، فإذا كانت القوة المؤثرة في جزء طوله 0.10 m من السلك تساوي 0.20 N فاحسب شدة المجال المغناطيسي B.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للسلك، مبينًا اتجاه التيار الكهربائي بواسطة سهم، وارسم خطوط المجال المغناطيسي B والقوة المؤثرة في السلك F.
- حدّد اتجاه القوة المؤثرة في السلك باستخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى.

واعلم أن السلك والمجال والقوة جميعها متعامدة بعضها على بعض.

المعلوم		المجهول
$L = 0.10\ m$	$I = 5.0\ A$	$B = ?$
	$F = 0.20\ N$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

إن المجال المغناطيسي B منتظم، ولأن I وB متعامدان فإن:

$$F = ILB$$

$$B = \frac{F}{IL}$$

بالتعويض $L = 0.10\ m$، $I = 5.0\ A$، $F = 0.20\ N$

$$B = \frac{0.20\ N}{(5.0\ A)(0.10\ m)}$$

$$= 0.40\ N/A.m$$

$$= 0.40\ T$$

B تساوي 0.40 T من اليسار إلى اليمين عموديًّا على كل من F وI

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** نعم، المجال مقيس بوحدة تسلا T، وهي الوحدة الصحيحة للمجال المغناطيسي.
- **هل الجواب منطقي؟** نعم، مقدار التيار والطول يجعلان مقدار المجال المغناطيسي كبيرًا، وهذا منطقي.

مسائل تدريبية

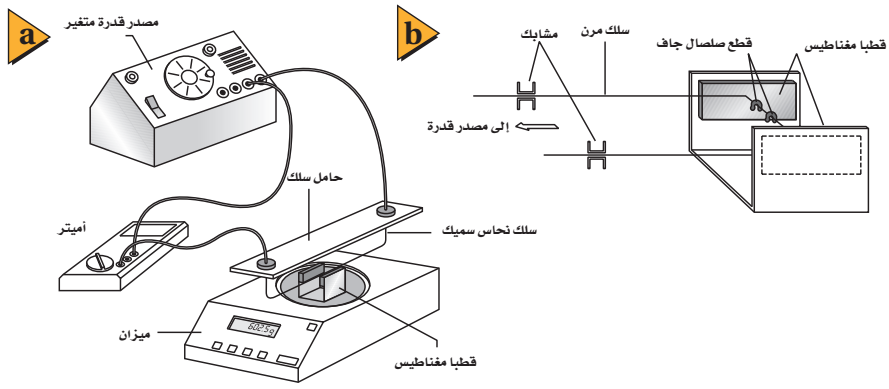
20. ما اسم القاعدة المستخدمة لتحديد اتجاه القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي متعامد مع المجال المغناطيسي؟ حدّد ما يجب معرفته لاستخدام هذه القاعدة.

21. يسري تيار مقداره 8.0 A في سلك طوله 0.50 m، موضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.40 T. ما مقدار القوة المؤثرة في السلك؟

22. سلك طوله 75 cm يسري فيه تيار مقداره 6.0 A موضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم، فتأثر بقوة مقدارها 0.60 N. ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر؟

23. سلك نحاسي طوله 40.0 cm، ووزنه 0.35 N. موضوع أفقيًّا. إذا كان السلك يمر فيه تيار مقداره 6.0 A، فما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن يؤثر فيه عموديًّا بحيث يكون كافيًا لموازنة قوة الجاذبية المؤثرة في السلك (وزن السلك)؟

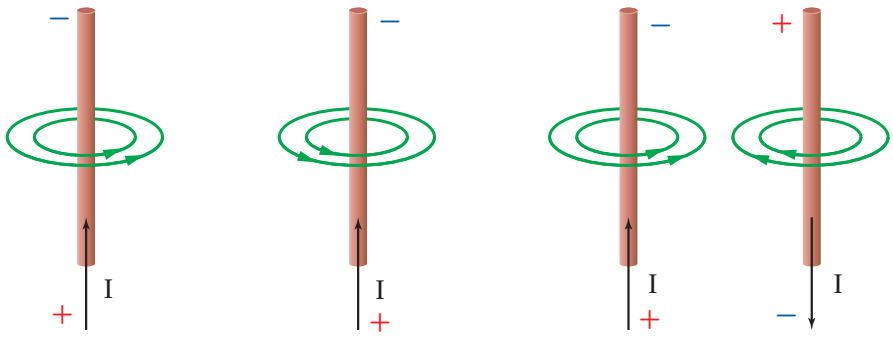
24. ما مقدار التيار الذي يجب أن يسري في سلك طوله 10.0 cm وموضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.49 T ليتأثر بقوة مقدارها 0.38 N؟



■ **الشكل 18–8** ميزان حساس لقياس القوة المغناطيسية (a) . سلك موضوع في مجال مغناطيسي لقياس القوة المغناطيسية (b) .

ميزان القوة الحساس Sensitive top–panbalance يستخدم ميزان القوة الحساس لقياس القوة المغناطيسية الناتجة عن مرور تيار كهربائي في سلك مستقيم موضوع في مجال مغناطيسي. ويعمل هذا الميزان على مبدأ تولد مجال مغناطيسي حول الموصل الذي يمر فيه تيار كهربائي، يؤثر بقوة مغناطيسية على الأقطاب المغناطيسية القريبة منه. ويتكون هذا الميزان كما في **الشكل 18a–8** من سلك سميك مستقيم يمر بين قطبي مغناطيس موضوع فوق ميزان حساس. وعند مرور تيار كهربائي في السلك تتولد قوة مغناطيسية تدفع المغناطيس للأسفل فيؤثر بقوة في الميزان، مما يسبب زيادة في قراءة الميزان، وهذه الزيادة تعادل القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك نتيجة لوضعه في المجال المغناطيسي. ويمكن قياس تلك القوة بطريقة أخرى كما في **الشكل 18b–8**، حيث يتأثر السلك الموضوع في المجال المغناطيسي بقوة ترفعه إلى أعلى، ولكي يعود السلك إلى وضع الاتزان نعلق عليه قطعًا من الصلصال أو مواد أخرى حتى يتزن. ثم نزن هذه القطع فيكون وزنها معادلًا للقوة المغناطيسية المؤثرة في السلك الذي يمر فيه تيار كهربائي وموضوع في مجال مغناطيسي.

القوة المتبادلة بين سلكين متوازيين Mutual force between two parallel wires بعد فترة وجيزة من إعلان أورستد عن اكتشافه الذي ينص على أن اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في سلك يكون متعامدًا مع اتجاه سريان التيار فيه، استطاع أمبير أن يبين أن الأسلاك التي يسري فيها تيارات كهربائية يؤثر بعضها في بعض بقوى. يوضّح **الشكل 19a–8** اتجاه المجال المغناطيسي حول كلٍّ من السلكين، حيث يحدّد هذا الاتجاه باستخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى. وبتطبيق القاعدة الثالثة لليد اليمنى على كلٍّ من السلكين.



■ **الشكل 19–8** يحدد اتجاه المجال المغناطيسي في سلك يمر فيه تيار كهربائي باستخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى.

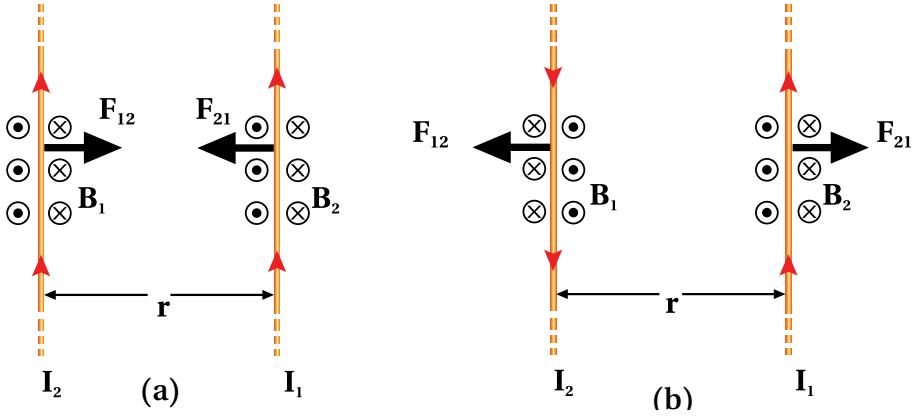
تجربة

القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك مستقيم موضوع في مجال مغناطيسي

1. ضع الميزان على سطح الطاولة، وضع عليه مغناطيس حدوة فرس، وسجل قراءة الميزان.
2. صل الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل 18a–8 جاعلًا سلك النحاس السميك يمر بين قطبي المغناطيس.
3. أغلق الدائرة الكهربائية ولاحظ ما يحدث للسلك النحاسي وقراءة الميزان.
4. سَجِّل التغير في قراءة الميزان. (التغير في قراءة الميزان يعبر عن القوة الكهرومغناطيسية المؤثرة في السلك).
5. غيِّر شدة التيار في الدائرة الكهربائية، ولاحظ التغير في قراءة الميزان. ماذا تستنتج؟

التحليل والاستنتاج

6. احسب مقدار التغير في قراءة الميزان. وما العلاقة بين مقدار القوة المغناطيسية وشدة التيار الكهربائي؟



الشكل 20–8 ، (a) يتجاذب السلكان عند مرور تيار كهربائي في الاتجاه نفسه فيهما.
(b) يتنافر السلكان عند مرور تيار كهربائي في اتجاهين متعاكسين فيهما.

يتم تحديد اتجاه القوة المغناطيسية التي يؤثر بها كل من السلكين في الآخر، وبذلك تحدد حالة التجاذب أو التنافر بينهما. ويوضح **الشكل 20a–8** كيف يتجاذب السلكان عند مرور تيار كهربائي في الاتجاه نفسه لكل منهما، بينما يوضح **الشكل 20b–8** الحالة المعاكسة؛ فعندما يكون التياران في اتجاهين متعاكسين تنشأ قوة تنافر بينهما.

وعندما يمر تيار كهربائي في سلكين متجاورين يؤثر كل منهما في الآخر بقوة مساوية في المقدار ومعاكسة في الاتجاه للقوة التي يؤثر بها السلك الآخر (قوة متبادلة)، فيتحرك كل منهما في اتجاه معاكس للآخر. لاحظ **الشكل 20a–8** و**الشكل 20b–8**؛ حيث يؤثر الأول في الثاني بقوة F_{12}، بينما يؤثر الثاني في الأول بقوة F_{21}، وتكون:

$F_{12} = -F_{21}$ بحسب قانون نيوتن الثالث.

ويمكن حساب القوة المغناطيسية التي يؤثر بها كلٌّ من سلكين طول كل منهما 1 m على الآخر عندما يكونان على بعد 1m من بعضهما في الفراغ من خلال العلاقة التالية:

حيث إن: $$F = \frac{\mu_\circ I_1 I_2 L}{2\pi r}$$

$$\mu_\circ = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{T.m/A}$$

وبالتعويض في القانون:

$$F = \frac{4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{T.m/A} \times (1\ \mathrm{A}) \times (1\ \mathrm{A}) \times (1\ \mathrm{m})}{2\pi \times (1\ \mathrm{m})} = 2 \times 10^{-7}\ \mathrm{N}$$

ومن هذه العلاقة يمكن تعريف **الأمبير Ampere** بأنه شدة التيار الكهربائي المارّ في سلكين متوازيين، طول كلٍّ منهما (1m)، والمسافة بينهما (1m)، بحيث تنتج قوة مقدارها $2 \times 10^{-7}\ \mathrm{N}$.

تجربة

ركل السلك

1. علّق سلكين غير معزولين من النحاس بخيطين بحيث يبقيان متوازيين وأفقيين ويرتفع أحدهما حوالي 15 cm عن الآخر.
2. اعمل حلقة في سلك ثالث وعلقها في نهاية السلك العلوي، واجعل طرفها الحر يلامس السلك السفلي.
3. صل النهايتين الحرتين للسلكين الأفقيين بمصدر قدرة عالي التيار - 10A - ومنخفض الجهد.

4. تأكد من مرور التيار الكهربائي في الدائرة ثم افتحها.
5. ضع مغناطيسًا على شكل حدوة فرس بحيث يكون السلك الرأسي بين قطبيه.
6. أغلق الدائرة الكهربائية وصِف ما تلاحظه.
7. اعكس اتجاه التيار وصِف ما تلاحظه.
8. اعكس قطبي المغناطيس وصِف ما تلاحظه.

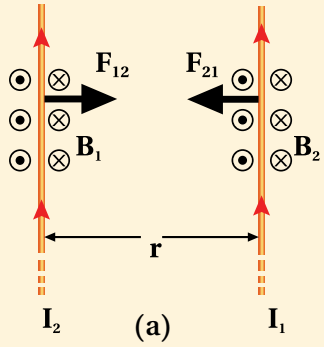
التحليل والاستنتاج

9. فسّر ما حدث في الخطوة 6.
10. ماذا تستنتج من الخطوتين 7 و8؟
11. ما العوامل التي يعتمد عليها اتجاه القوة الكهرومغناطيسية؟

مثـــــال 3

حساب القوة المغناطيسية المتبادلة بين سلكين متوازيين يسري فيهما تيار كهربائي سلكان متوازيان البعد بينهما 2.0 cm يسري فيهما تيار كهربائي مقداره 10.0 A في اتجاه واحد. احسب القوة المغناطيسية التي يؤثر بها كل سلك في وحدة الأطوال من الآخر.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للسلكين وحدد عليهما اتجاه التيار في كل منهما، وحدد عليهما اتجاه المجال المغناطيسي من كل منهما عند الآخر، ثم حدد اتجاه القوة التي يؤثر بها كل من السلكين في الآخر.

