وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

الفيزياء

كتاب الطالب

المستوى العاشر

PHYSICS

STUDENT BOOK

GRADE 10

الفصل الدراسي الثاني
SECOND SEMESTER

طبعة 2024-1446

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

© وزارة التربية والتعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.

لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من وزارة التربية والتعليم والتعليم العالي في دولة قطر.

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتّعاون مع شركة باسكو العلميّة.

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءْ قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءْ
قَطَرٌ سَتَبْقَى حُرَّةً تَسْمُو بِرُوحِ الأَوْفِيَاءْ
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الأُلَى وَعَلَى ضِيَاءِ الأَنْبِيَاءْ
قَطَرٌ بِقَلْبِي سِيرَةٌ عِزٌّ وَأَمْجَادُ الإِبَاءْ
قَطَرُ الرِّجَالِ الأَوَّلِين حُمَاتُنَا يَوْمَ النِّدَاءْ
وَحَمَائِمُ يَوْمَ السَّلاَمْ جَوَارِحٌ يَوْمَ الفِدَاءْ

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

إدارة التوجيه التربوي

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

المقدّمة

يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطلّاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهويستهدف جميع المعارف والمهارات الّتي يحتاجها الطلّاب للنّجاح في تنمية المهارات الحياتيّة وبعض المهارات في الموادّ الأخرى.

وبما أنّنا نهدف إلى أن يكون طلّابنا مميّزين، نودّ منهم أن يتّسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التّفكير بشكلٍ ناقدٍ وبنّاء.
- الثّقة بقدرتهم على اتّباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التّقارير، وإنتاج الرّسوم البيانيّة، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزّملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التّمرّس في التّفكير الإبداعيّ.
- التّمسّك باحترام المبادئ الأخلاقيّة والقيم الإنسانيّة.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدّراسيّة بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلميّة الّتي تتوافق مع أعمار الطّلاب، والّتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدّراسيّة لتتوافق مع الإطار العامّ للمنهج الوطنيّ القطريّ بغية ضمان حصول الطّلّاب على المعارف والمهارات العلميّة وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكفايات) ما يجعل أداء الطّلاب يصل إلى الحدّ الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتّنوّع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطّالب.
- توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لكلّ عام دراسيٍّ ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التّنوّع والتّطوّر.
- تعدّد الدّروس في كلّ وحدة، بحيث يعالج كلّ درس موضوعًا جديدًا، منطلقًا ممّا تمّ اكتسابه في الدّروس السّابقة.
- إتاحة الفرصة للطّلّاب، في كلّ درسٍ، للتّحقّق الذّاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.

- احتواء كلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم للوحدة، وهو ما يمكّن الطّلّاب والأهل والمدرّسين من تتبّع التّعلّم والأداء.

العلوم مجموعة من المعارف الّتي تشمل الحقائق والأشكال والنّظريّات والأفكار. ولكنَّ العالِم الجيّد يفهم أنّ «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهمّيّة من المعرفة الّتي تحتويها.

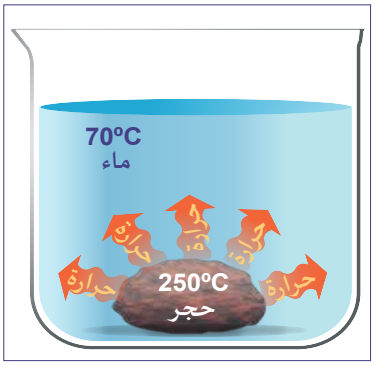
سوف يساعد هذا الكتاب الطُّلّاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين وليواجهوا مجموعة واسعة من التّحدّيات في حياتهم المهنيّة المستقبليّة.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

- الاستقصاء والبحث
- التّعاون والمشاركة
- التّواصل
- التّفكير الإبداعيّ والناقد
- حلّ المشكلات
- الكفاية العددية
- الكفاية اللغويّة

الفيزياء

ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب



تتدفق الحرارة من درجة الحرارة الأعلى إلى درجة الحرارة الأدنى

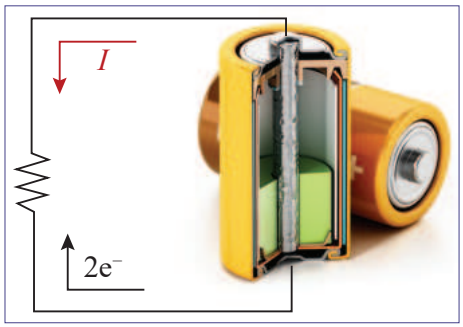
ستدرس في الوحدة الثالثة عن المواد، حيث تتكون المواد العادية من جُسميات مُتناهية في الصغر ،كالذرات والجُزيئات مثلًا، والتي ينتج عن حركتها طاقة تُسمّى "الحرارة"، هذه الحرارة تتدفّق نتيجة للاختلاف في درجة ارتفاعها وانخفاضها: تكون المادة عند درجات الحرارة المُنخفضة في الحالة الصلبة، وتكون جُسيماتها مترابطة. ومع ارتفاع درجة الحرارة، تزداد حركة الجُسيمات أكثر وتصبح المادة في "الحالة السائلة". وعند درجات الحرارة الأعلى، تتباعد الجُسيمات مُشكّلة "الحالة الغازية".

تدرس الوحدة الرابعة الموجات. تُعرّف الموجات بأنها اهتزازات مُنتقلة تحمل معها الطاقة والمعلومات من مكان إلى آخر. يُعدّ كلٌّ من الصوت والضوء وحركة سطح الماء أمثلة شائعة على الموجات.

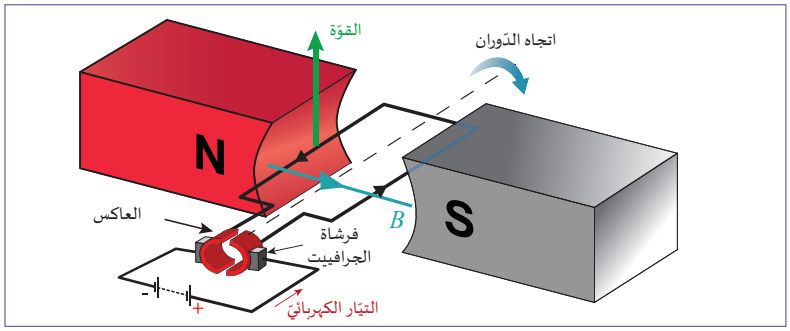
تموّجات في بركة هي مثال عن موجة.

تُناقش الوحدة الخامسة الكهرباء. وهي تدفّق للتيار الكهربائي نتيجة لفرق الجهد. يُعرَّف التيار الكهربائي في المستوى الذرّي بأنّه تدفق لجُسيمات مشحونة. تكون هذه الجُسيمات في الغالب هي «الإلكترونيات»، حيث يحمل التيار الكهربائي معه الطاقة والقُدرة في الداوئر الكهربائية. تعتمد شدّة التيار الكهربائي على مقدار مقاومة الدائرة الكهربائية.

تتمحوّر الوحدة الأخيرة في هذا الفصل حول الكهرومغناطيسية. المغناطيسية هي خاصيّة في بعض المواد والأجهزة الكهربائية ينتج عنها قوى تجاذب وتنافر بين الأجسام. يُمكن للتيار الكهربائي أن ينُتج المغناطيسية. القوى المغناطيسية الناتجة عن التيارات الكهربائيّة هي المبدأ المُعتمد في تشغيل المحرّك الكهربائي والأجهزة الكهربائية الأخري الأخرى كالملفّ مثلاً.



البُنية الداخلية للبطارية القلويّة



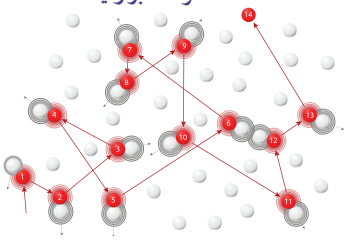
مُحرّك كهربائيّ بسيط.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

مفاهيم مهمّة وبيانات وأمثلة على كل فكرة جديدة معروضة من خلال الإيضاحات المُفصَّلة والشروحات.

الحركة البراونيّة



أسئلة للمناقشة

ما الدليل على أنّ المادة تتكوّن من ذرّات؟

أسئلة المناقشة تزوّد طلّاب الصفّ بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات.

شريط الأفكار المهمّة

تتحرّك الموجات دائمًا مُتعامِدة مع جهتها.

تحديد النقاط الرّئيسة وتذكُّرها.

العلاقات والمعادلات

6-3	السعة الحراريّة النوعيّة		
$Q = mc\Delta T$	الطاقة الحراريّة أو الحرارة (J)	Q	
	الكتلة (m)	m	
	السعة الحراريّة النوعيّة (J/kg°C)	c	
	التغيّر في درجة الحرارة (C°)	ΔT	

مُثِّلت علاقات الكمّيّات الفيزيائيّة من خلال المُتغيّرات ووحدات قياسها بشكل واضح.

الأمثلة

مثال 4

ينتقل شعاع ضوئي من الهواء ($n_{air} = 1.0$) إلى ماء المحيط، فينحرف وفقًا للشكل **24-4**. ما مُعامِل انكسار الماء؟

المطلوب: مُعامِل انكسار الماء n_{water}

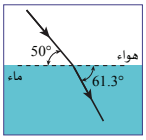
المُعطيات: مُعامِل انكسار الهواء $n_{air} = 1.0$

العلاقات: $n_i \sin\theta_i = n_r \sin\theta_r$

الحل: زاوية السقوط هي:

$\theta_i = 90° - 50° = 40°$

وزاوية الانكسار هي:



الشكل 24-4

تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحلّ والتفسير للحصول على حسابات صحيحة.

العلم والعلماء

ضوء على العلماء

ابن الهيثم: 965-1040

كان الحسن بن الهيثم فيزيائيًا ورياضيًا وفلكيًا عربيًا معروفًا. اشتهر بإسهاماته في مجال فيزياء البصريات، وعُرف على نطاق واسع باسم "أبي البصريات الحديثة". وُلد ابن الهيثم سنة 965 م في البصرة بالعراق. بدأ أولًا بدراسة العقيدة الإسلامية، ثمّ توجّه إلى دراسة العلوم والرياضيات.

مهاراته في الرياضيات التطبيقية أكسبته شُهرة كبيرة في البصرة. ما مهّد له طريق الانتقال إلى القاهرة لتنظيم فيضان النيل. ولكنه أخفق في هذا المشروع، فانصرف إلى تدوين كتابه الشهير في البصريات (المناظر).

الشكل 4-58 ابن الهيثم (965-1040).

تمّ تطوير معارفنا العلميّة على مدى أكثر من ثلاثة آلاف عام. تُطلعُنا هذه المقالات على إلهام الإنسان وتبصُّرِه في التعامُل مع العلم والتكنولوجيا.

الفيزياء

الأنشطة والمراجعة والتّقويم

الأنشطة

التدرُّب العملي من خلال المُختبر والمشاريع البحثيّة وسواهما من الأنشطة التي تُرسّخ معاني الأفكار الجديدة وتطوُّر العمل المخبري.

نشاط 3-1 الحركة البراونيّة

سؤال الاستقصاء	هل بالإمكان مُلاحظة تأثيرات الذرّات؟
المواد المطلوبة	خليّة دخان مع ضوء وعدسة، مِجهَر، مصدر طاقة، عود ثقاب، ماصّة ورقيّة.

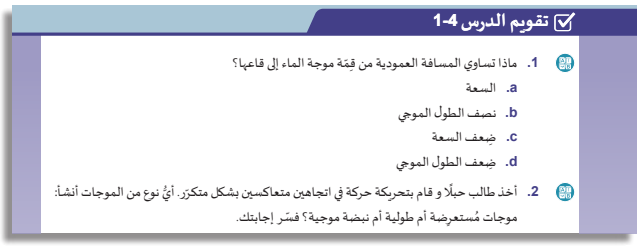
خطوات التجربة

1. نُجري هذه التجربة ضمن مجموعات ثنائيّة.
2. تحتاج خليّة الدخان إلى مسحها جيدًا قبل أداء التجربة.
3. قم بإشعال الماصّة الورقيّة من أحد طرفَيها باستخدام عود

المجهر

تقويم الدّرس

يتميّز كل درس بعرض يحتوي على الأسئلة التي تُغطّي جميع المفاهيم والمعلومات في هذا الدرس.


تقويم الدرس 4-1

1. ماذا تساوي المسافة العمودية من قمّة موجة الماء إلى قاعها؟
   a. السعة
   b. نصف الطول الموجي
   c. ضِعف السعة
   d. ضِعف الطول الموجي
2. أخذ طالب حبلًا و قام بتحريكه حركة في اتجاهين متعاكسين بشكل متكرّر. أيُّ نوع من الموجات أنشأ: موجات مُستعرِضة أم طولية أم نبضة موجية؟ فسّر إجابتك.

مراجعة الوحدة

ملخّص قصير عند نهاية كل وحدة، وهو مرجع سريع للأفكار والمُصطلحات الرئيسية.

الوحدة 3
مراجعة الوحدة

الدرس 3-1: النموذج الجُزيئي الحركي

- كلّ ما حولنا يتكوّن من المادة Matter التي تتكوّن بدورها من الذرّات والجُزيئات.
- تَصِف النظريّة الحركيّة Kinetic theory السلوك الذي تتصرّف وفقه الذرّات والجُزيئات في أطوار المادة Phases of matter المُختلفة.
- تكون القوى الجُزيئيّة intermolecular forces قويّة جدًّا في الأجسام الصلبة.
- تكون الذرّات أوالجُزيئات في الغاز Gas مُتباعدة وحُرّة الحركة.

تقويم الوحدة

زوّدت كل وحدة بمجموعة من أسئلة الاختيار من متعدد كعيّنة تحضّر الطالب لاختبار نموذجي.

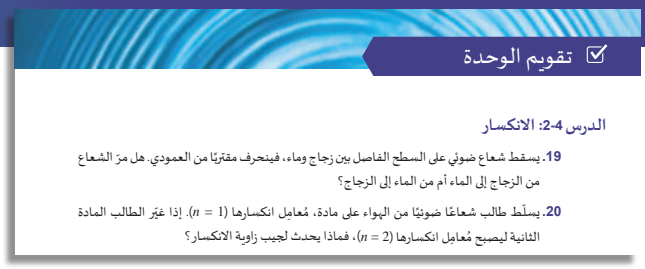
تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدّد

1. ما الوصف الصحيح لمخطّطات الحالات الثلاث للمادة؟
   a. X: الصلب، Y: السائل، Z: الغاز.
   b. X: الغاز، Y: السائل، Z: الصلب.
   c. X: السائل Y: الصلب، Z: الغاز.
   d. X: السائل، Y: الغاز، Z: الصلب.

أسئلة الإجابة القصيرة

أسئلة الإجابة القصيرة وأسئلة الإجابة المطوّلة بُنيتا على مُستويات ثلاثة من الصعوبة في نهاية كل وحدة.


تقويم الوحدة

الدرس 4-2: الانكسار

19. يسقط شعاع ضوئي على السطح الفاصل بين زجاج وماء، فينحرف مقتربًا من العمودي. هل مرّ الشعاع من الزجاج إلى الماء أم من الماء إلى الزجاج؟
20. يسلّط طالب شعاعًا ضوئيًا من الهواء على مادة، مُعامِل انكسارها ($n = 1$). إذا غيّر الطالب المادة الثانية ليصبح مُعامِل انكسارها ($n = 2$)، فماذا يحدث لجيب زاوية الانكسار؟

مخطّط المادّة

الوحدة 3 طبيعة المادة

تقيس درجة الحرارة الطاقة الحركيّة لجُسيمات المادة، أمّا الحرارة فهي تدفّق للطاقة الحرارية من درجات حرارة أعلى إلى درجات حرارة أدنى. تصِف الحرارة النوعيّة كميّة الطاقة لكل درجة لكل كيلو جرام.

الوحدة 4 الموجات

الموجة هي اهتزاز مُنتقّل يحمل خصائص من تردّدٍ وطولٍ موجيّ وسعةٍ. يُصنَّف الضوء على أنّه موجة كهرومغناطيسيّة يُمكن أن تنتقل عبر الفراغ. يُمكن تمثيل شكل الموجة وحركتها باستخدام جبهة الموجة، لكنّ تمثيل موجات الضوء بواسطة الأشعة يكون أسهل. يحدث انكسار الضوء عندما يعبر الضوء السطح الفاصل بين وسطين، حيث يُستخدَم انكسار الضوء في الأسطح التي تُحني العدسات لتكوين الصُور.

الوحدة 5 أساسيّات الكهرباء التيّاريّة

التيار الكهربائي هو تدفّق للشحنة الكهربائية نتيجة لفرق الجهد بين نُقطتين في دائرة كهربائيّة. يُعرّف "الجهد الكهربائي" بأنّه الفرق في طاقة الوضع الكهربائية. تتناسب كميّة التيار الكهربائي المُتدفقة طرديًا مع الجهد الكهربائي وعكسيًا مع مقاومة الدائرة الكهربائية. يُمكن أن تكون الدائرة الكهربائية متصلة بنمطَيْن أساسيَّيْن: التوالي والتوازي.

الوحدة 6 الكهرومغناطيسيّة

تُعدّ القوى المغناطيسيّة الناتجة بواسطة التيارات الكهربائية مبدأ العمل الأساسي للمُحرّك الكهربائي.

جدول المحتويات

الوحدة 3 طبيعة المادة 2
الدرس 3-1 درجة الحرارة والحرارة 4
الدرس 3-2 السعة الحرارية النوعيّة والحرارة الكامنة النوعيّة 13

الوحدة 4 الموجات 32
الدرس 4-1 خصائص الموجات 34
الدرس 4-2 الانكسار 40
الدرس 4-3 العدسات والصور 53

الوحدة 5 أساسيّات الكهرباء التيّاريّة 72
الدرس 5-1 التيّار الكهربائي، والجهد الكهربائي، والمقاومة الكهربائية 74
الدرس 5-2 الدوائر الكهربائية المُركّبة 88

الوحدة 6 الكهرومغناطيسيّة 112
الدرس 6-1 المجالات المغناطيسيّة 114
الدرس 6-2 القوّة المغناطيسيّة والمحرّكات الكهربائيّة 125

الوحدة 3
طبيعة المادة
Nature of matter

في هذه الوحدة

الدرس 3-1: درجة الحرارة والحرارة

الدرس 3-2: السعة الحرارية النوعيّة والحرارة الكامنة النوعيّة

P1005
P1006
P1007

3 الوحدة

مقدّمة الوحدة

عندما نستخدم مُفردتَي "بارد" و "ساخن" في الفيزياء، فإننا لا نقصد بهما الحرارة، بل إننا نصف بهما درجة الحرارة. فمفردة "بارد" تعني درجة حرارة مُنخفضة ومفردة "ساخن" تعني درجة حرارة مُرتفعة.

ظلّت الحقيقة التي تتعلّق بدرجة الحرارة والعلاقة بين درجة الحرارة والحرارة غامضةً لآلاف السنين. اليوم فقط، أصبحنا نفهم أنّ درجة الحرارة هي مقياس للطاقة الحركيّة للذرّات أو الجُزيئات.

تتيح معرفة السعة الحرارية النوعيّة فهم السبب الذي يجعل المواد المختلفة تحتاج إلى مزيد من الطاقة لتغيير درجة حرارتها. وقد أمكن تفسير التغيّر في الحالة من خلال النظريّة الحركيّة.

الأنشطة والتجارب

1-3 مُعايرة مقياس درجة الحرارة

a2-3 السعة الحراريّة النوعيّة

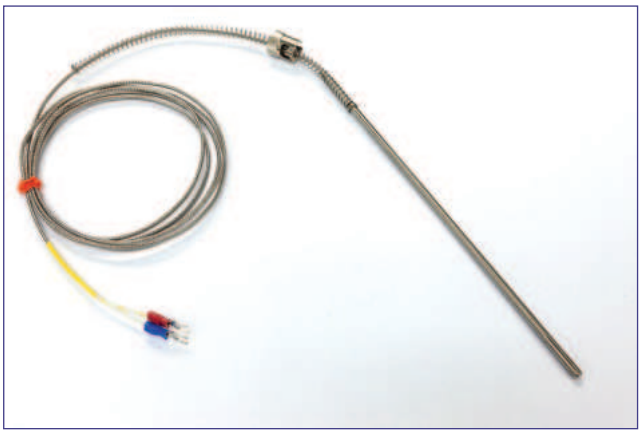
b2-3 الحرارة الكامنة النوعية للانصهار

الدرس 3-1

درجة الحرارة والحرارة
Temperature and Heat

ينتشر عدد من الأنواع المُختلفة لمقاييس درجة الحرارة (الثرموميتر) ولمُستشعرات درجة الحرارة في العالم اليوم. ويشيع استخدام المزدوج الحراري خاصةً في التطبيقات الصناعية **الشكل 3-1**، وهو أداة استشعار كهربائية تتكوّن من سلكَين مصنوعَين من مواد فلزيّة مُختلفة.

تتّصل هذه الأسلاك بنقطتين، أو عُقدتين، يُنتِج الاختلاف في درجة الحرارة بينهما جهدًا كهربائيًّا، يُحفّز قراءة درجة الحرارة.



الشكل 3-1 المزدوج الحراري.

مخرجات التّعلُّم

P1006.1 يتذكر أن درجة حرارة المادة هي مقياس لمتوسط الطاقة الحركية لجزيئاتها بسبب حركتها العشوائية.

P1006.2 يوضح ممّا يتركب مقياس درجة الحرارة (الثرموميتر)، وكيف يمكن التحويل بين أنظمة درجات الحرارة المختلفة.

P1006.3 يصف الطاقة الحرارية المخزنة في جسم على أنها طاقة الجزيئات الكلية بسبب حركتها العشوائية.

P1006.4 يدرك أن الطاقة الحرارية تنتقل من منطقة ذات درجة حرارة مرتفعة إلى منطقة ذات درجة حرارة منخفضة، وأن المناطق ذات درجات الحرارة المتساوية تكون في حالة اتزان حراري.

المفردات

Pressure	الضغط
Thermometer	مقياس درجة الحرارة
Kinetic energy	الطاقة الحركيّة
Temperature	درجة الحرارة
Celsius scale	المقياس السيليزي
Fahrenheit scale	المقياس الفهرنهايتي
Absolute zero	الصِفر المُطلق
Kelvin scale	المقياس المُطلق (كلفن)
Thermal energy	الطاقة الحرارية
Heat	الحرارة
Thermal equilibrium	الاتّزان الحراري
Calibration	المُعايرة

مقياس درجة الحرارة السائل

مقياس درجة الحرارة Thermometer جهاز يُستخدَم لقياس درجة الحرارة. ورغم انتشار عدد كبير من مقاييس درجة الحرارة الرقميّة المُختلفة اليوم، فإنّ مقياس درجة الحرارة الزجاجي الذي يحتوي على سائل لايزال يُستخدَم بشكل واسع. يُوضّح **الشكل 3-2** مقياس درجة حرارة زجاجيًّا يحتوي على الكحول، ومقياس درجة حرارة يحتوي على الزئبق.

الشكل 3-2 مقياس درجة الحرارة السائل.

السائل المُستخدَم في مقياس درجة الحرارة

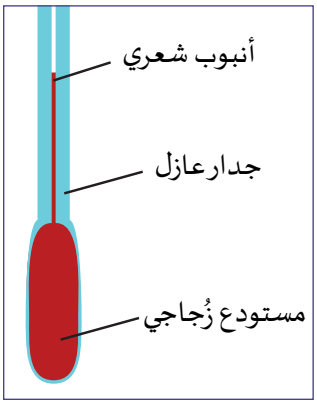
تُعدُّ خاصيّة تمدُّد السائل وتقلُّصه وفق التغيّرات التي تطرأ على درجة الحرارة خاصيّة مُفيدة في مقياس درجة الحرارة. لكنْ هل يعني ذلك أنّ استخدام أيّ نوع من السوائل سيكون مُفيدًا في هذا المقياس؟ الإجابة هي لا، لأن السائل المُستخدَم يجب أن يتميّز بالخصائص الآتية:

- يجب أن يكون تمدُّد السائل وتقلُّصه مُنتظمَيْن مع تغيُّر درجة الحرارة.
- يجب أن يكون السائل حسّاسًا بما يكفي للكشف عن التغيُّرات الصغيرة في درجة الحرارة.
- يجب أن يكون للسائل درجة تجمّد مُنخفضة ودرجة غليان مُرتفعة، لئلّا يتحوّل السائل إلى الحالة الصلبة أو الحالة الغازيّة، بما يتيح مدىً بإجراء قياس على نطاق واسع من درجات الحرارة.

أجزاء مقياس درجة الحرارة السائل

يتكوّن مقياس درجة الحرارة الزجاجي من مستودع زجاجي يُختزن فيه السائل. يُصنع المستودع من زجاج رقيق يجعله عالي الحساسية.

يتصل المستودع بأنبوب رفيع يُسمّى "الأنبوب الشعري". ويكون رفيعًا جدًا ليزيد من مدى قياس مقياس درجة الحرارة. تسمح الأنابيب الشعرية الأرفع بملاحظة أقلّ التغيّرات في درجات الحرارة. ويكون الأنبوب الشعري هذا معزولاً، لئلّا يتأثّر بدرجة الحرارة المقروءة.



الشكل 3-3 أجزاء مقياس درجة الحرارة.

1. أجرِ بحثًا حول درجة الغليان ودرجة التجمّد لكل من الكحول والزئبق.
2. استخدم بحثك لتبيّن السبب الذي يجعل مقياس درجة الحرارة الكحولي مناسبًا أكثر في قياس درجات الحرارة المُنخفضة.
3. لماذا يكون مقياس درجة الحرارة الزئبقي مناسبًا أكثر في قياس درجات الحرارة المُرتفعة؟

درجة الحرارة

علميًا، لا تُشير مُفردتا "بارد" و"ساخن" إلى الحرارة، بل إنّهما تَصِفان درجة الحرارة. تعني مُفردة "ساخن" درجة حرارة مرتفعة، أمّا مفردة "بارد" فتعني درجة حرارة مُنخفضة. تُعدُّ الحرارة شكلًا من أشكال الطاقة، أمّا درجة الحرارة فأمرها مُختلف تمامًا. يستشعر الإنسان وبعض الحيوانات درجة الحرارة على أنها خاضعة لحاسة اللمس. إلّا أنّ إحساسنا بدرجة الحرارة ليس دقيقًا جدًا. فإذا كنت في غرفة درجة حرارتها 20°C ثمّ انتقلت إلى غرفة درجة حرارتها 25°C، فسوف تشعر بالدفء. وإذا كنت في غرفة درجة حرارتها 30°C ثمّ انتقلت إلى الغرفة نفسها التي تبلغ درجة حرارتها 25°C فسوف تشعر بالبرودة. لذلك لا بد من استخدام مقياس درجة الحرارة، لتحديد الشعور الدقيق بدرجة الحرارة.

تشرح نظريّة **الطاقة الحركيّة Kinetic energy** بأنّ الذرّات والجُزيئات تهتز وتتصادم مع بعضها تريليونات المرات في كل ثانية. تنجم هذه الحركة للذرات والجُزيئات عن طاقة الحركة.

تقيس **درجة الحرارة Temperature** متوسّط الطاقة الحركية للذرّات والجُزيئات. وتعني درجات الحرارة المُرتفعة أنّ الذرّات المُفردة في المادة تتحرّك على المستوى المجهري (الميكروسكوبي) بطاقة حركيّة أكبر.

من المُهم إجراء قياس دقيق لدرجة الحرارة في العديد من التطبيقات المُستخدمة في مجال الصحة والتكنولوجيا. حيث تُستخدم مقاييس مختلفة لدرجة الحرارة في تلك التطبيقات.

يُوضّح **الشكل 4-3** أنواعًا مُختلفة من مقياس درجة الحرارة (ثرموميتر).

الشكل 4-3 قياس درجة الحرارة.

- يتغيّر الكثير من خصائص المادة عندما تتغيّر درجة حرارتها؛ فبعض المواد تتمدّد فيزداد حجمها، مثل الزئبق والكحول، وبعض المواد تتغير حالتها، أو لونها. ومواد أخرى تتغير مقاومتها الكهربائية..
- تمّ ابتكار الكثير من مقاييس درجة الحرارة، اعتمادًا على استخدام الخصائص المُختلفة للمادة، ومنها التمدّد.
- تشتمل كثير من التقنيات الحديثة على مُستشعرات لدرجة الحرارة، كالثيرموستات، الذي يُعدّ جُزءًا من مقياس درجة حرارة إلكتروني أو رقمي.

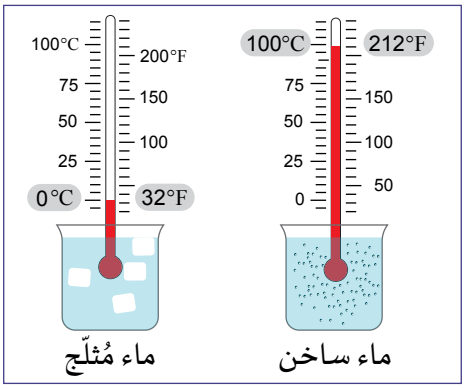
تقيس درجة الحرارة متوسّط الطاقة الحركيّة لحركة الذرّات والجُزيئات العشوائيّة.

ارسم مُخطّطًا لذرات تُمثّل درجات الحرارة الباردة والساخنة في كل من الأجسام:

- الصلبة.
- السائلة.
- الغازيّة.

مقاييس درجة الحرارة

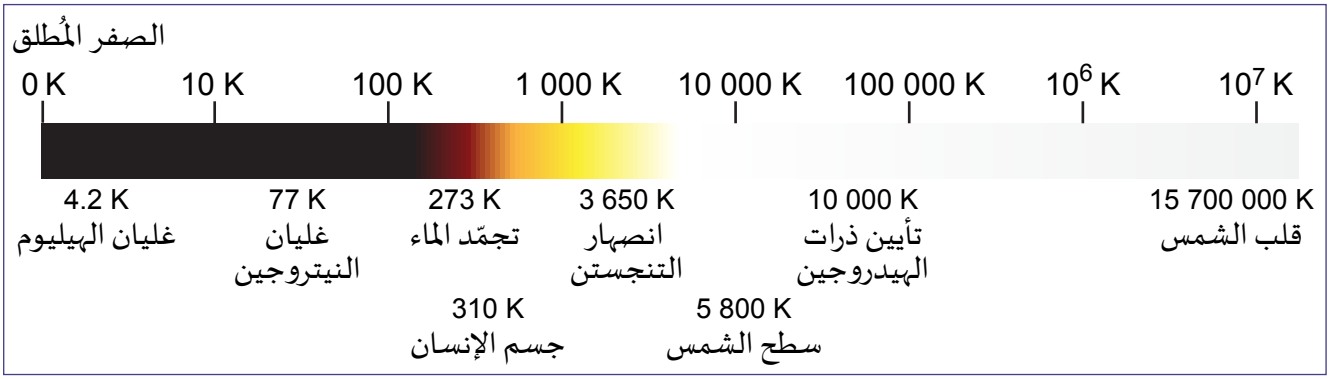
لا يُستخدم **مقياس فهرنهايت Fahrenheit scale** في المجال العلمي اليوم، لكنّه يُستخدم لإجراء قياسات لدرجة الحرارة في الولايات المتحدة الأمريكيّة. وهو أول مقياس درجة حرارة فعلي، كان العالم دانييل فهرنهايت قد أوجده عام 1742، ووضع 0°F لتكون أخفض درجة حرارة يمكن أن يبلغها خليط مُتجمّد من الماء والملح. وقد حاول تعريف 100°F لتكون درجة حرارة جسم الإنسان؛ لكنّه لم يتمكّن من إجراء قياسات دقيقة لذلك. يحتوي مقياس فهرنهايت على 180 درجة فهرنهايتيّة (°F) بين درجتَي غليان الماء وتجمّده. حيث يتجمّد الماء عند 32°F ويغلي عند 212°F (**الشكل 5-3**).



الشكل 5-3 مقياسا درجة الحرارة السيليزي والفهرنهايتي.

يُعرّف **المقياس السيليزي Celsius scale** كل درجة على أنّها $\frac{1}{100}$ من الفرق في درجة الحرارة بين درجتَي تجمّد الماء وغليانه. وقد طوّره العالم أندريه سلسيوس عام 1744. حيث استخدم في المقياس السيليزي نقاطًا مرجعيّة أكثر موثوقيّة من المقياس الفهرنهايتي، وجعل 100 درجة بين درجتَي تجمّد الماء وغليانه، بحيث يتجمّد الماء عند 0°C ويغلي عند 100°C. أصبح المقياس السيليزي يُستخدم في المجال العلمي على نطاق عالمي، حيث تُجرى به القياسات العامة لدرجة الحرارة.

يستخدم **المقياس المُطلق (كلفن) Kelvin scale (K)** وحدات درجة الحرارة نفسها المُستخدمة في مقياس الدرجة السيليزي، لكن المقياس المُطلق يبدأ من **الصفر المُطلق Absolute zero** الذي يُعدّ أدنى درجة حرارة مُمكنة على الإطلاق تكون فيها طاقة الجُسيم الاهتزازية صفرًا، وهي تُكافئ 273.15°C–، (459.7°F–)، وتُعتبر أدنى درجة حرارة تصل إليها المادة، لذلك يمتلك المقياس المُطلق قيَمًا موجبة فقط من درجات الحرارة (**الشكل 6-3**).



الشكل 6-3 مقياس درجة الحرارة المطلق (كلفن).

وبما أنّ المقياس المُطلق يعتمد على الصفر المُطلق، فإنّ القيَم في هذا المقياس تُسمّى عادة "الدرجات المُطلقة". ومن الجدير بالذكر أنّ مُعظم المعادلات المُرتبطة بالحرارة، ومنها القانون العام للغازات، تُستخدم فيها درجة الحرارة المُطلقة بوحدة الكلفن. لاحظ أنّ الوحدات في المقياس المُطلق تُسمّى "الكلفن" (K) ولا يُستخدم فيها تعبير الدرجه(°).

التحويل بين مقاييس درجات الحرارة السيليزي والفهرنهايتي والمطلق

تسمح لنا **المعادلات 3-3**، و **4-3**، و **5-3** بالتحويل بين مقاييس درجة الحرارة الثلاثة، مع الانتباه لضرورة تحويل درجة الحرارة في مقياس فهرنهايت إلى المقياس السيليزي أوّلاً، قبل التحويل إلى المقياس المُطلق.

1-3 التحويل من المقياس الفهرنهايتي إلى المقياس السيليزي

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$$

T_C	درجة الحرارة على المقياس السيليزي (°C)	
T_F	درجة الحرارة على المقياس الفهرنهايتي (°F)	

2-3 التحويل من المقياس السيليزي إلى المقياس الفهرنهايتي

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

T_F	درجة الحرارة على المقياس الفهرنهايتي (°F)	
T_C	درجة الحرارة على المقياس السيليزي (°C)	

3-3 التحويل من المقياس السيليزي إلى المقياس المطلق

$$T_K = T_C + 273.15$$

T_K	درجة الحرارة المطلقة (K)	
T_C	درجة الحرارة على المقياس السيليزي (°C)	

مثال 1

حوّل درجة الحرارة 40°C إلى المقياس الفهرنهايتي.

المطلوب: درجة الحرارة بالمقياس الفهرنهايتي T_F

المُعطيات: $T_c = 40°C$

العلاقات: $T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$

الحل: $T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 = \frac{9}{5}(40) + 32 = 104°F$

مثال 2

a. حوّل درجة الحرارة 30°C إلى المقياس المطلق.

b. حوّل درجة الحرارة 500 K إلى المقياس السيليزي والفهرنهايتي.