المعلوم	المجهول
$r = 2.0\ cm$	$F=?$
$I_1 = I_2 = 10.0\ A$	
$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}\ T.m/A$	
$L = 1\ m$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يؤثر كل من السلكين في وحدة الأطوال من السلك الآخر بقوتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه.

$$F = \frac{\mu_o I_1 I_2 L}{2\pi r}$$

$$F = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10.0A \times 10.0\ A \times 1m}{2\pi \times 2.0 \times 10^{-2}\ m}$$

$$F = 1.0 \times 10^{-3}\ N$$

وبما أن التيارين في اتجاه واحد فإن القوة بينهما قوة تجاذب.

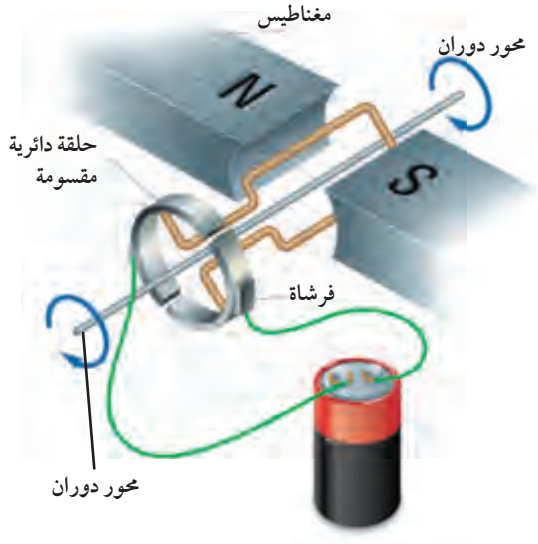
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** نعم، القوة تقاس بوحدة N.
- **هل الجواب منطقي؟** نعم؛ لأن القوة بينهما قوة تجاذب؛ حيث إن التيارين في اتجاه واحد ومقدارهما منطقي بسبب صغر قيمة الثابت.

مسائل تدريبية

25. سلكان طويلان مستقيمان متوازيان على بعد 10.0 cm، يسري في الأول تيار كهربائي مقداره 5.0 A خارجًا من الصفحة، بينما يسري في الآخر تيار 7.0 A داخلًا للصفحة. احسب المجال المغناطيسي عند نقطة تنصف المسافة بينهما.

26. في السؤال السابق، احسب القوة المغناطيسية التي يؤثر بها كل سلك في وحدة الأطوال من السلك الآخر.



الشكل 21–8 يسمح عاكس التيار (حلقة فلزية مشقوقة) في المحرك الكهربائي بتغيير اتجاه التيار المار في الحلقات السلكية، وبذلك تتمكن الحلقات في المحرك من الدوران 360°.

المحركات الكهربائية Electric motors يحول المحرك الكهربائي الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (دورانية)، ويعتمد مبدأ عمل المحرك الكهربائي على عزم الازدواج الناتج عن القوى المغناطيسية المؤثرة في جانبيَ ملف أُسطواني يمر به تيار كهربائي، وموضوع بين قطبَي مغناطيس، فعند مرور تيار كهربائي مستمر في الملف، تنتج قوة مغناطيسية تدفع أحد جانبَي الملف إلى أعلى، وقوة مغناطيسية تدفع الجانب الآخر إلى أسفل، فيبدأ الملف في الدوران حتى يصبح الملف في وضع رأسي، وحينئذٍ يتوقف الملف عن الدوران؛ لأن القوى المؤثرة فيه تبقى إلى أعلى وإلى أسفل (أي موازيةً لمستوى الملف)، وبذلك يكون الملف قد أكمل نصف دورةٍ؛ أي قطع زاويةً مقدارها 180°، ثم توقَّف عن الدوران.

كيف يمكنك السماح للملف بمواصلة الدوران في نفس الاتجاه؟ يجب أن ينعكس التيار الكهربائي المار في الملف عندما يُكمل نصف دورة (يصبح في وضع رأسي)، وهذا الانعكاس يسمح للملف بمواصلة الدوران في الاتجاه نفسه، ولعكس اتجاه التيار يجب توصيل طرفَي الملف بما يسمى العاكس، وهو حلقة فلزية مشقوقة (نصفي حلقة أو أسطوانة) يتلامسان مع فرشاتين من الكربون كما هو موضح في **الشكل 21–8**، وعند دوران الملف يدور العاكس أيضًا، ويؤدِّي إلى عكس التيار المار في الملف، ومن ثم اتجاه القوى المؤثرة في جانبَي الملف، فيواصل الدوران في الاتجاه نفسه، وتتكرر العملية كل نصف دورةٍ.

على الرغم من أن **الشكل 21–8** محدد بملف أسطواني مكون من لفة واحدة، إلا أن المحرك الكهربائي يتكون من لفات عديدة تثبت على محور دوران، وتسمى الملف ذا القلب الحديدي. والقوة الكلية المؤثرة فيه تتناسب طرديًّا مع $nILB$؛ حيث تمثل n عدد لفات الملف، وB المجال المغناطيسي، ويمثل الرمز I التيار الكهربائي، بينما تمثل L طول السلك في كل لفة تتحرك في المجال المغناطيسي. ويتم إنتاج المجال المغناطيسي إما بمغناطيس دائم، وإما بمغناطيس كهربائي. ويتم التحكم في العزم المؤثر في الملف، ومن ثم التحكم في سرعة المحرك، بتغيير التيار المار في المحرك.

3–8 مراجعة

27. **القوى المغناطيسية** تخيل أن سلكًا يمتد شرق – غرب متعامدًا مع المجال المغناطيسي الأرضي، ويسري فيه تيار إلى الشرق، فما اتجاه القوة المؤثرة في السلك؟

28. **المحركات الكهربائية** عندما يتعامد مستوى ملف المحرك مع المجال المغناطيسي لا تنتج القوى عزمًا على الملف، فهل هذا يعني أن الملف لا يدور؟ وضّح إجابتك.

29. **القوة المغناطيسية** سلكان متوازيان البعد بينهما 12.0 cm يسري في كل منهما تيار كهربائي مقداره 6 A في الاتجاه نفسه:

a. احسب مقدار القوة المغناطيسية التي يؤثر بها كل منهما في وحدة الأطوال من السلك الآخر.

b. احسب مقدار المجال المغناطيسي عند نقطة تقع في منتصف البعد بينهما.

c. ماذا تستنتج من الفرع السابق؟

30. **القوة المغناطيسية** يسري تيار كهربائي مقداره 24 A في سلك مستقيم وطويل، وتؤثر كل وحدة أطوال منه بقوة 8.8×10^{-6} N في كل وحدة أطوال من سلك آخر موازٍ له وعلى بعد 7.0 cm منه. ما مقدار التيار الكهربائي المار في السلك الثاني؟

31. **القوة المغناطيسية** ما مقدار التيار الكهربائي الذي يسري في سلك مستقيم طوله 4.8 cm إذا كانت أقصى قوة مغناطيسية تؤثر فيه 0.0800 N عند وضعه في مجال مغناطيسي مقداره 0.0800 T ؟

32. **شدة المجال المغناطيسي** إذا كانت أقصى قوة مغناطيسية تؤثر في سلك مستقيم طوله 1m يسري فيه تيار كهربائي مقداره 8.75 A تساوي 0.04 N، فما شدة المجال المغناطيسي الموضوع فيه هذا السلك؟

33. هل يمكن ألّا يتأثر سلك مستقيم وطويل يسري فيه تيار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي بأي قوة مغناطيسية؟ فسّر ذلك.

34. **التفكير الناقد** كيف يمكنك معرفة أن القوتين بين سلكين متوازيين يمر فيهما تياران ناتجتان عن الجذب المغناطيسي بينهما وليستا ناتجتين عن قوة إلكتروستاتيكية؟

مختبر الفيزياء

المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربائي مستمر في ملف لولبي (حلزوني)

يُصنع الملف اللولبي بلفّ سلك موصل للكهرباء ومعزول عدة لفات حول أنبوب أسطواني الشكل من مادة فيرومغناطيسية. وعند مرور تيار كهربائي مستمر في لفات السلك يَنشأ مجال مغناطيسي داخل الملف وحوله. ويمكن استخدام هذا الملف في الدوائر الكهربائية أو بوصفه مغناطيسًا كهربائيًّا. وفي هذه التجربة ستكتشف العوامل المؤثرة في المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربائي في الملف، وكيف يختلف المجال المغناطيسي داخل الملف عنه خارجه، وذلك باستخدام مجسّ قياس المجال المغناطيسي.

الأهداف

- **يحدِّد** العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن ملفٍّ، وشدة التيار الكهربائي المارِّ فيه.
- **يحدِّد** العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن ملفٍّ، وعدد اللّفات في وحدة الأطوال.
- **يوضِّح** كيف تختلف شدة المجال المغناطيسي داخل الملف وخارجه عند مرور تيار كهربائي فيه.

احتياطات السلامة

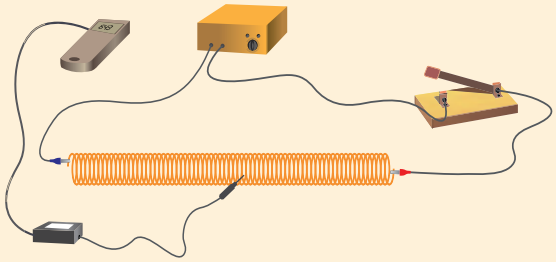
المواد والأدوات

قارئ بيانات
مجِسّ قياس المجال المغناطيسي (مستشعر)
ملف حلزوني (لولبي) من سلك معزول
مفتاح كهربائي
مسطرة مترية
أسلاك توصيل
ألواح كرتون
أميتر
مصدر قدرة كهربائي DC
شريط لاصق

الخطوات

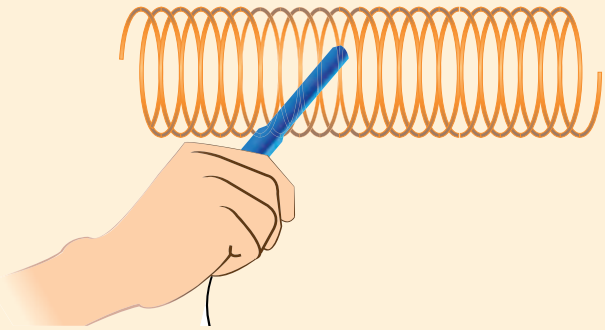
1. ثبِّتْ ملفًّا طوله 1m على قاعدةٍ من الخشب أو الفلِّين باستخدام شريطٍ لاصقٍ، بحيث تكون المسافات بين اللَّفات 1cm تقريبًا.
2. صِلْ نهايتَي الملف بباقي الأجهزة والأدوات الخاصة بالتجربة كما في الشكل أدناه (لا تستعن بأميتر خارجي إذا كان مصدر القدرة الكهربائية به أميتر).
3. صِلْ مجِسَّ قياس المجال المغناطيسي بقارئ البيانات، ثم قم بتشغيل البرنامج الخاص بالمِجسّ، ثم اضبط مقدار المجال المغناطيسي بوحدة mT، وتأكد من عمله قبل إجراء التجربة.
4. أغلق الدائرة الكهربائية، مع ضبط شدة التيار الكهربائي على 2A، ثم قم بوضع المِجسَّ بين اللّفات عند منتصف الملف.

تحذير: (سيمرّ في الدائرة تيار كهربائي كبيرٌ؛ لذا أغلق المفتاح الكهربائي لأخذ القراءات، ومشاهدة النتائج فقط، ثم افتح الدائرة بعد ذلك مباشرةً).



5. غيِّر مقدار شدة التيار الكهربائي المار في الملف عدة مراتٍ، وسجِّل شدة المجال المغناطيسي في كل مرةٍ.

6. ثبِّتْ شدة التيار الكهربائي المار في الملف عند 2A، وطول الملف عند 1m، ثم غيِّر عدد لفات الملف عدة مراتٍ، وسجِّل شدة المجال المغناطيسي في كل مرةٍ.



7. ثَبِّت شدة التيار الكهربائي المار في الملف عند 2A، ثم سَجِّل شدة المجال المغناطيسي داخل الملف تارةً، وخارجه تارةً أخرى.

التحليل

1. هل يتغير المجال المغناطيسي تبعًا لتغيُّر شدة التيار الكهربائي المار في الملف؟
2. كيف تتغير شدة المجال المغناطيسي بتغيُّر عدد اللَّفات في وحدة الأطوال؟
3. قارن بين شدة المجال المغناطيسي داخل الملف وخارجه؟

الاستنتاج والتطبيق

1. من خلال تجربتك، ما العوامل التي تعتمد عليها شدة المجال المغناطيسي لملف يمر فيه تيار كهربائي؟
2. ما العلاقة بين زيادة شدة التيار الكهربائي المار في ملفٍّ، ومقدار المجال المغناطيسي المتولّد حوله؟
3. ارسم بيانيًّا العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي المتولّد من ملف يمر فيه تيار كهربائي، وعدد اللّفات في وحدة الأطوال؟
4. كيف تزيد من شدة المجال المغناطيسي لملفٍّ يمرُّ فيه تيار كهربائي؟

التوسع في البحث

1. هل توجد عوامل أخرى يعتمد عليها المجال المغناطيسي للملف؟
2. إذا أردت زيادة المجال المغناطيسي لمغناطيس كهربائي، فأيّ الطرق تتّبع وتكون أكثر سهولة من غيرها؟

الفيزياء في الحياة

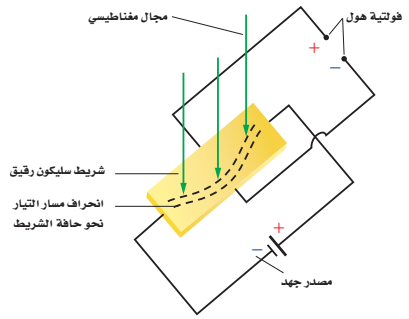
1. كيف يمكنك استخدام مجسّ قياس المجال المغناطيسي لتحديد نقطة التعادل بين سلكين مستقيمين يمر فيهما تياران كهربائيان في اتجاه واحد؟
2. اذكر بعض استخدامات المغناطيس الكهربائي في الحياة اليومية.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن المجالات المغناطيسية ارجع إلى شبكة الإنترنت أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

تأثير هول The Hall Effect

بعض الأشياء البسيطة ومنها انحراف الجسيمات المشحونة بواسطة المجالات المغناطيسية قادت إلى ثورة في كيفية قياس حركة الأشياء، ومنها دواليب الدراجة الهوائية، وحركة عمود الكرنك في السيارة؛ فجميعها تبدأ عند مرور تيار كهربائي خلال موصل عريض ومسطح في وجود مجال مغناطيسي.



يؤدي المجال المغناطيسي إلى مزيد من انحراف الإلكترونات نحو حافة الشريط الرقيق. وهذا يولد ما يسمى فولتية هول.

تكون خطوط القوى للمجال المغناطيسي متعامدة مع سطح الشريط العريض، وهذا يجعل الإلكترونات المتدفقة تتركّز عند جانب واحد من الشريط. وهذا يؤدي إلى أن تنتج فولتية بين طرفي عرض الشريط تسمى فولتية هول، يعتمد مقدارها على شدة المجال المغناطيسي.

اكتشف العالم إدوين هول هذا التأثير عام 1879م. وفي الآونة الأخيرة فقط اكتشفت الأهمية العلمية والصناعية لهذه الظاهرة؛ لأن فولتية هول في الأشرطة الفلزية التقليدية كانت صغيرة. أما الآن فالطبقات الرقيقة جدًّا من السليكون شبه الموصل تنتج فولتية هول كبيرة ولا يستهان بها.

يمكن استخدام تأثير هول للكشف عن موصلية أنواع مختلفة من المواد؛ حيث تزوِّدنا إشارة فولتية تأثير هول بمعلومات عن إشارة الشحنة المتحركة، ويزوِّدنا مقدار الفولتية بمعلومات عن مقدار كثافة الشحنة وسرعتها.

مجس مفيد طوّر المهندسون مجسًّا يعمل وفق تأثير هول. وتحتوي هذه الأجهزة الصغيرة البلاستيكية والسوداء على طبقة رقيقة من السليكون مع أسلاك موصولة بها، كما في الرسم التخطيطي. وترتبط أسلاك فولتية هول بمضخم صغير بحيث يمكن لأجهزة أخرى أن تكتشفها وتستشعرها.

إذا تحرك مغناطيس دائم بالقرب من المجس الذي يعمل وفق تأثير هول فسوف تزداد الفولتية الخارجة من المضخم، لذا يمكن استخدام هذا المجس للكشف عن مدى قرب المغناطيس.

يستخدم المجس الذي يعمل وفق تأثير هول في مقياس سرعة الدراجة الهوائية لقياس سرعتها.

تطبيقات يومية يستخدم مقياس السرعة في الدراجة الهوائية مغناطيسًا دائمًا يُربط مع الدولاب الأمامي. وفي كل دورة للدولاب يقترب المغناطيس من المجس. وتحصى النبضات الناتجة، كما يتم حساب زمنها. وتُستخدم هذه المجسات أيضًا في توقيت إنتاج الشرارة في محركات السيارات؛ فعندما يتحرك المغناطيس المثبت على عمود الكرنك بالقرب من المجس تنتج نبضة جهد، فيطلق نظام الإشعال فورًا شرارة الاشتعال.

التوسع

1. **حلل** لماذا يوضع قطبا فولتية هول بحيث يكونان متقابلين؟ وماذا يحدث إذا لم يوضعا كذلك؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن لمجال مغناطيسي قوي يؤثر في شريط فلزي موصل أن يغير من مقاومة ذلك الشريط بسبب تأثير هول؟

الوحدة 8

دليل مراجعة الوحدة

8–1 المغناطيسية: Magnetism

المفردات

- قطب مغناطيسي
- المجال المغناطيسي
- التدفق المغناطيسي
- خطوط المجال المغناطيسي
- نقطة التعادل
- المواد الفيرومغناطيسية

المفاهيم الرئيسة

- الأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر، والأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب.
- تخرج خطوط المجالات المغناطيسية من القطب الشمالي للمغناطيس وتدخل في قطبه الجنوبي.
- تشكل خطوط المجال المغناطيسي دائمًا حلقات مقفلة.
- يوجد مجال مغناطيسي حول أي مغناطيس.
- المواد الفيرومغناطيسية تنجذب للمغناطيس بقوة كبيرة.
- النقطة التي ينعدم عندها المجال المغناطيسي تسمى نقطة التعادل.
- خطوط المجال المغناطيسي وهمية وغير متقاطعة.

8–2 المجالات المغناطيسية الناتجة عن التيارات الكهربائية Magnetic fields caused by electric current

المفردات

- القاعدة الثانية لليد اليمنى
- ملف لولبي (حلزوني)
- مغناطيس كهربائي

المفاهيم الرئيسة

- تقاس شدة المجال المغناطيسي بوحدة التسلا.
- المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم وطويل يسري فيه تيار كهربائي يكون على شكل دوائر متحدة المركز ومركزها السلك نفسه. وتزداد كثافتها كلما اقتربنا من السلك.
- تستخدم قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن سريان تيار كهربائي في سلك مستقيم وطويل.
- يحسب المجال المغناطيسي عند نقطة بالقرب من سلك مستقيم وطويل يسري فيه تيار كهربائي من العلاقة: $B = \frac{\mu_\circ I}{2\pi r}$
- الجرس الكهربائي من التطبيقات العملية على الكهرومغناطيسية.

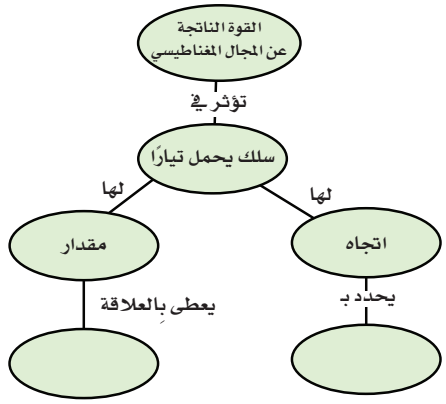
8–3 القوة المغناطيسية: Magnetic force

- القوة الكهرومغناطيسية
- القاعدة الثالثة لليد اليمنى

- عند وضع سلك يسري فيه تيار في مجال مغناطيسي فإنه يتأثر بقوة عمودية على اتجاه كل من المجال والسلك.
- القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار موضوع في مجال مغناطيسي تتناسب طرديًّا مع كل من مقدار التيار المار في السلك وطوله وشدة المجال المغناطيسي. $F = ILB$
- يحتوي المحرك الكهربائي على ملف سلكي موضوع في مجال مغناطيسي، وعندما يمر تيار كهربائي في هذا الملف يدور بتأثير القوة المغناطيسية المؤثرة فيه. ولإكمال دورة كاملة 360° يستخدم عاكس يغيّر اتجاه التيار في الملف كل نصف دورة في أثناء دورانه.
- القوة المغناطيسية المتبادلة بين سلكين متوازيين يمر في كل منهما تيار كهربائي تكون تجاذبًا عندما يكون التياران في اتجاه واحد وتنافرًا عندما يكون التياران في اتجاهين متعاكسين. وتعتمد على الطول المشترك بينهما ومقدار التيار المارّ في كل منهما والبعد بينهما.

خريطة المفاهيم

35. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: قاعدة اليد اليمنى، $F=ILB$.



إتقان المفاهيم

36. اكتب قاعدة التنافر والتجاذب المغناطيسي.

37. صف كيف يختلف المغناطيس الدائم عن المغناطيس المؤقت.

38. سمِّ العناصر المغناطيسية الثلاثة الأكثر شيوعًا.

39. ارسم قضيبًا مغناطيسيًّا صغيرًا، وبيّن خطوط المجال المغناطيسي التي تظهر حوله، واستخدم الأسهم لتحديد اتجاه خطوط المجال.

40. ارسم المجال المغناطيسي بين قطبين مغناطيسيين متشابهين وبين قطبين مغناطيسيين مختلفين.

41. إذا كسرت مغناطيسًا جزأين فهل تحصل على قطبين منفصلين شمالي وجنوبي؟ وضّح إجابتك.

42. صف كيفية استخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يسري فيه تيار كهربائي.

43. إذا مرّ تيار كهربائي في سلك على شكل ملف لولبي (حلزوني) فارسم خطوط المجال المغناطيسي المتولدة نتيجة لذلك.

44. كل إلكترون في قطعة حديد يشبه مغناطيسًا صغيرًا جدًّا، إلا أن قطعة الحديد قد لا تكون مغناطيسًا. لماذا؟ وضّح إجابتك.

45. صف كيفية استخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار موضوع في مجال مغناطيسي.

46. مر تيار كهربائي كبير في سلك فجأة، ومع ذلك لم يتأثر بأي قوة، فهل تستنتج أنه لا يوجد مجال مغناطيسي في موقع السلك؟ وضّح إجابتك.

47. قارن بين المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي.

تطبيق المفاهيم

48. أُخفِي مغناطيس صغير في موقع محدّد داخل كرة تنس. صف تجربة يمكنك من خلالها تحديد موقع كل من القطب الشمالي والقطب الجنوبي للمغناطيس.

49. انجذبت قطعة فلزية إلى أحد قطبي مغناطيس كبير. صف كيف يمكنك معرفة ما إذا كانت القطعة الفلزية مغناطيسًا مؤقتًا أم مغناطيسًا دائمًا؟

50. هل القوة المغناطيسية التي تؤثر بها الأرض في الإبرة المغناطيسية للبوصلة أقل أو تساوي أو أكبر من القوة التي تؤثر بها إبرة البوصلة في الأرض؟ وضّح إجابتك.

51. **البوصلة** افترض أنك تهت في غابة، لكنك تحمل بوصلة، ولسوء الحظ كان اللون الأحمر المحدد للقطب الشمالي غير واضح، وكان معك مصباح يدوي وبطارية وسلك. كيف يمكنك تحديد القطب الشمالي للبوصلة؟

52. سلك موضوع على طول طاولة المختبر، يسري فيه تيار. صف طريقتين على الأقل يمكنك بهما تحديد اتجاه التيار المار فيه.

تقويم الوحدة 8

53. في أي اتجاه بالنسبة للمجال المغناطيسي يمكنك إمرار تيار كهربائي في سلك بحيث تكون القوة المؤثرة فيه صغيرة جدًّا أو صفرًا؟

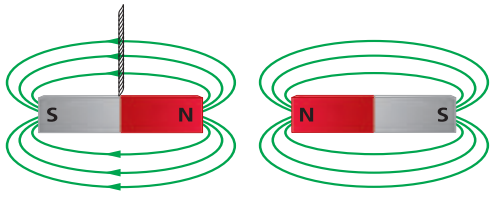
54. سلكان متوازيان يسري فيهما تياران متساويان.

a. إذا كان التياران متعاكسين فأين يكون المجال المغناطيسي الناتج عن السلكين أكبر من المجال الناتج عن أي منهما منفردًا؟

b. إذا كان التياران في الاتجاه نفسه فأين يكون المجال الكلي صفرًا؟

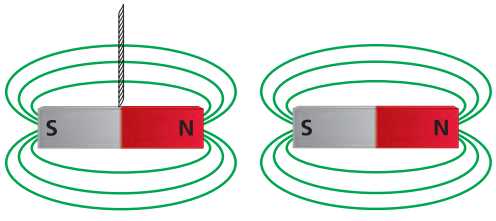
55. باستخدام قطبين مغناطيسيين ارسم شكلًا توضح من خلاله نقطة التعادل المغناطيسي متضمنًا رسمًا لخطوط المجال المغناطيسي بينهما.

56. ماذا يحدث للمغناطيس المعلق بالخيط عند تقريب المغناطيس الموضّح في **الشكل 22–8** منه؟

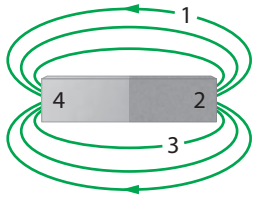


الشكل 22–8

57. ماذا يحدث للمغناطيس المعلق بالخيط عند تقريب المغناطيس الموضّح في **الشكل 23–8** منه؟



الشكل 23–8



الشكل 24–8

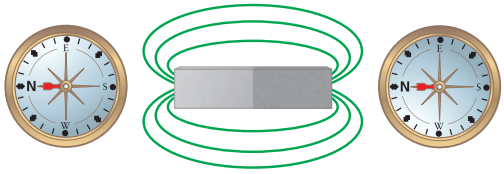
58. ارجع إلى **الشكل 24–8** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. أين يقع القطبان؟

b. أين يقع القطب الشمالي؟

c. أين يقع القطب الجنوبي؟

59. يمثل **الشكل 25–8** استجابة البوصلة في موقعين مختلفين بالقرب من مغناطيس. أين يقع القطب الجنوبي للمغناطيس؟



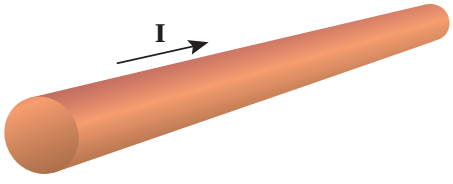
الشكل 25–8

إتقان حل المسائل

8–1 المغناطيسية

60. سلك طوله 1.50 m يسري فيه تيار مقداره 10.0 A، وضع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم، فكانت القوة المؤثرة فيه 0.60 N. ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر فيه؟

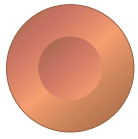
61. يسري تيار اصطلاحي في سلك، كما هو موضّح في **الشكل 26–8**. ارسم قطعة السلك في دفترك، ثم ارسم خطوط المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في السلك.