المطلوب: درجة الحرارة المُطلقة بوحدة °C ووحدة الكلفن K، والفهرنهايت °F

المُعطيات: $T_c = 30$ C و $T_k = 500$ K

العلاقات: $T_K = T_C + 273.15$ $\quad T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$

الحلّ:

a. $T_K = T_C + 273.15 = 30 + 273.15 = 303.15$ K

b. $T_K = T_C + 273.15 \rightarrow T_C = T_K - 273.15$

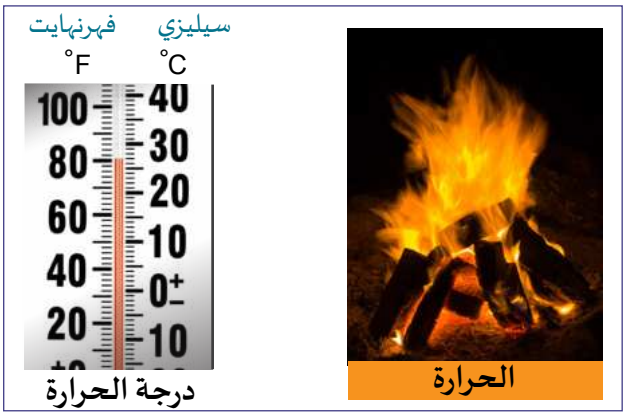
$= 500 - 273.15 = 226.85°C$

$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 = \frac{9}{5}(226.85) + 32 = 440.33°F$

الطاقة الحراريّة

ترد في أحاديثنا الاعتيادية مُفردات الحرارة، والطاقة الحرارية، ودرجة الحرارة، إلّا أنّ لها معاني مُختلفة في الفيزياء. وكما تعلّمنا سابقًا، فإنّ درجة الحرارة تَصِفُ مُتوسّط الطاقة الحركيّة في الحركة العشوائيّة لكل ذرّة أو جُزيء. أما **الطاقة الحرارية Thermal energy** فهي كميّة الطاقة الكُليّة الناتجة عن درجة الحرارة في كمية من المادة تحتوي على الكثير من الذرات أو الجُزيئات. تُقاس الطاقة الحرارية بوحدة الجول (J).

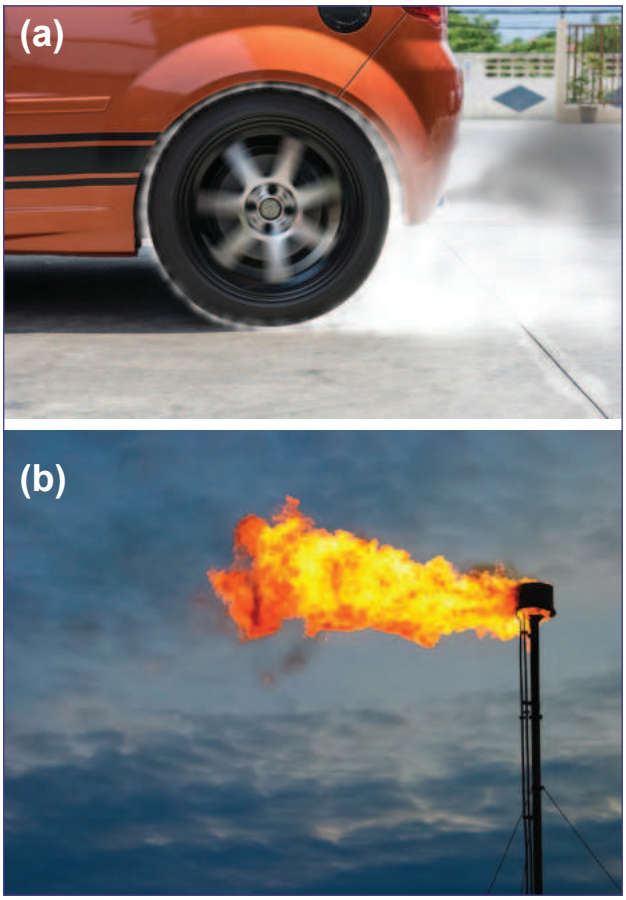
وتُعرف **الحرارة Heat** بأنّها الطاقة الحرارية التي يُمكن أن تنتقل من جسم إلى آخر بسبب الاختلاف بينهما في درجة الحرارة، فتتدفّق الحرارة من الجسم الأسخن إلى الجسم الأبرد. تُعدُّ النار مثالًا على مصدر حراري (**الشكل 3-7**)، حيث تنتقل الطاقة الحرارية منها إلى الأجسام ذات درجات الحرارة الأقل.



الشكل 3-7 درجة الحرارة والحرارة.

الحرارة من الاحتكاك

تتحوّل أشكال الطاقة المُختلفة إلى حرارة. وتُعدّ الحرارة المتولّدة عن الاحتكاك من أكثر الأمثلة الشائعة على ذلك (**الشكل 3-8 a**). يتحوّل الشغل المبذول ضدّ الاحتكاك بشكل جُزئي إلى حرارة. فقوة احتكاك مقدارها 1 N تؤثّر على مسافة 1 m تحوّل شُغلاً مقداره 1 J إلى حرارة فتصبح الأجزاء المتحرّكة أكثر سخونة ويمكن أن تنصهر نتيجة الحرارة المتولّدة عن الاحتكاك.



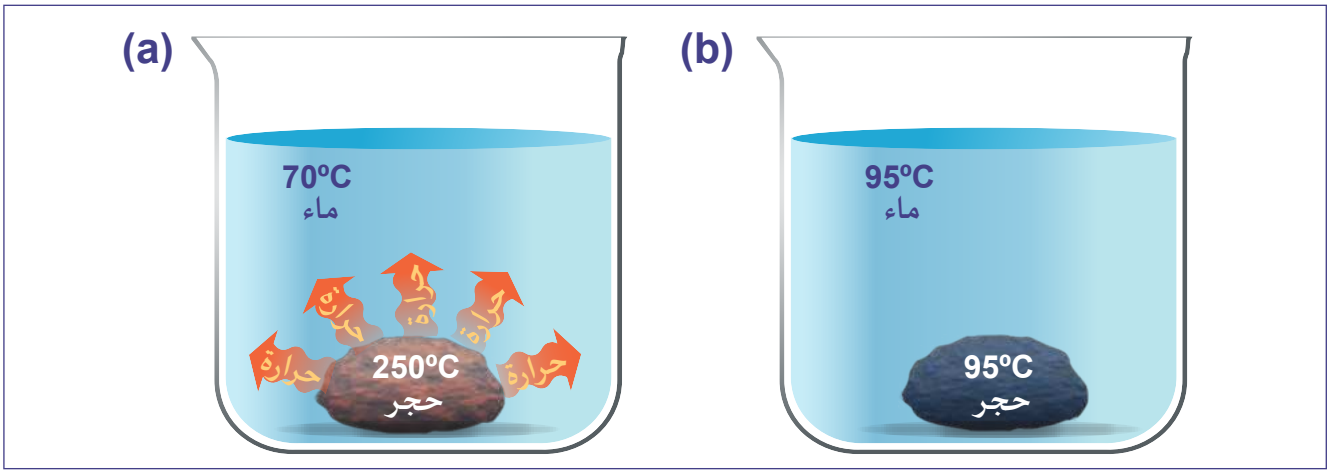
الشكل 3-8 (a) الحرارة من الاحتكاك، (b) الحرارة من الوقود.

الحرارة من الوقود

يُحرّر لتر واحد من البنزين 35,000,000J من الطاقة الكيميائية عندما يحترق احتراقًا كاملاً بوجود الأكسجين (**الشكل 3-8 b**). تتحرّر مُعظم هذه الطاقة بشكل كامل من تفاعُل الاحتراق على شكل حرارة. وفي محرّك السيّارة، يتسرّب ما نسبته(65%) من الحرارة عبر المُشّع وأنبوب العادم. وبالمُتوسط، فإنّ ما يقرب من 13% فقط من الحرارة المُتحرّرة من الوقود يُستفاد منها في تحريك السيّارة.

الاتّزان الحراري

عندما تختلف درجة الحرارة بين جسمَين، تتدفّق الحرارة بشكل تلقائي من الجسم ذي درجة الحرارة الأعلى إلى الجسم ذي درجة الحرارة الأقل. وكذلك يحدث في المناطق المُختلفة من الجسم نفسه. حيث تتدفّق الحرارة بشكل طبيعي من المناطق ذات درجة الحرارة الأعلى إلى المناطق ذات درجة الحرارة الأقل. فإذا وضعنا حجرًا ساخنًا في حوض ماء بارد، تتدفّق الطاقة الحرارية من الحجر الساخن إلى الماء البارد (**الشكل 3-9**).



الشكل 3-9 (a) تدفّق الحرارة، (b) عند بلوغ الاتّزان الحراري.

متى يتوقّف تدفّق الحرارة؟

تستمرّ عمليّة تدفّق الحرارة إلى أن تُصبح جميع الأجسام عند درجة الحرارة نفسها. تُسمى الظروف التي تكون عندها درجة الحرارة لجميع الأشياء متساوية **الاتّزان الحراري Thermal equilibrium**، ولا يحدث أي تدفّق للحرارة في هذه الحالة، لأنّ درجات الحرارة متماثلة. فإذا غمرنا حجرًا ساخنًا في حوض يحتوي على ماء بارد، فإنّ الاتّزان الحراري سيتحقّق بمُجرّد أن تتساوى درجتا حرارة كلّ من الحجر والماء. لكن إذا لم يكن الهواء المُتصل بالماء عند درجة الحرارة نفسها، فإنّ تدفُّق الحرارة سيستمرّ بين الماء في الحوض والهواء وهو السبب الذي يجعل الأجسام تبرد.

تتدفّق الحرارة من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الباردة حتّى الوصول إلى حالة الاتّزان الحراري.

هل يتمّ بلوغ الاتّزان الحراري مباشرةً ؟

إذا وضعنا حجرًا ساخنًا في ماء بارد، فهل سيسخن الماء مباشرةً؟ لا، فالأمر يحتاج إلى بعض الوقت ليبلغ الجسمان الاتّزان الحراري.

وُضع قالب طوب درجة حرارته 21°C، في وعاء ماء على طاولة. فإذا كانت درجة حرارة الهواء المُحيط 37°C، ودرجة حرارة الماء 27°C، فما اتّجاه تدفُّق الحرارة؟ اشرح إجابتك.

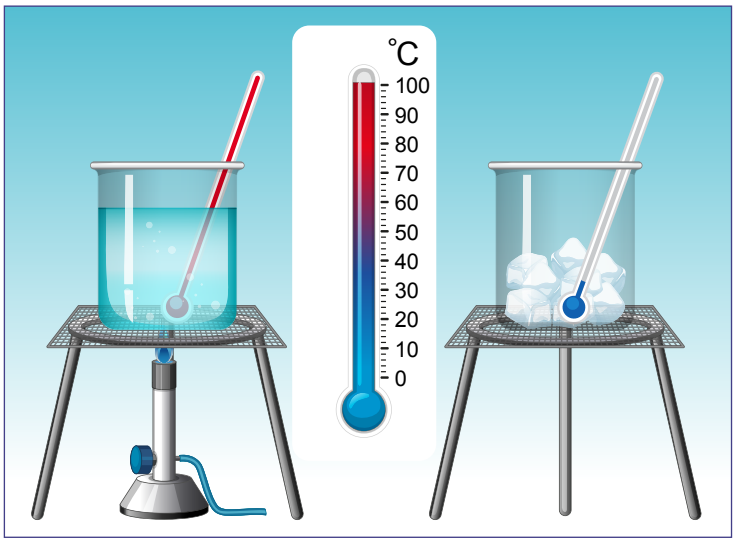
نشاط 3-1 مُعايرة مقياس درجة الحرارة

سؤال الاستقصاء	كيف يُمكن مُعايرة مقياس درجة الحرارة؟
الموادّ المطلوبة	مقياس لدرجة الحرارة غير مُدرّج، شريطان مطّاطيان، كأسان زجاجيتان، ثلج، كوب ماء، غلّاية أو موقد بنزن، ورق، قلم.

ما المُعايرة؟

تُسمّى عمليّة إعداد جهاز القياس باسم **المُعايرة Calibration**. سوف نستخدم في هذا النشاط مقياس درجة حرارة غير مُدرّج وإعداد مقياس سيليزي لاستخدامه.

خطوات التجربة



الشكل 3-10 مُعايرة مقياس درجة الحرارة.

1. املأ احدى الكأسين الزجاجيتين إلى منتصفه بالماء ثم قم بتسخين الماء إلى أن يغلي باستخدام موقد بنزن.
2. استخدم مقياس درجة الحرارة غير المُدرّج لمُراقبة الارتفاع في درجة الحرارة، وضَع الشريط المطّاطي لتحديد علامة نقطة النهاية. مُلاحظة: ستُمثّل العلامة درجة الحرارة 100°C.
3. قم بتجهيز حمام ثلجي بوضع الثلج في الكأس الثانيّة، واغمره بالماء بالبارد.
4. ضَعْ مقياس درجة الحرارة في الحمام الثلجي ثمّ انتظر إلى أن يستقرّ المقياس. حدّد علامة على أدنى نُقطة برباط مطّاطي ثانٍ. ستكون هذه العلامة هي درجة الحرارة 0°C.
5. ضَعْ مقياس درجة الحرارة على الورقة وحدّد عليها علامتَي 0°C و 100°C. قسّم المسافة بين العلامتين إلى 20 علامة مُتساوية، مُشكّلًا مقياس سيليزي على الورقة.
6. رَقِّم العلامات بدءًا من الصفر، وبزيادة خمسة في كل مرة (0, 5, 10, 15 ....) حتى 100.

الأسئلة

a. مُستخدمًا مقياس درجة الحرارة ومقياسك الذي قُمت بمُعايرته، قِسْ درجة حرارة الغُرفة وقارن بين القراءتين.
b. اقترح سببين لأي اختلاف وجدته في القسم (a).
c. كيف تحسن من دقة مقياسك الذي أعددته.

تقويم الدرس 3-1

1. ماذا يحدث لدرجة الحرارة عندما تتحرّك الجُسَيْمات بشكل أسرع؟
   a. ترتفع درجة الحرارة
   b. تنخفض درجة الحرارة
   c. تبقى درجة الحرارة من دون تغيير
   d. لا يمكن قياس درجة الحرارة
2. عرّف الطاقة الحرارية.
3. صِف كيف يرتبط تدفق الحرارة بدرجة الحرارة.
4. ما الفرق بين درجة الحرارة والحرارة.
5. قام أحد السيّاح لمدينة الدوحة بضبط ثيرموستات غُرفته في الفندق على 68°. لم يدرك السائح أنّ الثيرموستات يعمل بمقياس درجة سيليزي بدلًا من فهرنهايت.
   a. هل ستُصبح غرفة الفندق ساخنة، أم باردة، أم مناسبة، بعد مرور ساعة أو ساعتين؟
   b. حوّل درجة الحرارة التي ضُبط عليها الثيرموستات بوحدة درجة الفهرنهايت.
6. كيف تتغيّر الطاقة الحركيّة العشوائية للجُزيئات عند تسخين دورق ماء.
7. أيٌّ من درجتَي الحرارة 1°F أم 1°C، تمثّل فرقًا أكبر في درجة الحرارة.
8. يُواجه زميلك مُشكلة في فهم علاقة متوسّط الطاقة الحركية بدرجة الحرارة الكُليّة لمادة ما. ساعده من خلال طرح أمثلة من الحياة اليوميّة يكون فيها متوسّط الأشياء المُفردة في نظام ما مؤشّرًا على النظام كلّه.
9. ضُبِط مُكيّف هواء غرفة على وضع التبريد عند درجة حرارة 76°F. حوّل درجة الحرارة تلك إلى درجة سيليزية.
10. يُسافر سائح من مدينة الدوحة إلى نيويورك، فعَلِمَ من التلفاز أنّ درجة الحرارة في نيويورك ستكون 35 درجة دون أن يتم ذكر إن كانت هذه الدرجة بمقياس °C أو °F. هل ستكون درجة الحرارة هذه ساخنة أم باردة؟ اشرح إجابتك.
11. صِفْ حالة يحدث فيها إنتقال للحرارة.
12. لماذا يزداد حجم إطارات السيّارات بعد ما تتحرك السيارة لمسافة طويلة؟
13. قُم بإجراء التحويلات بين مقاييس درجات الحرارة الآتية:
    a. حوّل 1000 K إلى °C.
    b. حوّل 72°F إلى °C.
    c. حوّل -10°C إلى K.
    d. حوّل 77 K إلى °C.

الدرس 3-2

السعة الحرارية النوعيّة والحرارة الكامنة النوعيّة

Specific Heat Capacity and Latent Heat

تُصنع مُعظم أواني الطهي من مادة الستانليس ستيل. ولتحسين نوعيّة هذه المادة، تُطلى بطبقة داخلية من النحاس أو الألومنيوم. ما سبب اللجوء إلى ذلك؟

يستغرق تسخين النحاس والألومنيوم زمنًا أطول من زمن تسخين الستانليس ستيل، هذا يعني أنّ كُلًّا من النحاس والألومنيوم يحتفظ بدرجة حرارته لمدة أطول. تعتمد هذه الخاصيّة على السعة الحرارية النوعيّة للفلزّ. فالستانليس ستيل يمتلك سعة حرارية نوعيّة أقل، فيسخن سريعًا.

الشكل 3-11 أناء طهي مطلي بالنحاس .

المفردات

السعة الحرارية النوعيّة	Specific heat capacity
الحرارة الكامنة النوعيّة للانصهار	Specific latent heat of fusion
الحرارة الكامنة النوعيّة للتبخير	Specific latent heat of vaporization

مخرجات التّعلُّم

P1007.1 يعرّف ويوضح المفاهيم الخاصة بالسعة الحرارية النوعية والحرارة الكامنة النوعية من حيث نموذج الحركة الجزيئية.

P1007.2 يستقصي السعة الحرارية النوعية لمادة باستخدام جهاز مناسب، ويستنتج المعادلة $Q = mc\Delta T$ ويحل مسائل حسابية باستخدامها.

P1007.3 يستقصي الحرارة النوعيّة الكامنة لمادة باستخدام جهاز مناسب، ويستنتج المعادلة $Q = mL$ ويحل مسائل حسابية باستخدامها.

P1007.4 يصِف أهميّة القيمة الكبيرة غير العادية للحرارة الكامنة النوعيّة والسعة الحرارية النوعيّة للماء، من حيث تنظيم درجة الحرارة في الجسم وصناعة البتروكيماويات وتأثير المحيطات في المناخ.

ما الأكثر سخونة؟

عندما تنتقل الحرارة، يطرأ تغيّر على درجة الحرارة في مُعظم الحالات. فإذا كان انتقال الحرارة إلى النظام، ترتفع درجة حرارته. لكن إذا كان انتقال الحرارة من النظام، تنخفض درجة حرارته.

تُعدُّ الشمس المصدر الحراري الرئيس للأرض. ومع أن باطن الأرض يحتفظ بكمية كبيرة من الطاقة الحرارية منذ نشأة الأرض، إلا أن الشمس هي المسؤولة عن تسخين سطح الأرض، بما في ذلك اليابسة والمُحيطات.

يصعب عليك في يوم حارّ أن تسير حافيًا على رمال الشاطئ (**الشكل 3-12**)، بسبب درجة حرارتها المرتفعة. ويكون الأفضل لك أن تبرّد قدمَيك بالماء، تعمل الشمس على تسخين الماء والرمال؛ لكنْ، لماذا يكون الماء أبرد؟ تكمن الإجابة عن هذا التساؤل في مفهوم السعة الحرارية النوعيّة.

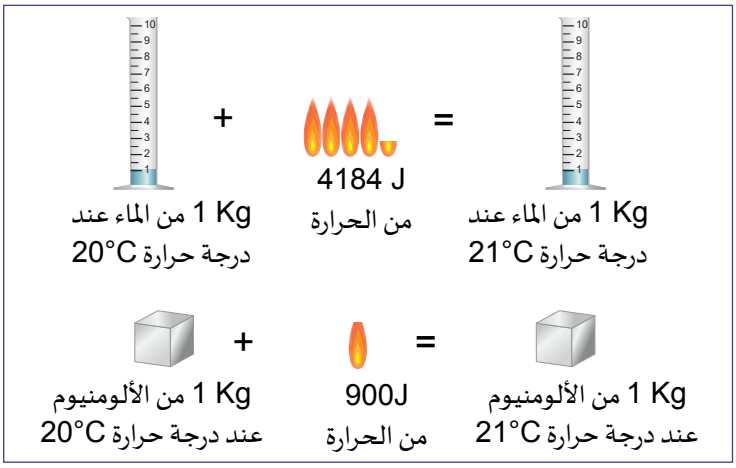
الشكل 3-12 شاطئ في مدينة الدوحة.

1. قمنا بتسخين 500 ml من الزيت و 500 ml من الماء باستخدام المصدر الحراري نفسه ولنفس المدة الزمنية. أيّ السائلَين سيبلغ درجة حرارة أعلى؟
2. كرّرنا التجربة، لكن بتسخين حجمَين مُختلفين من الماء 500 ml و 1 L = 1000 mL، باستخدام المصدر الحراري نفسه ولنفس المدة الزمنية. أي الحجمَين سيبلغ درجة حرارة أعلى؟

الشكل 3-13 تسخين الماء وتسخين الزيت.

السعة الحرارية النوعيّة

يختلف مخزون المواد من الطاقة الحرارية باختلاف نوع الموادّ، حتى وإنْ كانت عند درجة الحرارة نفسها. يلزم مثلًا 4184 J من الطاقة لرفع درجة حرارة 1 kg من الماء درجة سيليزية واحدة. بينما يحتاج 1 kg من الألومنيوم إلى طاقة مقدارها 900 J لترتفع درجة حرارته درجة سيليزية واحدة (**الشكل 3-14**). وعلى الرغم من أنّ كُتلتي المادتين مُتساويتان،(1 kg)، فإنّ التغيّر يكون مُختلفًا في الطاقة الحرارية لكل درجة حرارة سيليزي.



الشكل 3-14 تختزن المواد المُختلفة كمّيات مُختلفة من الحرارة لكل درجة.

تُسمّى كمّية الطاقة الحراريّة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلوجرام من مادة ما درجة سيليزية واحدة **السعة الحراريّة النوعيّة Specific heat capacity**، يمتلك الماء سعة حراريّة نوعيّة مقدارها 4184 J/ kg°C، أي أنّ رفع درجة حرارة كيلوجرام واحد منه درجة سيليزية واحدة يحتاج إلى 4184 J من الطاقة الحراريّة، أمّا الألومنيوم فيمتلك سعة حرارية نوعيّة 900 J/ kg°C وهي أقل من السعة الحرارية النوعية للماء، أي أنّ رفع درجة حرارة كيلوجرام واحد منه درجة سيليزية واحدة يحتاج إلى 900 J من الطاقة الحراريّة. تعتمد الطاقة الحرارية (وكذلك الحرارة) على كلّ من درجة الحرارة، والكتلة، والسعة الحراريّة النوعيّة للمادة.

عندما تكون للمادّة سعة حرارية نوعيّة كبيرة، فإنّها ستحتاج إلى طاقة أكبر لرفع درجة حرارتها. وستحتاج إلى طاقة أقل، إذا كانت تملك سعة حراريّة نوعيّة قليلة.

مُعادلة السعة الحراريّة النوعيّة

يعتمد التغيّر في الحرارة Q لمادة ما على كتلة المادة m والتغيّر في درجة الحرارة من T_i إلى T_f. يُكتب التغيّر في درجة الحرارة وفق الصيغة ΔT، حيث تُشير Δ إلى التغيّر، ويُمكن كتابة ذلك وفق الصيغة $\Delta T = T_f - T_i$.

تُبيّن **المعادلة 4-3** العلاقة بين الكميّات Q، و m، و ΔT، و c. لكل مادة سعة حراريّة نوعيّة خاصة بها، ويمكن أن تختلف بشكل كبير. يُمثّل الرمز Q الطاقة الحراريّة أو الحرارة. يُمكن أيضًا استخدام الرمز E لتمثيل الأشكال الأخرى من الطاقة.

4-3 السعة الحراريّة النوعيّة		
$Q = mc\Delta T$	Q	الطاقة الحراريّة أو الحرارة (J)
	m	الكتلة (kg)
	c	السعة الحراريّة النوعيّة (J/kg°C)
	ΔT	التغيّر في درجة الحرارة (°C)

السعة الحرارية النوعيّة

السعة الحراريّة النوعيّة هي قيمة ثابتة للمواد العاديّة، وتتراوح بين بضع مئات إلى بضعة آلاف جول لكل كيلو جرام لكل درجة سيليزية. يُبيّن **الجدول 3-1** بعض الأمثلة على أجسام صلبة وسائلة وغازيّة. سوف نُلاحظ أنّ الأجسام الصلبة لها السعة الحراريّة النوعيّة الأقل، أي أنّ الذرّات الأثقل (أو المواد الأعلى كثافة) تكون سعتها الحراريّة النوعيّة مُنخفضة.

الجدول 3-1 السعة الحراريّة النوعيّة لبعض المواد المُختلفة.

المادة	c [J/kg °C]
الماء	4184
الشمع	3430
خشب الصنوبر	2500
البنزين	2220
الماء المُثلّج	2000
خشب السنديان	2000
بخار الماء	1970
الزيت	1800
البلاستيك	1600
الهواء	1000
الأسفلت	920
الألومنيوم	900
الزجاج	840
الجرانيت	790
الفولاذ (الحديد الصلب)	470
الرصاص	130
الذهب	130
النحاس	387

صلب سائل غاز

الوحدات المُختلفة للسعة الحراريّة النوعيّة

تشتمل بعض المسائل على وحدات أخرى للسعة الحراريّة النوعيّة منها: J/kg°C أو J/g°C أو J/mol K.

مثال 3

تبلغ السعة الحراريّة النوعيّة لزيت الزيتون 1790 J/kg °C. احسب الطاقة الحراريّة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 kg من زيت الزيتون، من درجة حرارة 25°C إلى 105°C.

المطلوب: الطاقة الحراريّة، Q

المُعطيات:

$c = 1790 \text{ J/kg °C}$

$m = 1 \text{ kg}$

$T_f = 105°C, T_i = 25°C$

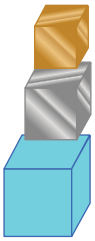
العلاقات: $Q = mc\,\Delta T$

الحلّ:

$$Q = mc\,\Delta T = (1 \text{ kg})\,(1790 \text{ J/kg °C})\,(105°C - 25°C)$$

$$= 143{,}200 \text{ J}$$

مثال 4



a. الذهب 1 kg
b. ألومنيوم 1 kg
c. ماء 1 kg

لدينا ثلاث عيّنات مبيّنة في الشكل، كتلة كل منها 1 kg، أُضيف إلى كلّ منها 10000 J من الطاقة الحرارية. تبلغ درجة الحرارة الابتدائيّة لكل من العيّنات الثلاث 20°C. ما درجة الحرارة النهائيّة التي ستصل إليها كل عيّنة بعد إضافة الحرارة؟

المطلوب: درجة الحرارة النهائيّة، T_f

المُعطيات: الذهب ($c = 130\ J/kg°C$)، الألومنيوم ($c = 900\ J/kg°C$)
الماء ($c = 4184\ J/kg°C$)، الكتلة، $m = 1\ kg$.

العلاقات: $Q = mc\,\Delta T$

الحلّ:

$$Q = mc\Delta T \longrightarrow T_f - T_i = \frac{Q}{mc} \longrightarrow T_f = T_i + \frac{Q}{mc}$$

a. الذهب: $T_f = 20 + \dfrac{10000}{(1)(130)} = 96.9°C$

b. الألومنيوم: $T_f = 20 + \dfrac{10000}{(1)(900)} = 31.1°C$

c. الماء: $T_f = 20 + \dfrac{10000}{(1)(4184)} = 22.4°C$

مثال 5

حجر من الجرانييت كتلته 2 kg تبلغ درجة حرارته 600°C. وُضع في كميّة من الماء كتلتها 3 kg ودرجة حرارتها 20°C. ما درجة حرارة الماء النهائيّة؟

المطلوب: درجة الحرارة النهائيّة، T_f

المُعطيات: 2 kg من الجرانييت عند درجة حرارة 600°C ($c = 790\ J/kg°C$)
3 kg من الماء عند درجة حرارة 20°C ($c = 4184\ J/kg°C$)

العلاقات: $Q = mc\,\Delta T$

الحلّ:

الحجر: $Q_S = mc\Delta T = (2)(790)(T_f - 600)$

الماء: $Q_W = mc\Delta T = (3)(4184)(T_f - 20)$

كلّ الحرارة التي يفقدها الحجر يكتسبها الماء.

$$Q_S + Q_W = 0 \longrightarrow (2)(790)(T_f - 600) + (3)(4184)(T_f - 20) = 0$$

$$14132T_f - 1199040 = 0$$

$$T_f = 84.8°C$$

نشاط a2-3 السعة الحراريّة النوعيّة

سؤال الاستقصاء	كيف تختلف السعة الحراريّة النوعيّة بين الماء والألومنيوم؟
الموادّ المطلوبة	قالب من الألومنيوم كتلته 1 kg مُزوّد بفتحة للسخّان الكهربائي ومقياس درجة الحرارة، مسعّر حراري للماء، سخّان غمر كهربائي، مقياس درجة حرارة، حصيرة تسخين.

خطوات التجربة I

1. قُم بِصَبّ 1 kg من الماء في المسعّر الحراري، ثم قِس درجة حرارة الماء.
2. وصّل السخّان بمصدر الطاقة وشغّله، ثمّ دعه يسخن لمدّة 5 دقائق.
3. ضَع السخّان في الماء ودع درجة الحرارة ترتفع لمُدة 10 دقائق.
4. سجّل درجة حرارة الماء الجديدة.
5. احسب السعة الحراريّة للماء باستخدام ورقة العمل التي زوّدك بها مُعلّمك.

الشكل 3-15 المسعّر الحراري للماء.

خطوات التجربة II

1. قِس درجة الحرارة لقالب الألومنيوم.
2. وصّل السخّان بمصدر الطاقة وشغله، ثمّ دعه يسخن لمُدة 5 دقائق.
3. ضَع السخّان في قالب الألومنيوم، واترك درجة الحرارة ترتفع لمُدة 10 دقائق.
4. سجّل درجة حرارة قالب الألومنيوم الجديدة.
5. احسب السعة الحراريّة لقالب الألومينوم باستخدام ورقة العمل التي زوّدك بها مُعلّمك.

الشكل 3-16 قالب الألومنيوم.

الأسئلة

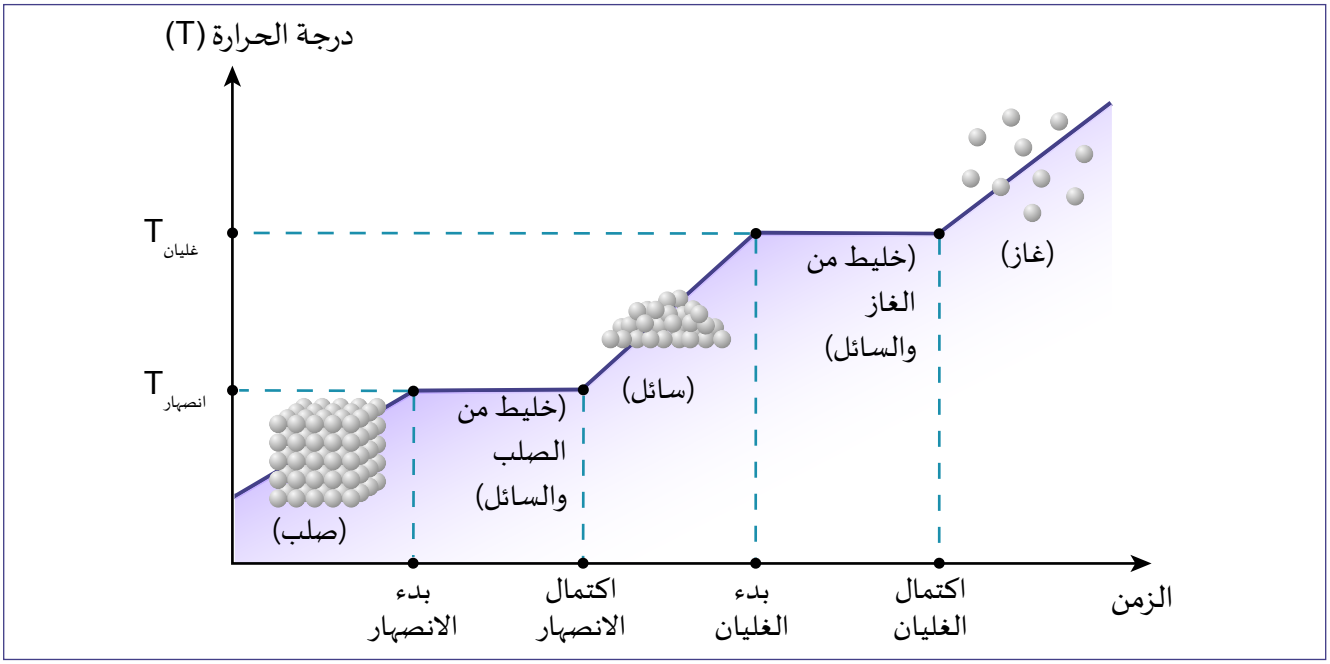
1. قارن بين تغيُّر درجة الحرارة في كل من الماء والألومنيوم بعد أن يحصل كل منهما على الكميّة نفسها من الحرارة.
2. قارن السعات الحراريّة التي حدّدتها بقيَمها المعلومة. هل يمكنك تفسير أيّ اختلافات؟
3. كيف يُفسّر الاختلاف في السعة الحراريّة التغيُّرات المُختلفة في درجة الحرارة؟

درجة الحرارة وتغيُّر الحالة

يُوضّح **الشكل 3-17** كيف تتغيّر درجة الحرارة عند تسخين عيّنة معزولة من ماء في الحالة الصلبة (جليد) بمُعدّل ثابت. لاحظ أن درجة حرارة الجليد تواصل الارتفاع حتى يبدأ بالانصهار، بمجرّد أن يبدأ انصهار الجليد، يتوقّف الارتفاع في درجة الحرارة، بالرغم من عدم توقّف التسخين. يحدث توقّف ارتفاع درجة الحرارة أيضًا عندما يبدأ الماء السائل بالغليان. يتكرّر هذا السلوك عند جميع المواد في أثناء تغيُّرات الحالة.

يتمّ تفسير ذلك في أنّ تغيّر الحالة يحتاج إلى طاقة؛ ووفقًا لمبدأ حِفظ الطاقة، فإنّ الطاقة المُستهلَكة في تغيّر الحالة لا يمكن الاستفادة منها في تغيير درجة الحرارة.

يتطلب تغيّر الحالة تبادُل الطاقة.



الشكل 3-17 درجة الحرارة بالنسبة إلى الزمن؛ عند إضافة حرارة بمُعدّل ثابت إلى مادة ما فتتغير حالتها.

عندما تبدأ المادة من الحالة الصلبة، ترتفع درجة حرارتها عندتزويدها بالطاقة الحرارية؛ يستمرّ هذا الارتفاع في درجة الحرارة إلى أن تبلغ المادة درجة الانصهار ($T_{انصهار}$). في هذه المرحلة تستخدم أي إضافة للحرارة في تحول المادة الصلبة إلى سائلة من دون أي تغيير في درجة الحرارة. ولا تبدأ درجة الحرارة بالارتفاع مُجدّدًا إلّا بعد أن تتحوّل المادة كُلّها إلى الحالة السائلة.