الشكل 26–8

62. إذا كان التيار الاصطلاحي في **الشكل 27–8** خارجًا من مستوى الورقة فارسم الشكل في دفترك،

ثم ارسم المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في السلك.

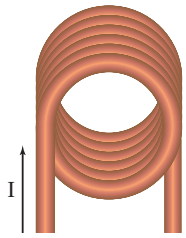


الشكل 27–8

63. يبين **الشكل 28–8** طرف مغناطيس كهربائي يسري خلاله تيار كهربائي.

a. ما اتجاه المجال المغناطيسي داخل الحلقات؟

b. ما اتجاه المجال المغناطيسي خارج الحلقات؟



الشكل 28–8

64. **المغانط الخزفية** قيست قوى التنافر بين مغناطيسين خزفيين، ووجد أنها تعتمد على المسافة، كما هو موضّح في **الجدول 2–8**.

a. مثّل بيانيًّا القوة كدالة مع المسافة.

b. هل تخضع هذه القوة لقانون التربيع العكسي؟

الجدول 2–8

المسافة d (cm)	القوة F (N)
1.0	3.93
1.2	0.40
1.4	0.13
1.6	0.057
1.8	0.030
2.0	0.018
2.2	0.011
2.4	0.0076
2.6	0.0053
2.8	0.0038
3.0	0.0028

8–2 المجالات المغناطيسية الناتجة عن التيارات الكهربائية

65. سلك طوله 0.50 m، يسري فيه تيار مقداره 8.0 A، وضع عموديًّا على مجال مغناطيسي منتظم، فكانت القوة المؤثرة فيه 0.40 N. ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر فيه؟

8–3 القوة المغناطيسية

66. يسري تيار مقداره 5.0 A في سلك طوله 0.80 m، وضع عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.60 T. ما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

67. يسري تيار مقداره 6.0 A في سلك طوله 25 cm، فإذا كان السلك موضوعًا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.30 T عموديًّا عليه، فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

68. يسري تيار مقداره 4.5 A في سلك طوله 35 cm، فإذا كان السلك موضوعًا في مجال مغناطيسي مقداره 0.53 T وموازيًا له، فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

69. سلك طوله 625 m متعامد مع مجال مغناطيسي مقداره 0.40 T، تأثر بقوة مقدارها 1.8 N، ما مقدار التيار المار فيه؟

70. يؤثر المجال المغناطيسي الأرضي بقوة مقدارها 0.12 N في سلك عمودي عليه طوله 0.80 m. ما مقدار التيار المار في السلك؟ استعمل المقدار 5.0×10^{-5} T للمجال المغناطيسي للأرض.

71. إذا كانت القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي مقداره 0.80 T في سلك يسري فيه تيار 7.5 A متعامد معه تساوي 3.6 N، فما طول السلك؟

تقويم الوحدة 8

72. سلك لنقل القدرة الكهربائية يسري فيه تيار مقداره 225 A من الشرق إلى الغرب، وهو موازٍ لسطح الأرض.

a. ما القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي الأرضي في كل متر منه؟ استعمل:

$$B_{\text{أرض}} = 5.0 \times 10^{-5}\ T$$

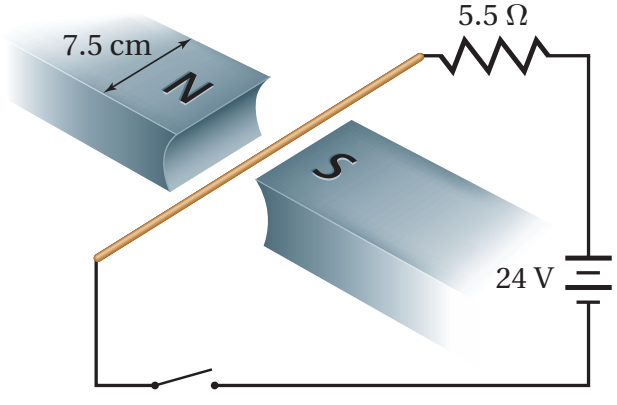
b. ما اتجاه هذه القوة؟

c. تُرى، هل تعدّ هذه القوة مهمة في تصميم البرج الحامل للسلك؟ وضّح إجابتك.

73. يسري تيار كهربائي في حلقة سلكية مغمورة في مجال مغناطيسي منتظم قوي داخل غرفة. افترض أنك أدرت الحلقة بحيث لم يعد هناك أي ميل لها للدوران نتيجة للمجال المغناطيسي، فما اتجاه المجال المغناطيسي بالنسبة إلى مستوى الحلقة؟

مراجعة عامة

74. وضع سلك نحاسي مهمل المقاومة في الحيز بين مغناطيسين، كما في **الشكل 29–8**. فإذا كان وجود المجال المغناطيسي مقتصرًا على هذا الحيز، وكان مقداره 1.9 T فأوجد مقدار القوة المؤثرة في السلك، واتجاهها في كل من الحالات التالية:



الشكل 29–8

a. عندما يكون المفتاح مفتوحًا.

b. عند إغلاق المفتاح.

c. عند إغلاق المفتاح وعكس البطارية.

d. عند إغلاق المفتاح وتبديل السلك بقطعة مختلفة مقاومتها 5.5 Ω

75. احسب مقدار القوة المغناطيسية لكل وحدة طول من سلك مستقيم وطويل يسري فيه تيار شدته 11 A موضوع في مجال مغناطيسي شدته 0.77 T.

76. احسب مقدار القوة المغناطيسية لوحدة الأطوال المتبادلة بين سلكين مستقيمين طويلين ومتوازيين يسري فيهما تيار كهربائي شدته 7 A في الاتجاه نفسه عندما يكون البعد بينهما 4 cm.

77. سلك مستقيم وطويل عمودي على مستوى الصفحة يسري فيه تيار كهربائي مقداره 8 A من أعلى إلى أسفل. احسب شدة المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد عنه 1 cm في اتجاه اليمين. هل تختلف شدة المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد عن السلك مسافة 1 cm في اتجاه اليسار؟ وضح ذلك.

78. **مكبر الصوت** إذا كان المجال المغناطيسي في سماعة عدد لفات ملفها 250 لفة يساوي 0.15 T، وقطر الملف 2.5 cm، فما مقدار القوة المؤثرة في الملف إذا كانت مقاومته 8.0 Ω، وفرق الجهد بين طرفيه 15 V؟

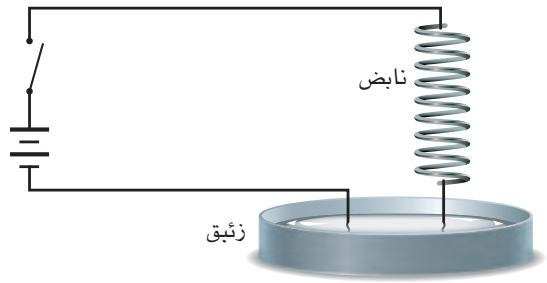
79. يسري تيار مقداره 15 A في سلك طوله 25 cm موضوع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.85 T. فإذا كانت القوة المؤثرة في السلك تعطى بالعلاقة $F = ILB \sin\theta$، فاحسب القوة المؤثرة في السلك عندما يصنع مع المجال المغناطيسي الزوايا التالية:

a. 90°　　**b.** 45°　　**c.** 0°

تقويم الوحدة 8

التفكير الناقد

80. **تطبيق المفاهيم** ماذا يحدث إذا مر تيار خلال نابض رأسي، كما هو موضّح في **الشكل 30–8** وكانت نهاية النابض موضوعة داخل كأس مملوءة بالزئبق؟ ولماذا؟



الشكل 30–8

81. **جمع المتجهات** سلكان مستقيمان متوازيان موضوعان في الفراغ بحيث يبعدان أحدهما عن الآخر 20cm . إذا مر في الأول تيار كهربائي مقداره 10 A وفي الثاني تيار مقداره 4A في اتجاهين متعاكسين فاحسب محصلة المجالات المغناطيسية عند نقطة بينهما على بُعد 4cm من السلك الأول. وارسم شكلًا توضيحيًّا يبين اتجاهات مفترضة للتيارات الكهربائية في الأسلاك واتجاه المجالات المغناطيسية عند النقطة المطلوب حساب المجالات المغناطيسية عندها.

الكتابة في الفيزياء

82. ابحث في المغانط الفائقة التوصيل، واكتب ملخصًا من صفحة واحدة للاستخدامات المحتملة لهذه المغانط. وتأكد من وصف أي عقبات تقف في طريق التطبيقات العملية لهذه المغانط.

مراجعة تراكمية

83. وصلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها 55 Ω على التوازي، ثم وصلت المقاومات السابقة على التوالي بمقاومتين تتصلان على التوالي، مقدار كل منهما 55 Ω، ما مقدار المقاومة المكافئة للمجموعة؟

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. يسري تيار مقداره 7.2 A في سلك مستقيم موضوع في مجال مغناطيسي منتظم 8.9×10^{-3} T وعمودي عليه. ما طول جزء السلك الموجود في المجال الذي يتأثر بقوة مقدارها 2.1 N؟

(A) 2.6×10^{-3} m (C) 1.3×10^{-1} m

(B) 3.1×10^{-2} m (D) 3.3×10^{1} m

2. افترض أن جزءًا طوله 19 cm من سلك يسري فيه تيار متعامد مع مجال مغناطيسي مقداره 4.1 T، ويتأثر بقوة مقدارها 7.6 mN، ما مقدار التيار المار في السلك؟

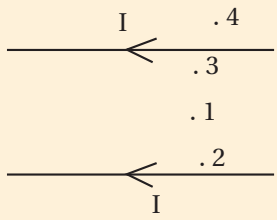
(A) 3.4×10^{-7} A (C) 1.0×10^{-2} A

(B) 9.8×10^{-3} A (D) 9.8 A

3. الشكل أدناه يمثل مقطعًا من سلكين طويلين متوازيين يمر فيهما التيار نفسه وفي الاتجاه نفسه. أين النقطة التي يتوقع أن تكون نقطة تعادل؟

(A) 1 (C) 3

(B) 2 (D) 4



4. أكبر قوة مغناطيسية تؤثر في جزء من سلك يسري فيه تيار كهربائي وموضوع في مجال مغناطيسي تكون عندما يكون السلك:

(A) موازيًا لاتجاه المجال المغناطيسي

(B) مائلًا بزاوية 30° عن المجال المغناطيسي

(C) مائلًا بزاوية 60° عن المجال المغناطيسي

(D) عموديًّا على المجال المغناطيسي

5. أي العوامل التالية لا يؤثر في مقدار المجال المغناطيسي لملف لولبي؟

(A) عدد اللفات (C) مساحة مقطع السلك

(B) مقدار التيار (D) نوع قلب الملف

6. أي العبارات التالية المتعلقة بالأقطاب المغناطيسية المفردة صحيحة؟

(A) القطب المغناطيسي المفرد قطب افتراضي شمالي مفرد

(B) استخدمها علماء البحث في تطبيقات التشخيص الطبي الداخلي

(C) القطب المغناطيسي المفرد قطب افتراضي جنوبي مفرد

(D) غير موجودة

7. شدة المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد مسافة 0.2m عن سلك مستقيم وطويل يمر فيه تيار كهربائي شدته 6A تساوي:

(A) 60×10^{-7} N

(B) $60\times10^{+7}$ N

(C) 6×10^{-7} N

(D) $6\times10^{+7}$ N

الأسئلة الممتدة

8. وُصِل سلك ببطارية جهدها 5.8 V في دائرة تحتوي على مقاومة مقدارها 18 Ω. فإذا كان 14 cm من السلك داخل مجال مغناطيسي مقداره 0.85 T، وكان مقدار القوة المؤثرة في السلك تساوي 22 mN، فما مقدار الزاوية بين السلك والمجال المغناطيسي المؤثر، إذا علمت أن العلاقة الخاصة بالقوة المؤثرة في السلك هي $F=ILB\sin\theta$؟

✓ إرشاد

قراءة التوجيهات

لا يهم كم مرة أدّيت اختبارًا خاصًّا أو امتحانًا، إنما الأهم أن تقرأ التوجيهات أو التعليمات التي تزود بها في بداية كل جزء؛ فهي لا تستغرق سوى لحظات، إلا أنها تحول دون ارتكاب أخطاء بسيطة قد تجعلك تؤدي الاختبار بصورة سيئة.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

I. الرموز symbols

Δ	التغير في الكمية	$a \times b$ ab $a(b)$	a مضروبة في b
$\pm$	زائد أو ناقص الكمية	$a \div b$ a/b $\frac{a}{b}$	a مقسومة على b
$\propto$	يتناسب مع	$\sqrt{a}$	الجذر التربيعي لـ a
$=$	يساوي	$\lvert a \rvert$	القيمة المطلقة لـ a
$\approx$	تقريبًا يساوي	$\log_b x$	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\cong$	يطابق		
$\leq$	أقل من أو يساوي		
$\geq$	أكبر من أو يساوي		
$<<$	أقل جدًّا من		
$\equiv$	يعرف كـ		

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعد الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

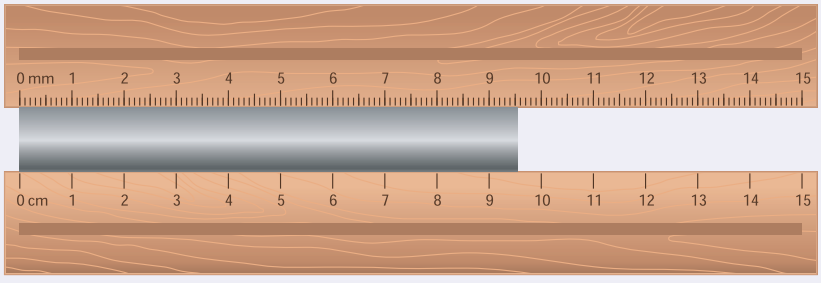
الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتُمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعد الدقة مقياسًا للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الصغرى في أداة القياس. ويكون الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس مقدَّرًا.

مثال: ما الرقم المقدَّر لكل من مسطرة القياس الموضحة في الشكل أدناه والمستخدمة لقياس طول القضيب الفلزي؟

باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدَّر إلى أقرب جزء عشري من السنتمتر. وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

أما عند استعمال أداة القياس العليا فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm



دليل الرياضيات

كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعد أرقامًا معنوية.

استعمل القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

5.0 g يتضمن رقمين معنويين	استعمال القاعدتين 1و2
14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و2
0.0 يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا	استعمال القاعدتين 2و4
300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية	استعمال القواعد 1و2و3
5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)	استعمال القواعد 1و2و4
140 mm يتضمن رقمين معنويين (1و4 فقط)	استعمال القاعدتين 1و4

مسائل تدريبية

1. حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

a. 1405 m
b. 2.50 km
c. 0.0034 m
d. 12.007 kg
e. 5.8×10^{6} kg
f. 3.03×10^{-5} ml

هناك حالتان تعد الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.
2. معاملات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أقل من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ويبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.
2. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أكبر من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ويزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.
3. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري فإنه يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ويزيد الرقم الأخير في العدد المقرَّب بمقدار واحد.
4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير المراد التقريب إليه يساوي 5 ومتبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فرديًّا فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تزده.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية:

8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76	استعمال القاعدة 1
8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77	استعمال القاعدة 2
8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8	استعمال القاعدة 3
92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4	استعمال القاعدة 4
92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2	استعمال القاعدة 4

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس الآتية:

a. 1405 m (2)　　**c.** 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2)　　**d.** 12.007 kg (3)

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفّذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرّب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كلتيهما تتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

$$\begin{array}{r} 1.456\ \text{m} \\ 4.1\ \text{m} \\ +20.3\ \text{m} \\ \hline 25.856\ \text{m} \end{array}$$

وفي النتيجة تكون دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المُضاف الأقل دقة.

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى 25.9m

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرّب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساويًا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

$$(20.1\ \text{m})(3.6\ \text{m}) = 72.36\ \text{m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6 m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعابير الرياضية الآتية مستعملًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

a. 2.33 km + 3.4 km + 5.012 km

b. 45 g - 8.3 g

c. 3.40 cm × 7.125 cm

d. 54 m ÷ 6.5 s

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استعمل قاعدة عملية الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d=19\ m + (25.0\ m/s)(2.50\ s) + \frac{1}{2}\ (-10.0\ m/s^2)(2.50)^2$$

$$= 5.0 \times 10^1\ m$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$m\ (\text{الميل}) = \frac{70.0\ m - 10.0\ m}{29\ s - 11\ s}$$

$$= 3.3\ m/s$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل عليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

مثال:

$$F = \sqrt{(24\ N)^2 + (36\ N)^2}$$

$$= \sqrt{576\ N^2 + 1296\ N^2}$$

لا تجر التقريب إلى $580N^2$ و $1300N^2$

$$= \sqrt{1872\ N^2}$$

لا تجر التقريب إلى $1800N^2$

$$= 43\ N$$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين.

III. الكسور والنسب والمعدلات والتناسب Fractions, Ratios, Rates, and Proportions

الكسور Fractions

يقصد بالكسر جزء من الكل أو جزء من مجموعة. ويعبّر الكسر أيضًا عن النسبة.

ويتكوّن الكسر من البسط وخط القسمة والمقام.

$$\frac{\text{البسط}}{\text{المقام}} = \frac{\text{عدد الأجزاء المختارة}}{\text{عدد الأجزاء الكليّ}}$$

التبسيط من السهل أحيانًا تبسيط التعبير الرياضي قبل عملية تعويض قيم المتغيرات المعلومة، وتُختصر غالبًا المتغيرات من التعبير الرياضي.

مثال: بسّط $\frac{pn}{pw}$

افصل المتغير P في البسط والمقام، وجزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب كسرين.

$$\left(\frac{pn}{pw}\right) = \left(\frac{p}{p}\right)\left(\frac{n}{w}\right)$$

بالتعويض $\left(\frac{p}{p}\right) = 1$

$$= (1)\left(\frac{n}{w}\right)$$

$$= \frac{n}{w}$$

عمليتا الضرب والقسمة لإجراء عملية ضرب الكسور اضرب القيم الممثلة للبسط، واضرب القيم الممثلة للمقام.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكسر $\frac{s}{a}$ في الكسر $\frac{t}{b}$.

نفّذ عملية ضرب القيم في البسط والقيم في المقام

$$\left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{t}{b}\right) = \frac{st}{ab}$$

ولإجراء عملية قسمة الكسور اضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني. ولإيجاد مقلوب الكسر، اعكس الكسر بحيث يحل كل من البسط والمقام مكان الآخر.

مثال: أوجد عملية القسمة للكسر $\frac{s}{a}$ على الكسر $\frac{t}{b}$.

أوجد حاصل ضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني.

$$\frac{s}{a} \div \frac{t}{b} = \left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{b}{t}\right)$$

اضرب القيم في البسط والقيم في المقام.

$$= \frac{sb}{at}$$

عمليتا الجمع والطرح لإجراء عملية جمع أو طرح كسرين اكتبهما أولاً في صورة كسرين لهما مقام مشترك، أي المقام نفسه. ولإيجاد المقام المشترك أوجد حاصل ضرب مقام كل من الكسرين، ثم اجمع بسطي كل منهما أو اطرحهما، ثم استعمل المقام المشترك.

مثال: أوجد حاصل جمع $\frac{1}{a}$ و $\frac{2}{b}$.

اضرب كلّ كسر في كسر يساوي 1.

$$\frac{1}{a} + \frac{2}{b} = \left(\frac{1}{a}\right)\left(\frac{b}{b}\right) + \left(\frac{2}{b}\right)\left(\frac{a}{a}\right)$$

اضرب كلًّا من قيم البسط وكلًّا من قيم المقام.

$$= \frac{b}{ab} + \frac{2a}{ab}$$

اكتب كسرًا مفردًا مقامه المقام المشترك.

$$= \frac{b+2a}{ab}$$

مسائل تدريبية

4. نفّذ العمليات التالية، ثم اكتب الإجابة في أبسط صورة.

a. $\frac{y}{3} + \frac{1}{x}$

b. $\frac{3}{b} - \frac{a}{2b}$

c. $\left(\frac{1}{y}\right)\left(\frac{3}{x}\right)$

d. $\frac{1}{2} \div \frac{2a}{5}$

النسب Ratios

تمثل النسب عملية مقارنة بين عددين باستعمال عملية القسمة. ويمكن كتابة النسب بعدة طرائق مختلفة، فالنسبة بين العددين 2 و3 يمكن كتابتها بأربع طرائق مختلفة: 2 إلى 3 أو 2 على 3 أو 3:2 أو $\frac{2}{3}$.

المعدّلات Rates

المعدل نسبة تقارن بين كميتين لهما وحدات قياس مختلفة. إن معدل الوحدة هو المعدل الذي يمكن تبسيطه بحيث يساوي المقام الرقم 1.

مثال: اكتب 98km في 2.0 *ساعة كمعدل وحدة.*

98km في 2.0 ساعة عبارة عن النسبة $\frac{98\text{km}}{2.0\text{h}}$

جزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب الكسر العددي بكسر الوحدات

بسّط الكسر العددي

$$\frac{98\text{km}}{2.0\text{h}} = \left(\frac{98}{2.0}\right)\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$$
$$= (49)\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$$
$$= 49 \text{ km per h أو } \text{km/h}$$

التناسبات Proportions التناسب عبارة عن معادلة تنص على أن النسبتين متساويتان: $\frac{a}{d} = \frac{c}{b}$، بشرط أن d و b لا تساويان صفرًا. تستعمل التناسبات لحل مسائل النسبة التي تتضمن ثلاثة أرقام ومتغيرًا واحدًا. ويمكنك حل علاقة التناسب لإيجاد قيمة المتغير. ولحل التناسب استعمل الضرب التبادلي.

مثال: حل التناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$ *بالنسبة إلى المتغير* a.

بإجراء عملية الضرب التبادلي للتناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$

اكتب المعادلة الناتجة عن الضرب التبادلي $ad = bc$

حل المعادلة بالنسبة إلى المتغير a $a = \frac{bc}{d}$

مسائل تدريبية

5. حل التناسبات التالية:

a. $\frac{2}{3} = \frac{4}{x}$

b. $\frac{n}{75} = \frac{13}{15}$

c. $\frac{s}{16} = \frac{36}{12}$

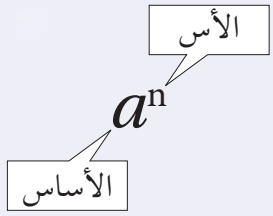
d. $\frac{7.5}{w} = \frac{2.5}{5.0}$

IV. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents, Powers, Roots, and Absolute value

الأسس Exponents

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a عاملًا، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي. ففي الحد a^n، يمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس.

ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيرًا آخر للمتغير. فمثلا v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعد جزءًا من المتغير.

الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3)\dots(a_n)$$

مثال: بسّط الحدود الأسية التالية:

$$10^4 = (10)(10)(10)(10) = 10{,}000$$

$$2^3 = (2)(2)(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الصفرية التالية:

$$2^0 = 1$$

$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4} \qquad 2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2}$$

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبّر الرمز الجذري $\sqrt{\ }$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية.

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)(a)} = a$

$\sqrt{9} = \sqrt{(3)(3)} = 3$

تتضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية؛ وذلك للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)(8.0)} = 8.0$

ضع صفرين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية. $\sqrt{38.44} = 6.200$

قرّب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$

أما الجذر التكعيبي للرقم فيمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\ }$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي التالية:

$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$

$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$

مسائل تدريبية

6. أوجد ناتج كل جذر، ثم قرّب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ **c.** $\sqrt{676}$

b. $\sqrt[3]{729}$ **d.** $\sqrt[3]{46.656}$

7. بسّط الجذور التالية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ **b.** $\sqrt{9t^6}$

8. اكتب الجذور الآتية في الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ **b.** $\frac{1}{\sqrt{a}}$

إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات التالية باستخدام الأسس فإن كلًّا من a و b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه، اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه، اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$a^m / a^n = a^{m-n}$$

القوة مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة، استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس بعضها في بعض، كما هو موضح في الصفحة التالية: $(a^m)^n = a^{mn}$

الجذر مرفوع لقوة: لإيجاد ناتج جذر مرفوع لقوة، استخدم الأساس نفسه وقسّم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة التالية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

9. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

a. $x^2 t / x^3$ **b.** $\sqrt{t^3}$ **c.** $(d^2n)^2$ **d.** $x^2\sqrt{x}$

10. بسّط $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2qv}{m}}$

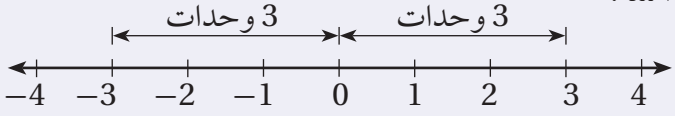
القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n في صورة $|n|$. ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

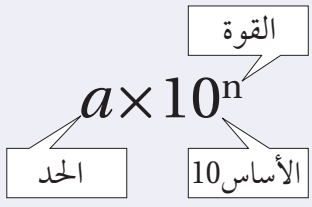
$|3| = 3$

$|-3| = 3$



V. الدلالة العلمية Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a\times10^n$ مكتوب بدلالته العلمية؛ حيث $1 \le a \le 10$، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون في صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء في صورة 1.000×10^{3} kg/m^3 وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية؛ حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء في صورة 1000 kg/m^3 سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستخدام الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a، $1 \le a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a حتى النقطة العشرية في العدد، ثم استعمل العدد بوصفه قوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4 \text{ e+11} = 2.4 \times 10^{11}$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًّا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 *بدلالته العلمية.*

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^{n}.

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $7{,}530{,}000 = 7.53 \times 10^{6}$

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبَّر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم التالي في صورته القياسية:

$2.389 \times 10^{5} = 2.38900 \times 10^{5} = 238{,}900$

الأرقام الصغيرة، واستخدام الأسس السالبة Small Numbers–Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالتها العلمية حدد أولاً قيمة a ، $1 \le a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئًا من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10 . إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تمامًا لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية.

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^{n}.

توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 7 – $0.000000285 = 2.85\times10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

مسائل تدريبية

11. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

a. 456,000,000 **b.** 0.000020

12. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

a. 3.03×10^{-7} **b.** 9.7×10^{10}

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبّر عنها بدلالتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $(4.0\times10^{-8})\ (1.2\times10^{5}) = (4.0\times1.2)\ (10^{-8}\times10^{5})$

أوجد حاصل ضرب الحدود $= (4.8)\ (10^{-8+5})$

اجمع القوى للأساس 10 $= (4.8)\ (10^{-3})$

أعد صياغة النتيجة بدلالتها العلمية $= 4.8\times10^{-3}$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $\frac{9.60\times10^{7}}{1.60\times10^{3}} = \left(\frac{9.60}{1.60}\right)\times\left(\frac{10^{7}}{10^{3}}\right)$

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10 $= 6.00 \times 10^{7-3}$

$= 6.00 \times 10^{4}$

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدلالتها العلمية هي عملية تحدٍّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام قد يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10، إما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

جمّع الحدود $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^5) = (3.2+4.8)\times10^5$

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

أعد كتابة 4.8×10^4 في صورة 0.48×10^5 $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^4) = (3.2\times10^5)+ (0.48\times10^5)$

جمّع الحدود $= (3.2+0.48)\times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

قرّب النتيجة مستعملًا قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية. $= 3.7\times10^5$

مسائل تدريبية

13. احسب نتيجة كل من التعابير التالية، وعبّر عن النتيجة بدلالتها العلمية.

a. $(4.0\times10^8)\ (5.2\times10^{-4})$ **b.** $(2.4\times10^3) + (8.0\times10^4)$

VI. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، تسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها. اتّبع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسين المعقوفين [ ]، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.