عند الاستمرار في تسخين السائل، يستمرّ هذا الارتفاع في درجة الحرارة إلى أن يبلغ السائل درجة الغليان ($T_{غليان}$). وفي هذه المرحلة يتوقّف ارتفاع درجة الحرارة، لأنّ كل إضافة للحرارة تستخدم في تحول السائل إلى غاز. تبقى درجة الحرارة ثابتة عند درجة الغليان إلى أن يتحوّل كل السائل إلى غاز.

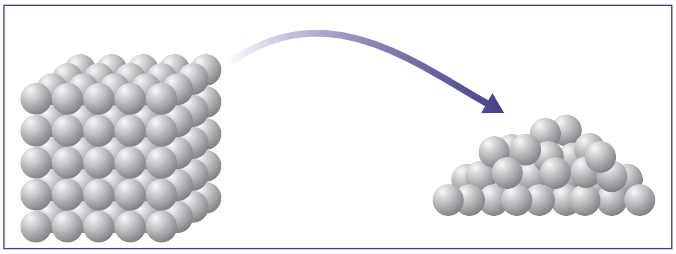
الحرارة الكامنة للانصهار

يُظهر **الشكل 3-18** كمّية ثابتة من مادة تخضع للتغيّر من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند درجة الانصهار. وتكون كمّية الطاقة اللازمة لذلك متناسبة طرديًا مع الكتلة مضروبة في ثابت يُسمّى **الحرارة الكامنة للانصهار Specific latent heat of fusion** L_f، وتمثّل الطاقة اللازمة لتحويل 1 kg من مادة في الحالة الصلبة عند درجة الانصهار إلى مادة سائلة عند درجة الحرارة نفسها.

تُحدّد الحرارة الكامنة للانصهار لمواد مُختلفة تجريبيًا. يعرض **الجدول 2-3** قائمة بمواد شائعة مع قيَم الحرارة الكامنة للانصهار لكل منها.

لاحظ أنّ كمّية 1 kg من الجليد تحتاج إلى طاقة 334 kJ لتحويلها إلى ماء عند درجة حرارة 0°C. وتحتاج إلى 4.18 KJ لرفع درجة حرارة الكمّية نفسها من الماء درجة سيليزية واحدة 1°C. يبدو واضحًا أنّ تغيّر الحالة يحتاج إلى الكثير من الطاقة مقارنة بتغيّر درجة الحرارة.

تُستخدَم **المُعادلة 3-5** في حساب الحرارة اللازمة لتحويل مادة صلبة إلى سائلة (أو سائلة إلى صلبة) عندما تكون درجة الحرارة ثابتة عند درجة الانصهار.



الشكل 3-18 تغيّر حالة المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة.

الجدول 2-3 الحرارة الكامنة للانصهار لبعض المواد.

المادة	الحرارة الكامنة للإنصهار L_f [kJ/kg]
الماء	334
الشمع	165
الهيليوم	5.23
الهيدروجين	58.6
النيتروجين	25.5
الأكسجين	13.8
الإيثانول	104
الزئبق	11.8
الكبريت	38.1
الرصاص	24.5
الألومنيوم	380
إثمد	165
الفضة	88.3
الحديد	275
الذهب	63

5-3 الحرارة الكامنة للانصهار

$$Q = mL_f$$

Q	الطاقة الحراريّة (J)
m	الكتلة (kg)
L_f	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)

يتَّصِف تغيّر الحالة بأنه تغيّر قابل للانعكاس. وفي العمليات القابلة للانعكاس، يحتاج انصهار الجسم الصلب (تحوّله إلى سائل) إلى إدخال طاقة. وعندما يتجمّد السائل (يُصبح صلبًا) تتحرّر الكمّية نفسها من الطاقة. وتكون درجة الانصهار هي نفسها درجة التجمّد للمادة. وبالتالي، فإنّ الكمّية المتحرّرة من الطاقة تكون سالبة، $-Q$، عندما يتحوّل السائل إلى مادة صلبة.

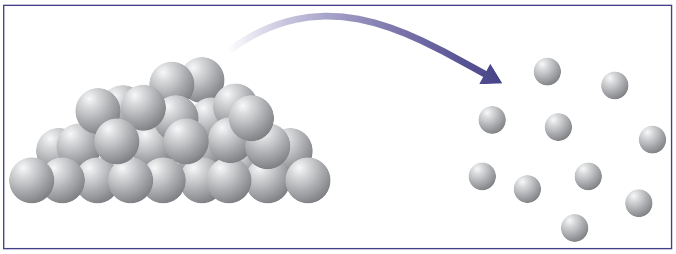
الحرارة الكامنة للتبخير

تمتصّ المادة حرارة عندما تتحوّل من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. وتُعرف **الحرارة الكامنة للتبخير Specific latent heat of vaporization**، L_v، بأنّها كمّية الطاقة الحراريّة اللازمة لتغيير 1 kg من مادة في الحالة السائلة عند درجة الغليان إلى الحالة الغازيّة عند الدرجة نفسها (**الشكل 3-19**).

تُحدّد الحرارة الكامنة للتبخير لمواد مُختلفة تجريبيًا. ويعرض **الجدول 3-3** قائمة بمواد شائعة مع قيَم الحرارة الكامنة للتبخير لكل منها.

تُستخدَم **المعادلة 3-6** في حساب الحرارة اللازمة لتحويل مادة سائلة إلى مادة غازية عندما تكون كلٌّ من كتلتي الماء والحرارة الكامنة للتبخير الخاصّة بها معلومة.

عندما يحدث تغيّر حالة من غاز إلى سائل، يتمّ تحرُّر الطاقة بدلًا من امتصاصها. وبالتالي، فإنّ بإمكاننا استخدام المعادلة 3-6 في هذه الحالة، لكن يجب تعويض كمّية الطاقة المُتحرّرة $-Q$، لأنّ النظام يفقد الحرارة.



الشكل 3-19 تغيّر حالة المادّة ما من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية.

الجدول 3-3 الحرارة الكامنة للتبخير لبعض المواد.

المادة	الحرارة الكامنة للتبخير L_v [kJ/kg]
الماء	2430
الهيليوم	20.9
الهيدروجين	452
النيتروجين	201
الأكسجين	213
الإيثانول	854
الزئبق	272
الكبريت	326
الرصاص	871
الألومنيوم	11400
إثمد	561
الفضة	2336
الحديد	6300
النحاس	5060
الذهب	1578

6-3 الحرارة الكامنة للتبخير

$$Q = mL_v$$

Q	الطاقة الحراريّة (J)
m	الكتلة (kg)
L_v	الحرارة الكامنة للتبخير (J/kg)

عندما يلامس البخار الساخن الجلد يتكثّف البخار إلى سائل مُحرّرًا حرارة التبخير. تُسبّب الطاقة الإضافية الناجمة عن البخار حروقًا خطرة.

الشكل 3-20 يُسبب الحُرق الناجم عن البخار ضررًا أكبر، بسبب الحرارة الكامنة للماء.

مثال 6

مُستخدمًا الجدول 3-4، احسب كمّية الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل 3 kg من الماء إلى جليد عند درجة حرارة 0°C.

المطلوب: الطاقة الحراريّة، Q

المُعطيات: الحرارة الكامنة لانصهار الماء، $L_f = 334{,}000$ J/kg

كتلة الماء $m = 3$ kg

العلاقات: $Q = mL_f$

الحلّ: لأنّ الماء يتحوّل إلى جليد، فإنّ الطاقة ستتحرّر. وبالتالي، فإننا نستخدم المعادلة:

$$Q = -mL_f = -(3\text{ kg})\ (334{,}000\text{ J/kg})$$
$$= 1{,}002{,}000\text{ J}$$

مثال 7

مُستخدمًا الجدول 3-5، احسب كتلة الماء التي يمكن تحويلها إلى بخار باستخدام 100,000 J من الطاقة الحراريّة.

المطلوب: كتلة الماء m

المُعطيات: الحرارة الكامنة لتبخير الماء، $L_v = 2{,}430{,}000$ J/kg

الطاقة الحرارية $Q = 100{,}000$ J

العلاقات: $Q = mL_v$

الحلّ: المطلوب في هذا السؤال إيجاد الكتلة، وليس الطاقة الحراريّة. لذلك، فإننا نُعيد صياغة المعادلة لتُعطينا الكتلة:

$$m = \frac{Q}{L_v} = \frac{100{,}000\text{ J}}{2{,}430{,}000\text{ J/kg}}$$
$$= 0.0411\text{ kg}$$

أهميّة السعة الحراريّة والحرارة الكامنة العالية للماء

يمتلك الماء أعلى سعة حراريّة نوعيّة من بين المواد المعروفة، فهو يحتاج إلى 4184 J/kg°C ليغيّر درجة حرارته بالمقارنة مع التربة الجافة التي تحتاج فقط إلى 800 J/kg°C. تجعل هذه الخاصية من الماء مُلطفًا جيدًا لدرجة حرارة الأرض.

الشكل 3-21 منطقة ساحلية في مدينة الدوحة.

تأثير الماء في المناخ

وتُعتبر هذه الخاصية سببًا لعدم وصول درجات الحرارة في المناطق الساحليّة إلى القيَم نفسها التي تكون في مناطق اليابسة البعيدة عن الماء. فعندما تكون درجات الحرارة مُرتفعة، تمتصّ المُسطّحات المائيّة الكبيرة، كالمُحيطات والأنهار والبُحيرات، الطاقة الحرارية من البيئة المُحيطة مُبقيةً على اليابسة القريبة باردة. وبشكل مماثل، تُطلق هذه المُسطّحات المائية الطاقة الحراريّة في الفترات الباردة، ما يزيد من درجة حرارة اليابسة القريبة منها.

استخدام الماء في المجال الصناعي

تجعل قِيَم السعات الحراريّة والحرارة الكامنة العالية من الماء مادة مُفيدة في التبريد الصناعي. عندما تُحرّر محطّة صناعية كميات كبيرة من الطاقة الحرارية، يمتصّ الماء هذه الطاقة من دون أن ترتفع درجة حرارته كثيرًا، في الوقت الذي تنخفض فيه درجة حرارة مُعدات المحطة الصناعية.

تحتاج مُنشآت الصناعات البتروكيميائية إلى كميّات كبيرة من الماء، حيث يتمّ تكثيف بخار الوقود إلى سائل باستخدام الماء كعامِل تبريد. ويتمّ خفض درجة حرارة السائل بواسطة الماء لجعل الوقود آمنًا عند التعامُل معه.

تُساعد السعة الحرارية للماء في تعديل درجة حرارة الجسم

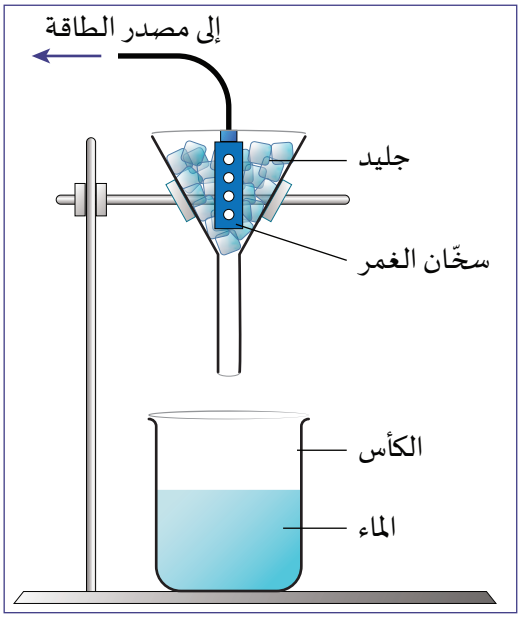
تحتاج الثدييات ذوات الدم الحار إلى تعديل درجة حرارة أجسامها ضمن نطاق محدود من درجات الحرارة. فدرجة حرارة جسم الانسان يجب أن تتراوح بين 36.1°C و 37.2°C. تُساعد الحرارة الكامنة للماء في الحفاظ على درجة حرارة الجسم لأنها تأخذ كميّة كبيرة من الطاقة (4.18 kJ/g) لتغيير درجة الحرارة درجة مئوية واحدة. وبالنسبة لشخص كتلته 70 kg، فإنّ $\frac{2}{3}$ من كتلة جسمه ماء. ويمتص الماء الموجود حوالي 200,000 J من الحرارة لكل تغيّر في درجة الحرارة مقداره درجة سيليزية واحدة.

نشاط b2-3 الحرارة الكامنة للانصهار

سؤال الاستقصاء	كيف نحسب الحرارة الكامنة لانصهار الجليد؟
الموادّ المطلوبة	سخّان غمر كهربائي، قُمع، كأس بحجم 500 ml، مصدر طاقة، ساعة ايقاف، قطع جليد، مقياس كتلة رقمي، حصيرة حراريّة، هاون، مدقة.

خطوات التجربة

1. قُم بإعداد الجهاز كما هو مُبيّن في **الشكل 3-22**، لكن من دون قطع الجليد.
2. قِس كتلة الوعاء وسجّلها في ورقة العمل.
3. كسّر الجليد باستخدام الهاون والمدقّة ثم ضعه في القُمع.
4. شغّل السخّان وضعه في الجليد ثمّ انتظر حتى يبدأ الماء بالتنقيط في الوعاء (3 دقائق تقريبًا).
5. أفرغ الكأس وضعْه في أسفل القُمع مُجدّدًا، وابدأ التوقيت.
6. دعِ الجليد ينصهر لمُدة 3 دقائق. أوقف تشغيل السخّان، وأزح الوعاء من أسفل القُمع.
7. قِس كتلة الماء في الكأس، ثمّ سجّلها في ورقة العمل.
8. احسب الحرارة الكامنة لانصهار الماء باستخدام ورقة العمل.



الشكل 3-22 إعداد الجهاز للتجربة.

الأسئلة

a. لماذا انتظرنا انصهار الجليد قبل البدء بالتوقيت؟
b. لماذا يجب أن يكون الوعاء فارغًا عند البدء بالتوقيت؟
c. ما مدى قُرب إجابتك من القيمة الفعلية للحرارة الكامنة لانصهار الماء؟
d. ما مصادر الخطأ المُمكنة في هذه التجربة؟

تقويم الدرس 3-2

1. ما الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 3 kg من الألومنيوم بمقدار 10°C؟ (استخدم الجدول 3-2)
2. تكون الرمال في يوم مُشمس ساخنة جدًا، وتُصبح باردة في الليل. هل تمتلك الرمال سعة حرارية نوعيّة مُرتفعة أم مُنخفضة؟ فسّر اختيارك.
3. لماذا يكون لإضافة الكمّية نفسها من الطاقة إلى مادتَين مُختلفتين لهما الكتلة نفسها نتائج مُختلفة في ارتفاع درجة الحرارة؟
4. ثلاث كُرات فلزيّة، كُرة من الألومنيوم وكُرة من النحاس وكُرة من الرصاص، كتلة كل منها 30 g، وُضعت في وعاء كبير من الماء الساخن لعدّة دقائق. استخدم الجدول 3-3 للحصول على الحرارة النوعيّة لكل مادة J/kg°C.
   a. أيٌّ من الكرات ستبلغ درجة الحرارة الأعلى؟ اشرح إجابتك.
   b. أيٌّ من الكرات تمتلك الطاقة الحرارية الأكبر؟ اشرح إجابتك.
5. تتميّز مناطق اليابسة القريبة من المُحيطات أو المُسطّحات المائية الكبيرة في الغالب بامتلاكها مناخًا بمدى محدود من درجة الحرارة. فسّر ذلك.
6. ترتفع درجة حرارة إناء من النحاس من 27°C إلى 30°C. هل سنحتاج إلى الحرارة الكامنة أم إلى السعة الحراريّة النوعيّة من أجل حساب الحرارة التي امتصّها إناء النحاس؟
7. عندما نضع مكعبًا من الألمنيوم كتلته 30 Kg ودرجة حرارته 0°C في كأس معزولة فيها 1 Kg من الماء عند درجة حرارة 10°C، فسر لماذا لا يحدث الاتزان الحراري لهما عند درجة 5°C .
8. تبلغ الحرارة الكامنة لتبخّر الماء 2,430,000 J/kg احسب الطاقة الحراريّة اللازمة لتحويل 2 kg من الماء إلى بخار عند درجة حرارة 100°C.
9. ما الفرق بين الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخير؟
10. ما الحرارة اللازمة لانصهار 0.5 kg من البازيلاء المُجمّدة عند درجة حرارة 0°C؟ بافتراض أنّ البازلاء المُجمّدة تمتلك الخصائص الفيزيائية نفسها التي يمتلكها الماء. استخدم الجدول 3-4 لتحصل على البيانات التي تُساعدك في الحل.

ضوء على العلماء

أندرس سلسيوس: 1701-1744

الشكل 3-23 أندرس سلسيوس.

هو عالم سويدي له كثير من الإسهامات في الفيزياء، والفلك، والرياضيات. وهو مَن سمّي مقياس سلسيوس باسمه. وُلِدَ سلسيوس يوم 27 نوفمبر 1701 في مدينة أبسالا السويدية. كان والده أستاذ علم فلك في جامعة أبسالا، وكان جدُّه عالم رياضيات مشهور. لقد كانت عائلة أندرس تتمتّع بخلفيّة معرفيّة قويّة، مكّنتهُ من البراعة في الرياضيات. التحق أندرس في العام 1730 بجامعة أبسالا أستاذًا في علم الفلك، كما كان والده.

بدأ سلسيوس بدراسة الظاهرة الشفقيّة (**الشكل 3-23**)، واقترح وجود علاقة بين ظهور الأضواء القطبية والتغيّرات في المجال المغناطيسي للأرض. نشر عام 1733 مُلاحظاته التي تُوضّح التغيّرات في المجال المغناطيسي. وكان له نصيب كبير من الإسهامات في علم الفلك، فقاس شدّة ضوء النجوم، ووثّق الكثير من المُلاحظات التي أجراها.

الشكل 3-24 الشفق القُطبي قُرب القُطبين.

شارك سلسيوس في بعثة كانت مُهمتها قياس قوس خطّ الزوال في مدينة لابلاند السويدية. وقد هدف ذلك إلى قياس طول الدرجة وإثبات أنّ الأرض إهليلجيّة. نشر سلسيوس سنة 1738 بحثًا علميًا بعنوان"ملاحظات في تحديد شكل الأرض"، مما أتاح له، بالإضافة إلى مُشاركته في بعثة لابلاند، الحصول على تقدير عالٍ خوّله تلقّي تمويل من الحكومة لبناء مرصد في مدينته أبسالا سنة 1741.

لم يكن سلسيوس راضيًا تمامًا عن مقاييس درجة الحرارة المتوفّرة في ذلك الوقت، فعرض سنة 1742 مقياسه الجديد لدرجة الحرارة في الأكاديمية السويديّة للعلوم. استخدم في هذه العملية مقياس حرارة زئبقيًّا، تُمثّل فيه 0°C درجة غليان الماء، و 100°C درجة تجمُّده. لكنْ، وبعد موته مباشرة، أُجري تبديل بين الدرجتين، لتُصبح الدرجة 0°C درجة تجمّد الماء، و 100°C درجة غليانه؛ وإلى اليوم لا يزال استخدام هذا المقياس شائعًا في العالم.

الوحدة 3

مراجعة الوحدة

الدرس 3-1: درجة الحرارة والحرارة

- تتوافر أنواع مُختلفة من **مقاييس درجة الحرارة Thermometer**.
- تزداد **الطاقة الحركيّة Kinetic energy** للذرّات والجُزيئات مع ارتفاع درجة الحرارة.
- يُعرّف **الصفر المُطلق Absolute zero** بأنّه أقل درجة حرارة مُمكنة، وهي 0K.
- يُمكن قياس **درجة الحرارة Temperature** باستخدام مقياس سيليزي **Celsius scale**، أو مقياس فهرنهايت **Fahrenheit scale**، أو **مقياس كلفن Kevin scale**.
- يؤدّي تزويد الأجسام **بالحرارة Heat** إلى زيادة مخزونها من **الطاقة الحراريّة Thermal energy**.
- تنتقل الحرارة بين النظام والوسط حتى يصل إلى حالة **الاتّزان الحراري Thermal equilibrium** فتثبت درجة الحرارة.

الدرس 3-2: السعة الحراريّة النوعيّة والحرارة الكامنة

- **السعة الحراريّة النوعيّة Specific heat capacity** هي الطاقة اللازمة لتغيير درجة حرارة واحد كيلو جرام من مادة درجة سيليزيّة واحدة.
- **الحرارة الكامنة للانصهار Specific heat of fusion** هي كميّة الحرارة اللازمة لتحويل واحد كيلو جرام من مادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصُلبة عند درجة الانصهار.
- **الحرارة الكامنة للتبخير Specific heat of Vaporization** هي كميّة الحرارة اللازمة لتحويل واحد كيلو جرام من مادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية عند درجة الغليان.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدِّد

1. يقوم أحد الطلاب بتبريد غاز مجهول. عندما يبلغ الغاز درجة حرارة 10°C، يبدأ الغاز بالتكاثف وتتشكّل قطرات السائل. وعندما يبلغ السائل درجة حرارة 10°C-، يتجمّد السائل ليُصبح صلبًا. ما درجة غليان هذه المادة؟
   a. −10°C
   b. 0°C
   c. 10°C
   d. سنحتاج إلى معلومات إضافية لتحديد ذلك.

2. أي الحالتين أكثر تغيّرًا في درجة الحرارة؛ التغيّر بمقدار 1°F أم التغير بمقدار 1°C؟
   a. التغيّر في درجة الحرارة بمقدار 1°F أكبر من التغيّر بمقدار 1°C
   b. التغيّر في درجة الحرارة بمقدار 1°F أقل من التغيّر بمقدار 1°C
   c. التغيّر في درجة الحرارة بمقدار 1°F يساوي التغيّر بمقدار 1°C
   d. يعتمد التغيّر على فيما لو كانت درجة الحرارة فوق درجة حرارة تجمد الماء.

3. أيٌّ من درجات الحرارة الآتية هي الدرجة الأبرد؟
   a. 60.0°C
   b. 149°F
   c. 162°F
   d. 328K

4. يقوم أحد الطلاب بتبريد غاز مجهول. عندما يبلغ الغاز درجة حرارة 19°C، يبدأ الغاز بالتكاثف وتتشكّل قطرات السائل. وعندما يبلغ السائل درجة حرارة 42°C−، يتجمّد السائل ليُصبح صلبًا. ما درجة انصهار هذه المادة؟
   a. 61°C
   b. 0°C
   c. −42°C
   d. 19°C

5. أيٌّ من العناصر الآتية يمتلك السعة الحرارية الأعلى؟
   a. الجُزيئات القُطبيّة الخفيفة في الحالة الغازيّة.
   b. الجُزيئات القُطبيّة الخفيفة في الحالة السائلة.
   c. الفلزّات الثقيلة في الحالة الصلبة.
   d. الفلزّات الثقيلة في الحالة السائلة.

6. يمتلك الجسم A سعّة حراريّة نوعيّة أكبر بمرتين من الجسم الآخر B. تعرّض الجسمان لكميّة الحرارة نفسها من لهب شمعة. أيٌّ من العبارات الآتية صحيحة في هذه الحالة؟
   a. الجسم A أسخن من الجسم B
   b. الجسم B أسخن من الجسم A
   c. الجسمانِ A و B عند درجة الحرارة نفسها
   d. لا يمكن الإجابة دون أن نعرف كتلة كل من الجسمَين.

الدرس 3-1: درجة الحرارة والحرارة

7. أيٌّ من درجتَي الحرارة الآتيتَين تُعدّ الأسخن، 40°C أم 100°F.

8. طلب منك مُعلم الفيزياء تسخين مادة إلى أن تبلغ درجة حرارة 165°F. كم ستكون قراءة مقياس درجة الحرارة هذه وفق المقياس السيليزي؟

9. سجّلت درجة حرارة مساء أحد الأيام 20°C، لترتفع فتُصبح في اليوم التالي 25°C.
   a. كم يبلغ ارتفاع درجة الحرارة اليوم التالي بوحدة الكلفن؟
   b. كم يبلغ ارتفاع درجة الحرارة بوحدة الفهرنهايت؟

10. هل دُوّنَت درجة الحرارة في كل من الحالات الآتية بشكل صحيح (هل هي مُمكنة فيزيائيًا ويُستخدم فيها التدوين الصحيح)، أم أنها غير صحيحة؟ فسّر إجابتك.
   a. -722.1°F
   b. -25 K
   c. 230.0°C
   d. 293°K

الدرس 3-2: السعة الحراريّة النوعيّة والحرارة الكامنة

11. منذ أكثر من قرن مضى، إعتاد الناس استخدام زُجاجات الماء الساخن في تدفئة ملابسهم قبل التسلّق. لماذا لم يستخدموا الأجسام الفلزّية الساخنة المماثلة في الكتلة بدلًا من ذلك؟

12. كيف تُفسّر السعة الحراريّة النوعيّة للفلزّات أنها الأنسب للاستخدام في أواني الطهي؟

13. لماذا لا تثبت قيمة درجة الحرارة عندما تتغيّر حالة المادة؟

14. وضع أحد الطلاب 2 kg من الماء الذي تبلغ درجة حرارته 20°C في الموقد [السعّة الحراريّة للماء c = 4184 J/kg °C]. يزوّد الموقد الماء بطاقة حراريّة مقدارها 502,080 J ما درجة الحرارة القُصوى التي سيبلغها الماء نتيجة تسخينه بهذه الطاقة؟

15. أضاف أحد الطلاب 502,050 J من الطاقة إلى كميّة من الماء [السعّة الحراريّة للماء 4184 J/kg °C] بتسخينه من درجة حرارة 20°C إلى درجة حرارة 60°C. ما كتلة هذه الكمية من الماء؟

16. هل يمكنك حساب السعة الحراريّة النوعيّة باستخدام ورقة ألومنيوم من المطبخ؟

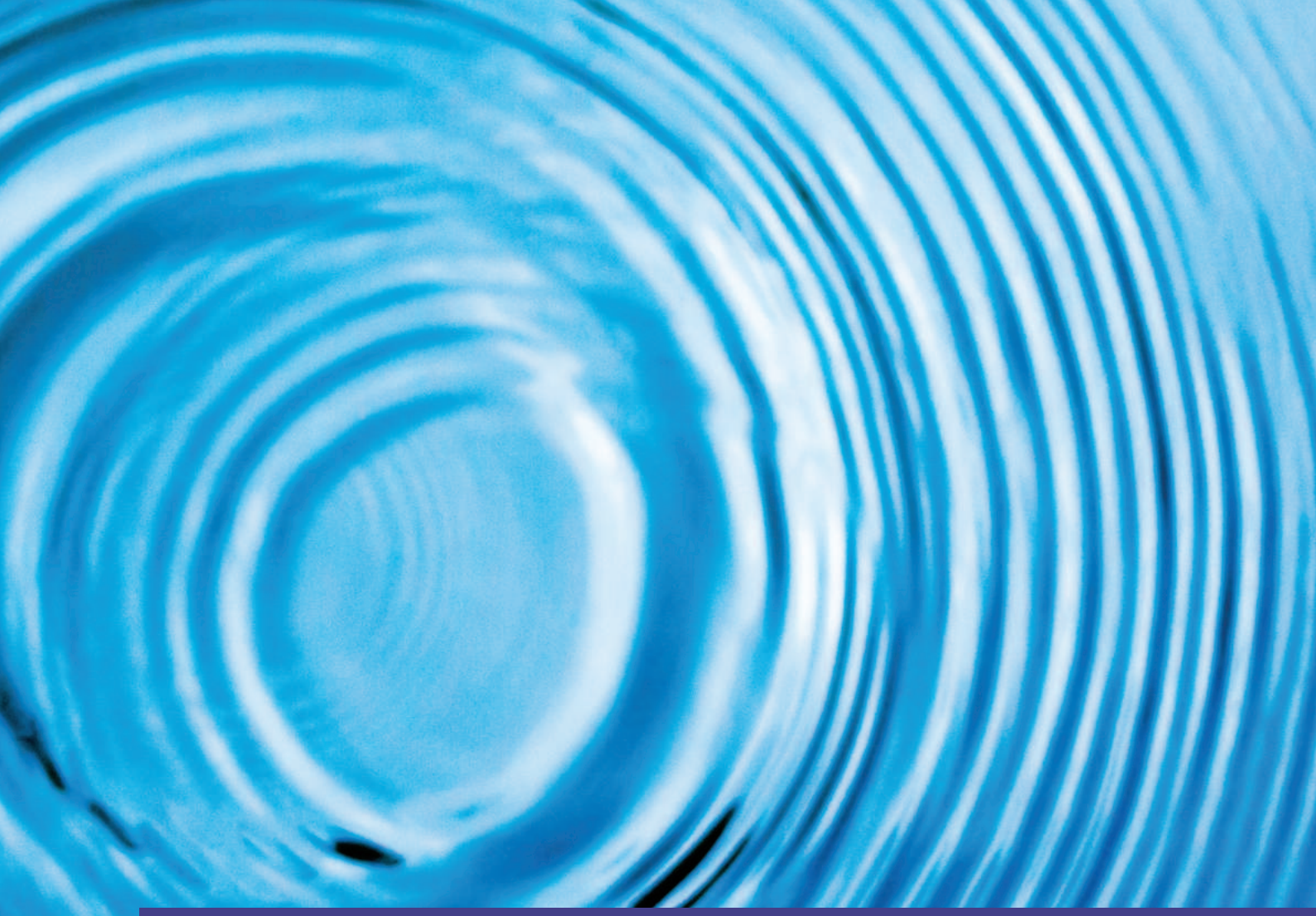
a. اكتب الخطوات و الإجراءات المناسبة التي سوف تتبعها.

b. هل سيُعطي هذا الإجراء إجابة مضبوطة؟ قدّم إجابتك في الحالتَين.

17. كيف تُساعد الحرارة الكامنة لانصهار الماء في تلطيف درجة حرارة الهواء المُحيط بمسطح مائي كبير، كالبُحيرات، والأنهار، والبِرَك المائية، والبحار؟

مسألة للبحث

ابحث وناقش كيف تؤدّي السعة الحراريّة النوعيّة للمواد دورًا عند تصميم الأجسام.



الوحدة 4
الموجات
Waves

في هذه الوحدة

الدرس 4-1: خصائص الموجات P1008

الدرس 4-2: الانكسار P1009

الدرس 4-3: العدسات والصور P1010

الوحدة 4

مقدّمة الوحدة

تُعرف الموجة بأنّها اهتزاز ينتقل عبر الوسط كالماء، أو عبر الفضاء. وهي مُنتشرة في كل مكان من حولنا. وتُعدّ الأمواج السطحية لمياه الخليج العربي مثالًا مألوفًا للموجات. كما يُعدّ الصوت والضوء موجات أيضًا. حتّى الإشارة التي تنطلق من الجوال إلى أبراج الهواتف المحليّة هي موجة، وكذلك الأشعّة السينية المستخدمة في التشخيص الطبي جميعها موجات.

تمتلك الموجات الكثير من الخصائص الفيزيائية المفيدة والمثيرة للاهتمام، والتي تشتمل على الانعكاس والانكسار والحيود والتداخُل والرنين والإستقطاب. تُركّز هذه الوحدة على خاصيتين من خصائص الموجات هما: الانعكاس والانكسار. وسنستقصي في هذه الوحدة كيفية نمذجة الانعكاس والانكسار، وتوقّع كيف ينتقل الضوء في الأنظمة البسيطة.

سوف نوضح التفسير الذي يُقدمه نموذج الأشعّة في كيفية تكوين الصور في العدسات، قد تكون تلك الصور مكبرة أو مصغرة أو مقلوبة، مقارنة بالأجسام التي تمثّلها. تعتمد النظّارات الطبيّة والعدسات المُكبِّرة والتلسكوبات والمناظير والكاميرات والمجاهر على ظاهرة انكسار الضوء خلال مروره عبر الأوساط المختلفة.

الأنشطة والتجارب

1-4 الانعكاس

a2-4 انكسار الضوء

b2-4 الزاوية الحرجة

3-4 رسم مُخطّطات الأشعّة

الدرس 4-1

خصائص الموجات
Wave Properties

قد تكون أمواج الماء هي أولى الأشياء التي تخطر لك عند التفكير في الموجات. ويكون ارتفاعها أوّل ما تُلاحظه عند الذهاب إلى الشاطئ. تعتمد بعض أنواع الرياضات المائية، مثل ركوب الأمواج وألواح التزلّج، على الارتفاع الكبير للأمواج. وتُعدّ رياضات مائية أخرى، مثل السباحة والغوص وزوارق التجديف، أكثر أمانًا عندما يكون الماء ساكنًا وأمواجه منخفضة.

الشكل 4-1 ركوب الأمواج.

مخرجات التّعلُّم

P1008.1 يذكر أوجه التشابه والاختلاف بين النبضات الموجية والموجات المستمرة، مع إعطاء أمثلة على كلتيهما.

P1008.2 يوضّح كيفية انتشار الموجات خلال وسط باستخدام مفهوم جبهة الموجة، ويمثل ويشرح انعكاس الصوت والضوء باستخدام جبهات الموجات.

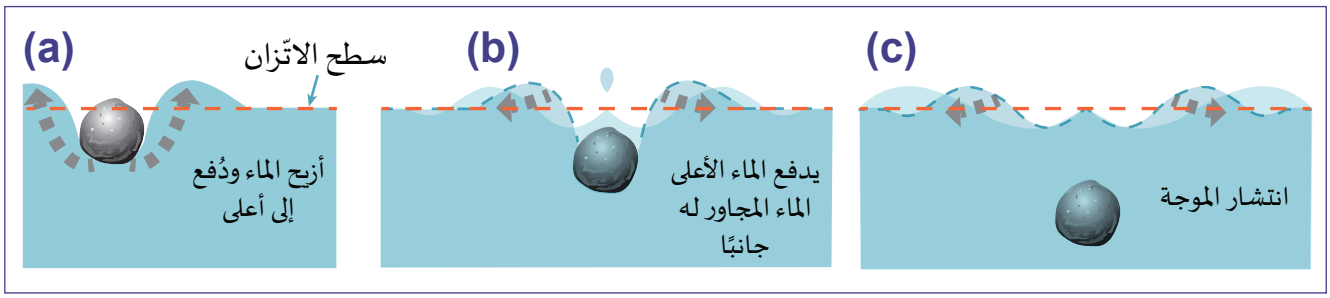
المفردات

Wave	موجة
Wave pulse	نبضة موجية
Periodic wave (Continuous wave)	موجة دورية (مُستمرة)
Wavelength	طول موجي
Amplitude	سعة
Time period	زمن دوري
Frequency	تردّد
Transverse wave	موجة مستعرضة
Longitudinal wave	موجة طولية
Mechanical wave	موجة ميكانيكية
Crest	قِمّة
Trough	قاع
Wavefront	جبهة الموجة
Reflection	انعكاس
Concave	مقعّرة
Convex	محدّبة

انتشار الموجات

تنتشر الموجات حاملةً معها الطاقة والمعلومات. فالطاقة هي التي تجعل الأجسام تهتزّ عندما تلمسها الموجة. أمّا المعلومات فهي سعة الاهتزازات وتردّداتها. فالموجة الكهرومغناطيسية، مثلًا، تحمل من هاتفك الجوّال صوتك وبياناتك في أنماط تردُّد متغيّرة.

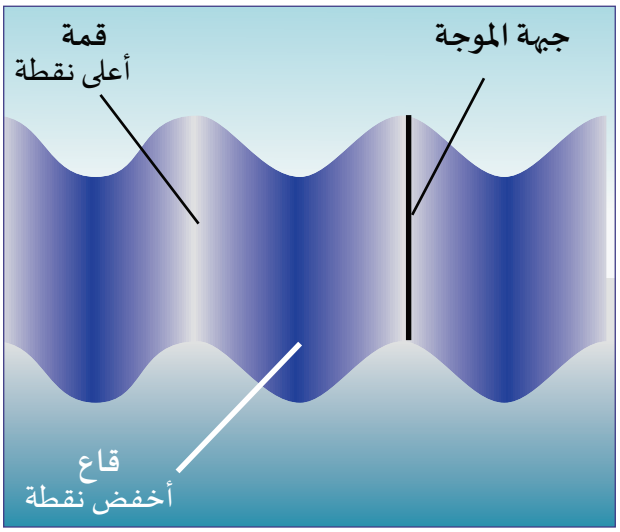
وتصنّف الموجات الصوتية والمائية على أنّها **موجات ميكانيكية Mechanical wave**، أي أنها تنتشر عبر الوسط المادي. فعند حدوث اضطراب في مكان معيّن من المادة، يُسبّب حدوث اضطراب في المادة المجاورة مباشرة بسبب انتقال الطاقة من جسيمات إلى جسيمات مجاورة لها، وهذه بدورها تسبّب اضطرابًا للمادة التي تجاورها، وهكذا... فعندما يسقط حجر في الماء، يدفع بعض الماء جانبًا عند مكان سقوطه على السطح (**الشكل 4-a2**). وبالتالي يقوم الماء المدفوع إلى أعلى بدفع الماء المجاور له بعيدًا عن الطريق التي يحاول أن يتدفّق منها، عائدًا إلى وضع اتّزانه (**الشكل 4-b2**). وكذلك الماء الذي يُدفع، فإنّه يدفع أيضًا الماء الذي أمامه، وهكذا... عندئذٍ تنتشر الموجة من خلال تفاعُل كل جزء من الماء مع الجزء المجاور له مباشرة (**الشكل 4-c2**).



الشكل 4-2 كيف تنتشر موجة الماء.

جبهات الموجات

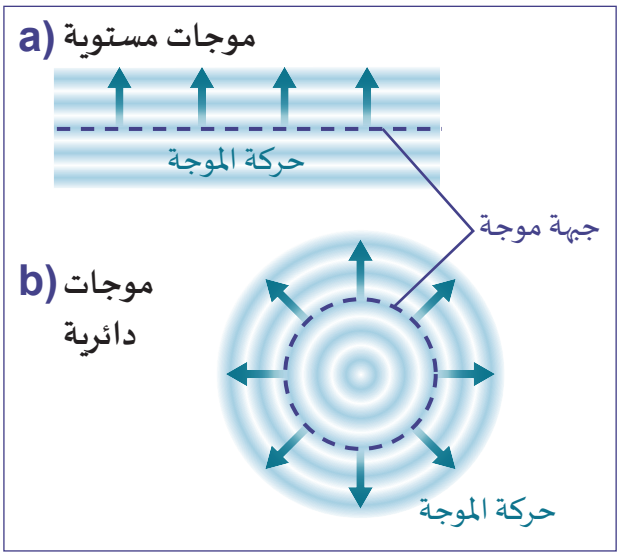
تأمّل التموّجات المنتشرة على الماء عند سقوط حجر. إنّ أعلى نقطة عند لحظة زمنية معيّنة في كل دورة من الموجة تُشكّل **قمة Crest** الموجة، وتُشكّل أخفض نقطة في كل دورة **قاع Trough** الموجة. وغالبًا ما نرسم القِمم على الرسوم التخطيطية لنُظهِر كيف تتحرّك الموجة. تُسمّى القِمّة أحيانًا **جبهة الموجة Wavefront**. وهي الخطّ الوهمي الذي يُمثّل مجموعة النقاط الموجودة في خط دورة المَوْجة، والتي تتحرّك بالطريقة نفسها، حيث تُستخدم عادةً قِمم الموجة في تعريف جبهة الموجة، كما في **الشكل 4-3**.



الشكل 4-3 تُستخدَم القِمم لإظهار جبهة الموجة.

رسم جبهات الموجة

يتمّ استخدام جبهات الموجة لإظهار انتشار الموجة. فعند رسم جبهات موجة معيّنة، يكون من المهم أن تتذكّر أن الموجات تتحرّك دائمًا عموديًّا على جبهاتها. ويسهل رؤية هذا الأمر في الموجات الدائرية والموجات المستوية. فتكون جبهات الموجة المستوية خطوطًا مستقيمة، وتتحرك عموديًّا عليها. أمّا جبهات الموجة الدائرية فتكون دوائر، فتتحرّك قُطريًّا (شعاعيًّا) من المركز إلى الخارج. وعند كل نقطة على الدائرة تتّسع الموجة في اتّجاه عمودي على جبهة الموجة (**الشكل 4-4**).

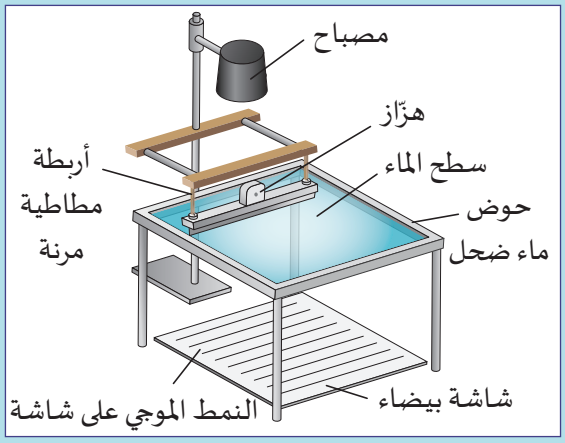


الشكل 4-4 جبهات موجة a) جبهة الموجة المستوية و b) جبهة الموجة الدائرية.

تتحرّك الموجات دائمًا مُتعامِدة مع جبهتها.

جبهات الموجة في حوض الموجات

يتكوّن حوض الموجات من حوض مستطيل الشكل قليل العمق. يتم فيه إنتاج الاضطرابات في الماء لإظهار كثير من الظواهر الموجية، مثل انتشار الموجات، واختلاف العمق، وعبور الموجات للحواجز، وغيرها. ويُعدّ تمثيل الموجات في حوض الموجات مثالًا جيّدًا على جبهات الموجة، كما هو مبيّن في (**الشكل 4-5**) .

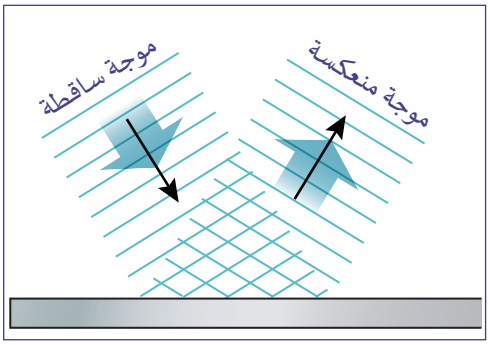


الشكل 4-5 حوض الموجات.

1. حدّد الاختلاف بين إنتاج نبضة موجية وإنتاج موجة مستمرّة.
2. استخدم حوض الموجات لتشرح الفرق بين جبهات الموجة عند ازدياد عمق الماء.
3. هل اضافة حاجز يغير من طريقة انتشار الموجات؟

الانعكاس

يتسبّب **الانعكاس Reflection** في تغيير اتّجاه الموجة، وقد يغيّر شكل جبهة الموجة أيضًا. يحدث الانعكاس في كل من الموجات المُستعرِضة والطولية. تنعكِس الموجة المستوية التي تواجه سطحًا عاكسًا مستقيمًا في اتّجاه جديد، مع المحافظة على شكل الموجة نفسه. وينطبق الأمر نفسه على الموجة الدائرية، حيث تبقى الموجة الدائرية المُنعكِسة عن سطح عاكس مستقيم موجة دائرية.

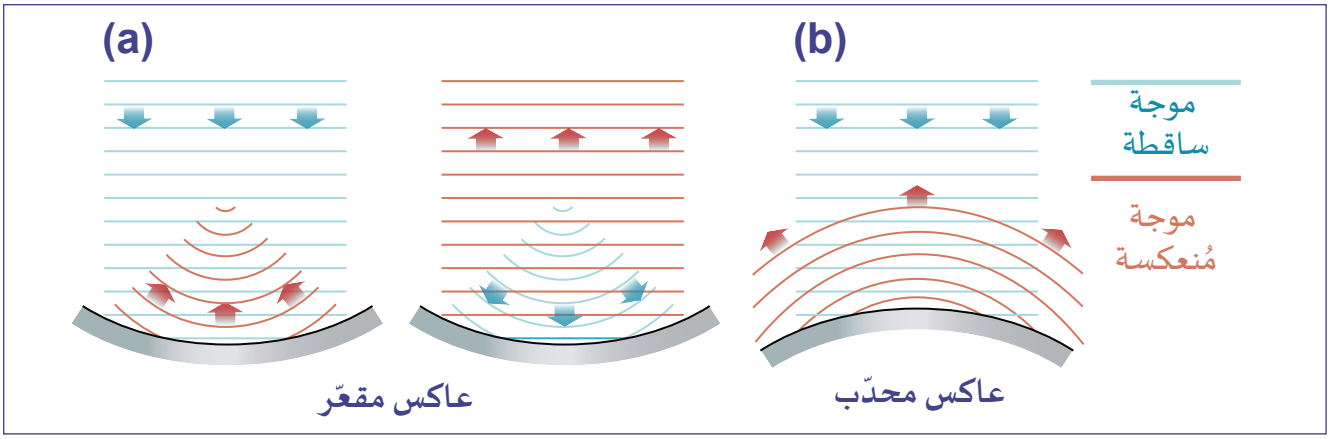


الشكل 4-6 انعكاس عن سطح عاكس مُستقيم.

الحدود والأسطح

يحدث الانعكاس عند الحدود التي تتغيّر فيها حالة الوسط، مثل جدار حوض سباحة أو جدار غرفة. يتغيّر اتجاه انتشار الموجة عند الحد أو السطح، وتبقى الموجة المُنعكسة في الوسط نفسه الذي انتقلت فيه الموجة الساقطة. يُبيّن (**الشكل 4-6**) الانعكاس عن سطح مستقيم.

قد تُغيّر الأسطح المنحنية من شكل الموجة، ومن اتّجاهها أيضًا. ويمكن للعاكس **المُقعّر Concave** أن يحوّل موجة مستوية إلى موجة دائرية فتتقارب أو تتلاقى عند نقطة ما. وفي المقابل تتحوّل الموجة الدائرية المنعكسة من الشكل نفسه إلى موجة مستوية (**الشكل 4-7a**). يستطيع العاكس **المحدّب Convex** أن يحوّل موجة مستوية إلى موجة دائرية تتباعد من نقطة ما (**الشكل 4-7b**). وقد يُحوّل الشكل المُحدّب موجة دائرية إلى موجة دائرية أخرى أيضًا بانحناء مختلف. تُستخدَم الحدود المنحنية على نطاق واسع في تكنولوجيا الاتّصالات، مثل صحون الإستقبال لإشارات الأقمار الاصطناعية.



الشكل 4-7 (a) الانعكاس بسبب سطح عاكس مُقعّر؛ (b) الانعكاس بسبب سطح عاكس مُحدّب.

يعتمد الانعكاس على نوع الحدود أو الأسطح وشكلها.

نشاط 4-1 الانعكاس

سؤال الاستقصاء	ماذا يحدث عند اصطدام الموجة بسطح عاكس؟
الموادّ المطلوبة	حوض موجات، مولّد موجات، أسطح مستقيمة ومحدبة ومقعره.

الخطوات

سيُجهّز معلّمك أو مُحضّر المُختبر حوض الموجات ويعرضه على الشاشة. بإشراف المعلم نفّذ الخطوات الآتية:

1. استخدم مولّد الموجات المستوية لتوليد موجات مستوية.
2. غيّر الطول الموجي بتغيير سرعة الهزّاز.
3. أضف سطحًا مُستقيمًا مائلاً بزاوية. لاحظ التغيُّر في جبهات الموجة.
4. والآن غيّر السطح المُستقيم إلى سطح عاكس مُنحنٍ (محدّب). لاحظ التغيُّر في جبهات الموجة.
5. والآن، غيّر العاكس إلى عاكس مُقعّر. لاحظ التغيُّر في جبهات الموجة.
6. غيّر الموجة إلى موجة دائرية، وكرّر الخطوات من 1 إلى 5.

الأسئلة

a. كيف يتغيّر الطول الموجي عندما تزداد سرعة الهزّاز؟
b. كيف يتغيّر الطول الموجي عندما تقل سرعة الهزّاز؟
c. ارسم موجة مستوية تنعكس عن سطح مستقيم. كيف يتغيّر اتّجاه الموجة؟
d. ارسم موجة مستوية تنعكس عن سطح مائل بزاوية. كيف يتغيّر اتّجاه الموجة؟
e. ارسم موجة مستوية تنعكس عن سطح مُقعّر وسطح مُحدّب. في أيّهما تتباعد جبهات الموجة؟ وفي أيّهما تتقارب؟
f. فيمَ يختلف انعكاس نبضة موجية عن انعكاس موجة مستمرّة؟ (للإجابة عن هذا السؤال، قد تحتاج إلى تكرّار التجربة بأكملها باستخدام نبضة موجية).
g. أجب عن الاسئلة من (c) إلى (e) في حالة الموجات الدائرية.

تقويم الدرس 4-1

1. أي مما يلي يُعبر عن انتشار الموجات في وسط معين؟
   a. حركة المادة في اتجاه الموجة
   b. انتقال الطاقة من خلال الوسط
   c. انتشار الموجة بشكل مستقيم
   d. انحناء الموجة عند مرورها بحافة حاجز

2. ما الذي يُعبر عنه مصطلح "جبهة الموجة"؟
   a. المسافة بين القمة والقاع في الموجة
   b. اتجاه حركة الموجة
   c. عدد الموجات المنتشرة في الوسط
   d. السطح الذي يتساوى عنده كل النقاط في الطور

3. كيف يحدث انعكاس الموجة؟
   a. تنتقل الموجة من وسط إلى آخر
   b. تنكسر الموجة عند حافة حاجز
   c. . ارتداد الموجة إلى الوسط بعد اصطدامها بسطح
   d. تتبدد الموجة بسبب الاحتكاك

4. كيف تُستخدم الأسطح المنحنية في تكنولوجيا الاتصالات؟ اذكر أمثلة تطبيقية على ذلك؟.

5. كيف يمكن إنتاج (a) موجات دائرية و (b) موجات مستوية في حوض استحمام مملوء بالماء؟

الدرس 4-2
الانكسار
Refraction

المنظار الطبّي جهاز طبّي يُستخدَم لتصوير أعضاء الإنسان الداخلية يُصنع من ألياف ضوئية، تسمح له بالانحناء عند وصوله إلى الأعضاء الداخلية. حيث يدخل الضوء إلى الليف الضوئي وينعكس عن سطحه الداخلي، حتى يصل إلى الأعضاء التي تتطلّب الفحص ينعكس الضوء بعد ذلك باتّجاه ليف ضوئي آخر، ليصل إلى كاميرا مثبّتة عند نهاية الليف، فتعرض على الشاشة صورًا للأعضاء التي تمّ فحصها.

الشكل 4-8 المنظار الطبّي.

مخرجات التّعلُّم

P1009.1 يستقصي العلاقة بين جيب زاوية السقوط $\sin(\theta_i)$ وجيب زاوية الانكسار $\sin(\theta_r)$، ويذكر ويناقش قوانين الانكسار.

P1009.2 يعرّف ويوضّح ويحسب معامل الانكسار (n) على النحو الآتي:

(1) نسبة جيب زاوية السقوط $\sin(\theta_i)$ إلى جيب زاوية الانكسار $\sin(\theta_r)$.

(2) نسبة العمق الحقيقي إلى العمق الظاهري.

(3) نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعة الضوء في الوسط.

P1009.3 يستقصي الانعكاس الكلي الداخلي والزاوية الحرجة(θ_c) لمواد مختلفة، ويوضّح تطبيقات الانعكاس الكلي الداخلي؛ على سبيل المثال في الألياف الضوئية.

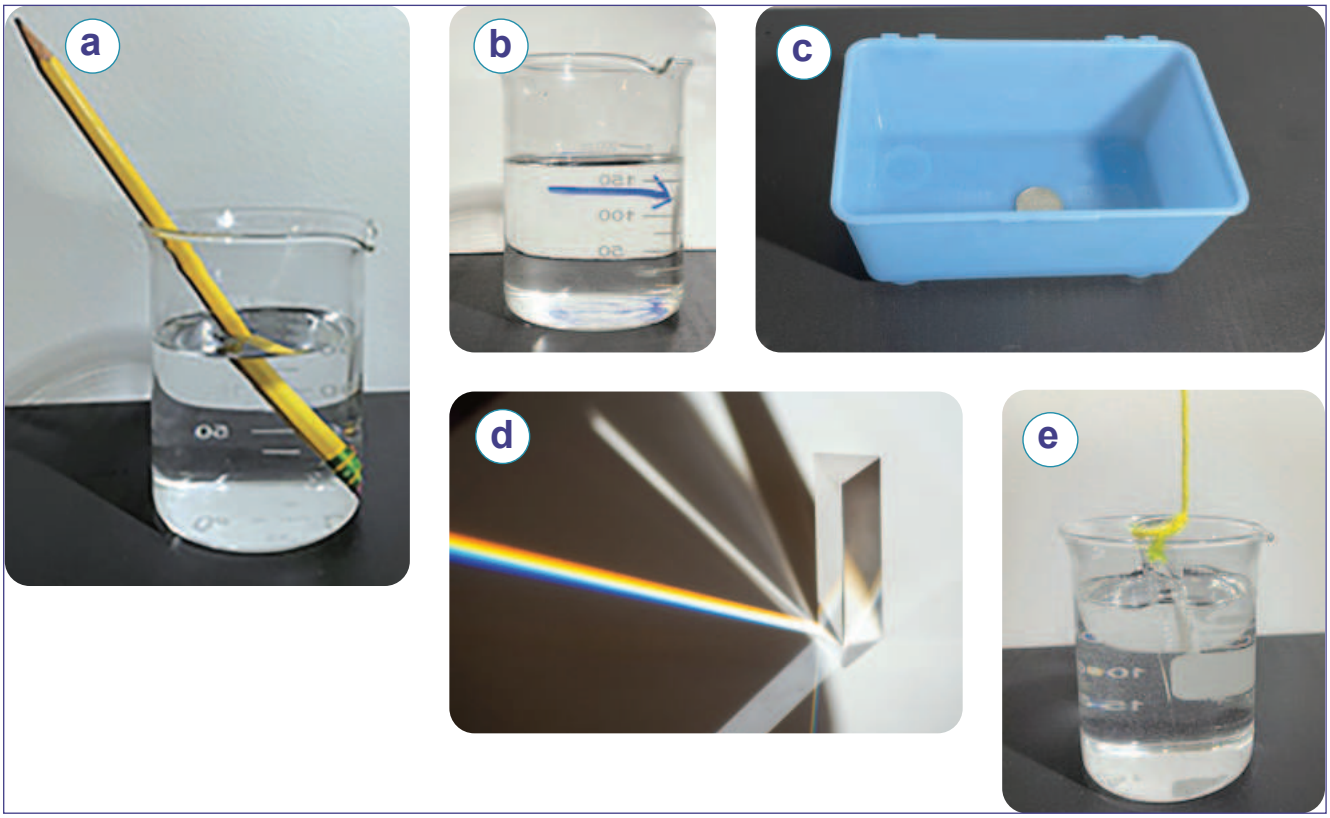
P1009.4 يشتق العلاقة $\sin(\theta_c) = \frac{n_r}{n_i}$ من قانون سنل.

المفردات

Refraction	انكسار
Light rays	أشعّة ضوئية
Incident ray	شعاع ساقط
Angle of incidence	زاوية السقوط
Normal	العمودي
Refracted ray	شعاع مُنكسر
Angle of refraction	زاوية الانكسار
Refractive index	مُعامِل الانكسار
Snell's law of refraction	قانون سنل للانكسار
Apparent depth	عمق ظاهري
Real depth	عمق حقيقي
Critical angle	زاوية حرجة
Total internal reflection	انعكاس كلّي داخلي

هل تستطيع شرح هذه الظواهر الضوئية؟

يتغيّر سلوك الضوء بتغيُّر المواد التي يعبرها. وينتج عن تغيُّر سلوكه بعض الظواهر. وسوف نجري فيما يأتي بعض التجارب. حاول تفسير ما يحدث في كل حالة.



الشكل 4-9 عروض لانكسار الضوء.

a. ضع قلم رصاص في الكأس الزجاجية. املأ الكأس الزجاجية بالماء. سوف يظهر قلم الرصاص عند مُشاهدته من الجانب وكأنّه مكسور. هل انكسر القلم في الواقع (**الشكل 4-9a**)؟

b. ارسم سهمًا على السبّورة. أحضر كأسًا زجاجية مملوءًا بالماء وضعه أمام السهم. سترى أنّ السهم قد انعكس اتّجاهه كيف حدثت هذه الخدعة السحرية (**الشكل 4-9b**)؟

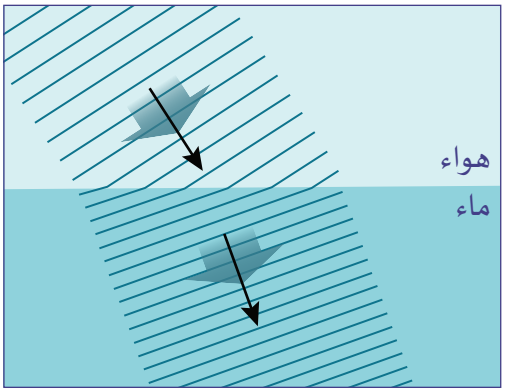
c. ضع عُملة معدنيّة أو أيّ شيء معدني آخر في وعاء واسع أو صينية. قف بجانب الصينية بحيث لا ترى العملة المعدنية. اطلب إلى زميلك الآن أن يصبّ الماء تدريجيا سوف تلاحظ أنّ العملة قد ظهرت، لماذا حدث ذلك؟ (**الشكل 4-9c**)؟

d. عندما يدخل الضوء في منشور ثلاثي، ينقسم مُشكّلًا قوس المطر. هل يمكنك تشكيل قوس المطر؟ هل جعل قوس المطر مرئيًا أمرًا سهلًا (**الشكل 4-9d**)؟

e. املأ كأسًا زجاجية من البيركس بزيت الأطفال. اربط خيطًا بأعلى أنبوبة اختبار. املأ أنبوبة الاختبار بزيت أطفال أيضًا. ضع أنبوبة الاختبار داخل الكأس الزجاجية. سوف تلاحظ أن أنبوبة الاختبار تختفي داخل الكأس الزجاجية أخرج أنبوبة الاختبار مرّة أخرى باستخدام الخيط. سوف تلاحظ أنها سليمة (**الشكل 4-9e**).

الانكسار

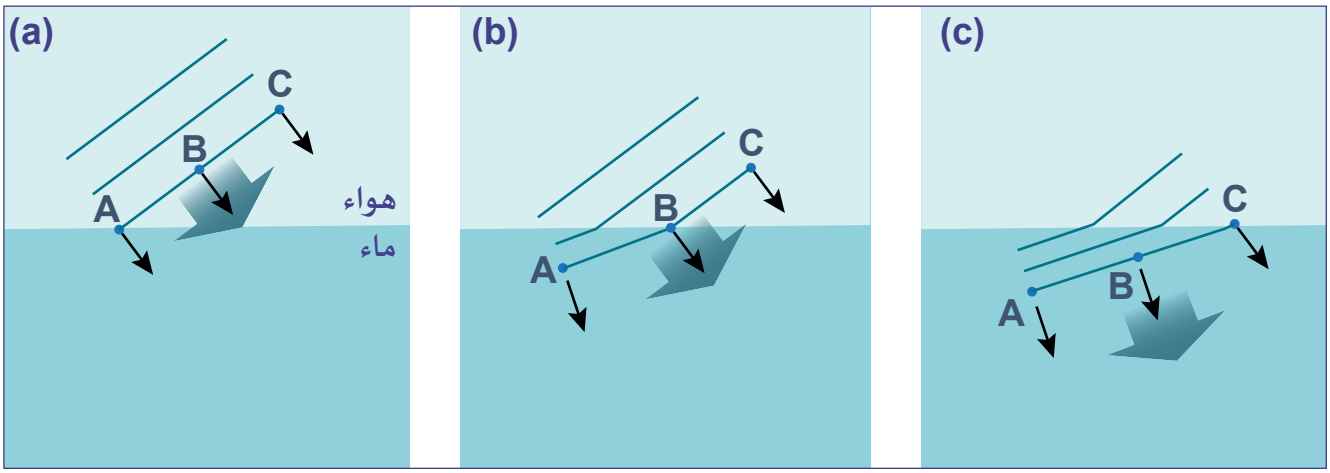
يحدث أن تتشكّل بعض الحدود الفاصلة بين المناطق في وسط ما، عندما تتغيّر خصائص الوسط، فعندما تعبر موجة مستوية الحدّ الفاصل بين الماء والهواء، كما هو مُبيّن في (**الشكل 4-10**)، تنحرف جبهة الموجة وتغيّر الموجة من اتّجاهها. تُسمّى هذه العملية **الانكسار Refraction**، وهي العملية التي تُغيّر فيها الموجة اتّجاهها عندما تعبر جبهة الموجة حدًّا ما.



الشكل 4-10 الانكسار.

ما الذي يُسبّب الانكسار؟

يحدث الانكسار عندما تختلف سرعة الموجة على جانبَي الحدّ الفاصل بين وسطين. يُبين الشكل (**a11-4**) ثلاث نقاط تقع في قمّة موجة مستوية تعبر حدًّا بين الماء والهواء. تنتقل الموجات في الماء بسرعة أبطأ من سرعة انتقالها في الهواء، حيث تصل النقطة A الحدّ الفاصل أوّلًا، وتُصبح حركتها أبطأ في الماء. ثمّ تصل النقطة B إلى الحدّ الفاصل ثانيًا، ثمّ النقطة C (**الشكل 4-b11** و **c**). ونتيجة لذلك تنتقل جبهة الموجة في الماء بزاوية مختلفة عن الموجة الأصلية. إذ تتحرّك الموجة باتّجاه عمودي على جبهة الموجة؛ ما يعني أنّ التغيُّر في جبهة الموجة يقابله تغيُّر في اتّجاه الموجة أثناء عبور الحدّ الفاصل.



الشكل 4-11 كيف يحدث الانكسار.

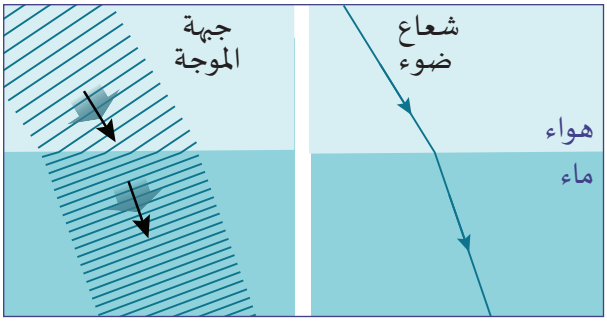
يغيّر الانكسار من الطول الموجي للموجة وكذلك اتجاهها (**الشكل 4-c11**)، حيث تتقارب جبهات الموجة على الجانب البطيء من الحد، لأن الطول الموجي يتناقص.

- تُحافظ المَوْجة على تردّدها عند جانبَي الحدّ لأنّ عدد المَوْجات التي تدخل الحدّ كل ثانية يُساوي عدد المَوْجات التي تخرج منه.
- إذا أصبحت سرعة المَوْجة v أقلّ، وبقي التردّد f هو نفسه، فإنّ الطول الموجي λ يجب أن ينقص عندئذٍ وفق المعادلة: $v = f \lambda$.

انكسار الضوء

الضوء موجة تتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي (موجة كهرومغناطيسية)، تهتز موجاته بتردّد عالي يصل إلى (10^{15} Hz). لكن، وعلى الرغم من أنّ هذه الاهتزازات غير محسوسة، تمكّنّا من خلال التجارب أن نُثبت أن الضوء يمتلك تردّدًا وطولًا موجيًّا، وأنّه يمتاز بالعديد من الخصائص، كالانعكاس بواسطة المرايا والانكسار بواسطة الزجاج أو الماء.

تفصل بين جبهات الموجة مسافة صغيرة جدًا، لذلك نلجأ إلى تمثيل مسار الضوء في المُخططات بواسطة **الأشعّة الضوئية Light rays** (**الشكل 4-12**). يُمثّل الشعاع الضوئي الواحد حُزمة رفيعة جدًّا من الضوء، مثل شعاع الليزر. تم استخدام الأسهم للتعبير عن اتجاه انتقال الضوء.

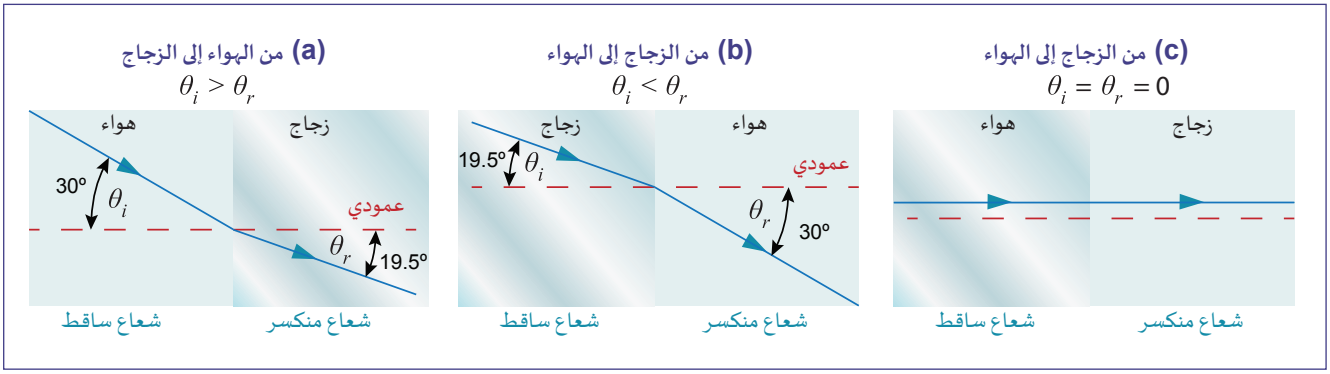


الشكل 4-12 جبهة الموجة والأشعة الضوئية للضوء.

تفسير انكسار الضوء

عندما نصف الانكسار، نأخذ شُعاعًا واحدًا ساقطًا يقترب من الحدّ الفاصل بين وسطين شفّافين. ويُعرف **الشعاع الساقط Incident ray** بأنّه الشعاع الذي يقترب من الحدّ الذي تتمّ دراسته. أما **العمودي Normal** فهو خطّ وهمي يتعامد مع الحدّ الفاصل ويمرّ بالنقطة التي يعبرها الشعاع الضوئي. يُوضّح (**الشكل 4-13a**) شُعاعًا ساقطًا عند **زاوية السقوط Angle of incidence** θ_i تساوي 30° بالنسبة إلى العمودي.

- عندما يمرّ الضوء من الهواء إلى الزجاج، ينحرف الشعاع الضوئي مقتربًا من العمودي. وتكون **زاوية الانكسار Angle of refraction** θ_r أصغر من زاوية السقوط في هذه الحالة $\theta_i > \theta_r$، يصنع **الشعاع المُنكسر Refracted ray** (**الشكل 4-13a**) زاوية 19.5° مع العمودي.
- لكن عندما يمرّ الضوء من الزجاج إلى الهواء، فإنّ الشعاع الضوئي ينحرف مبتعدًا عن العمودي. وتكون $\theta_i < \theta_r$. يصنع الشعاع المُنكسر (**الشكل 4-13b**) زاوية 30° مع العمودي.
- عندما يسقط الشعاع الضوئي من الهواء إلى الزجاج أو من الزجاج إلى الهواء بزاوية سقوط تساوي صفر (عمودي على الحدّ) فإنه لا ينحرف عن مساره، ومع ذلك تسمى هذه الحالة انكسارًا لأن السرعة والطول الموجي يتغيران (**الشكل 4 -13 c**).



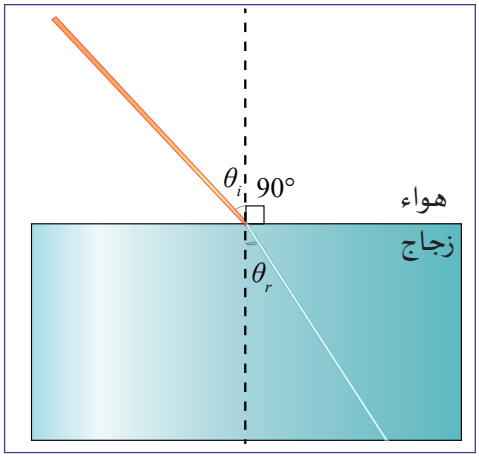
الشكل 4-13 (a) انتقال الضوء من الهواء إلى الزجاج، (b) انتقال الضوء من الزجاج إلى الهواء، (c) انتقال الضوء من الهواء إلى الزجاج عموديًا .

نشاط a2-4 انكسار الضوء

سؤال الاستقصاء	كيف ينكسر الضوء عند الحدّ؟
الموادّ المطلوبة	متوازي مُستطيلات زجاجي شفّاف وآخر بلاستيكي، صندوق الأشعّة الضوئية، مسطرة، منقلة، أقلام ملونة مختلفة، ورقة رسم بيانيّ، دبابيس تثبيت.

الخطوات

1. ضع متوازي المُستطيلات الزجاجي في منتصف ورقة الرسم البياني، وحدّد بخط عريض على محيط حواف متوازي المُستطيلات الزجاجي المُلامِسة للورقة، ثمّ أبعده.
2. استخدم مسطرة لرسم خطّ شعاع ساقط بزاوية 45° يتقاطع مع الجانب الأيسر لمخطّط متوازي المُستطيلات الزجاجي.
3. أعد وضع متوازي المُستطيلات الزجاجي على ورقة الرسم البياني.
4. سلّط شعاعًا من الضوء باستخدام صندوق الأشعّة الضوئية، بحيث ينطبق خط الشعاع الساقط على الخط المرسوم.



الشكل 4-14 تهيئة التجربة في المختبر.

لاحظ مكان خروج الشعاع من متوازي المُستطيلات الزُجاجي. ضع ثلاثة دبابيس على طول مسار الشعاع الخارج بحيث تترك أثرًا بعد إزالتها.

5. أزل متوازي المُستطيلات الزجاجي من مكانه وكذلك الدبابيس، وارسم الشعاع المُنكِسر الذي كان أحدثه وجود متوازي المستطيلات الزجاجي وذلك برسم خط مستقيم يصل بين العلامات الثلاث مكان الدبابيس التي أزلتها.
6. ارسم العمودي لقياس زاوية السقوط وزاوية الانكسار.
7. كرّر الخطوات من 2 إلى 6، ثلاث مرّات أخرى باستخدام زوايا سقوط أقلّ من 45°. تتضمّن قراءة واحدة زاوية سقوط 0°. ارسم كل شعاع ساقط باستخدام قلم ملوّن مختلف.
8. سجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
9. كرّر الإجراء نفسه باستخدام متوازي مستطيلات بلاستيكي.

الأسئلة

a. لماذا ينكسر الضوء عند سقوطه من الهواء على متوازي المستطيلات الزجاجي؟
b. ما عدد الأماكن التي انكسر فيها الضوء؟
c. ماذا حدث للضوء عندما سقط على متوازي المستطيلات بزاوية سقوط 0°؟
d. قارن بين زاوية السقوط من الهواء إلى الزجاج وزاوية الخروج من الزجاج إلى الهواء.
e. هل تتغير زاوية الانكسار عند تغير نوع مادة متوازي المستطيلات ؟ فسر إجابتك.