2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.

3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.

4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير التالي:

ترتيب العمليات: الخطوة 1 $4+3\ (4-1)-2^3 = 4+3\ (3)-2^3$

ترتيب العمليات: الخطوة 2 $=4+3\ (3)-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 3 $=4+9-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 4 $= 5$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة خطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجر عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم أوجد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيرًا رياضيًّا صحيحًا. وعند حل المعادلات طبّق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًّا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$$a\,(b+c) = ab+ac \qquad a\,(b-c) = ab-ac$$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعبير التالي:

$$\begin{aligned} 3\,(x+2) &= 3\,x + (3)\,(2) \\ &= 3\,x + 6 \end{aligned}$$

خاصيتا الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x - 3 = 7$ *مستعملًا خاصية الجمع*

$$\begin{aligned} x-3 &= 7 \\ x-3+3 &= 7+3 \\ x &= 10 \end{aligned}$$

مثال: حل المعادلة $t + 2 = -5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$\begin{aligned} t+2 &= -5 \\ t+2-2 &= -5-2 \\ t &= -7 \end{aligned}$$

خاصيتا الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في/ على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$a\,c = b\,c$$

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}\,a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\begin{aligned} \tfrac{1}{4}\,a &= 3 \\ (\tfrac{1}{4}\,a)\,(4) &= 3\,(4) \\ a &= 12 \end{aligned}$$

مثال: حل المعادلة $6\,n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$6\,n = 18$$
$$\frac{6n}{6} = \frac{18}{6}$$
$$n = 3$$

مثال: حل المعادلة $2\,t + 8 = 5\,t - 4$ بالنسبة إلى المتغير t

$$2\,t + 8 = 5\,t - 4$$
$$8 + 4 = 5\,t - 2\,t$$
$$12 = 3\,t$$
$$4 = t$$

فصل المتغير Isolating aVariable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير– أيْ لحل المعادلة بالنسبة إلى ذلك المتغير– اكتب معادلة ارتباط مكافئة بحيث يتضمن أحد طرفيها المتغير فقط بمعامل يساوي 1.

ارتباط الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$PV = nRT$$

قسّم طرفي المعادلة على V
$$\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$$

جمّع $(\frac{V}{V})$
$$P(\frac{V}{V}) = \frac{nRT}{V}$$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$
$$P = \frac{nRT}{V}$$

مسائل تدريبية

14. حل المعادلات الآتية بالنسبة إلى المتغير x.

a. $2 + 3\,x = 17$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

d. $a = \frac{b+x}{c}$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

f. $ax + bx + c = d$

خاصية الجذر التربيعي Square Root Property

إذا كان كل من a و n عددًا حقيقيًّا، $n > 0$ و $a^2 = n$، فإن $a = \pm\sqrt{n}$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة إلى المتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm_E m}{r^2}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$$

بالتعويض $\frac{r}{r} = 1$

$$mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$$

قسّم طرفي المعادلة على m .

$$\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$$

بالتعويض $\frac{m}{m} = 1$

$$v^2 = \frac{Gm_E}{r}$$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

$$\sqrt{v^2} = \pm\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه إلى المتغير الذي ستقوم بحل المعادلة بالنسبة إليه؛ لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة إلى السرعة v، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت تحتاج أيضًا إلى الأخذ في الحسبان ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح. فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة إلى المتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيرًا واحدًا مرفوعًا للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعًا للأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بالتمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانيًّا. إذا كانت $b = 0$ فإن الحد x غير موجود في المعادلة التربيعية. ويمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$، حيث $a \neq 0$، تعطى بالمعادلة التالية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي، من المهم الأخذ في الحسبان ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. فعادةً يُمكنك إهمال أحد الحلول لأنه حل غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالبًا استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

مسائل تدريبية

15. حل المعادلات الآتية بالنسبة إلى المتغير x.

a. $4x^2 - 19 = 17$

b. $12 - 3x^2 = -9$

c. $x^2 - 2x - 24 = 0$

d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضًا مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى بالمعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$. فإذا سقط جسم سقوطًا حرًّا على القمر مسافة 20.5 m خلال 5.00 s فأوجد التسارع a على سطح القمر.

يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5\ m)}{(5.00\ s)^2}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

احسب وقرّب حتى ثلاثة أرقام معنوية

$$a = \frac{1.64\ m}{s^2}$$ مثل

أو مثل $a = 1.64\ m/s^2$

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1 .

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء أوجد Δx عندما $v_0 = 67\ m/s$ و $\Delta t = 5.0\ min$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0 \Delta t$.

$$\frac{60\ s}{1\ min} = 1$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67\ m}{s}\left(\frac{5.0\ min}{1}\right)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$

احسب ثم قرّب إلى رقمين معنويين. إن العددين 60 s و 1 min مضبوطان ودقيقان، لذلك لن يؤثرا في حساب الأرقام المعنوية.

$$\Delta x = 20100\ m = 2.0 \times 10^4\ m$$

مسائل تدريبية

16. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0\times10^{2}\ \text{m}}{16\ \text{m/s}}$

17. احسب السرعة المتجهة لقطعة قرميد ساقطة بعد مضي 5.0 s ، استعمل $v = a\,\Delta t$ و $a = -9.80\ \text{m/s}^2$.

18. أوجد حاصل ضرب الحدود: $\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}\right)\left(\frac{60\ \text{min}}{1\text{h}}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right)\left(\frac{32\ \text{cm}}{1\text{s}}\right)$

19. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم قطع المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدة الكيلومترات لكل ساعة؟

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعدّ تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة.

مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2}\,at^2$ وحدتها m.

d_i تقاس بوحدة m

t تقاس بوحدة s

v_i تقاس بوحدة m/s

a تقاس بوحدة m/s^2

بالتعويض عن وحدات كل متغير

$$d_f = \text{m} + \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)(\text{s}) + \frac{1}{2}\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)(\text{s})^2$$

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية

$$= \text{m} + (\text{m})\left(\frac{\text{s}}{\text{s}}\right) + \frac{1}{2}\,(\text{m})\left(\frac{\text{s}^2}{\text{s}^2}\right)$$

بالتعويض $\text{s}/\text{s} = 1$، $\text{s}^2/\text{s}^2 = 1$

$$= \text{m} + (\text{m})(1) + \frac{1}{2}\,(\text{m})(1)$$

جميع الحدود أعطت الوحدة m لذلك فإن d_f بوحدة m

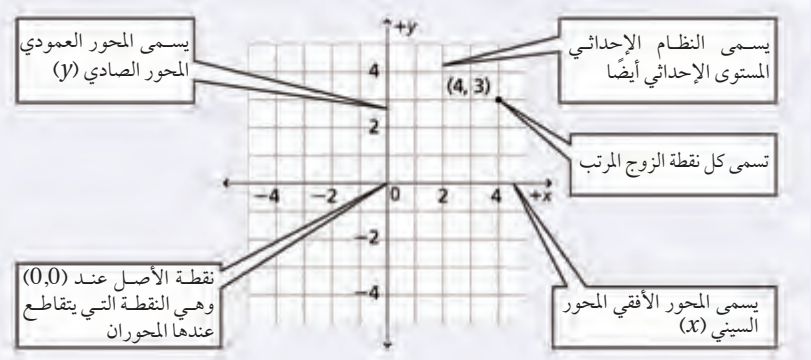
$$= \text{m} + \text{m} + \frac{1}{2}\,\text{m}$$

لا يطبّق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة إلى الوحدات، ويطبّق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.

VI. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، ويسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل (العامل الذي يُغيَّر أو يُعدَّل خلال التجربة)، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع (العامل الذي يعتمد على المتغير المستقل)، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x,y) يسميان أيضًا الزوج المرتب. وتَرد دائمًا قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0,0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.

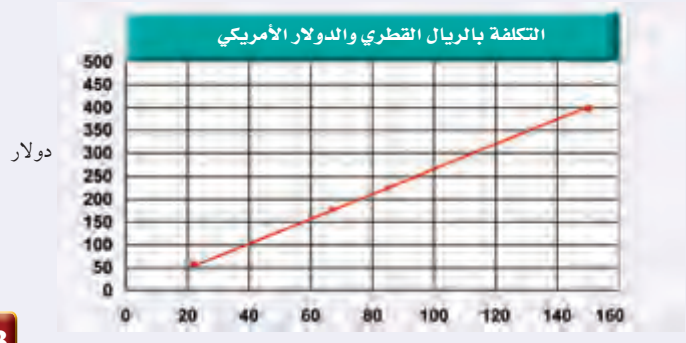


استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًّا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانيًّا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًّا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ما يمثله الرسم البياني.

نوع الخدمة	ريال	دولار
الفندق (الإقامة)	1500	398
الوجبات	850	225
الترفيه	670	178
المواصلات	220	58

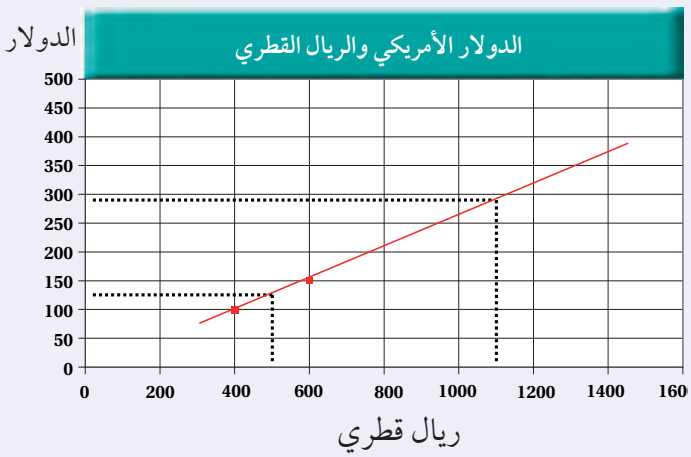


الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 500 ريال.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 500 (400 ريال، 600 ريال)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.



ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (500 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 ريال.

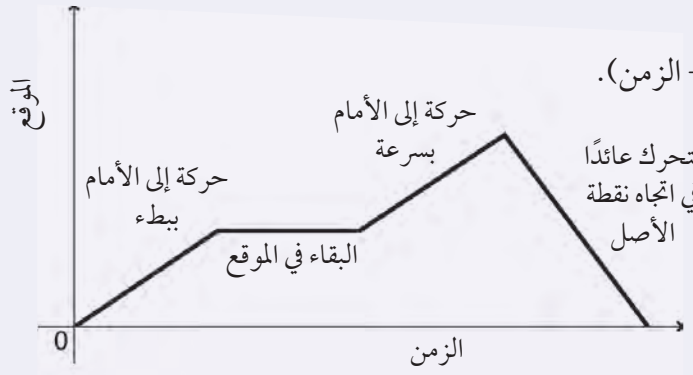
ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

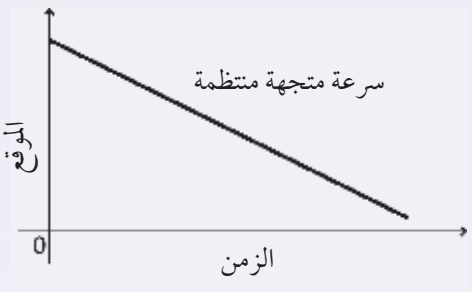
يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).

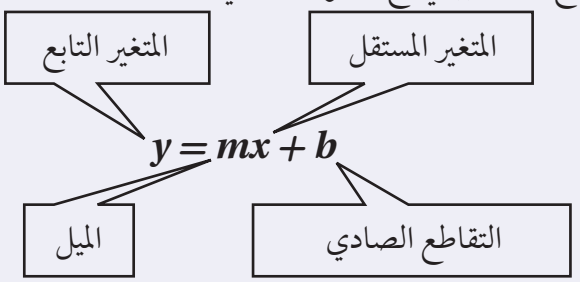


b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع – الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$، حيث b و m عددان حقيقيان، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



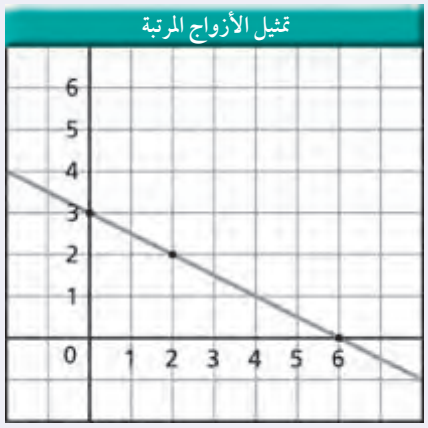
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x,y)، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -(\frac{1}{2})\, x + 3$$

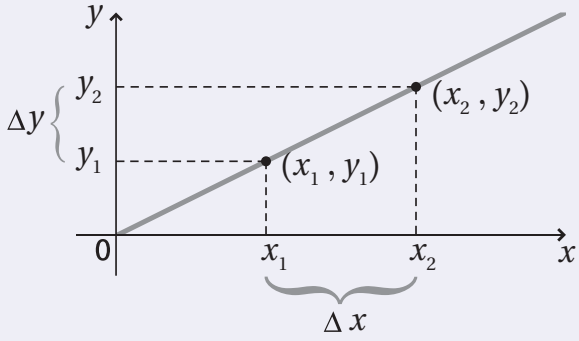
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين $(x_2 ، y_2)$ و $(x_1 ، y_1)$ ، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم أوجد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ ، حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة القوة المعيدة (المُرجعة) للنابض المثالي $\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ القوة المُرجعة و k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير القوة المرجعة للنابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد القوة المرجعة عندما تزداد استطالة النابض.