مُعامِل الانكسار

لاحظنا أن أشعّة الضوء الساقطة بزاوية السقوط نفسها يكون لها زوايا انكسار مختلفة في المواد المختلفة: فالشعاع الضوئي الساقط بزاوية سقوط 30° قد ينحرف بزاوية مقداراها 10.5° عند مروره من الهواء إلى الزجاج. والشعاع نفسه ينحرف بزاوية مقدارها 7.9° فقط عند مروره من الهواء إلى الماء. وهكذا، فإنّ القدرة على انكسار الضوء يحدِّدها **مُعامِل انكسار Refractive index** المادة. يُشار إلى مُعامِل الانكسار بالرمز n، وليس للمُعامِل وحدة قياس لأنه نسبة بين رقمين. فهو للزجاج (1.5) وللماء (1.33)؛ لذلك ينكسر الضوء في الزجاج بمقدار أكبر مقارنة بانكساره في الماء.

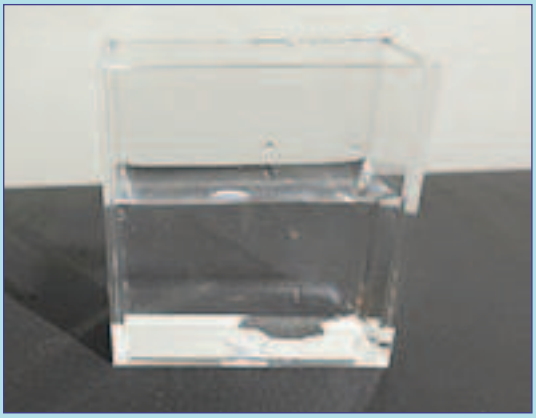
تعتمد الزاوية التي ينكسر فيها الشعاع الضوئي، مقتربًا من العمودي أو مبتعدًا عنه، على مُعامِل انكسار كل من المادتَين التي يفصلهما الحدّ. فكلما كان الفرق بين معاملَي الانكسار على كلا جانبَي الحدّ أكبر، كان الانكسار أكبر. يتراوح مُعامِل الانكسار بين المواد من 1 في (الهواء) أو الفراغ إلى 2.42 في (الألماس). ويتضمّن **الجدول 4-1** قيم معاملات الانكسار لبعض المواد المختلفة . ويحدث أكبر فرق بين مُعامِلات الانكسار في الغالب بين الهواء والألماس. وهو يُقدم تفسيرًا لخاصية " التلألؤ" المُميّزة للألماس المصقول.

الجدول 4-1 مُعامِلات الانكسار لمواد مُختلفة

المادة	معامل الانكسار n
الفراغ	1.0000
الهواء	1.0003
الماء	1.33
الجليد	1.31
الأكريليك	1.49
زجاج النوافذ	1.52
زجاج الصوان	1.62
الزجاج المُطعّم بالرصاص	1.7
الألماس	2.42

يعتمد الانكسار على الوسط الذي يسقط منه الضوء والوسط الذي ينكسر فيه. قم بصبّ عدد من السوائل ذات مُعامِلات انكسار مُختلفة كل على حِدة في وعاء، كما هو مُبيّن في (**الشكل 4-15**). سلّط شعاعًا من الضوء عبر الوعاء.

ماذا يحدث لزاوية الانكسار أثناء زيادة مُعامِل انكسار الوسط الثاني؟



الشكل 4-15 صبّ سوائل ذات مُعامِل انكسار مختلف في وعاء .

قانون سنل للانكسار

يُوضّح **قانون سنل للانكسار Snell's law of refraction** العلاقة بين زوايا السقوط وزوايا الانكسار للأشعة المنكسرة مع معامل انكسار الأوساط التي تنتقل خلالها، تنصّ صيغة القانون على أنّ حاصل ضرب مُعامِل الانكسار في جيب الزاوية هو نفسه على جانبَيْ حدّ السقوط والانكسار. يشير n_i و θ_i في **المعادلة 4-1** من القانون إلى الوسط الذي يقع فيه الشعاع الساقط. ويشير بالمثل n_r و θ_r إلى الوسط الذي يقع فيه الشعاع المُنكِسر.

عند استخدام قانون سنل، يجب الإشارة إلى زوايا السقوط وزوايا الانكسار بالنسبة إلى العمودي، وليس إلى الحدّ الفاصل بين المادتين.

1-4	قانون سنل للانكسار		
$n_i \sin\theta_i = n_r \sin\theta_r$		n_i	مُعامِل انكسار وسط السقوط
		n_r	مُعامِل انكسار وسط الانكسار
		θ_i	زاوية السقوط (°)
		θ_r	زاوية الانكسار (°)

مثال 1

ينتقل شعاع ضوئي من الهواء ($n_{air} = 1.0$) إلى ماء المحيط، فينحرف وفقًا **للشكل 4-16**. ما مُعامِل انكسار الماء؟

المطلوب: مُعامِل انكسار الماء n_{water}

المُعطيات: مُعامِل انكسار الهواء $n_{air} = 1.0$

العلاقات: $n_i \sin\theta_i = n_r \sin\theta_r$

الحلّ: زاوية السقوط هي:

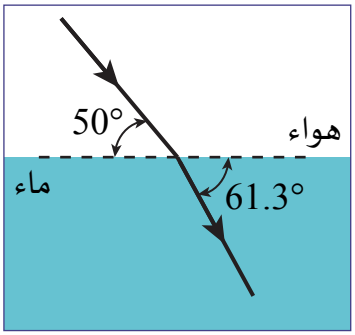
$$\theta_i = 90° - 50° = 40°$$

وزاوية الانكسار هي:

$$\theta_r = 90° - 61.3° = 28.7°$$

نقوم بإيجاد مُعامِل انكسار الماء:

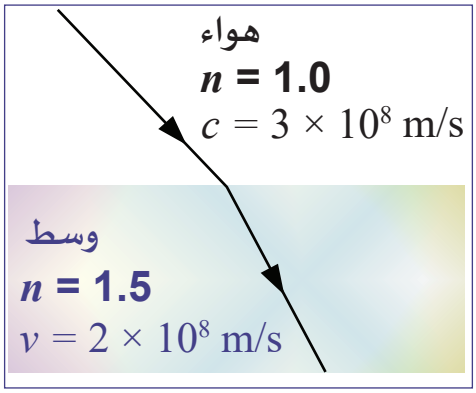
$$n_{water} = \frac{n_{air}\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{(1.0)\sin 40°}{\sin 28.7°} = 1.34$$



الشكل 4-16

علاقة سرعة الضوء في الوسط بمعامل انكسار الوسط

تتحرّك الموجات الضوئية في الفراغ بسرعة ثابتة مقدارها 3×10^8 m/s وعندما يعبر الضوء وسطًا شفّافًا، مثل الزجاج، تقلّ سرعته. تذكّر أن وسطًا، مثل الزجاج، يتكوّن من ذرّات. ولكي يمرّ الضوء خلاله، فإن الضوء تمتصّه ذرّة واحدة، ثم ينبعث مرة أخرى فتمتصّه الذرّة التي تليها، وهكذا عبر كل ذرّة بمقدار سُمك الزجاج. إلّا أن كل امتصاص وإعادة انبعاث يستغرقان بعض الوقت؛ لذلك تقلّ سرعة الضوء. ينتقل الضوء أسرع في الفراغ لعدم وجود ذرّات يتفاعل معها.



الشكل 4-17 تنخفض سرعة الضوء في وسط مُعامِل انكساره $n > 1$.

مُعامِل الانكسار هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ (c) وسرعته في الوسط (v). ويُعبَّر عن هذه العلاقة **بالمعادلة 4-2**. لا يملك معامل الانكسار وحدة قياس لأنه نسبة بين كميتين لهما نفس وحدة القياس.

الهواء ليس فراغًا، لكن على الرغم من ذلك فإنّ الذرات في الهواء تنتشر متباعدة عن بعضها البعض لذلك فإنّ سرعة الضوء في الهواء مساوية تقريبًا لسرعة الضوء في الفراغ.

2-4	مُعامِل الانكسار	n	مُعامِل الانكسار
$n = \frac{c}{v}$		c	سرعة الضوء في الفراغ (m/s)
		v	سرعة الضوء في الوسط (m/s)

تقل سرعة الضوء عندما يدخل في وسط عالي الكثافة الضوئيّة.

مثال 2

احسب مُعامِل الانكسار لمادة عندما ينتقل الضوء فيها بسرعة 1.85×10^8 m/s.

المطلوب: مُعامِل انكسار المادة n؛

المُعطيات: سرعة الضوء في الوسط: $v = 1.85 \times 10^8$ m/s؛

سرعة الضوء في الفراغ: $c = 3 \times 10^8$ m/s

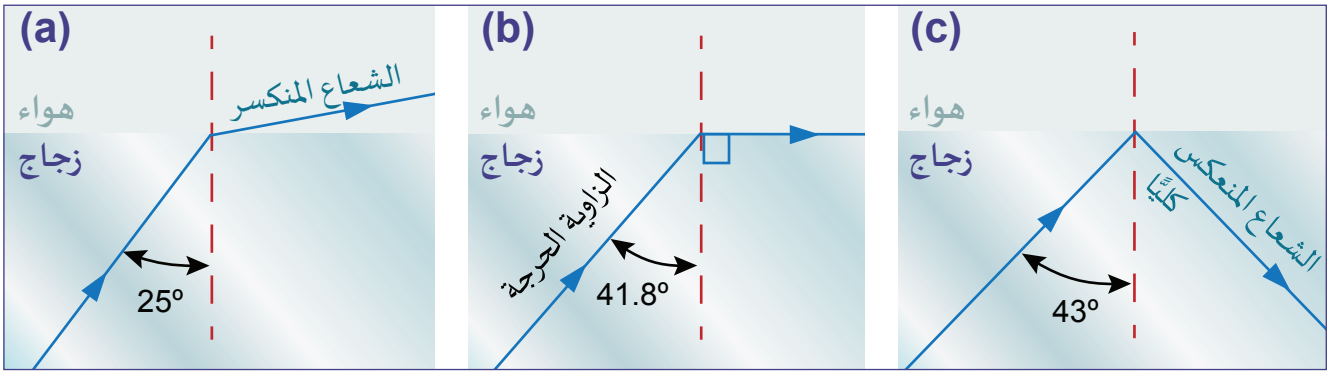
العلاقات: $n = \frac{c}{v}$

الحلّ:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1.85 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1.62$$

الزاوية الحرجة والانعكاس الكلّي الداخلي

عندما يعبر الضوء من الهواء إلى الزجاج، يحدث غالبًا بعض الانعكاس وبعض الانتقال (الانكسار). ويتمثّل الضوء المنتقل في الشعاع المُنكِسر وينحرف مقتربًا من العمودي وفقًا لقانون سنل. لكن عندما يعبر الضوء من الزجاج إلى الهواء، فإن شيئًا مختلفًا يحدث. فالشعاع الضوئي ينحرف مبتعدًا عن العمودي عندما يدخل الهواء، لأن سرعة الضوء تزداد. وعندما تكون زاوية السقوط 25°، فإن الشعاع المُنكِسر ينحرف بزاوية مقداراها 39.4° بعيدًا عن العمودي (**الشكل 4-18a**). وكلّما ازدادت زاوية السقوط ازدادت زاوية الانكسار كذلك. وعندما تكون زاوية السقوط 41.8°، فإن زاوية الانكسار تبلغ 90°. وعندها ينحرف الشعاع المنكسر بزاوية 90° بعيدًا عن العمودي، فإنّ زاوية السقوط عندئذٍ تُعرف باسم **الزاوية الحرجة Critical angle** (**الشكل 4-18b**).



الشكل 4-18 (a) الشعاع المُنكسر (b) الزاوية الحرجة؛ (c) الانعكاس الكلّي الداخلي.

يمكننا حساب الزاوية الحرجة للوسط باستخدام قانون سنل $n_i \sin\theta_i = n_r \sin\theta_r$.

وبما أنّ زاوية الانكسار هي 90°، و $\sin(90°) = 1$، يمكننا إعادة ترتيب المتغيّرات لنحصل على **معادلة الزاوية الحرجة 4-3**،التي تصف العلاقة بين الزاوية الحرجة ومعاملي الانكسار.

3-4	الزاوية الحرجة		
$\sin\theta_c = \frac{n_r}{n_i}$		θ_c	الزاوية الحرجة (°)
		n_r	مُعامِل انكسار وسط الانكسار
		n_i	مُعامِل انكسار وسط السقوط

الانعكاس الكلّي الداخلي

ماذا يحدث عندما تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة؟ لا يكون هناك شعاع مُنكسِر على الإطلاق، وينعكس الشعاع الساقط بشكل كامل في الوسط نفسه. تُعرَف هذه الظاهرة باسم **الانعكاس الكلّي الداخلي Total internal reflection** (**الشكل 4-18c**) لأنّ الشعاع المُنعكس الناتج يكون في نفس الوسط الذي سقط منه الشعاع.

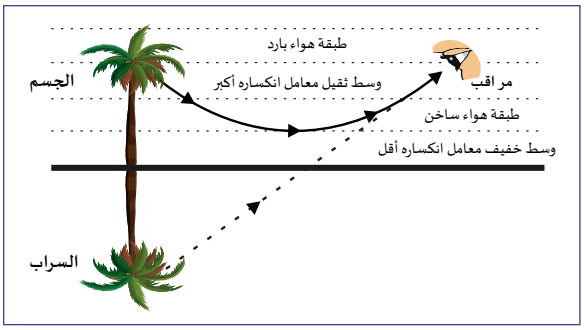
السراب والانعكاس الكلي الداخلي

هل صادف أن شاهدت ماءً على الطريق أمامك وأنت تقود سيّارتك، ثمّ اختفى ذلك الماء فجأة حين وصولك إلى موقعه؟

يُمكن أن تتشكّل صورة تحت ظروف بيئيّة مُعيّنة نتيجة للانعكاس الكلي الداخلي للضوء. تُعدّ هذه الصورة غير حقيقيّة، وتُعرَّف بأنها وهم بصري، أو سراب؛ والسراب هو وهم ظهور الماء على الطريق عندما يكون الطريق الحقيقي جافًا، كما في **الشكل 4-19**.

الشكل 4-19 السراب على طريق.

يحدث السراب بسبب تغيّر مُعامل انكسار الهواء مع درجة الحرارة. فدرجة الحرارة فوق سطح الطريق في يوم حار يمكن أن ترتفع إلى 80°C، وهي أعلى بكثير من درجة حرارة الهواء الموجود فوق الطريق على مسافة أقلّ من متر. أضف إلى ذلك أنّ الهواء الساخن يملك مُعامل انكسار أقلّ من مُعامل انكسار الهواء البارد؛ لذلك، فإنّ أشعة الضوء تقترب من الحدّ الفاصل بين الهواء البارد والهواء الساخن ليمرّ من مُعامل انكسار أعلى إلى مُعامل انكسار أقلّ (**الشكل 4-20**).



الشكل 4-20 يتكوّن السراب بواسطة الانعكاس الداخلي الكُلّي.

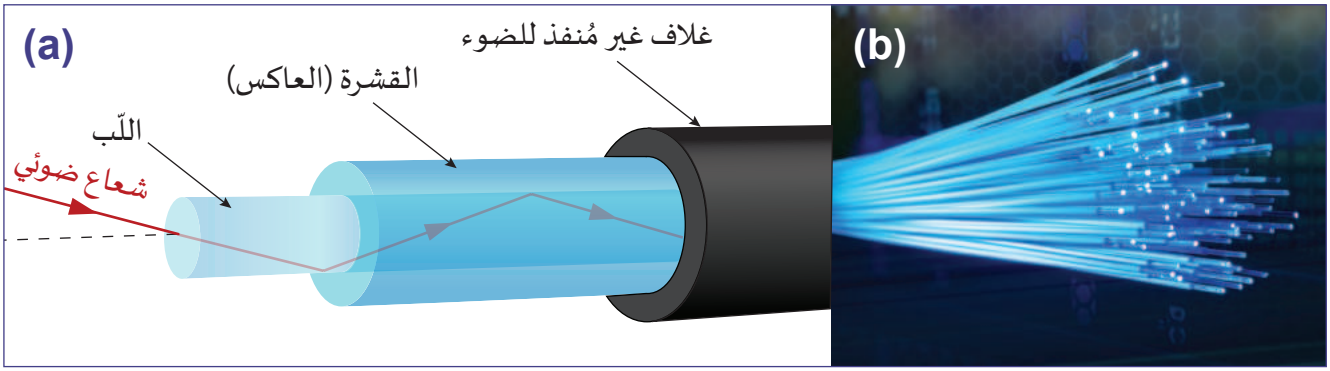
- أشعة الضوء المُقتربة من الحدّ الفاصل تكون في الهواء البارد بمعامل انكسار أكبر.
- تملك الأشعة الضوئية الساقطة بزوايا سقوط قريبة من 90°، زاوية حرجة أكبر، وتنعكس عن الحدّ انعكاسًا كُلّيًا داخليًا.
- نشاهد انعكاس السماء والبيئة المُحيطة بدلًا من الطريق. لذلك، فإنّ الطريق يبدو مُبلّلًا، فيكون شبيهًا بسطح مرآة.

يُكوّن الانعكاس الناتج عن الانعكاس الكُلّي الداخلي صورة مقلوبة للأجسام المحيطة، كالأشجار أو الجبال أو المباني. وعندما نقترب من السطح الساخن، تختفي الصورة بسبب تغيّر الزاوية التي نُراقب من خلالها السطح لتُصبح أقلّ من الزاوية الحرجة.

الألياف الضوئية والانعكاس الكلّي الداخلي

الليف الضوئي هو أنبوب تنتقل خلاله أشعة الضوء يعمل على مبدأ الانعكاس الكلّي الداخلي. عند إرسال الضوء عبر أنبوبة زجاجيّة بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة، ينعكس الضوء في كل نقطة انعكاسًا كليًّا داخليًا عند الحدّ الفاصل بين الزجاج والهواء، ثم يرتدّ إلى الخلف في الزجاج.

تتكوّن الألياف الضوئية من لبّ زجاجي فائق النقاء رقيق بمُعامل انكسار كبير. يُغطّى اللّب بقشرة زجاجية (العاكس) ذات مُعامل انكسار أقلّ. وتكون القشرة مُغطّاة بغلاف بلاستيكي غير مُنفذ للضوء لمنع تفرّقه (**الشكل 4-a21**)



الشكل 4-21 بنية ليف ضوئي.

تدخل أشعة الضوء الألياف الضوئيّة بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، لتُحتجز في اللّب بوساطة الانعكاس الكُلي الداخلي مع تبدّد قليل جدًا (**الشكل 4-b21**). تُستخدَم كابلات الألياف الضوئيّة لجميع خطوط الاتصالات ذات السرعة العالية، لتمتدّ عبر القارات والمُحيطات حاملةً معها الصوت وبيانات الشبكة.

مثال 3

ما الزاوية الحرجة للضوء المارّ من الزجاج ($n = 1.50$) إلى الهواء ($n = 1.00$)؟

المطلوب: الزاوية الحرجة. θ_c

المُعطيات: مُعامِل انكسار الزجاج. $n_{glass} = 1.50$

مُعامِل انكسار الهواء. $n_{air} = 1.00$

العلاقات:
$$\sin\theta_c = \frac{n_r}{n_i}$$

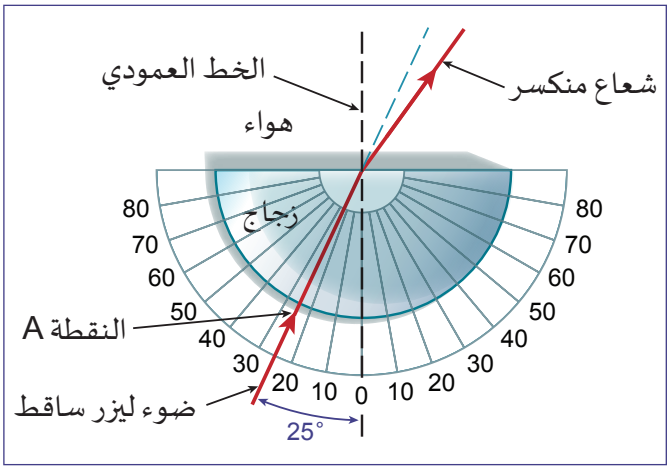
الحلّ:
$$\sin\theta_c = \frac{n_{air}}{n_{glass}} = \frac{1.00}{1.50} = 0.667$$
$$\theta_c = \sin^{-1}(0.667) = 41.8°$$

نشاط b2-4 الزاوية الحرجة

سؤال الاستقصاء	كيف نجد الزاوية الحرجة لقالب زجاجي؟
الموادّ المطلوبة	قالب زجاجي ذو شكل نصف دائري، صندوق أشعّة ضوئية، ورق أبيض، منقلة، قلم رصاص، مسطرة.

الخطوات

1. ضَع القالب الزجاجي ذا الشكل نصف الدائري على قطعة من الورق كما هو مُبيّن في الشكل. حدّد بالقلم على محيط حافة القالب الزجاجي.
2. أبعد القالب الزجاجي وارسم الخط العمودي.
3. حدّد الزوايا باستخدام المنقلة كما هو مبيّن.
4. سلّط ضوءًا باستخدام صندوق الأشعّة الضوئية بحيث تكون زاوية السقوط داخل الزجاج بالنسبة إلى العمودي، 25°.



الشكل 4-22 تهيئة الزاوية الحرجة في المختبر.

5. والآن، زدْ زاوية السقوط تدريجيًّا إلى أن تصبح زاوية الانكسار 90°.
6. تُسمّى زاوية السقوط هذه "الزاوية الحرجة". سجّل قياس الزاوية الحرجة في ورقة العمل.
7. عوّض قيمة الزاوية الحرجة وزاوية الانكسار ومُعامِل انكسار الهواء في المعادلة:

$$n_i \sin\theta_i = n_r \sin\theta_r$$

8. حلّ المعادلة لمعرفة مُعامِل انكسار الزجاج.

الأسئلة

a. هل كنت قادرًا في الخطوة 5 على احداث انكسار للضوء لتكون زاوية الانكسار 90° بالضبط؟

b. ينكسر الضوء عندما يكون خارجًا من الجهة المستوية من القالب الزجاجي؛ لماذا لم يحدث الانكسار أثناء دخول الضوء الطرف نصف الدائري من القالب؟

c. ما العلاقة بين مُعامل الانكسار لوسطين مُختلفين، إذا سقط الضوء من الوسط الأول إلى الوسط الثاني وانحرف مُقتربًا من العمودي؟

d. ما العلاقة بين مُعاملي الانكسار لوسطين مُختلفين، إذا سقط الضوء من الوسط الأول إلى الوسط الثاني وانحرف مُبتعدًا عن العمودي؟

تقويم الدرس 4-2

1. يدخل الضوء من الهواء إلى قطعة من الكهرمان ($n = 1.55$) بزاوية 45°. ما زاوية انكسار الضوء داخل الكهرمان؟

2. ينعكس الضوء المارّ عبر الزجاج انعكاسًا كليًا داخليًا عندما يصطدم بالحدّ الفاصل بين الزجاج والهواء بزاوية سقوط 40.0°. ما نوع (أو أنواع) الزجاج الذي يكون فيه هذا الحدث ممكنًا؟

3. أراد صائغ مجوهرات اختبار مادّة مكعب ليتأكّد إن كانت مصنوعة من الألماس، فقام بقياس زاوية انكسار شعاع ليزر مُسلّط عليها بزوايا مُختلفة. ووضع بياناته كما في الجدول المُبيّن.

زاوية السقوط θ_i	زاوية الانكسار θ_r
0°	0°
30.0°	19.6°
45.0°	28.3°
60.0°	35.5°

   a. ما مُعامِل الانكسار لهذا المُكعّب؟
   b. هل تدعم البيانات الاستنتاج القائل بأن المادة ألماس؟ لماذا؟
   c. احسب الزاوية الحرجة لمُكعّب الألماس.
   d. هل هناك طريقة أخرى باستخدام علم البصريات للتأكّد من أنّ المكعّب من الألماس الحقيقي؟

4. يمتلك فيزيائي ثلاث مواد (A، B، C) مُعامِلات انكسارها 1 و 2 و 3 على التوالي.
   a. هل ينحرف شعاع الضوء الساقط من A إلى B مبتعدًا عن العمودي أم مقتربًا منه؟
   b. هل ينحرف شعاع الضوء الساقط من C إلى B مبتعدًا عن العمودي أم مقتربًا منه؟
   c. هل ينحرف شعاع الضوء الساقط من A إلى C مبتعدًا عن العمودي أم مقتربًا منه؟
   d. إذا كانت زاوية السقوط 30°، فهل ينحرف شعاع الضوء أكثر في A أم في C؟

5. يمتلك الوسط A مُعامِل انكسار 1.2، والوسط B مُعامِل انكسار 1.36. أيٌّ من الوسطَين يسمح للضوء بالانتقال فيه أسرع؟

6. يملك نوع من الزجاج مُعامل انكسار 1.46.
   a. احسب الزاوية الحرجة لهذا الوسط.
   b. بحسب الشكل المجاور، هل سينكسر شعاع الضوء عبر السطح الفاصل بين الوسطين أم سينعكس في الوسط نفسه في الزجاج. اشرح اجابتك.

7. سقط شعاع ضوئي على الحدّ الفاصل بين الزجاج والماء بزاوية 30 °، أحسب زاوية الانكسار في الماء إذا علمت أن معامل انكسار الزجاج (n = 1.55) ومعامل انكسار الماء (n = 1.33).

الدرس 4-3
العدسات والصور
Lenses and images

تُعدّ ظاهرة انكسار الضوء أساس عمل معظم الأجهزة البصرية، والمنظار أحد هذه الأجهزة وعلى الرغم من أن المناظير قد صُمِّمت في البداية للأنشطة العسكرية، ولكن استخداماتها قد تنوّعت اليوم حتى بلغت مجال الترفيه أيضًا. تُستخدَم العدسات في المنظار لإنتاج صورة يمكن رؤيتها من خلال العدسة العينيّة، حيث يمر الضوء من خلال منشورَين مرتّبَين، لقلب الصورة قبل وصولها إلى العدسة العينيّة.

الشكل 4-23 المنظار.

مخرجات التّعلُّم

1010.1 يعرض ويوضّح انكسار الضوء، ويصف المصطلحات الأساسية المرتبطة بالعدسة (المحور الرئيس، البؤرة، البُعد البؤري، نصف قطر التكوّر).

1010.2 يستقصي خصائص الصور المتكونة بالعدسة المحدّبة. ويذكر معادلة العدسة الرقيقة ويحل مسائل حسابية مرتبطة بالعدسات المحدّبة باستخدام هذه المعادلة $\frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v}$.

1010.3 يستقصي خصائص الصور المتكونة بالعدسة المقعّرة.

1010.4 يناقش استخدامات العدسات في التطبيقات الحياتية (مثل عدسة مكبرة، كاميرا، تلسكوب، مجهر).

1010.5 يوضح أسباب قصر النظر وطول النظر، ويستخدم معرفته وفهمه للعدسات لاقتراح طرائق لتصحيحها.

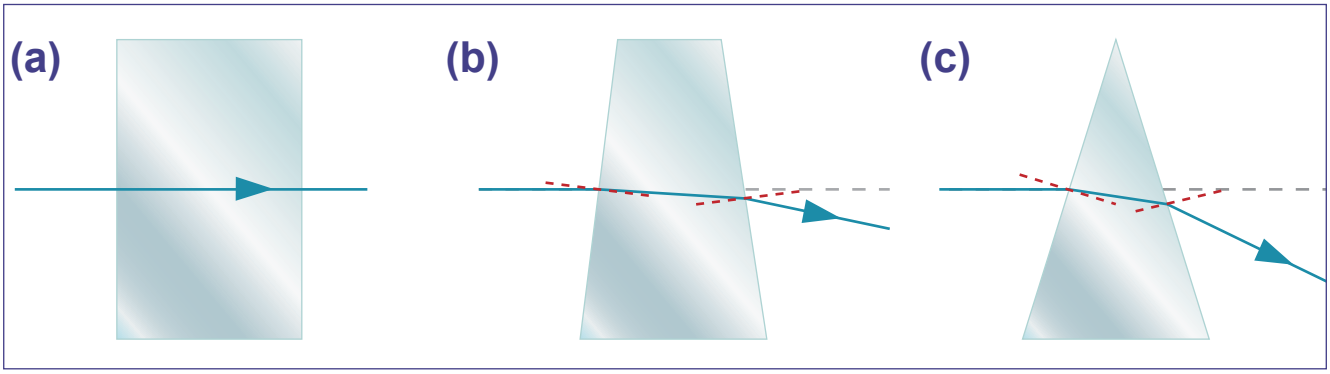
المفردات

Principal axis	محور رئيس
Focal point	بؤرة
Focal length	بُعد بؤري
Convex lens	عدسة محدّبة
Concave lens	عدسة مقعّرة
Radius of curvature	نصف قُطر التكوّر
Real image	صورة حقيقية
Virtual image	صورة تقديريّة
Thin lens formula	معادلة العدسة الرقيقة

كيف ينكسر الضوء خلال سطحين؟

كانت العدسات أحد أهمّ الاختراعات التي توصّلت لها البشريّة. وهي موجودة في أعيننا، وفي الكاميرات، والمجاهر، والتلسكوبات، والكثير من التقنيّات الأخرى. تُستخدم في العدسات سطوح منحنية لكسر الضوء. يمكنك مُلاحظة ذلك، بتسليط شعاع ضوئي من صندوق الأشعّة الضوئية على الأشكال الثلاثة لقوالب الزجاج (**الشكل 4-24**). سوف تُلاحظ ما يأتي:

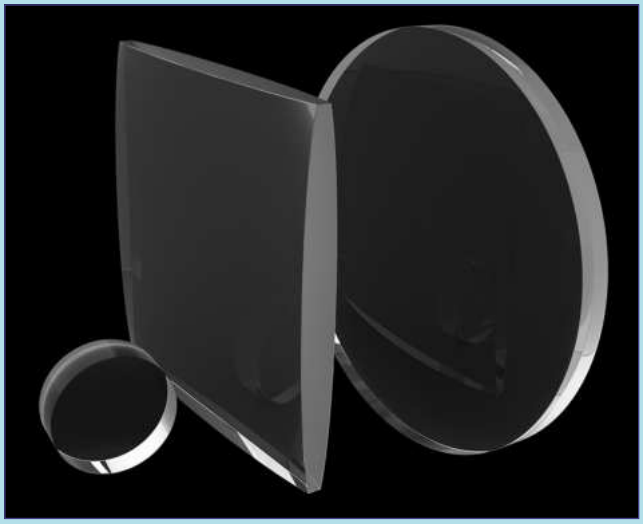
1. لا يحرف متوازي المُستطيلات الزجاجي الشعاع الضوئي الساقط عليه إطلاقًا، لأن الضوء يدخل إلى متوازي المُستطيلات الزجاجي بزاوية سقوط مقدارها 0° (**الشكل 4-24a**).
2. يحرف شبه المُنحرف الزجاجي الشعاع الساقط على ضلعه المائل (**الشكل 4-24b**).
3. كلما ازداد الميل، ازداد الانحراف (**الشكل 4-24c**).



الشكل 4-24 (a) متوازي المُستطيلات الزجاجي: لا انحراف؛ (b) شبه المُنحرف الزجاجي: بعض الانحراف؛ (c) المنشور الزجاجي الثلاثي: انحراف أكبر.

يوضّح التفسير السابق ما تعلّمناه بالفعل عن الأشعّة المُنكسرة؛ فالأشعّة الضوئية التي تدخل وسطًا بزاوية سقوط 0° لا تنحرف. وكلما ازدادت زاوية السقوط، ازدادت زاوية الانكسار أيضًا.

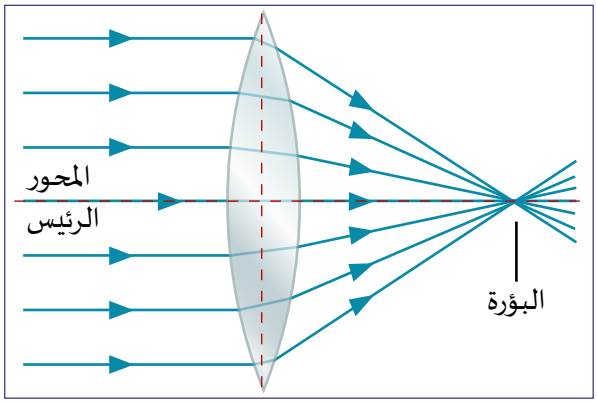
تعمل العدسات على مبدأ الانكسار نفسه. فهي تتكوّن من سطوح منحنية. ويختلف انكسار الضوء عند كل نقطة على سطح العدسة بسبب تغيّر زاوية السقوط عليها. هل يمكننا استخدام **الشكل 4-25** لنعرف كيف سينكسر الضوء من خلال كل عدسة؟



الشكل 4-25 أنواع مختلفة من العدسات.

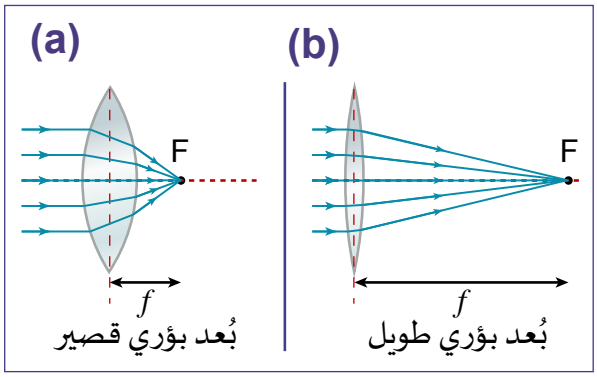
كيف تعمل العدسات؟

تُعرف العدسات بأنّها أجسام شفّافة لها سطح منحنٍ واحد على الأقل. ويعتبر **المحور الرئيس Principle axis** خطًّا وهميًّا إذا مرّ الشعاع الضوئي على طوله، لا ينحرف بواسطة العدسة (**الشكل 4-26**). وغالبًا ما يكون المحور الرئيس مارًّا من خلال مركز العدسة، وعموديًا على خط التماثل الطولي للعدسة. ويحدث انكسار أكبر للأشعّة الضوئية التي تدخل العدسة موازية للمحور الرئيس كلّما ابتعدت نقطة سقوطها عن المحور الرئيس.



الشكل 4-26 المحور الرئيس وبؤرة العدسة.

في العدسة المثالية، جميع الأشعة الضوئية التي تسقط موازية للمحور الرئيسي تنكسر لتتقاطع في **البؤرة Focal point**، (F). أمّا **البُعد البؤري Focal length** (f) فهو المسافة من مركز العدسة إلى البؤرة. وهو يعتمد على انحناء سطحَي العدسة ومُعامِل انكسار المادة المصنوعة منها.



الشكل 4-27 (a) عدسة شديدة الانحناء؛ (b) عدسة قليلة الانحناء.

تحرف العدسة السميكة ذات الأسطح المنحنية انحناءً شديدًا الأشعّة الضوئية أكثر، وبالتالي يكون لها بُعد بؤري أقصر من عدسة رقيقة أقلّ انحناء (**الشكل 4-27a** و **b**). تمتلك العدسة المصنوعة من مادة ذات مُعامِل انكسار كبير بُعدًا بؤريًّا أقصر من العدسة المصنوعة من مادة ذات مُعامِل انكسار صغير.

تنكسر الأشعّة الضوئيّة المارة عبر العدسة المحدبة والموازية للمحور الرئيس لتتقاطع عند بؤرة العدسة.

ما البُعد البؤري؟

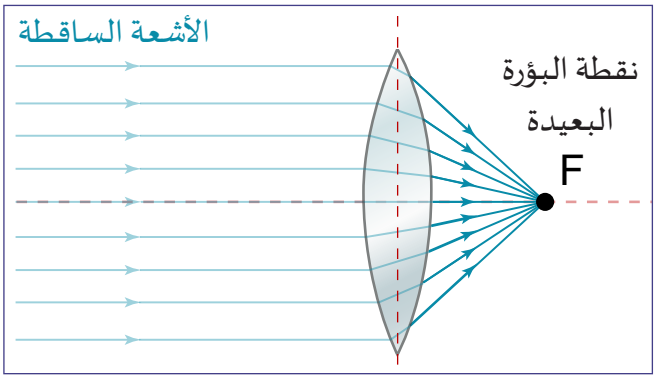
يعتمد البعد البؤري للعدسة على مُعامِل انكسارها ونصف قُطر تكوّرها. فالعدسات المصنوعة من مادة ذات مُعامِل انكسار كبير سيكون لها بُعد بؤري قصير. وفي المقابل، فإنّ العدسات التي لها شكل مُماثل، لكنها مصنوعة من مواد ذات مُعامِل انكسار أقلّ، سيكون لها بُعد بؤري أطول.

صُنعت عدستان بالأبعاد نفسها: إحداهما من الأكريل (الزجاج العضوي) والأخرى من الزجاج. ابحث عن معاملَي انكسار كل من المادتَين ، واشرح أي من العدستَين تمتلك بُعدًا بؤريًّا أطول موضّحًا إجابتك.

العدسات المُجمِّعة (المُحدَّبة) والعدسات المُفرِّقة (المُقعَّرة)

يُسمّى النوعان الأكثر شيوعًا من العدسات "العدسات المُجمِّعة" و"العدسات المُفرِّقة". وتمتلك كل منهما أسطحًا مصمّمة لانحراف (انكسار) الضوء بطرائق مختلفة.

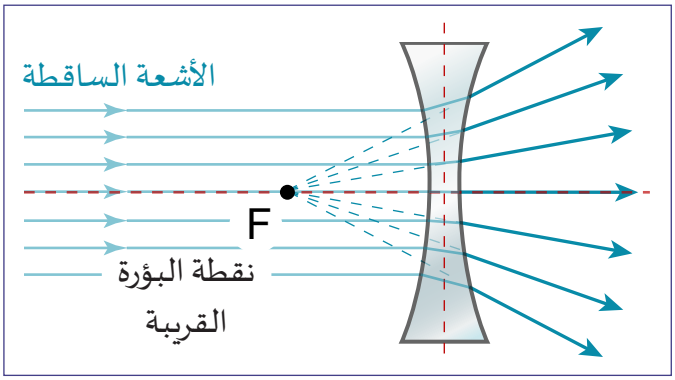
عندما تسقط الأشعّة الضوئية موازية للمحور الرئيس على **العدسة المجمِّعة Converging lens** تحرفها باتّجاه المحور الرئيس لتتقاطع عند البؤرة (**الشكل 4-28**). يمتلك هذا النوع من العدسات سطحًا **محدّبًا Convex** واحدًا أو سطحَين، وتكون سميكة في الوسط ورقيقة عند الأطراف.



الشكل 4-28 عدسة مجمّعة ذات سطحَين محدّبين.

تحرف العدسة المحدبة (المجمعة) الأشعّة الضوئيّة والموازية للمحور الرئيس باتّجاه البؤرة الو اقعة خلف العدسة.

تعمل **العدسة المفرِّقة Diverging lens** على انحراف (انكسار) الأشعّة الضوئية الموازية للمحور الرئيس بعيدًا عن البؤرة وتلتقي امتدادات الأشعة المنحرفة في البؤرة (**الشكل 4-29**). وهي تمتلك سطحًا واحدًا **مُقعّرًا Concave** أو سطحَين، وتكون رقيقة في الوسط وسميكة عند الأطراف.



الشكل 4-29 عدسة مُفرِّقة ذات سطحَين مُقعّرين.

تحرف العدسة المفرقة (المقعرة) الأشعة الضوئيّة والموازية للمحور الرئيس بعيدًا عن البؤرة الو اقعة أمام العدسة، وتلتقي امتدادات الأشعة المنحرفة في البؤرة الو اقعة أمام العدسة جهة الأشعة الساقطة.

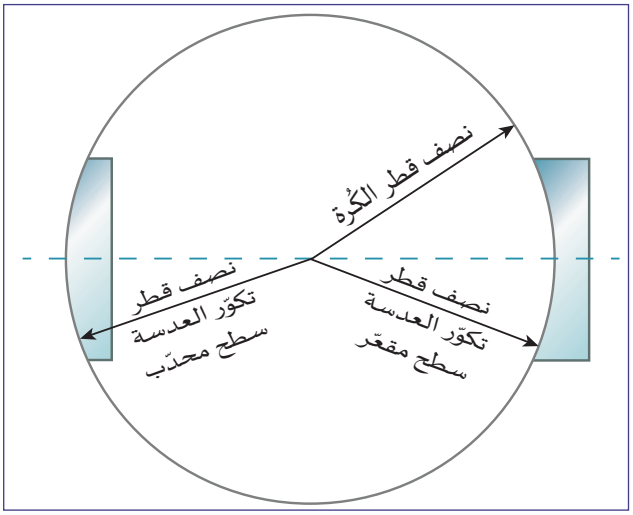
تُستخدَم العدسات المجمِّعة والمفرِّقة في كثير من التطبيقات. فالعدسة المكبِّرة البسيطة هي عدسة مُجمِّعة. حيث تظهر الصور فيها مُكبّرةً. وغالبًا ما تُستخدَم العدسة المفرِّقة في عين الباب، حيث تسمح العدسة المُفرِّقة الموضوعة في ثقب الباب بإعطاء مجال رؤية أوسع بكثير من مساحة الثقب نفسه (**الشكل 4-30**).

الشكل 4-30 تطبيقات العدسات المجمِّعة والمفرِّقة.

ما نوع العدسة المستخدمة في التلسكوب: مفرّقة أم مجمّعة؟
وماذا عن المجاهر: أيّ من نوعَي العدسات سيكون أكثر مناسبة لها؟

نصف قُطر التكوُّر

تمتلك مُعظم أنواع العدسات المُحدّبة والمُقعّرة الشائعة سطوحًا كروية. يبيّن (**الشكل 4-31**) كيف يكون سطح العدسة جزءًا صغيرًا من كرة. يُسمّى نصف قُطر الكرة التي تحدّد سطح العدسة **نصف قطر التكوّر** **Radius of curvature**.

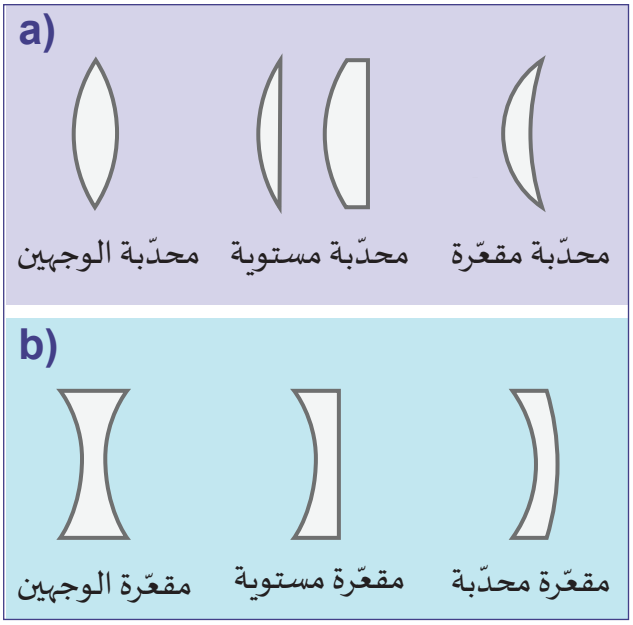


الشكل 4-31 نصف قطر التكوّر.

- نصف قطر التكور الكبير يُنتج بعدًا بؤريًا أطول.
- نصف قطر التكور الصغير يُنتج بعدًا بؤريًا أقصر.

أنواع العدسات

يُستخدَم نصف قطر التكوّر لتصنيف العدسات، يُوضّح **الشكل 4-32** عددًا من العدسات المحدّبة.



الشكل 4-32 (a) عدسات مُحدّبة؛ (b) عدسات مُقعّرة.

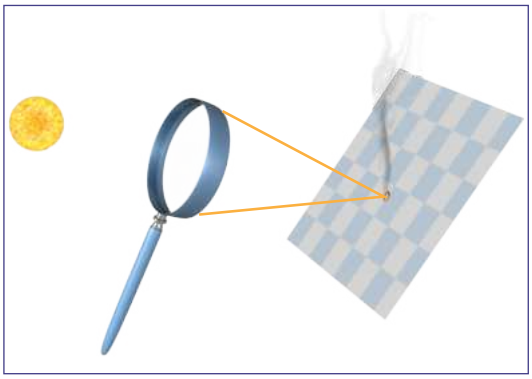
- تمتلك العدسة ذات الوجهَين المُحدّبَين وجهَين كرويَّين. وبالتالي، يكون لها نصفا قُطر تكوّر متماثلان، على كل من جانبَي العدسة.
- أما العدسة المُحدّبة المستوية فلها وجه مُنحنٍ واحد، وهذا يشير إلى نصف قطر تكوّر واحد فقط.
- بينما تمتلك العدسة المُحدّبة المقعّرة نصفَي قطر تكوّر ولكنّ كلًّا منهما يقع على الجانب نفسه من العدسة. وتكون قيمته مختلفة عن قيمة الآخر.
- تمتلك العدسة ذات الوجهَين المقعّرَين وجهَين كرويَّين، ما يشير إلى أن لها وجهَين كرويَّين متعاكسَين، وأنّ لها أيضًا نصفَي قطر تكوّر متماثلَين على كل من جانبَي العدسة.
- وتمتلك العدسة المُقعّرة المستوية وجهًا كرويًّا واحدًا فقط، ونصف قطر تكوّر واحدًا فقط.
- أمّا العدسة المُقعّرة المُحدّبة فلها نصفا قطر تكوّر، يقع كلاهما على الجانب نفسه من العدسة، وتختلف قيمة كل منهما عن قيمة الآخر.

الصور الحقيقية والصور التقديريّة

تُعرّف الصورة بأنها تشكيل للضوء بحيث يَظهر الجسم الحقيقي في مكان آخر غير المكان الموجود فيه فعلًا. تنشأ الصورة من خلال مُعالجة الأشعة الضوئية. تقوم الأجهزة الضوئية بتجميع الضوء من جسمٍ ما وتُكوّن له صورة. ويمكن تكوين الصور بواسطة المرايا أو العدسات أو المناشير، أو باستخدام مجموعة من تلك الأدوات. وتُصنّف الصور التي يمكنك إنشاؤها باستخدام الأجهزة البصرية في نوعَين: الصور الحقيقية والصور التقديريّة.

الصورة الحقيقية

الصورة الحقيقية Real image هي الصور التي تتكون من التقاء الأشعة الضوئية المنكسرة و يمكن استقبالها على حائل كقطعة من الورق (**الشكل 4-33**). بمقدورك أن تُمسك بعدسة مُكبّرة في ضوء الشمس وتركّز صورة الشمس على قطعة من الورق، حيث تتجمّع أشعّة الشمس التي تمر عبر الزجاج مُشكّلة صورة على الورقة ، وقد تسبب اشتعالها.



الشكل 4-33 عدسة مُكبّرة تنتج صورة حقيقية للشمس.

يمكن إستقبال الصور الحقيقيّة على شاشة أو ورقة.

الصورة التقديريّة

الصورة التقديريّة Virtual image تنشأ الصورة من خلال تقاطع امتدادات الأشعة الضوئية المنكسرة ولا يمكن استقبالها على حائل. تتشكّل الصور التقديريّة خلف مرآة مستوية أو أمام عدسة مُحدّبة. تُعدّ الصورة المتكوّنة خلف عدسة التكبير، أفضل مثال عن الصورة التقديريّة. يُوضّح **الشكل 4-34** صورة ليعسوب مُكبّرة بواسطة العدسة المكبرة ، تبدو هذه الصورة مكبّرة في الجهة نفسها التي وُجد فيها اليعسوب.

الشكل 4-34 تُنتج عدسة التكبير صورة تقديريّة لليعسوب .

يتمثّل الاختبار العملي لتمييز الصورة الحقيقية من الصورة التقديريّة في محاولة إظهار الصورة على حائل. أو قطعة ورق. ضع ورقة خلف عدسة التكبير؛ هل تشكّلت صورة على الورقة؟ لا يمكن أن تتكون الصورة على الورقة، لأن الأشعة لا تكون في حالة تقارب.

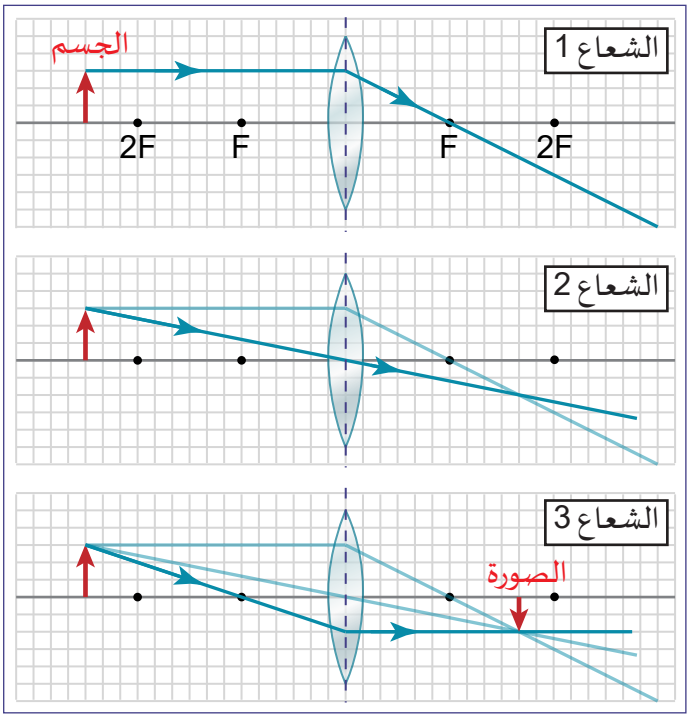
مخططات الأشعة والصور المُتكوّنة بواسطة العدسات

يُعتبر مخطّط الأشعّة طريقة تمثيل على المخططات البيانية لتحليل مسار الضوء في النظام البصري. وهو يُستخدَم لتحديد خصائص الصورة. يُبيّن (**الشكل 4-35**) كيفية رسم مخطّط الأشعة لعدسة محدّبة الوجهَين. تمتلك العدسة بؤرة على كلا جانبَيها.

يتم التعامل مع العدسات على اعتبار أنها رقيقة جدًا. يحدث انكسار للأشعة الضوئية عند الالتقاء بالخط العمودي المار بمركز العدسة. ويُقاس البعد البؤري من مركز العدسة إلى البؤرة.

يتم تمثيل الجسم الحقيقي بسهم رأسي. ارسم ثلاثة أشعّة تمثّل الضوء القادم من رأس السهم.

في هذا المثال، يكون الجسم على مسافة أبعد من $2f$ (بُعده أكثر من ضعف البُعد البؤري) عن العدسة.



الشكل 4-35 رسم مخطّط أشعّة لعدسة مجمِّعة.

1. ارسم الشعاع الأول بحيث يوازي المحور الرئيس. ينحرف هذا الشعاع ليمر عبر البؤرة البعيدة.
2. ارسم الشعاع الثاني بحيث يمرّ بمركز العدسة. هذا الشعاع لا ينكسر.
3. ارسم الشعاع الثالث بحيث يمرّ بالبؤرة القريبة. ينحرف هذا الشعاع بحيث يوازي المحور الرئيس.

لاحظ أن الأشعّة الثلاثة تلتقي مرة أخرى عند نقطة واحدة تقع على الجانب الآخر من العدسة، فتتشكّل صورة رأس السهم عند النقطة التي تتقاطع فيها هذه الأشعّة. وتتكوّن صورة لها الخصائص الآتية:

- هي صورة حقيقية، حيث يمكن استقبالها على حائل ولأنها نتجت من التقاء الأشعة المنكسرة المارة عبر العدسة.
- هي صورة مقلوبة، لأنها معكوسة رأسًا على عقب مقارنة بالجسم.
- هي صورة مصغرة، صورة أصغر من الجسم.

يمكن الاكتفاء برسم شعاعين فقط لتحديد موقع الصورة. ما نوع الصورة التي سيتم الحصول عليها بوضع الجسم عند البؤرة؟
ارسم مخطّط الأشعة لشرح إجابتك.

مخطّطات أشعّة الصور المُكبَّرة

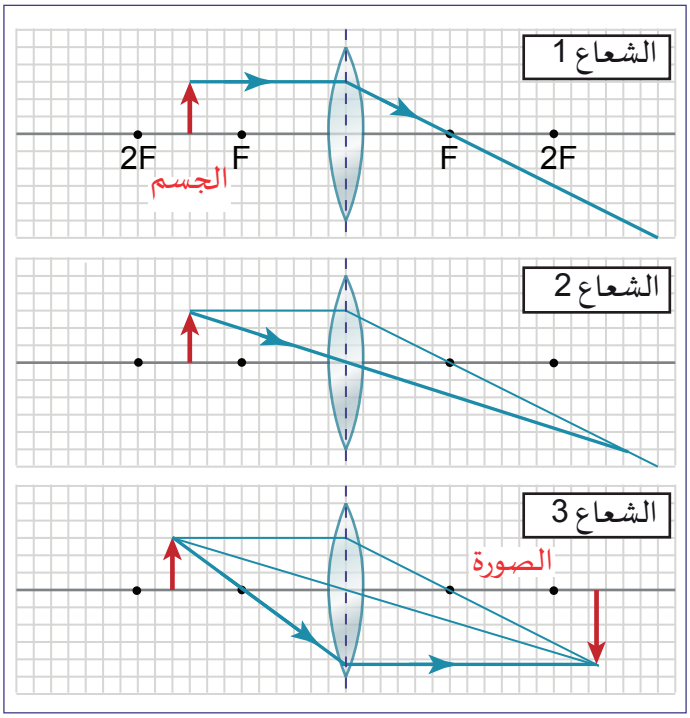
تُكوّن العدسة المُحدّبة صورة حقيقية مُكبّرة عندما يوضع الجسم بين البؤرة (F) وضعف البُعد البؤري ($2f$) من العدسة. يُبيّن (**الشكل 4-36**) ثلاثة أشعّة لمخطّط الأشعّة. يمكنك أن ترى أن الصورة مقلوبة وأنّها تتكوّن على الجانب المقابل للجسم من العدسة حقيقية وتكون مكبّرة.

عندما يقع الجسم بين البؤرة والعدسة، تتكّون له صورة تقديرية، ومُعتدلة، ومُكبرة، وفي نفس الجهة التي يوجد فيها الجسم.

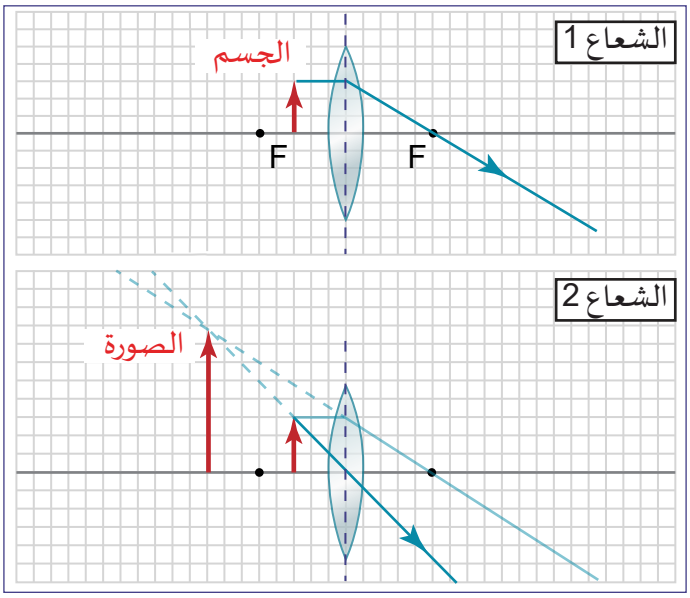
يبيّن (**الشكل 4-37**) مخطّط أشعّة، بما في ذلك أوّل شُعاعَين.

لاحظ ما يأتي:

- تتباعد الأشعّة بعد مرورها عبر العدسة. وهذه الأشعّة لا تلتقي على الجانب الآخر من العدسة أبدًا.
- إذا رُسم امتداد الأشعّة إلى الخلف، فإنها تلتقي عند نقطة تقع خلف العدسة من الجهة التي يوجد فيها للجسم. تمثّل الخطوط المتقطّعة أشعّة ضوئية تقديرية. حيث تتكوّن صورة تقديرية عندما تلتقي الأشعّة التقديريّة. تكون الصورة عندئذ مُكبّرة، ومعتدلة، وعلى الجانب نفسه الذي يقع فيه الجسم من العدسة. هذه هي الطريقة التي تعمل بها العدسة المُكبّرة.



الشكل 4-36 مخطّط أشعّة لصورة حقيقية مُكبّرة مقلوبة.



الشكل 4-37 مخطّط أشعّة لصورة تقديرية مُكبّرة معتدلة.

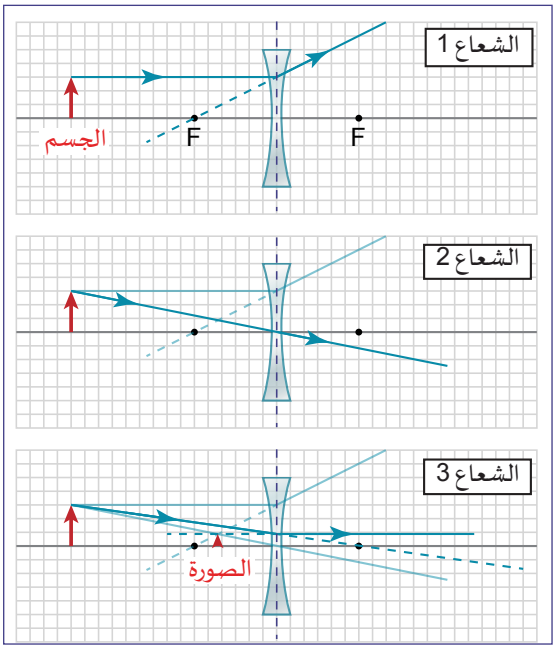
حدثت نقلة نوعيّة في علم الأحياء من خلال القُدرة على التكبير ومُلاحظة الأجسام والتفاصيل الدقيقة التي لا تراها العين المُجرّدة. ابحث عن تاريخ اختراع أول مجهر وارصد العمل الذي أنجزه روبرت هوك.

الشكل 4-38 رسم لذُبابة بالاعتماد على مجهر بدائي.

الصور المُتكوّنة بواسطة العدسة المقعرة (المفرقة)

تُنتج العدسة المُفرِّقة (المُقعّرة) صورة تقديرية مصغّرة ومعتدلة دائمًا. يبيّن (**الشكل 4-39**) مخطّط الأشعة لعدسة مُقعّرة.

1. ينكسر الشعاع الأوّل الموازي للمحور الرئيس على طول الخط الذي يمّر امتداده من خلال البؤرة القريبة. ويُمثّل الامتداد التقديري للشعاع بخطّ متقطّع.
2. يمرّ الشعاع الثاني مباشرة عبر مركز العدسة.
3. يُرسم الشعاع الثالث من رأس السهم باتّجاه البؤرة في الجهة الأخرى للعدسة. ينحرف هذا الشعاع موازيًا للمحور الرئيس.
4. تتكوّن خصائص الصورة عندما تتقاطع امتدادات خطوط الأشعّة المُنكسِرة، وتتكوّن صورة معتدلة وتقديريّة وأصغر من الجسم.



الشكل 4-39 تكوّن الصور في العدسة المُقعّرة.

تُلخّص الصور المتكوّنة في العدسات المختلفة في (**الجدول 4-2**).

يلاحظ أن جميع الصور التي تكوّنت باستخدام العدسة المُقعرّة هي صور تقديريّة، لكنّ الصور التي تكوّنت باستخدام العدسة المُحدّبة قد تكون حقيقية أو تقديريّة. ويعتمد نوع الصورة التي تُنتجها العدسة المُحدّبة على موقع الجسم منها.

الجدول 4-2 خصائص الصورة في العدسات المُجمّعة والمُفرّقة

الأداة البصريّة	موقع الجسم	خصائص الصورة: نوع الصورة، التكبير، الاتجاه	
عدسة مُجمّعة	$d_0 > 2f$	حقيقية، مُصغّرة، مقلوبة	
عدسة مُجمّعة	$d_0 = 2f$	حقيقية، مُساوية للجسم، مقلوبة	
عدسة مُجمّعة	$2f > d_0 > f$	حقيقية، مُكبّرة، مقلوبة	
عدسة مُجمّعة	$d_0 < f$	تقديريّة، مُكبّرة، مُعتدلة	
عدسة مُفرّقة	عند أي مسافة	تقديريّة، مُصغّرة، مُعتدلة	

نشاط a3-4 رسم مخطّطات الأشعّة

سؤال الاستقصاء	كيف نحدّد موقع الصور باستخدام مخطّطات الأشعّة؟
الموادّ المطلوبة	ورق رسم بياني كبير، مسطرة ، قلم رصاص، ممحاة.

الخطوات

1. استخدم قطعة من ورق الرسم البياني لرسم وإيجاد موقع الصورة وطولها بيانيًا.
2. ارسم عدسة مُحدّبة الوجهَين ومحورًا رئيسًا يمرّ بها.
3. ليكن البُعد البؤري للعدسة المُحدّبة 20 cm، ضَعْ مقياس رسم على الرسم البياني وارسم بؤرتَي العدسة، وحدّد البُعد البؤري، واذكر مقياس الرسم بوضوح.
4. ارسم جسمًا على بُعد 30 cm عن العدسة وطوله 5 cm.
5. ارسم الأشعّة الضوئية التي تمر عبر العدسة المُحدّبة لتحديد موقع الصورة.
6. استخدم البُعد البؤري للعدسة محدّبة الوجهَين نفسها، لترسم مخطّطا جديدًا. ارسم جسمًا على بعد 15 cm عن العدسة وطوله 2.5 cm.
7. ارسم الأشعّة الضوئية التي تمرّ عبر العدسة المُحدّبة لتحديد موقع الصورة.
8. ارسم العدسة من جديد بالبُعد البؤري نفسه، وارسم جسمًا يبعد 40 cm عن العدسة وبارتفاع 3 cm.
9. ارسم الأشعّة الضوئية التي تمرّ عبر العدسة المُحدّبة لتحديد موقع الصورة.
10. ارسم العدسة من جديد بالبُعد البؤري نفسه، وارسم جسمًا يبعد 50 cm عن العدسة وبارتفاع 3 cm.
11. ارسم الأشعّة الضوئية التي تمرّ عبر العدسة المُحدّبة لتحديد موقع الصورة.

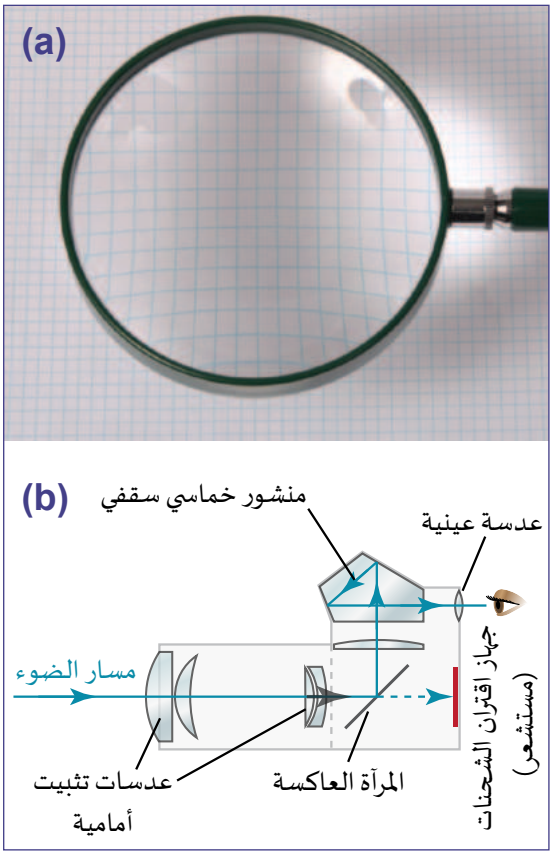
الأسئلة

لكل رسم حدد خصائص الصورة المتكونة من خلال الاجابة على الأسئلة الآتية:

a. ما بُعد الصورة؟
b. ما طول الصورة؟
c. هل الصورة مقلوبة أم معتدلة؟
d. هل الصورة حقيقية أم تقديرية؟
e. ما مقدار تكبير الصورة وفقًا لرسمك؟

أهمية العدسات في حياتنا

تُستخدَم العدسات في أجهزة بصرية متعدّدة تساعد في تكبير الأجسام التي لا نراها أو لا تكون واضحة بالعين المُجرَّدة. تُستخدَم في العدسات المكبرّة والنظارات الطبية عدسات مفردة، لكن يُستخدم في كثير من الأجهزة البصرية الأخرى أكثر من عدسة. تُسمّى تلك الأجهزة "الأجهزة البصريّة المركّبة".



الشكل 4-40 (a) عدسة مكبّرة؛ (b) كاميرا عاكسة مفردة العدسة (SLR).

العدسة المُكبِّرة

تُستخدم للعدسة المُكبّرة البسيطة عدسة مُحدّبة، كما هو مبيّن في **الشكل 4-40a**. عندما يوضع الجسم ضمن البُعد البؤري للعدسة، تتكوّن له صورة تقديرية على جانب الجسم نفسه. ويجب أن يكون المراقب في الوقت نفسه على الجانب الآخر للعدسة.

الكاميرا

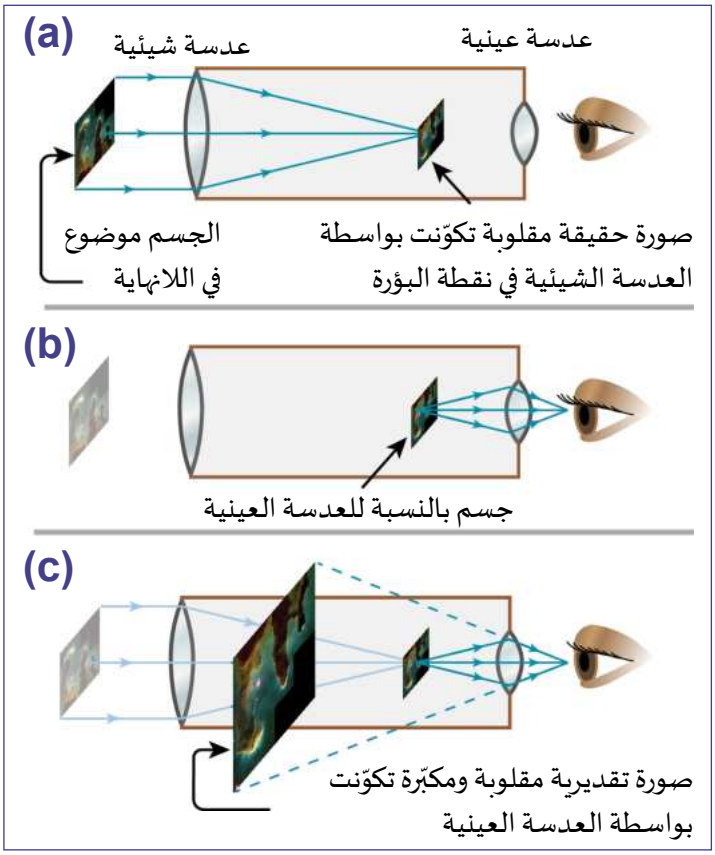
تُكوّن العدسة صورة حقيقية في الكاميرا على فيلم أو جهاز اقتران الشحنات (CCD) . تستخدم كثير من الكاميرات الرقمية والكاميرات السينمائية عدسات متعدّدة لتركيز الضوء على الصورة. ويتمّ تغيير تكبير الكاميرا بتحريك موقع عدسات التثبيت الأمامية. يستخدم المصورون المحترفون في الغالب الكاميرا ذات العدسة الواحدة العاكسة (SLR) والتي تسمح لهم برؤية الصورة مباشرة من خلال العدسة، وليس من خلال شاشة إلكترونية.

إذا كان المطلوب رؤية الصورة من العدسة العينية، تثبّت مرآة عاكسة بزاوية 45° مع الضوء القادم، لتحوّله إلى منشور خماسي في سقف الكاميرا ليحوله إلى العدسة العينية، كما هو مبيّن في (**الشكل 4-40b**). إلّا أنّ مشكلة استخدام المرآة العاكسة تكمن في أن عدسات الكاميرا تقلب الصورة. لذلك يمر الضوء من خلال انعكاسات داخلية في منشور خماسي سقفي، ما يجعل الصورة تعود معتدلة مرة أخرى. عندما يضغط المصوّر على الزر لالتقاط صورة، تنقلب المرآة العاكسة بعيدًا عن مسار الضوء لفترة وجيزة، لتسمح للضوء بالوصول إلى المستشعر (CCD).

تشتمل مُعظم الأدوات البصريّة على أكثر من عدسة.

التلسكوبات

بنى جاليليو تلسكوبه الكاسر سنة 1609، باستخدام عدسة شيئية مُحدّبة وعدسة عينية مُقعّرة. وجاء يوهانس كبلر ليُعدّل التصميم، فاستخدم عدستَين محدّبتَين. تستقبل العدسة الشيئية في تلسكوب كبلر الضوء من الجسم البعيد وتكوّن له صورة في بؤرة العدسة الشيئيّة (**الشكل 4-41a**). تُستخدَم الصورة الناتجة كجسم للعدسة العينية، موجود على بُعد أقل بقليل من البعد البؤري للعدسة العينية (**الشكل 4-41b**). تُستخدم هذه الصورة لانتاج صورة مُكبرة وتقديريّة وصحيحة كما هو مبيّن في (**الشكل 4-41c**). يمكن للتلسكوب تكبير صورة جسم بعيد، سواء أكانت صورة لقمّة جبل بعيدة أو مجرّة. يبلغ قطر أكبر تلسكوب كاسر مترًا واحدًا، وهو أقصى حجم للعدسة يمكن دعمها حول محيطها.

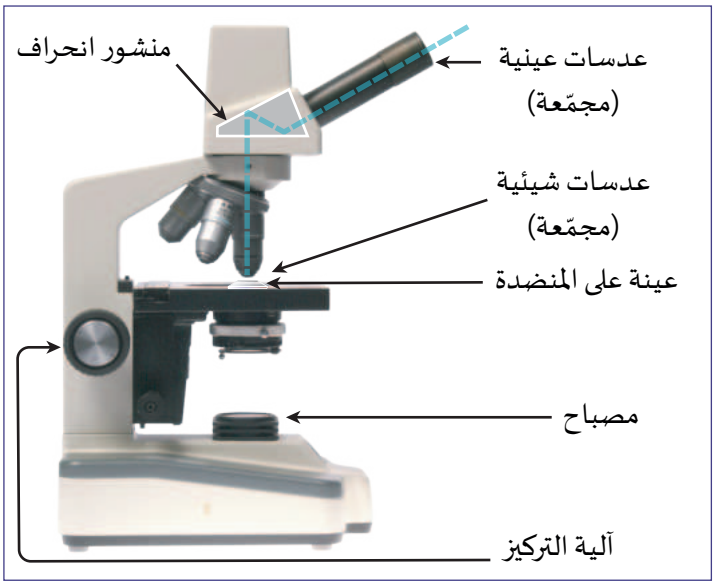


الشكل 4-41 (a) تكوّن الصورة بواسطة العدسة الشيئية في التلسكوب؛ (b) تستخدم العدسة العينية الصورة كجسم؛ (c) تكوّن العدسة العينية صورة تقديرية مكبّرة للجسم.