التغير العكسي Inverse Variation

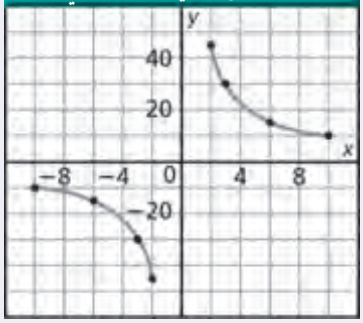
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m\,\frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا.

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

التمثيل البياني للتغير العكسي



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ؛ حيث λ الطول الموجي، و f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما ازداد تردد الموجة تناقص الطول الموجي، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

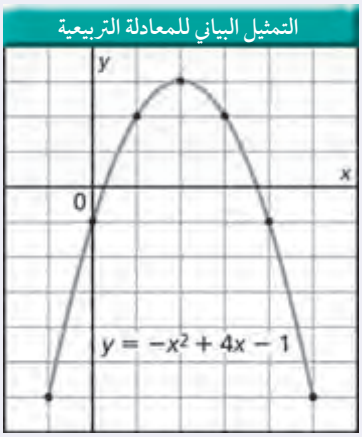
$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون في صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

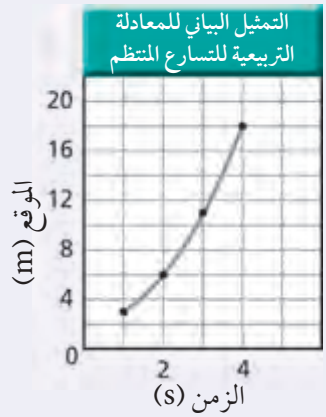
مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$.

الأزواج المرتبة	
x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع منتظم.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18



VIII. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

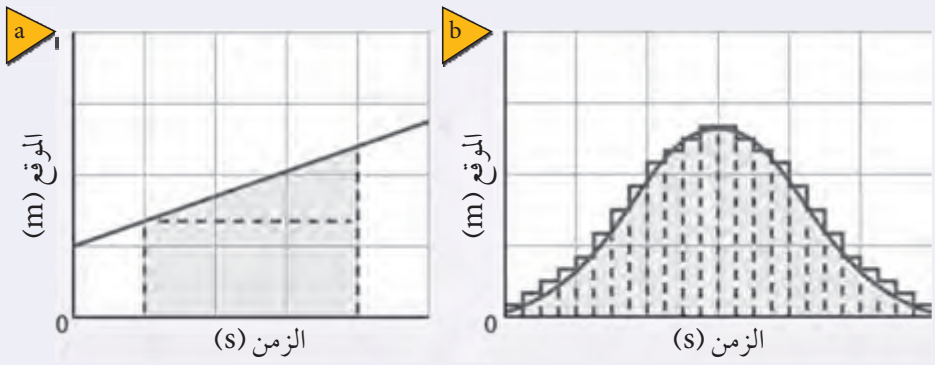
المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P = 4a$	$A = a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P = 2l + 2w$	$A = lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A = (\frac{1}{2})\, bh$		
المكعب الضلع a			$SA = 6a^2$	$V = a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C = 2\pi r$	$A = \pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA = 2\pi rh + 2\pi r^2$	$V = \pi r^2 h$
الكرة نصف القطر r			$SA = 4\pi r^2$	$V = (\frac{4}{3})\pi r^3$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. يمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

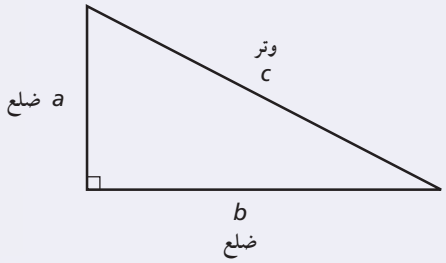
لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسِّم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق. لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي
المساحة1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي:
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

المثلثات القائمة Right Triangles

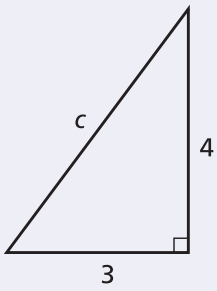


تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان b و a يمثلان قياسي ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$

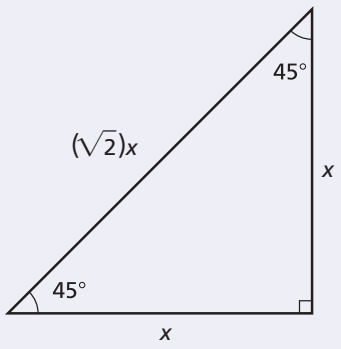
ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

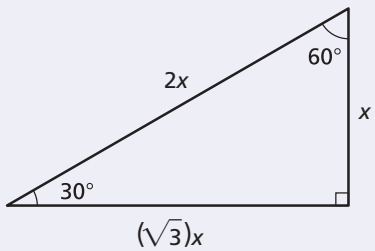
مثال: احسب طول الوتر c في المثلث حيث $a = 4$ cm و $b = 3$ cm



$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{(4\text{ cm})^2 + (3\text{ cm})^2} \\ &= \sqrt{16\text{ cm}^2 + 9\text{ cm}^2} \\ &= \sqrt{25\text{ cm}^2} \\ &= 5\text{ cm} \end{aligned}$$



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية ˚45 ، ˚45، ˚90 فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروبًا في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية ˚90، ˚60، ˚30 فإن طول الوتر يساوي ضعف طول الضلع الأصغر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مضروبًا في طول الضلع الأصغر.

النسب المثلثية Trigonometric Ratios

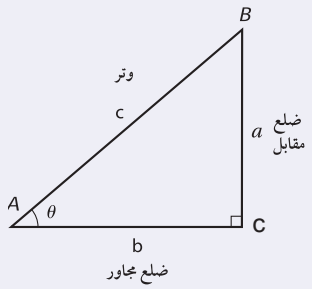
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعًا هي الجيب $\sin\theta$، والجتا $\cos\theta$ والظل $\tan\theta$. ولاختصار هذه النسب تعلم الاختصارات التالية SOH–CAH–TOA. حيث ترمز SOH إلى جيب، مقابل، الوتر، في حين ترمز CAH إلى جيب تمام، مجاور، الوتر. أما TOA فترمز إلى ظل تمام، مقابل، المجاور.

التعابير	مساعدة الذاكرة	الرموز
يشير الـ sin إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر	$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	$\sin\theta = \frac{a}{c}$
يشير الـ cos إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.	$\cos\theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	$\cos\theta = \frac{b}{c}$
يشير الـ tan إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية	$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	$\tan\theta = \frac{a}{b}$

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC. إذا كانت $a = 3\text{ cm}$ ، $b = 4\text{ cm}$ ، $c = 5\text{ cm}$ ، فأوجد كلًّا من $\cos\theta$ و $\sin\theta$

$$\sin\theta = \frac{3\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos\theta = \frac{4\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $\theta = 30.0^\circ$ ، $c = 20.0\text{ cm}$، فأوجد a و b.

$$\sin 30.0^\circ = \frac{a}{20.0\text{ cm}} \qquad \cos 30.0^\circ = \frac{b}{20.0\text{ cm}}$$

$$a = (20.0\text{ cm})(\sin 30.0^\circ) = 10.0\text{ cm}$$

$$b = (20.0\text{ cm})(\cos 30.0^\circ) = 17.3\text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

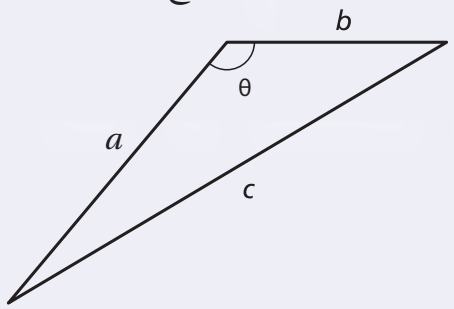
يمنحك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس ما عدا الحد الأخير. وتمثل θ الزاوية المقابلة للضلع c. فإذا كان قياس الزاوية $\theta = 90^\circ$ فإن جتا $\theta = 0$ والحد الأخير يساوي صفرًا.

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا θ يُصبح عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان $a = 10.0\text{ cm}$ ، $b = 12.0\text{ cm}$ ، $\theta = 110.0°$.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

$$= \sqrt{(10.0\text{ cm})^2 + (12.0\text{ cm})^2 - 2(10.0\text{ cm})(12.0\text{ cm})(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= \sqrt{1.00\times10^2\text{ cm}^2 + 144\text{ cm}^2 - (2.40\times10^2\text{ cm}^2)(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= 18.1\text{ cm}$$

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاثة نسب؛ حيث c، b، a الأضلاع المقابلة للزوايا C، B، A بالترتيب.

استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

مثال: في المثلث ABC إذا كان $C = 60.0°$ ، $a = 4.0\text{ cm}$، $c = 4.6\text{ cm}$، فاحسب قياس الزاوية A.

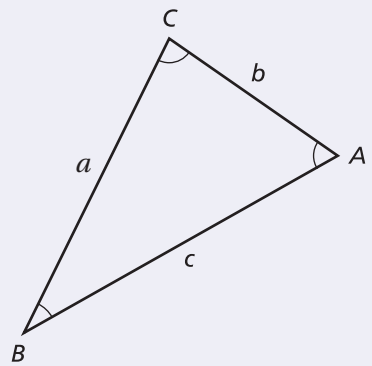
$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin C}{c}$$

$$\sin A = \frac{a\sin C}{c}$$

$$= \frac{(4.0\text{ cm})(\sin 60.0^\circ)}{4.6\text{ cm}}$$

$$= 0.75$$

$$A = 49°$$



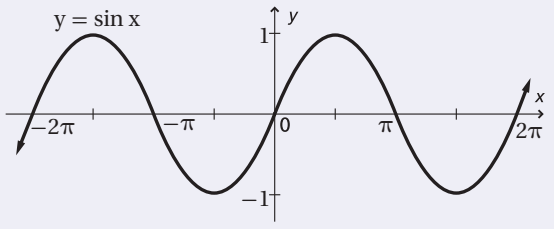
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل Inverses of Sine, Cosine, and Tangent

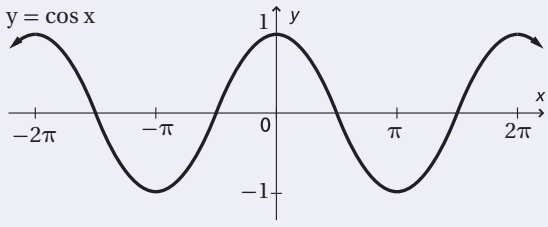
إن معكوس كل من الجيب، وجيب التمام، وظل التمام يمنحك القدرة على عكس اقترانات الجيب وجيب التمام وظل التمام، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية. والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

الاقتران المثلثي	المعكوس	
$y = \sin x$	$x = \sin^{-1} y$	أو معكوس $x = \sin y$
$y = \cos x$	$x = \cos^{-1} y$	أو معكوس $x = \cos y$
$y = \tan x$	$x = \tan^{-1} y$	أو معكوس $x = \tan y$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كلًّا من اقتران الجيب، $y = \sin x$ و اقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. والزمن الدوري لكل اقتران يساوي 2π، وتكون قيمة x أي عدد حقيقي، أما قيمة y فتكون أي عدد حقيقي بين -1 و 1.





تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	1kg = 6.02×10^{26} u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	1ev = 1.60×10^{-19} J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kWh = 3.60 MJ
1 m^3 = 264 gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	1atm = 1.01×10^5 N/m^2	1 mol= 6.022×10^{23}

البادئات		
البادئة	الرمز	التعبير العلمي
femto	f	10^{-15}
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}
dica	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
tera	T	10^{12}
peta	P	10^{15}

الجداول

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joule	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	pascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4°C)	1.000
خارصين	7.14

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
الوسط	m/s
هواء (0°C)	331
هواء (20°C)	343
هيليوم (0°C)	972
هيدروجين (0°C)	1286
ماء (25°C)	1493
ماء البحر (0°C)	1533
مطاط	1600
نحاس (25°C)	3560
حديد (25°C)	5130
زجاج التنور	5640
ألماس	12000

المصطلحات

أ

إزاحة الموجة Displacement: بُعد الموجة أو أي جزء منها عن المصدر الذي ولّدها.

الأمبير Ampere: وحدة دولية لقياس شدة التيار الكهربائي.

الأميتر Ammeter: جهاز يُستخدم لقياس شدة التيار الكهربائي ويوصل في الدائرة الكهربائية على التوالي.

الانعكاس الكلي الداخلي Total internal reflection: يحدث عندما يسقط الشعاع الضوئي في وسط معامل انكساره كبير على الحد الفاصل بينه وبين وسط آخر معامل انكساره أقل بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى انعكاس الضوء جميعه وارتداده إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر.

الانكسار Refraction: انحراف الضوء عن مساره عند انتقاله من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر مختلف عنه في الكثافة الضوئية.

الأوم Ohm: مقاومة موصل يمر فيه تيار شدته 1A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1V.

ب

البؤرة الأصلية Focus: النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الضوئية الساقطة بصورة موازية للمحور الرئيس بعد أن تنعكس عن/ تنكسر في المرآة/ العدسة.

بطن الموجة Antinode: نقطة أو منطقة تتكوّن في حالة الموجات الموقوفة، وتكون إزاحتها أو سعة اهتزازها هي الأكبر.

البعد البؤري Focal length: المسافة بين قطب المرآة وبؤرتها الأصلية.

ت

تخلخل Rarefaction: المنطقة التي تتباعد فيها جزيئات الوسط الناقل بعضها عن بعض في الموجات الطولية.

التدفق المغناطيسي Magnetic flux: عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق السطح.

التردد Frequency: عدد الاهتزازات الكاملة التي يُتمّها الجسم المهتز في الثانية الواحدة، ويُقاس بوحدة هرتز (Hz).