المجاهر المركّبة

يستخدم المجهر المركّب مبادئ التلسكوب الكاسر نفسها: تكوّن العدسة الشيئية صورة للعيّنة، وتستخدم العدسة العينية تلك الصورة كجسم لها لتكوين صورة مكبّرة للعيّنة (**الشكل 4-42**).

يُستخدم المنشور في الغالب لإنشاء انعكاسين داخليين لتحويل الضوء إلى زاوية مريحة للمشاهدة. تحتوي معظم المجاهر على مصباح تحت العيّنة ليضيئها. تستطيع المجاهر النموذجية أن تُحقّق تكبيرًا يصل إلى 50 × أو أكثر.



الشكل 4-42 مجهر مركّب.

تقويم الدرس 3-4

1. هل تُكوّن العدسة المقعّرة صورًا حقيقية أم صورًا تقديرية أم صورًا حقيقة وتقديرية؟
2. تُنتج العدسة المُجمّعة صورة مُكبرة ومقلوبة، حدّد الموقع الذي يكون عنده الجسم في هذه الحالة.
3. هل تنتج العدسات في الكاميرا صورة حقيقية أم تقديرية؟
4. ارسم مسار شعاع ضوئي ينتقل موازيًا للمحور الرئيس ويسقط عموديًا على خط التماثل الطولي لعدسة مُفرّقة.
5. استخدم الورق البياني لرسم مُخطّط بمقياس لجسم موضوع على بُعد 30 cm عن عدسة بُعدها البؤري 20 cm. بالنظر إلى أنّ ارتفاع الجسم هو 5 cm، حدّد المسافة التي تتكوّن عندها الصورة بالنسبة إلى العدسة وارتفاعها.
   a. إذا كانت العدسة مُجمعة (مُحدبة).
   b. إذا كانت العدسة مُفرقة (مُقعرة).

ضوء على العلماء

ابن الهيثم: 965-1040

كان الحسن بن الهيثم فيزيائيًا ورياضيًا وفلكيًا عربيًا معروفًا. اشتهر بإسهاماته في مجال فيزياء البصريات، وعُرف على نطاق واسع باسم "أبي البصريات الحديثة". وُلد ابن الهيثم سنة 965 م في البصرة بالعراق. بدأ أولًا بدراسة العقيدة الإسلامية، ثمّ توجّه إلى دراسة العلوم والرياضيات.

مهاراته في الرياضيات التطبيقية أكسبته شُهرة كبيرة في البصرة. ما مهّد له طريق الانتقال إلى القاهرة لتنظيم فيضان النيل. ولكنه أخفق في هذا المشروع، فانصرف إلى تدوين كتابه الشهير في البصريات (المناظر).

الشكل 4-43 ابن الهيثم (965-1040).

تُرجم كتابه في البصريات (المناظر) إلى اللاتينية في نهاية القرن الثاني عشر. وكان السائد على نطاق واسع في زمن تدوين هذا الكتاب أن العين هي التي تبعث الأشعّة الضوئية فتسمح للإنسان بالرؤية. وكان بعض الفلاسفة في ذلك الزمن يرون أن شيئًا ما قد ينبعث من الأجسام ويدخل في العين لإنتاج الصورة. رأى ابن الهيثم، بعد مراجعة أعمال كثير من الفلاسفة والعلماء، أن الأشعّة الضوئية تدخل إلى العين بدلًا من إصدارها للأشعّة. سمّى ابن الهيثم عدّة أجزاء من العين، مثل العدسة والشبكيّة والقرنيّة. وثبت أن لهذا الكتاب ومحتواه تأثيرًا كبيرًا على مدى عدّة قرون لاحقة.

لم تقتصر إسهامات ابن الهيثم على مجال البصريات فقط، بل عمل أيضًا في علم الهندسة، ونظرية الأعداد، وحساب التفاضل والتكامل، والهندسة، والفلسفة، وعلم التوحيد والميكانيكا والفيزياء السماوية والفيزياء الفلكية. كان يُظنّ أن ابن الهيثم كتب ما يصل إلى 200 كتاب، لكن الذي حُفظ منها ووصل إلى يومنا هذا هو 55 كتابًا فقط.

توفّي ابن الهيثم في القاهرة سنة 1040م عن عمر يناهز 74 عامًا. وحتّى بعد مرور ما يقرب من 1000 عام على وفاته ، كُرّم ابن الهيثم في نواحٍ كثيرة، إذ أُطلق اسمه على إحدى الفجوات البركانية من سطح القمر (فوهة ابن الهيثم البركانية)، وعلى أحد الكُوَيكبات وهو كُوَيكب ابن الهيثم 59239. وقد تميّزت بعض الأوراق النقدية العراقية بصورة ابن الهيثم وهي من فئة (10,000 دينار). يمكن الحصول على بعض كتاباته الأصلية من مسجد آيا صوفيا في إسطنبول بتركيا.

الوحدة 4

مراجعة الوحدة

الدرس 4-1: خصائص الموجات

- يحدث **الانعكاس Reflection** عندما ترتد الموجات عن حد أو سطح.

الدرس 4-2: الانكسار

- انحراف **الأشعّة الضوئية Light rays** أثناء عبورها للحدّ أو السطح ودخولها إلى وسط جديد يُسمّى **الانكسار Refraction**.
- **الشعاع الساقط Incident ray** هو الشعاع الابتدائي، وزاوية السقوط **Angle of incidence** تُقاس بين الشعاع الساقط و**العمودي Normal** على الحد الفاصل بين الوسطين.
- يُعرف الشعاع المُنحرِف في داخل الوسط الجديد باسم **الشعاع المُنكسِر Refracted ray**، والزاوية المقاسة بين العمودي على الحد الفاصل والشعاع المُنكسِر هي **زاوية الانكسار Angle of refraction**.
- **يكون مُعامِل الانكسار Refractive index** ثابتا بالنسبة للوسط الواحد، يمكن حسابه باستخدام **قانون سنل للانكسار Snell's law of refraction** إذا كانت زاوية السقوط وزاوية الانكسار معروفتين.
- يحدث **الانعكاس الكُلّي الداخلي Total internal reflection** عندما تكون زاوية السقوط أكبر من **الزاوية الحرجة Critical angle**.
- تُعدّ **الألياف الضوئيّة Optical fibers** أحد التطبيقات المُهمة للإنعكاس الكُلّي الداخلي.

الدرس 4-3: العدسات والصوَر

- **العدسة المُحدّبة Convex lens** عدسة مُجمِّعة، لأن الأشعّة الضوئية تتجمّع بعد مرورها عبر العدسة. يُمكن أن تكون الصورة المُتكوّنة بواسطة العدسة المُحدّبة حقيقية أو تقديريّة، مقلوبة أو مُعتدلة، وذلك يعتمد على المسافة بين الجسم والعدسة.
- **العدسة المُقعّرة Concave lens** عدسة مُفرِّقة، لأن الأشعّة الضوئية تتفرّق بعد مرورها عبر العدسة. تكون الصورة المُتكوّنة في العدسة المُقعّرة دائمًا تقديريّة ومُصغّرة ومعتدلة مهما كان بُعد الجسم عن العدسة.
- يمكن استقبال **الصور الحقيقية Real image** على شاشة، بعكس **الصور التقديريّة Virtual image**
- إذا كان بُعد كل من الجسم والصورة عن العدسة المُحدّبة معلومًا، فإنّ بالإمكان حساب **البُعد البؤري Focal length** باستخدام **معادلة العدسة الرقيقة Thin lens formula**.

اختيار من مُتعدِّد

1. أيٌّ ممّا يأتي مثال على الانكسار؟
   a. ضوء يرتدّ عن مرآة
   b. مرور الضوء عبر ثقب صغير
   c. مرور الضوء عبر زجاج النافذة
   d. ضوء يسقط على سحلية لتدفئتها

2. إذا كان مُعامل انكسار مادة 1.82، فما زاويتها الحرجة عندما تكون محاطة بالهواء؟
   a. 1.82°
   b. 24.4°
   c. 33.3°
   d. 45°

3. إذا انتقل الضوء من مادة ما إلى الهواء، فكيف تكون العلاقة بين مُعامِل انكسار هذه المادة والزاوية الحرجة؟
   a. كلّما ازداد مُعامِل الانكسار، تكبر الزاوية الحرجة.
   b. كلّما ازداد مُعامِل الانكسار، تصغر الزاوية الحرجة.
   c. لا يوجد ترابُط بين مُعامِل الانكسار والزاوية الحرجة.
   d. لا تتوفّر معلومات كافية للإجابة عن السؤال.

4. ينكسر شعاع ضوئي من الزجاج ($n = 1.5$) بزاوية سقوط 45° إلى مادة، فتكون زاوية انكساره 41.5°. ما مُعامِل انكسار المادة؟
   a. 1.6
   b. 1.4
   c. 1.2
   d. 1.0

5. وُضع جسم على بعد 50 cm من عدسة بُعدها البؤري 30 cm. ما خصائص الصورة المُتكوّنة؟
   a. حقيقية ومقلوبة ومُكبّرة
   b. حقيقية ومعتدلة ومُكبّرة
   c. تقديرية ومعتدلة ومُصغّرة
   d. تقديرية ومقلوبة ومُكبّرة

6. أيٌّ من العبارات الآتية أكثر دقّة في وصف سلوك الشعاع الضوئي الذي يسقط على السطح الفاصل من الهواء إلى الماء بزاوية سقوط اكبر من الصفر؟

a. يمّر الشعاع الضوئي من دون أن يعاني انكسارًا

b. ينكسر الشعاع الضوئي مقتربًا من العمودي

c. ينكسر الشعاع الضوئي مبتعدًا عن العمودي

d. ينعكس الشعاع الضوئي إلى الهواء مرة أخرى

الدرس 4-2: الانكسار

7. يسقط شعاع ضوئي على السطح الفاصل بين زجاج وماء، فينحرف مقتربًا من العمودي. هل مرّ الشعاع من الزجاج إلى الماء أم من الماء إلى الزجاج؟ برّر إجابتك.

8. يسلّط طالب شعاعًا ضوئيًا من الهواء على مادة، مُعامِل انكسارها ($n = 1$). إذا غيّر الطالب المادة الثانية ليصبح مُعامِل انكسارها ($n = 2$)، فماذا يحدث لجيب زاوية الانكسار؟

9. يسقط شعاع ضوئي من الأكريليك ($n = 1.49$) على الجليد ($n = 1.31$).
   a. هل ينحرف الشعاع مقتربًا من العمودي أم مبتعدًا عنه؟
   b. إذا استخدمنا الألماس بدلًا من الأكريليك ($n = 2.4$) ، فهل ينحرف الشعاع أكثر أم أقل؟

10. يدخل الضوء حجر الراين بزاوية سقوط 40.0° وينكسر بزاوية 23.4°. ما معامل انكسار حجر الراين؟

11. يدخل الضوء من الهواء إلى خاتم من الألماس ($n = 2.42$) بزاوية 45°. ما زاوية انكسار الضوء عندما يكون في داخل الألماس؟

12. يقف صبي في بركة. عندما ينظر زميله إليه من خارج البركة، تبدو ساقاه قصيرتَين. اشرح سبب حدوث ذلك.

13. ينتقل الضوء بسرعة 1.9×10^8 m/s في الألياف الضوئية. وينتقل في الفراغ بسرعة 3×10^8 m/s. ما مُعامِل انكسار المادة المصنوعة منها الألياف الضوئية؟

14. تخيّل أنّ في نهاية الغلاف الجوي للأرض حدًّا واضحًا بين الهواء ($n = 1.0003$) والفضاء الفارغ ($n = 1$) (هذا ليس هو الحال في الواقع).
   a. إذا دخل ضوء الشمس إلى الغلاف الجوّي من الفضاء بزاوية سقوط 30°، فما زاوية الانكسار في الهواء؟
   b. ما الزاوية الحرجة للضوء الذي يخرج من الغلاف الجوي للأرض إلى الفضاء؟

15. مكعّب من الثلج ($n = 1.31$) موضوع في سائل غير معروف. سقط ضوء من السائل على الجليد بزاوية 35.0° وانكسر في الجليد بزاوية 41.1°. ما مُعامِل انكسار هذا السائل؟

الدرس 4-3: العدسات والصور

16. لدى طالب عدسة وجسم وشاشة. بغضّ النظر عن المكان الذي يضع فيه الجسم، فإنّه لا يستطيع عرض صورة للجسم على الشاشة. أيّ نوع من العدسات لديه؟

17. أي الأجهزة البصرية المركبة تحتوي بداخلها منشور؟

18. ما تركيب العدسات التي ستستخدمها لإنشاء تلسكوب مشابه لتلسكوب كبلر؟

19. أين يجب وضع جسم بالنسبة إلى عدسة مُحدّبة لإنتاج صورة تقديرية؟

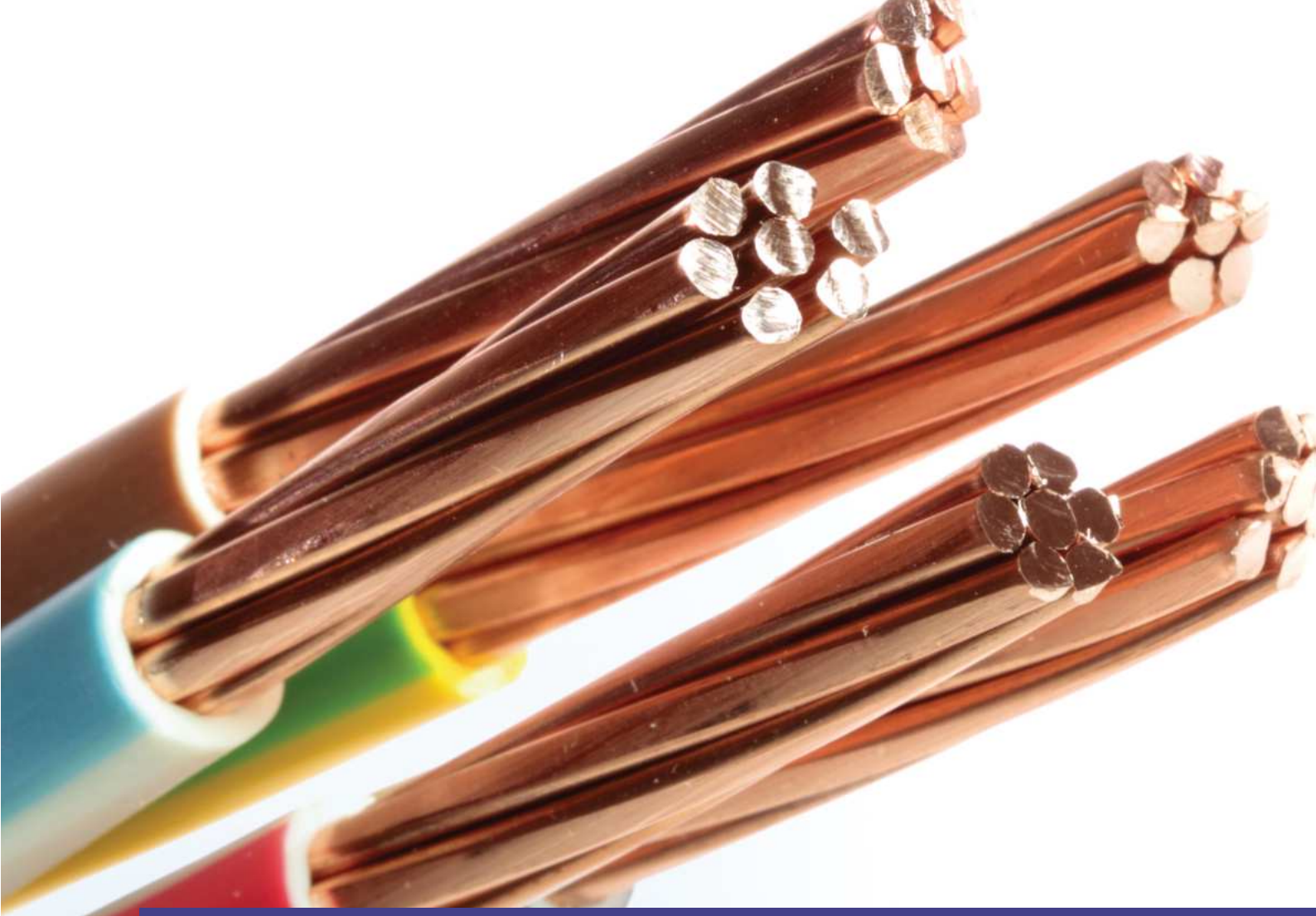
20. يُوضع الجسم على بعد يساوي ثلاثة أمثال البعد البؤري بعيدًا عن عدسة مُحدّبة. صف الصورة الناتجة.

21. يضع طالب جسمًا على بُعد 30 cm أمام عدسة رقيقة محدّبة بُعدها البؤري 50 cm.

a. هل الصورة الناتجة مقلوبة أم معتدلة؟

b. هل الصورة الناتجة حقيقية أم تقديرية؟

22. ارسم مُخطّطًا توضّح فيه كيف تستقبل العين الضوء وتركّزه على الشبكية. ارسم مُخطّطَين توضّح فيهما كيف يمكن تصحيح قصر النظر وطول النظر بواسطة عدسة رقيقة.



الوحدة 5
أساسيّات الكهرباء التيّاريّة
The Fundamentals of Electricity

في هذه الوحدة

P1011
P1012

الدرس 5-1: التيّار الكهربائي، والجهد الكهربائي، والمقاومة الكهربائية

الدرس 5-2: الدوائر الكهربائية المُركّبة

5 الوحدة

مقدّمة الوحدة

نتعامل مع الكهرباء يوميًّا، من خلال الأجهزة التي نستخدمها. يُعرّف التيّار الكهربائي بأنه تدفّق للشحنات الكهربائية عبر المواد الموصلة. أمّا المواد العازلة، كالبلاستيك أو الزجاج، فهي تمنع تدفّق التيّار الكهربائي خلالها.

تحتوي الدوائر الكهربائية البسيطة على الأسلاك، والبطّاريات، والمصابيح الكهربائية، والمقاومات، والمفاتيح الكهربائية. تُوصَل الأجهزة الكهربائية في الدوائر الكهربائية على التوالي أو على التوازي. ينص قانون أوم على أنّ شدّة التيّار الكهربائي المُتدفّق في دائرة كهربائية يتناسب طرديًا مع فرق الجهد الكهربائي بين طرفَيها، وعكسيًا مع مقاومتها: وبالرغم من اتّباع الكثير من الأجهزة الكهربائية القانون، إلّا أنّ بعض الأجهزة الكهربائية الأخرى لا ينطبق عليها ذلك.

تُزوّد المنازل في دولة قطر بجهد 240 V AC. ويدلّ الرمز AC على جهد التيّار المتردّد، حيث يتبدّل فيه الجهد بين موجب وسالب كلّ 60 ثانية، أمّا المقدار 240 V فيعني أنّ التيّار الكهربائيّ المتردّد يحمل مقدار القُدرة نفسها التي يحملها تيّار مستمرّ DC من 240 V. تتضمن كلّ دائرة كهربائيّة في المنزل قاطع دائرة كهربائيّة يفصل التيار الكهربائي آليًّا عند ازدياد شدّة التيار عن الحدّ الآمن.

الأنشطة والتجارب

a1-5 استكشاف الدوائر الكهربائية

b1-5 قانون أوم

c1-5 مقدار المقاومة الكهربائيّة لسلك

الدرس 5-1

التيّار الكهربائي، والجهد الكهربائي، والمقاومة الكهربائية
Current, Voltage, and Resistance

تعتمد جميع مجالات الحياة الحديثة تقريبًا على الطاقة الكهربائية، إذ تستخدم الكهرباء لتشغيل الكثير من الاجهزة، نذكر منها المصابيح الكهربائية ومحمِّصات الخُبز والحواسيب والهواتف الجوّالة وأجهزة التلفاز. بالإضافة إلى تواجد الكهرباء في الكائنات الحيّة، حيث يحمل العصب إشارات كهربائيّة خلال جسم الإنسان.

الشكل 5-1 أبراج نقل الطاقة الكهربائيّة عالية القدرة.

المفردات

Electricity	كهرباء
Electric current	تيّار كهربائي
Ampere (A)	أمبير (A)
Electric circuit	دائرة كهربائية
Electrical symbol	رمز كهربائي
Closed electric circuit	دائرة كهربائية مُغلقة
Open electric circuit	دائرة كهربائية مفتوحة
Voltage	جهد كهربائي
Potential difference	فرق جهد كهربائي
Volt (V)	فولت (V)
Resistance	مقاومة كهربائية
Ohm's law	قانون أوم
Ohm (Ω)	أوم (Ω)
Ohmic conductor	موصل أومي
Non-ohmic conductor	موصل غير أومي
Resistivity	مقاومة نوعيّة

مخرجات التّعلُّم

P1011.1 يُعرّف شدّة التيّار الكهربائي بأنه مقدار الشحنة المارة من نقطة خلال وحدة الزمن (ثانية)، ويحل مسائل حسابية باستخدام المعادلة: $I = \frac{Q}{t}$

P1011.2 يعرّف فرق الجهد بين نقطتين في الدائرة الكهربائية؛ بأنه مقدار الشغل المبذول لنقل شحنة مقدارها 1 كولوم بين النقطتين. ويحل مسائل حسابية باستخدام المعادلة: $V = \frac{W}{Q}$

P1011.3 يعرّف المقاومة الكهربائية ويستقصي العلاقة بين فرق الجهد الكهربائي وشدّة التيّار الكهربائي لمكونات أومية وغير أومية، ويحلل الرسومات البيانية.

P1011.4 يحسب فرق الجهد الكهربائي (P.d) وشدّة التيّار الكهربائي (I) والمقاومة الكهربائية (R) باستخدام العلاقة: $V = IR$

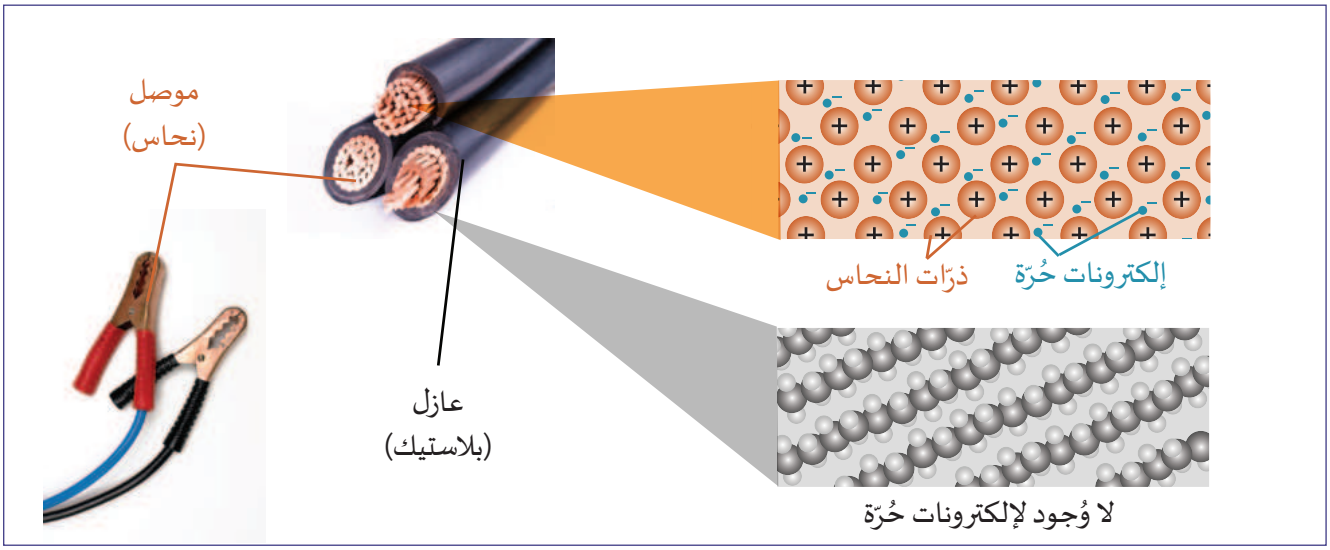
P1012.1 يُحدّد العوامل المؤثرة في مقاومة السلك، ويحل مسائل حسابية باستخدام العلاقة: $R = \frac{\rho L}{A}$ ويشرح سبب احتواء دوائر التيار الكهربائي الرئيس، التي تزود المقبس، على أسلاك أكثر سماكة و لها قواطع دوائر كهربائية أكبر من قواطع دوائر الإضاءة.

الموصلات، والعوازل، وأشباه الموصلات

تُقسم المواد وفقًا لخصائصها الكهربائية إلى موصلات كهربائية وأشباه الموصلات وعوازل كهربائية. تُستخدَم الفلزّات، كالنحاس كموصلات كهربائية بسبب سهولة تدفّق التيّار الكهربائي خلالها، فالإلكترونات الحرّة في الفلزات لا ترتبط بذرّة وحيدة، وبالتالي يُمكن لها أن تتدفّق مُشكّلةً تيّارًا كهربائيًا، ما يجعل الفلزّات موصلات كهربائية جيّدة (**الشكل 5-2**).

تُسمّى المواد التي ترتبط فيها جميع الإلكترونات بذرّاتها «العوازل الكهربائية»؛ لذلك، لا يُمكن للتيّار الكهربائي أن يتدفّق خلالها لعدم وجود إلكترونات حُرّة. تغلّف الأجهزة الكهربائية والأسلاك بمواد عازلة كهربائية كالبلاستيك، ويُعدّ كلٌّ من الزجاج والخشب عوازل كهربائية جيّدة. يُوضّح **الشكل 5-2** الاختلاف في ارتباط الإلكترونات بالذرّات في العوازل والموصلات الكهربائية.

ينتمي السيليكون والجرمانيوم إلى مجموعة صغيرة من الموادّ التي تُسمّى أشباه الموصلات. حيث تُضاف كميّات صغيرة من عناصر أخرى كالبورون والفوسفور كشوائب إلى الجرمانيوم أو السيليكون لتزيد من الموصلية الكهربائيّة لهذه المواد، تستخدم أشباه الموصلات للحصول على مفاتيح كهربائية صغيرة جدًّا تُسمى الترانزستورات، والتي يمكن من خلالها الانتقال من حالة موصلة إلى عازلة خلال أقلّ من 10^{-10} ثانية، وهي متوفّرة في جميع الأجهزة الكهربائيّة و الإلكترونية الحديثة.



الشكل 5-2 تمتلك الموصلات، كالنحاس، إلكترونات حُرّة بين ذرّات الفلز. أمّا العوازل، كالبلاستيك، فهي لا تمتلك إلكترونات حُرّة.

a. يُعدّ النحاس أحد الأمثلة الأكثر شيوعًا على الموصلات الكهربائية المُستخدَمة في أسلاك التوصيل. ما الفلزّات الأخرى التي يُمكن أن تُستخدَم أيضًا في أسلاك التوصيل الكهربائية؟

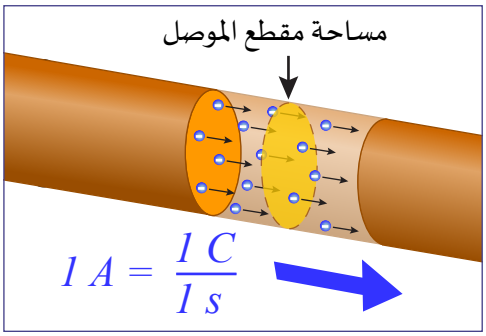
b. ما الذي يجعل النحاس الخيار الأفضل من بين الفلزّات التي ذكرتها لصناعة أسلاك التوصيل؟

c. هل يُمكنك أن تذكُر أسماء ثلاثة أجهزة تستخدمها تتضمن أشباه الموصلات؟

شدّة التيّار الكهربائي

تُشير كلمة **الكهرباء Electricity** إلى تدفّق التيّار الكهربائي في الأسلاك والموصلات الكهربائية والأجهزة الكهربائية بشكل عام

تُعَرَّف **شدّة التيّار الكهربائي Electric current** بأنّها المُعدّل الذي تتحرّك فيه الشحنة الكهربائية: عندما تتحرّك كمّية من الشحنة الكهربائية Q، في فترة زمنية t، نحصل على تيّار كهربائي I، تُحسب شدة التيار الكهربائي **بالمعادلة 1-5**. تُقاس شدّة التيّار الكهربائي بوحدة **الأمبير Ampere** (A). وعندما نقول إنّ سلكًا يحمل تيّارًا كهربائيًا شدّته 1 A، فإنّ ذلك يعني أنّ كمّية من الشحنة مقدارها 1 كولوم تمر عبر مقطع السلك في كلّ ثانية (**الشكل 3-5**).



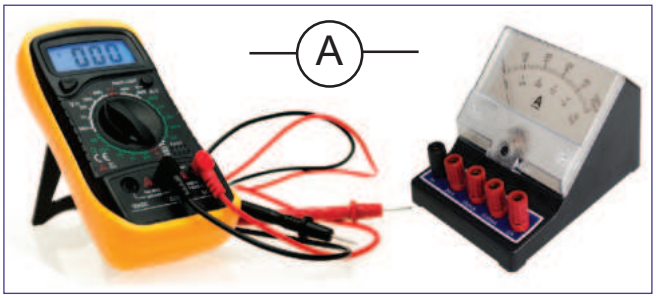
الشكل 3-5 يصِف التيار الكهربائي حركة الشحنات عبر مقطع المُوصل.

يُنقل مُعظم التيّار الكهربائي في الأجهزة الكهربائيّة بواسطة الإلكترونات حرة الحركة..

1-5	شدة التيار الكهربائي		
$I = \frac{Q}{t}$		I	شدّة التيّار الكهربائي (A)
		Q	الشحنة الكهربائية (C)
		t	الزمن (s)

يُسمّى تدفق الشحنة الكهربائية في الموصل الكهربائي "التيّار الكهربائي".

يُمكن أن تُقاس شدة التيار الكهربائي في الأجهزة الكهربائيّة باستخدام جهاز الأميتر. يُمثّل جهاز الأميتر في مخطّطات الدوائر الكهربائيّة بالرمز المُبيّن في **الشكل 4-5**. تستخدم الكثير من الأجهزة الكهربائية الصغيرة شدّة التيّار الكهربائي من رتبة المللي أمبير (mA) حيث: 1 mA = 0.001 A.



الشكل 4-5 نوعان مُختلفان من أجهزة قياس شدة التيار الكهربائيّ.

مثال 1

يتدفق تيّار كهربائي شدّته 2 A في مصباح كهربائي لمُدّة 30 s. احسب مقدار الشحنة الكهربائية التي تتدفق عبر المصباح.

المطلوب: مقدار الشحنة Q

المُعطيات: شدّة التيّار الكهربائي $I = 2\ A$، الزمن $t = 30\ s$

العلاقات: $I = \frac{Q}{t}$

الحلّ: $Q = It = 2\ A \times 30\ s = 60\ C$

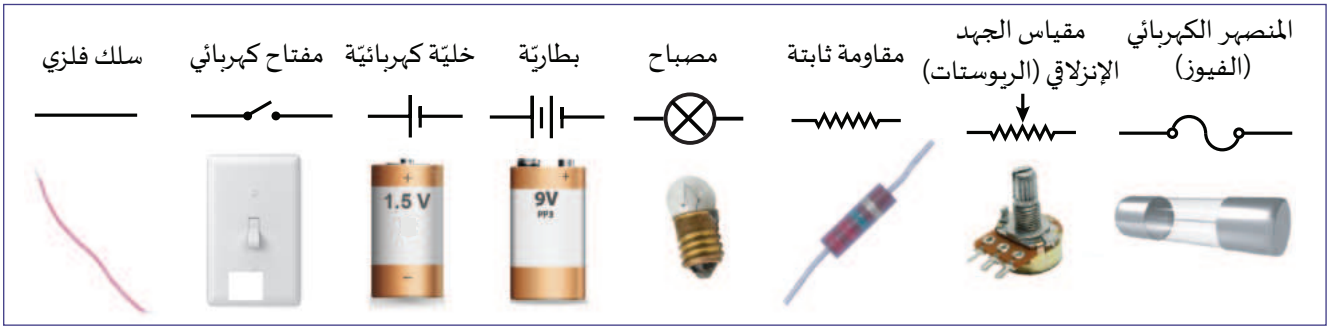
الدوائر الكهربائية

الدائرة الكهربائية Electric circuit هي المسار الذي يمكن للتيّار الكهربائي أن يسري عبره. نحصل على الدائرة الكهربائية عند توصيل جهاز كهربائي أو مصباح بمصدر للجهد الكهربائي. ولأنّ الدائرة الكهربائية يجب أن تكون مُكتملة (مُغلقة)، فإننا نلاحظ وجود طرفين على الأقل في مقبس الجهاز، أحدهما يسري التيّار الكهربائي فيه من مقبس الحائط إلى الجهاز، والطرف الآخر يسري التيّار الكهربائي فيه من الجهاز إلى المقبس من جديد لتشكل دائرة كهربائية مغلقة (**الشكل 5-5**). تملك مُعظم المقابس سلك ثالث إضافي للتأريض يكون دائمًا عند فرق جهد 0 V.

الشكل 5-5 نحصل على الدائرة الكهربائيّة المُغلقة عند وضع قابس الجهاز في المقبس وتشغيله.

مخطّطات الدوائر الكهربائية

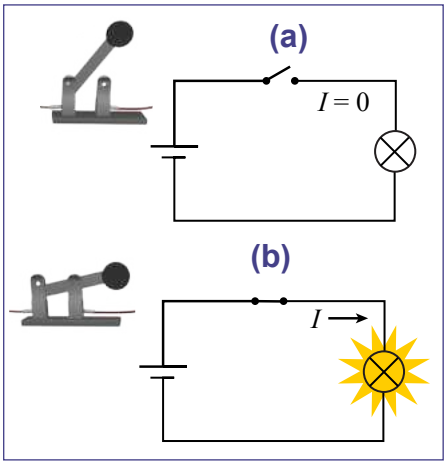
يُعدّ مخطّط الدائرة الكهربائية تمثيلًا تخطيطيًّا للمكونات الكهربائية برموز متعارف عليها. يملك كلّ مُكوّن كهربائي، كسلك التوصيل والمفتاح الكهربائي والبطّارية والمصباح والمقاومة والمنصهر (الفيوز)، رمزًا خاصًا به. يُوضّح **الشكل 5-6**، **الرموز الكهربائية Electrical symbol**، مما يسهل تصميم الدوائر الكهربائية من دون استخدام الصور الفعليّة لهذه الأجهزة.



الشكل 5-6 رموز المكونات الكهربائية في الدوائر الكهربائية.