التردد الأساسي Fundamental frequency: أقل تردد يمكنه تكوين موجات موقوفة في وتر أو عمود هوائي.

المصطلحات

التشتت Dispersion
فصل الضوء الأبيض وتحليله إلى ألوان الطيف باستخدام منشور زجاجي أو قطرات الماء في الغلاف الجوي.

تضاغط Compression
المنطقة التي تتقارب فيها جزيئات الوسط الناقل بعضها من بعض في الموجات الطولية.

التكبير Magnification
يُقصد به كَم مرة تكُون الصورة أكبر من الجسم أو أصغر منه. وهو يساوي حاصل قسمة طول الصورة على طول الجسم، ويساوي أيضًا حاصل قسمة سالب بُعد الصورة عن العدسة/ المرآة على بُعد الجسم عنها.

ث

ثنائي القطب الكهربائي Electric dipole
منظومة مكوَّنة من شحنتين كهربائيتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع وتؤثر كل منهما في الأخرى.

ثنائية القطب المغناطيسي Magnetic dipole
تعني أن المغناطيس مستقطب؛ أي له قطبان متميزان متعاكسان: أحدهما الباحث عن الشمال ويسمى القطب الشمالي، والآخر الباحث عن الجنوب ويسمى القطب الجنوبي.

ج

جبهة الموجة Wavefront
سطح تخيلي يصل بين جميع النقاط المتساوية في الطور، وعادة ما يُرسم على شكل خط يمثّل قمة الموجة.

الجسم Object
مصدر أشعة ضوئية مضيء ذاتيًا أو مُضاء.

خ

خطوط المجال الكهربائي Electric field lines
خطوط وهمية تُستخدم لتمثيل المجال الكهربائي الفعلي أو الوسط المحيط بالشحنة.

خطوط المجال المغناطيسي Magnetic field lines
خطوط وهمية تُستخدم لتساعدنا على تصوّر المجال المغناطيسي للمغناطيس، وتزوّدنا بمقياس لشدة المجال المغناطيسي.

د

دائرة التوازي Parallel circuit
دائرة كهربائية تحتوي على مسارات متعددة للتيار الكهربائي.

المصطلحات

دائرة التوالي Series circuit
دائرة كهربائية يتم توصيل أجزائها في مسار واحد بحيث يمر التيار نفسه في كل جزء من أجزائها.

دائرة القصر Short circuit
دائرة كهربائية مقاومتها صغيرة جدًّا؛ مما يجعل التيار المارّ فيها كبيرًا جدًّا.

الدائرة المفتوحة Open circuit
الدائرة التي يكون فرق الجهد بين طرفيها صفرًا.

ر

الرنين Resonance
ظاهرة تحدث عندما يتوافق تردد جسم مهتز مع أحد الترددات الطبيعية لجسم آخر قريب منه، مما يؤدي إلى زيادة سعة الاهتزاز.

ز

زاوية الانعكاس Angle of reflection
الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط.

زاوية الانكسار Angle of refraction
الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع المنكسر.

الزاوية الحرجة Critical angle
زاوية السقوط التي ينكسر عندها الشعاع الضوئي على امتداد الحدّ الفاصل بين الوسطين.

زاوية السقوط Angle of incidence
الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط.

الزمن الدوري Period
الزمن الذي يحتاج إليه الجسم المهتز حتى يكمل دورة كاملة، ويُقاس بوحدة الثانية (s).

س

السرعة Speed
إزاحة قمة الموجة Δd في الثانية الواحدة.

السعة Amplitude
الإزاحة القصوى للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها، ويرمز لها بالحرف A.

ش

الشحنة Charge
خاصية تكتسبها الذرّات والأجسام عندما تَفقد أو تكتسب إلكترونات.

شدة التيار الكهربائي Electric current
معدل عبور الشحنات في مقطع الموصل بالنسبة إلى الزمن.

المصطلحات

ص

الصورة Image
اتحاد صور النقاط الناتجة بفعل الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة للجسم.

الصورة الحقيقية
Real image
صورة مقلوبة مصغرة أو مكبرة، تتكوّن نتيجة تجمّع الأشعة الضوئية.

الصورة الخيالية
Virtual image
الصورة المتكوّنة من تباعد الأشعة الضوئية، وتتكوّن عادة في الجهة المعاكسة للمرآة من الجسم (أو في جهة الجسم نفسه في حالة العدسات).

ط

الطول الموجي
Wavelength
أقصر مسافة بين أي نقطتين يتكرّر فيها نمط الموجة نفسه.

ع

العدسة Lens
قطعة من مادة شفافة – الزجاج أو البلاستيك مثلًا – تُستخدم في تجميع الضوء أو تفريقه وتكوين الصور.

العدسة المجمّعة
Converging lens
العدسة المحدبة، وسميت بذلك لأنها تجعل الأشعة المتوازية الساقطة عليها موازية للمحور الرئيس تتجمّع في نقطة واحدة بعد انكسارها عندما تكون محاطة بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة.

العدسة المحدبة
Convex lens
عدسة مجمّعة، سميكة في وسطها وأقل سُمكًا عند أطرافها. وتكوّن صورًا مصغّرة/ مكبرة ومقلوبة وحقيقية، أو مكبرة ومعتدلة وخيالية للجسم.

العدسة المفرّقة
Diverging lens
العدسة المقعرة، وسميت بذلك لأنها تُفرِّق الأشعة المتوازية الساقطة عليها بعد انكسارها عندما تكون محاطة بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة.

العدسة المقعّرة
Concave lens
عدسة مفرّقة، وسطها أقل سمكًا من أطرافها. وتكوّن صورًا مصغَّرة ومعتدلة وخيالية للجسم.

عقدة الموجة
Node
نقطة أو منطقة لا تتحرك تتكوّن في حالة الموجات الموقوفة، وتكون إزاحتها أو سعة اهتزازها صفر.

العمود المقام
Normal ray
خطّ وهمي عمودي على السطح العاكس عند نقطة سقوط الشعاع الضوئي على السطح.

المصطلحات

ف

فرق الجهد Potential difference
الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بين نقطتين في مجال كهربائي، مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.

فرق الطور Phase difference
التعبير عن اختلاف الطور بين نقطتين أو جسيمين أو موجتين بقياس مقدار الزاوية التي يسبق أو يتأخر بها أحدهما الآخر.

الفولت Volt
وحدة دولية لقياس فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين، ويساوي جول واحد لكل كولوم.

الفولتميتر Voltmeter
جهاز يُستخدم لقياس فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في الدائرة الكهربائية، ويوصل في الدائرة على التوازي.

ق

قاع الموجة Trough
أدنى نقطة يصل إليها الاضطراب الموجي في الموجات المستعرضة.

القاعدة الثالثة لليد اليمنى The third right– hand rule
قاعدة تُستخدم في تحديد اتجاه القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي، وموضوع في مجال مغناطيسي.

القاعدة الثانية لليد اليمنى Second right– hand rule
قاعدة تستخدم في تحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيس كهربائي بالنسبة لاتجاه سريان التيار الاصطلاحي.

قانون أوم Ohm's law
النسبة بين فرق الجهد بين طرفي موصل وشدة التيار المارّ فيه ثابتة عند ثبات درجة الحرارة.

قانون سنل في الانكسار Snell's law of refraction
ينص على أن حاصل ضرب معامل انكسار وسط السقوط في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار وسط الانكسار في جيب زاوية الانكسار.

القدرة الكهربائية Power
المعدَّل الزمني لتحوّل الطاقة الكهربائية إلى شكل آخر من أشكال الطاقة.

القطب المغناطيسي Magnetic pole
أحد طرفي المغناطيس ويكون إما شماليًّا وإما جنوبيًّا.

قمة الموجة Crest
أعلى نقطة يصل إليها الاضطراب الموجي في الموجات المستعرضة.

القوة الدافعة الكهربائية Electromotive force
المعدل الزمني للطاقة التي يبذلها مصدر القدرة في نقل وحدة الشحنات الموجبة داخله من قطبه السالب إلى قطبه الموجب.

المصطلحات

القوة الكهرومغناطيسية Electromagnatic force
القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي، وموضوع في مجال مغناطيسي.

كثافة التدفق المغناطيسي Magnetic flux density
عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تجتاز عموديًّا وحدة المساحات من السطح.

الكهرباء الساكنة Electrostatics
الشحنات الكهربائية التي تتراكم على سطح ما.

الكهرومغناطيسية Electromagnetism
الظاهرة الناشئة عن تولّد مجال مغناطيسي حول موصل يمرّ فيه تيار كهربائي.

الكولوم Coulomb
مقدار الشحنة التي إذا وضعت على بُعد 1m من أخرى مماثلة لها في الفراغ لتأثرت بقوة $9\times10^{9}N$.

المجال الكهربائي Electric field
الحيّز المحيط بالشحنة الكهربائية الذي يظهر فيه تأثير تلك الشحنة في الشحنات الأخرى الموجودة فيه.

المجال المغناطيسي Magnetic field
الحيّز المحيط بالمغناطيس وتظهر فيه آثار قوته المغناطيسية.

المحور الرئيس Principal axis
خط مستقيم متعامد مع سطح المرآة يقسمها إلى نصفين، أو امتداد الخط الواصل بين بؤرتي العدسة.

المرآة المجمِّعة Converging mirror
المرآة المقعرة، وسميت بذلك لأنها تُجمِّع الأشعة المتوازية والموازية للمحور الرئيس –بعد انعكاسها عنها– في نقطة واحدة.

المرآة المحدبة Convex mirror
سطح عاكس حوافّه منحنية المشاهد، وتكوّن صورًا معتدلة ومصغّرة وخيالية.

المرآة المفرِّقة Diverging mirror
المرآة المحدبة، وسميت بذلك لأنها تُفرِّق الأشعة المتوازية والموازية للمحور الرئيس بعد انعكاسها عنها.

المرآة المقعرة Concave mirror
سطح عاكس حوافّه منحنية المشاهد، وتكوّن صورًا معتدلة خيالية أو مقلوبة وحقيقية.

المصطلحات

معامل الانكسار Refractive index	النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في وسط ما.
المقاومة الكهربائية Resistance	مقاومة المادة لمرور الشحنات الكهربائية خلالها، وتحدد مقدار التيار الكهربائي الذي سيمرّ فيها.
مقلوب Inverted	يُقصد به أن تكون الصورة مقلوبة رأسيًّا بالنسبة للجسم، وهي من صفات الصور الحقيقية.
الملف اللولبي (الحلزوني) Solenoid	ملف طويل مكوَّن من عدّة لفّات.
المواد الفيرومغناطيسية Ferromagnetic materials	المواد التي تنجذب إلى المغناطيس بسهولة، ومن أشهرها الحديد والنيكل والكوبلت.
الموجات الصوتية تحت السمعية Infrasound	الموجات الصوتية التي يقل ترددها عن 20 Hz.
الموجات الصوتية فوق السمعية Ultrasound	الموجات الصوتية التي يزيد ترددها عن 20000 Hz.
الموجات المتحركة Travelling waves	الوجات الناتجة عن مصدر مهتز والتي تنتقل في الهواء إلى آذاننا.
الموجة Wave	اضطراب يحمل الطاقة خلال المادة (الوسط المادي) أو الفراغ، وينقلها من مكان إلى آخر.
الموجة الصوتية Sound wave	انتقال الاهتزازت (تغيرات الضغط) خلال مادة.
الموجة الطولية Longitudinal wave	الموجة التي تهتز فيها جسيمات الوسط بشكلٍ موازٍ لاتجاه انتشار الموجة.
الموجة المستعرضة Transverse wave	الموجة التي تهتزّ فيها جسيمات الوسط الناقل عموديّةً على اتجاه انتشار الموجة.
الموجة الموقوفة Standing wave	موجة ناتجة عن التقاء موجتين لهما نفس التردد والطول الموجي والسعة، وتتحركان في اتجاهين متعاكسين، حيث فرق الطور بينهما 180°.
الموصلات الأومية Ohmic	موصلات تحقق قانون أوم ضمن حدود معينة لفرق الجهد.
الموصلات غير الأومية Non – ohmic	موصلات لا تحقق قانون أوم.

المصطلحات

ن

النبضة الموجية Wave pulse
ضربة مفردة أو اضطراب ينتقل خلال الوسط.

النغمات التوافقية Harmonics
مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي.

نقطة التعادل Neutral point
النقطة التي ينعدم عندها المجال المغناطيسي.

نموذج الشعاع الضوئي Ray model of light
النموذج الذي يُمثّل الضوء بوصفه شعاعًا ينتقل في خط مستقيم، ويتغير اتجاهه فقط عند وضع حاجز في مساره.

و

الواط Watt
الوحدة الدولية لقياس القدرة الكهربائية، وتعادل جول واحد لكل ثانية (J /s).

التصويبات

رقم الصفحة	الملاحظة	التعديل

الفيزياء

أعدَّ النسخة العربية : شركة العبيكان للتعليم

التحرير والمواءمة

د.أحمد محمد رفيع

خلدون سليمان المصاروه

ربحي سعيد حميدي

التحرير اللغوي

محمد مصطفى الكشك

أحمد رمضان علي

تصميم الغلاف

أحمد بن محمد الحبيشي

إعداد الصور

متعب بن عبدالعزيز محمد الفراج

أنس بن عبدالعزيز محمد الفراج

منصور بن محمد عبدالله الفنيسان

Original Title

Glencoe Science

PHYSICS

PRINCIPLES AND PROBLEMS

By

Paul W. Zitzewitz

Todd George Elliott

David G. Haase

Kathleen A. Harper

Michael R. Herzog

Jane Bray Nelson

Jim Nelson

Charles A. Schuler

Margaret K. Zorn

العبيكان Obeikan

مراجعة وتنقيح : لجان وفرق وطنية

الطبعة الأولى للعام الأكاديمي 1437 هـ - 2016 م

www.edu.gov.qa

www.qatscience.net