الدوائر الكهربائية المفتوحة والدوائر الكهربائية المُغلقة

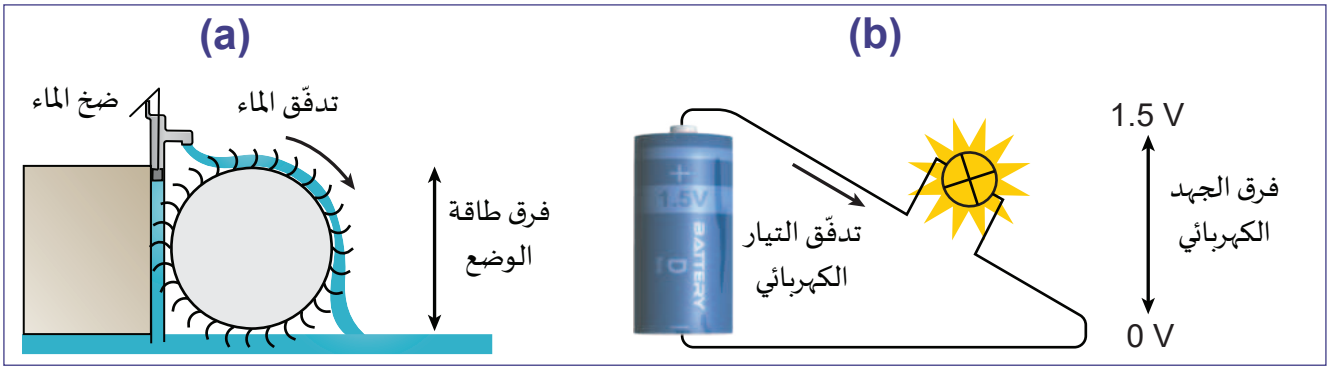
تشتمل **الدائرة الكهربائية المُغلَقة Closed electric circuit** على مسار واحد على الأقل لموصل مُغلق، كسلك، يسمح للتيّار الكهربائي بالسريان فيه. أمّا **الدائرة الكهربائية المفتوحة Open electric circuit** فهي مسار قُطِع فيه الاتّصال في مكان واحد على الأقل في الدائرة الكهربائية، مانعًا بذلك سريان التيّار الكهربائي في الدائرة الكهربائية. يُبيّن **الشكلان a7-5** و **b7-5** مفتاحًا كهربائيًا يفتح أو يُغلِق دائرة كهربائية؛ والذي يُعدّ جهازًا مُفيدًا يسمح لنا بالتحكّم بسهولة وأمان في سريان التيّار الكهربائي. يُمكن استخدام المفتاح في فتح دائرة كهربائية أو إغلاقها من خلال رفع الذراع أو خفضها.



الشكل 5-7 (a) دائرة كهربائية مفتوحة، (b) دائرة كهربائية مُغلقة.

الجهد الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي

تتواجد على الدوام الإلكترونات التي تُشكّل التيّار الكهربائي في الموصل، وتكون في حالة حركة عشوائية ما لم يتم تطبيق **جهد كهربائي Voltage** بين طرفَي الموصل، ليُنشىء قوى كهربائية تُنتج تدفّقًا للإلكترونات الحرة في اتجاه واحد لينتج التيّار الكهربائي. إحدى الطرائق الجيدة لفهم الجهد الكهربائي هو تشبيهه بارتفاع الماء، فالماء في مُنحدر يتدفّق من ارتفاع أعلى إلى ارتفاع أقل، والتيّار الكهربائي يتدفّق من جهد أعلى إلى جهد أقل (**الشكل 5-8a**)، وفي حال غياب الجهد الكهربائي، فلن يتدفّق أيّ تيّار . يُمكن توصيل سلك إلى مصباح في دائرة مُغلقة، لكن التيّار الكهربائي لن يسري ما لم توجد بطّارية أو أيّ مصدر للجهد الكهربائي في الدائرة الكهربائية (**الشكل 5-8b**).



الشكل 5-8 (a) يُسبب فرق طاقة الوضع تدفّقًا للماء، (b) يُسبب فرق الجهد الكهربائي تدفّقًا للتيار الكهربائي.

فرق الجهد الكهربائي Potential difference، هو الفرق في طاقة الوضع الكهربائيّة بين نُقطتين في دائرة كهربائيّة. يُقاس فرق الجهد الكهربائي أو الجهد الكهربائي بوحدة **الفولت Volt (V)**. يصف جهد كهربائي مقداره 1 V كمّية 1 J من الشغل المُنجَز لنقل كمّية شحنة كهربائيّة مقدارها 1 كولوم. يُمكن التعبير عن ذلك رياضيًا **بالمعادلة 5-2**.

2-5	فرق الجهد الكهربائي		
$V = \frac{W}{Q}$		V	فرق الجهد الكهربائي (V)
		W	الشغل المُنجَز (J)
		Q	الشحنة الكهربائية (C)

مثال 2

إذا كان فرق الجهد الكهربائي بين طرفَي مصباح كهربائي هو 40 V. احسب الشغل المُنجَز في تحريك شحنة كهربائية مقدارها 2.0 µC عبر المصباح.

المطلوب: الشغل المُنجز، W.

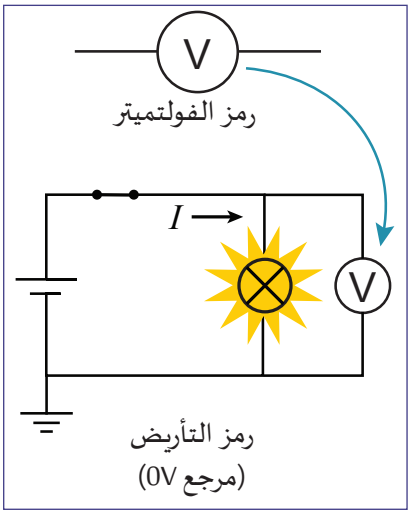
المُعطيات: فرق الجهد الكهربائي، $V = 40\ \text{V}$، الشحنة الكهربائي، $Q = 2.0\ \mu\text{C}$.

العلاقات: $W = VQ$

الحلّ: $W = VQ = 40\ \text{V}(2 \times 10^{-6}\ \text{C}) = 8 \times 10^{-5}\ \text{J}$

قياس فرق الجهد الكهربائي

يُمكن قياس فرق الجهد الكهربائي بين نُقطتين فقط، كطرفَي بطّارية، حيث يُقاس فرق الجهد الكهربائي في الأجهزة الكهربائيّة باستخدام جهاز الفولتميتر. يُمثّل جهاز الفولتميتر في مخطّطات الدوائر الكهربائيّة بالرمز المُبيّن في **الشكل 9-5**. معنى ذلك أنّ جميع القياسات تكون منسوبة إلى نقطة مرجعية في الدائرة الكهربائيّة.



الشكل 9-5 قياس فرق الجهد الكهربائي في مُخطط الدائرة الكهربائيّة.

- الطرف السالب للبطاريّة هو اختيار شائع ليكون المرجع 0 V.
- وبالتالي تُنسَب جميع الجهود الكهربائيّة في الدائرة الكهربائيّة إلى هذا المرجع.
- يُستخدم رمز التأريض عادةً للدلالة على المرجع 0 V.

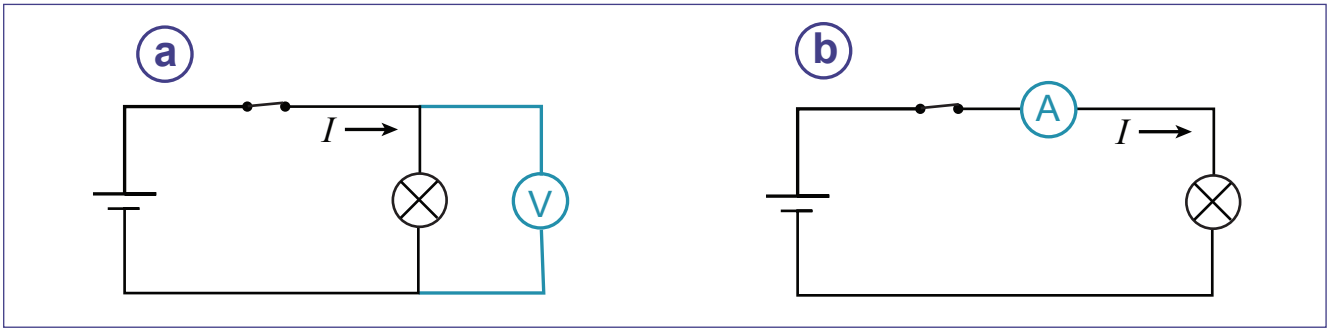
يُمكن استخدام الملتيميتر لقياس كلّ من فرق الجهد الكهربائي وشدّة التيّار الكهربائي (**الشكل 10-5**). تملك مُعظم أجهزة الملتيميتر قرصًا دوّارًا في مركزه لاختيّار نوع القياس المُراد إجراؤه، أكان فرق جهد كهربائي، أم شدّة تيار كهربائي، أم مقاومة كهربائية. كما أنّه يملك مقابس تُوصل مع أسلاك لربطها بالدائرة الكهربائيّة، يحمل أحدها الرمز "COM" والذي يُوصل عادةً بالنقطة المرجعيّة في الدائرة الكهربائيّة. حيث يتم إجراء توصيلات الملتيميتر بطريقة مُختلفة لكلّ من قياسات فرق الجهد وشدّة التيّار الكهربائي.

الشكل 10-5 ملتيميتر رقمي.

يُوضّح **الشكل 11-5** مخطّطين لدائرتين كهربائيتين تمّ توصيل جهاز الملتيميتر كجهاز فولتميتر وأميتر فيهما.

a. لقياس فرق الجهد الكهربائي بين نُقطتَيْن، نضبط جهاز الملتيميتر على وضع الفولتميتر ثمّ نقوم بتوصيله بين طرفَيْ نُقطتَيْن على التوازي في الدائرة الكهربائيّة (**الشكل 11-5a**).

b. لقياس شدّة التيّار الكهربائي، نضبط جهاز الملتيميتر على وضع الأميتر ثمّ نقوم بتوصيله على التوالي في الدائرة الكهربائيّة بحيث يعبر التيار الكهربائي المُراد قياس شدّته عبر جهاز الملتيميتر (**الشكل 11-5b**).



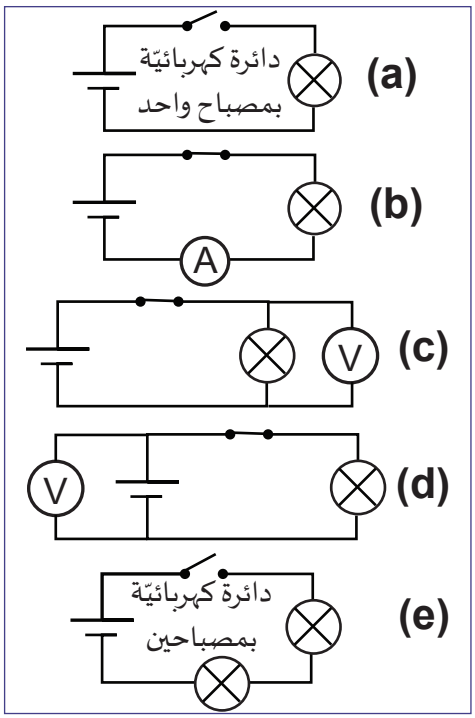
الشكل 11-5 (a) توصيل الفولتميتر على التوازي، (b) توصيل الأميتر على التوالي.

نشاط a1-5 استكشاف الدوائر الكهربائية

سؤال الاستقصاء	كيف تبني دائرة كهربائية؟
الموادّ المطلوبة	مصابيح، أسلاك توصيل، أميتر، فولتميتر، بطّاريات، مفاتيح كهربائية.

الخطوات

1. وصّل كلًّا من البطّارية والمصباح والمفتاح الكهربائي وأسلاك التوصيل لتشكيل الدائرة الكهربائية المُبيّنة في مخطّط **الشكل a12-5**.
2. وصِّل جهاز الأميتر بالدائرة الكهربائية، وسجّل شدّة التيّار الكهربائي المارّ فيه **الشكل b12-5**.
3. وصّل جهاز الفولتميتر بين طرفَي المصباح، وسجّل فرق الجهد الكهربائي **الشكل c12-5**.
4. وصِّل جهاز الفولتميتر بين طرفَي البطّارية، وسجّل فرق الجهد الكهربائي **الشكل d12-5**.
5. أضِفْ مصباحًا ثانيًا إلى الدائرة الكهربائية، وسجّل شدّة التيّار الكهربائي المارّ فيه **الشكل e12-5**.
6. كرّرالخطوة 5 لكن باستخدام جهاز الفولتميتر لقياي فرق الجهد بين طرفي كل من المصباحين.



الشكل 12-5 مُخططات الدائرة الكهربائية.

الأسئلة

a. ارفع المفتاح الكهربائي. لماذا لا يُضيء المصباح عندما يكون المفتاح الكهربائي مرفوعًا؟
b. أزِلْ البطّارية من الدائرة الكهربائية، وأعِدْ توصيلها بطريقة معكوسة. هل يُضيء المصباح؟ ماذا غيّر برأيك وضع البطّارية بطريقة معكوسة في الدائرة الكهربائية؟
c. ماذا يحدث لشدّة التيّار الكهربائي عند إضافة مصباح ثانٍ إلى الدائرة الكهربائية؟
d. ماذا يحدث لفرق الجهد الكهربائي بين طرفَي كلّ مُكوّن كهربائي في الدائرة الكهربائية عند إضافة مصباح ثانٍ إلى الدائرة؟
e. تحقّق من فرق الجهد الكهربائي المكتوب على البطّارية، هل أعطى جهاز الفولتميتر القراءة نفسها؟
f. ارسم مخطّط دائرة كهربائية آخر، للدائرة الكهربائيّة المُبيّنة في الشكل e12-5 يوضح موقع جهاز الأميتر المُستخدَم لقياس شدّة التيّار الكهربائي .
g. ما التغير الذي يحدث لقراءة الأميتر و قراءة الفولتميتر في الدائرة الكهربائية عند إضافة مصباح ثالث على التوالي إليها؟

المقاومة الكهربائيّة وقانون أوم

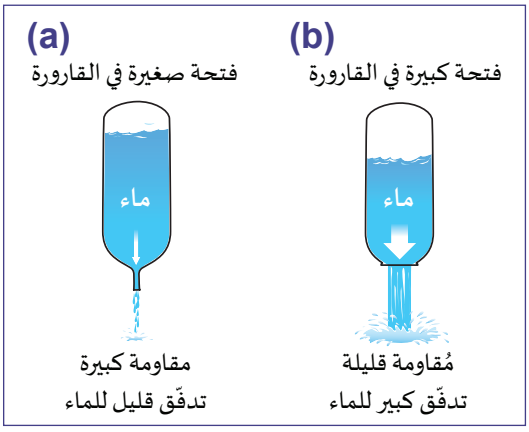
عندما يتم وصل بطّارية 1.5 V بين طرفَيْ دائرة كهربائية، ستعتمد الكمّية المتدفّقة من التيّار الكهربائي على مقدار المقاومة في الدائرة الكهربائية. تعرف **المقاومة الكهربائية Resistance** بأنها قياس لمدى سهولة تدفّق التيّار الكهربائي في الدائرة الكهربائية. عند تطبيق أيّ جهد كهربائي، فإنّ وجود مقاومة كبيرة يعني أنّ لدينا تدفّقًا أقل للتيّار الكهربائي، أمّا وجود مقاومة صغيرة فيعني أن لدينا تدفّقًا أكبر للتيّار الكهربائي. تُسمّى العلاقة بين كلّ من شدة التيار الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي ومقدار المقاومة **قانون أوم Ohm's law** (**المعادلة 3-5**)، والذي اكتشفه الفيزيائي الألماني جورج سيمون أوم.

3-5	قانون أوم		
	$V = IR$	V	فرق الجهد الكهربائي (V)
		I	شدة التيار الكهربائي (A)
		R	المقاومة الكهربائية (Ω)

يُقاس مقدار المقاومة بوحدة الأوم، ويُرمز لهذه الوحدة بالحرف اليوناني أوميجا (Ω). و**الأوم Ohm** هو فولت واحد لكلّ أمبير. تعني مقاومة مقدارها 1 Ω أن تيّارًا شدّته 1 A سيسري عند تطبيق فرق جهد كهربائي مقداره 1 V. يوضح قانون أوم أنّ فرق الجهد الكهربائي بين نُقطتين يعتمد على شدّة التيّار الكهربائي I ومقدار المقاومة R.

فهم مقدار المقاومة الكهربائية

يُمكن استخدام قارورة مياه مقلوبة رأسًا على عقب لتوضيح العلاقة بين مقدار المقاومة وشدّة التيّار الكهربائي؛ عندما تكون فوهة القارورة صغيرة يكون لها مقاومة كبيرة، وبالتالي يخرج تيّار صغير من قطرات الماء، كما في **الشكل 5-13a**. أمّا عندما تكون فوهة القارورة كبيرة فسيكون لها مقاومة صغيرة، وبالتالي يخرج تيّار أكبر من الماء، كما في **الشكل 5-13b**.



الشكل 5-13 (a) مقاومة كبيرة، (b) مقاومة صغيرة.

مثال 3

كم يجب أن يكون فرق الجهد الكهربائي بين طرفَي البطّارية لإرسال تيّار كهربائي شدّته 2.5 A ليسري في مصباح مقدار مقاومته 3.6 Ω؟

المطلوب: فرق الجهد، V

المُعطيات: شدّة التيّار الكهربائي، $I = 2.5\ \text{A}$

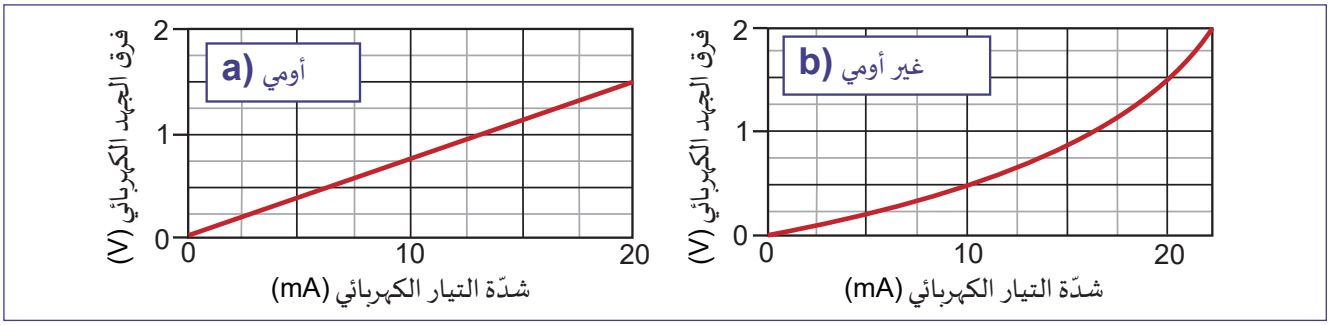
المقاومة الكهربائيّة، $R = 3.6\ \Omega$

العلاقات: $V = IR$

الحلّ: $V = IR = 2.5\ \text{A} \times 3.6\ \Omega = 9\ \text{V}$

الموصلات الأوميّة والموصلات غير الأومية

ينصّ قانون أوم على أنّ شدّة التيّار الكهربائي المُتدفّق في دائرة كهربائية يتناسب طرديًا مع فرق الجهد الكهربائي بين طرفَيها عند ثبات درجة الحرارة؛ أي أن المقاومة الكهربائيّة (فرق الجهد الكهربائي مقسومًا على التيار الكهربائي) تبقى ثابتة لجميع قيم فرق الجهد والتيار الكهربائي. **الموصلات الأوميّة Ohmic conductor** هو جهاز ينطبق عليه قانون أوم، إلّا أنّ هذا القانون لا يُعدّ قانونًا طبيعيًّا أساسيًّا ولا يشمل جميع حالات شدّة التيار الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي. تُسمى الأجهزة الكهربائيّة التي لا ينطبق عليها قانون أوم **مُوصلات غير أوميّة Non-ohmic conductors**.



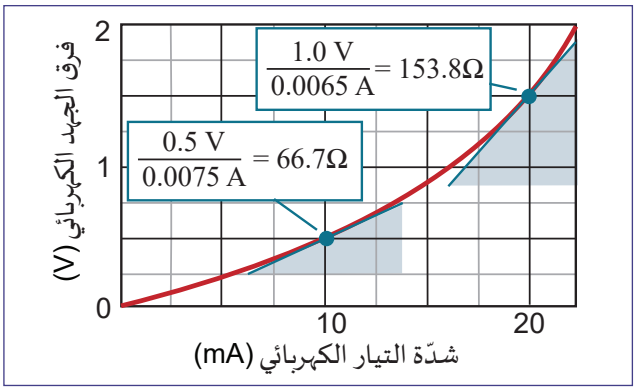
الشكل 5-14 (a) مُنحنى فرق الجهد - شدة التيار لجهاز يحقق قانون أوم، (b) مُنحنى فرق الجهد - شدة التيار لجهاز لا يحقق قانون أوم

يُمثّل ميل مُنحنى (فرق الجهد - شدة التيار) مقدار المقاومة الكهربائيّة. ويظهر كخطّ مُستقيم بميل ثابت في حالة الموصل الأومي (**الشكل 5-14a**). حيث يُمكن حساب المُقاومة من خلال:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1.5\ \text{V}}{0.02\ \text{A}} = 75\ \Omega$$

يُمثّل **الشكل 5-14b** مُنحنى مقدار المقاومة لمصباح الفتيلة المتوهج الذي لا يحقق قانون أوم.

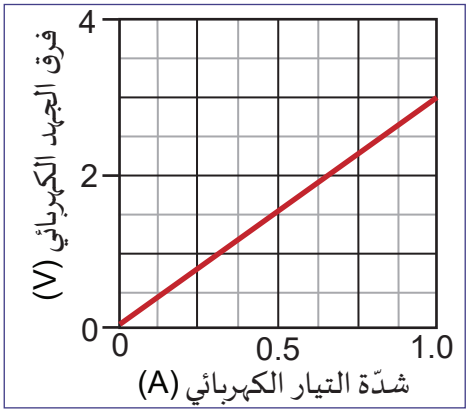
لأنّ مقدار مقاومة المصباح يزداد، عند ازدياد شدّة التيار الكهربائي، حيث يكون مقدار المقاومة (ميل المُنحنى) عند شدّة تيار كهربائي 10 mA أقلّ من مقدارها عند شدّة تيار كهربائي 20 mA (**الشكل 5-15**). ذلك لأنّ مقدار المقاومة يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة في الفتيلة المتوهِّجة.



الشكل 5-15 يُشير التغيّر في ميل المُنحنى إلى تغيّر في المقاومة.

مثال 4

احسب المقاومة الكهربائيّة لموصل، اعتمادًا على الشكل المُجاور الذي يُوضّح مُنحنى (فرق الجهد - شدة التيار) الخاصّ به.



المطلوب: المقاومة، R

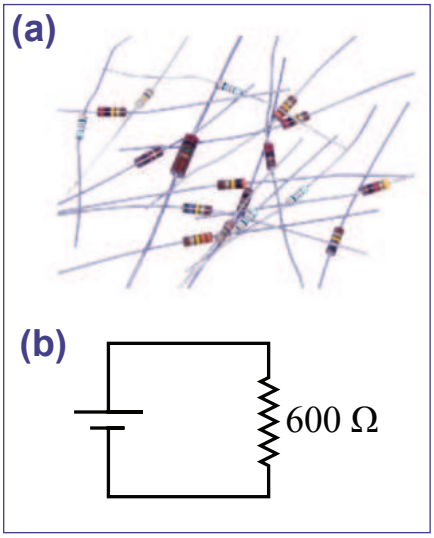
العلاقات: R = ميل مُنحنى (فرق الجهد - شدة التيار)

الحلّ:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{3\ \text{V}}{1\ \text{A}} = 3\ \Omega$$

المقاومات الكهربائية

يحدد المهندسون مقدار مقاومة الأجهزة الكهربائية بحيث يحصلون على شدّة التيّار الكهربائي المناسبة عند توصيل الجهاز بين طرفَي الجهد الكهربائي المناسب لها. تملك جميع الأجهزة الكهربائية مقدارًا للمقاومة وهي تُحدّد شدّة التيّار الكهربائي الذي يمرّ في دائرة الجهاز الكهربائية عند تطبيق الجهد المناسب.



الشكل 5-16 (a) مقاومات ثابتة، (b) مخطط دائرة كهربائية تحتوي مقاومة كهربائية.

ينتج مقدار المقاومة في الدوائر الكهربائية بواسطة المقاومات الموضّحة في **الشكل 5-16a**، وهي تكون ضمن مقادير معيارية مُحدّدة، وتُستخدَم للتحكّم في شدّة التيّار الكهربائي والجهد الكهربائي أو في كِليهما في الدوائر الكهربائية.

تُمثّل المقاومة في مخطّط الدائرة الكهربائية برمز خط مُتعرّج، ويتم رسمها في مخطّطات الدوائر الكهربائية بدلًا من رموز الأجهزة الكهربائية (**الشكل 5-16b**).

استخدام الملتيميتر لقياس مقدار المقاومة الكهربائية

يُستخدَم الأوميتر لقياس مقدار المقاومة للأجهزة الكهربائية. يُمكن ضبط الملتيميتر على وظيفة الأوميتر لهذا الغرض. ولقياس مقدار المقاومة لجهاز كهربائي يجب أن يُفصَل الجهاز عن الدائرة الكهربائية ويُوصّل إلى الملتيميتر بعد ضبطه لقياس المقاومة. ولا يُعدّ مُهمًا في مُعظم الأجهزة الكهربائية تحديد طرف الأوميتر الذي يجب توصيله إلى طرفَي الجهاز المُراد قياسه. إذا اخترنا وظيفة قياس المقاومة (Ω) فإنّ الملتيميتر يعمل عمل الأوميتر ويُمثّل في مخطّط الدائرة الكهربائية (**الشكل 5-16b**)، كما في الشكل بشكل دائرة تحتوي على رمز المقاومة، حيث يملك الملتيميتر مجالات لمقادير المقاومة تتراوح بين بضعة أومات وحتى 20 MΩ.

مثال 5

تحتوي دائرة كهربائية بسيطة على أسلاك توصيل ومصباح مقاومتة مقدارها 2 Ω، وبطّارية جهدها 1.5 V. ما شدّة التيّار الكهربائي الذي يسري في المصباح؟

المطلوب: شدّة التيّار الكهربائي، I

المُعطيات: مقدار المقاومة، $R = 2\ \Omega$

الجهد الكهربائي، $V = 1.5\ \text{V}$

العلاقات: $V = IR$

الحلّ:

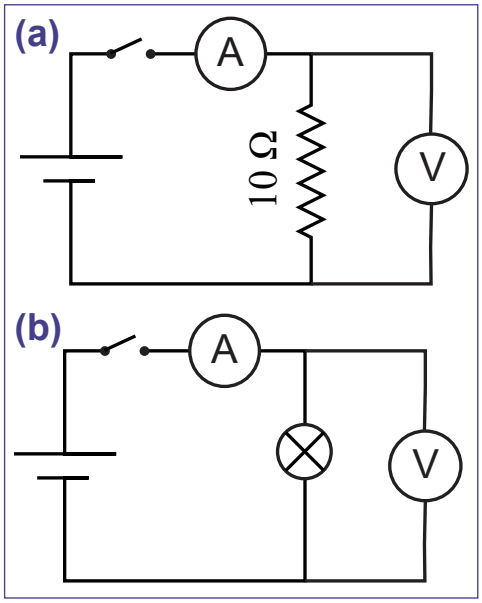
$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.5\ \text{V}}{2\ \Omega} = 0.75\ \text{A}$$

نشاط b1-5 قانون أوم

سؤال الاستقصاء	كيف يُقاس مقدار المقاومة الكهربائيّة للأسلاك؟
الموادّ المطلوبة	مصدر للطاقة مُتغيّر، أسلاك توصيل، مقاومات معلومة، أميتر، فولتميتر، مصباح.

الخطوات I

1. جهّز الدائرة الكهربائية المُوضّحة في **الشّكل a18-5** باستخدام مصدر للطاقة مُتغيّر، ومفتاح كهربائي، وأميتر، مقاومة معلومة 10 Ω، وأسلاك توصيل.
2. طبّق جهدًا 1 V. سجل شدّة التيّار الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي بين طرفَي المقاومة في ورقة العمل 1.
3. غيّر فرق الجهد الكهربائي المُطبّق إلى 2 V ثم إلى 3 V، ثم إلى 4 V. ثم سجّل قراءة كلّ من الأميتر و الفولتميتر في الدائرة في كلّ حالة في ورقة العمل.
4. ارسم مُنحنى فرق الجهد V و شدة التيار I.



الشكل 5-17 (a) الدائرة الكهربائية 1، (b) الدائرة الكهربائية 2.

الخطوات II

1. أَعِدَّ تجهيز الدائرة الكهربائية المُوضّحة في **الشكل b18-5** والتي تحتوي على مصباح كهربائي ومصدر للطّاقة مُتغيّر وأميتر ومفتاح كهربائيّ وأسلاك توصيل.
2. طبق جهد 1 V في الدائرة. اغلق المفتاح ثم سجّل قراءة كلّ من الأميتر والفولتميتر في الدائرة في ورقة العمل رقم 1.
3. زِد الجهد الكهربائي المُطبّق بمقدار 0.2 V في كلّ مرة حتى بلوغ 2 V. سجّل القراءات لشدة التيار و فرق الجهد الناتجة عن كلّ مقدار للجهد.
4. ارسم مُنحنى فرق الجهد V وشدّة التيار I.

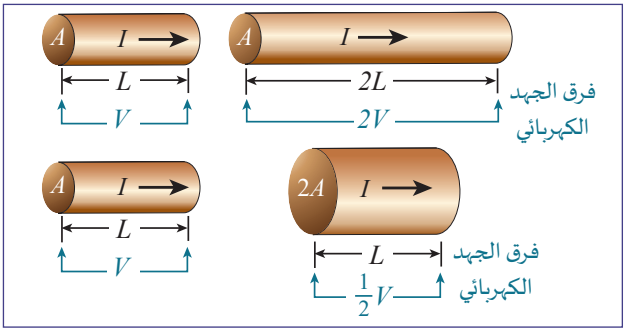
الأسئلة

a. ما الذي يُمثّله ميل مُنحنى فرق الجهد V وشدّة التيار I؟
b. أيّ الجهازين يُعدّ موصلًا أوميًا؟ وأيُهما يُعدّ موصلًا غير أوميّ؟ كيف عرفت ذلك؟
c. استخدم ميل المُنحنى لحساب المقاومة الكهربائيّة. هل هي مُساوية لمقدار المقاومة في الفرع 1؟ اشرح سبب أيّ اختلاف إن وُجد.

المقاومة الكهربائيّة للأسلاك

تعتمد المقاومة في سلك على العوامل الآتية **المعادلة 4-5**:

- **طول السلك**، كلّما ازداد طول السلك، يزداد مقدار المقاومة فيه، أيْ إنّهما يتناسبان طرديًا.
- **مساحة مقطع السلك**، حيث يتناقص مقدار المقاومة في سلك مع ازدياد مساحة مقطع السلك، أيْ إنّهما يتناسبان عكسيًا.
- تملك الموصلات الكهربائيّة المُختلفة **مُقاومة نوعيّة Resistivity**، ρ (Ωm) مُختلفة. (**الجدول 5-1**). تُنتج المُقاومة النوعية المُرتفعة مقدار مُقاومة كبير.



الشكل 5-18 تغيّر المقاومة النوعيّة.

الجدول 5-1 المُقاومة النوعيّة لبعض الموصلات الكهربائيّة (جميع المقادير بوحدة قياس Ωm).

ألمنيوم	2.65×10^{-8}	الفضة	1.59×10^{-8}
التنجستن	5.60×10^{-8}	النحاس	1.68×10^{-8}
الحديد	9.70×10^{-8}	الذهب	2.44×10^{-8}

4-5 مقدار المقاومة في سلك	R	المقاومة الكهربائية (Ω)	L	طول السلك (m)
$R = \rho \frac{L}{A}$	ρ	المقاومة النوعية (Ω m)	A	مساحة مقطع السلك (m^2)

مثال 6

احسب المقاومة الكهربائية لسلك من النحاس طوله 50 m ومساحة مقطعه 7.85×10^{-7} m^2.

المطلوب: المقاومة، R

المُعطيات: المقاومة النوعية، $\rho = 1.68 \times 10^{-8}$ Ωm
المساحة، $A = 7.85 \times 10^{-7}$ m^2
الطول، $L = 50$ m

العلاقات: $R = \rho \frac{L}{A}$

الحلّ: $R = \rho \frac{L}{A} = \frac{(1.68 \times 10^{-8}\ \Omega m)(50\ m)}{(7.85 \times 10^{-7}\ m^2)} = 1.07\ \Omega$

مثال 7

يملك سلك مُقاومة نوعيّة 1.68×10^{-8} Ωm. احسب طول السّلك إذا كان نصف قُطره 2.00 mm ومقدار مُقاومته 5.00 Ω.

المطلوب: الطّول، L

المُعطيات: المُقاومة النوعيّة، $\rho = 1.68 \times 10^{-8}$ Ωm
نصف القُطر، $r = 2.00$ mm
المُقاومة الكهربائيّة، $R = 5.00\ \Omega$

العلاقات: $R = \rho \frac{L}{A}$

الحلّ: $L = \frac{RA}{\rho} \xleftarrow{A = \pi r^2} L = \frac{R\pi r^2}{\rho} = \frac{(5.00)(\pi)(2 \times 10^{-3})^2}{1.68 \times 10^{-8}} = 3740\ m$

نشاط c1-5 مقدار المقاومة الكهربائيّة لسلك

سؤال الاستقصاء	كيف يتمّ حساب مقدار المقاومة الكهربائية لسلك عمليًا؟
الموادّ المطلوبة	ثلاثة أسلاك توصيل مصنوعة من مواد مُختلفة جهّزها معلّمك أو محضر المختبر، ملتيميتر، ميكروميتر، مسطرة.

الخطوات I

1. قِس قُطر كلّ سلك بواسطة الميكروميتر، وسجّل البيانات في الجدول الموجود في ورقة العمل.
2. قسّم قُطر السلك على 2 لحساب نصف قُطره وسجّله في الجدول.
3. احسب مساحة مقطع كلّ سلك باستخدام العلاقة: $A = \pi r^2$.
4. قِس طول كلّ سلك وسجّل القياسات في الجدول.
5. ابحث عن المقاومة النوعيّة لكلّ سلك من الجدول 5-1.
6. استخدم المعادلة 5-4 لتحسب مقدار مقاومة كلّ سلك.
7. اضبط الملتيميتر على وظيفة الأوميتر وقِس مقدار مقاومة السلك.

الأسئلة

a. قدّر مقدار الخطأ الناتج في حساب مقاومة كلّ سلك من خلال أخذ الفرق بين الحساب والقياس.
b. ما مدى قُرب القيم المُقاسة من القيم المحسوبة لمقدار المقاومة؟
c. ما مصادر الخطأ في قياساتك؟ اذكر كلّ المصادر الممكنة للخطأ.
d. ما الذي يجب القيام به لتقليل الأخطاء الناتجة عن القراءات؟
e. ما المادة التي لها أقل مقدار للمقاومة؟
f. ما المادة التي لها أكبر مقدار للمقاومة؟
g. صِف العلاقة بين طول السلك ومقدار المقاومة.
h. صِف العلاقة بين مساحة مقطع السلك ومقدار المقاومة.
i. كيف سيتغيّر مقدار المقاومة في السلك إذا كان السلك أقل سُمكًا؟ اشرح إجابتك.
j. كيف سيتغيّر مقدار المقاومة في السلك إذا كان السلك أقصر؟ اشرح إجابتك.

تقويم الدرس 1-5

1. أيٌّ من المواد الآتية تُعدّ موصلات كهربائية جيدة؟
   a. الألمنيوم .
   b. المطّاط.
   c. الزجاج.
   d. الماس

2. ما الشروط اللازمة لتدفق التيّار الكهربائي في دائرة كهربائية؟

3. a. لماذا يُسبّب زيادة طول السلك إلى الضعف ازدياد مقدار مقاومة السلك إلى الضعف؟
   b. ما الذي يمكن القيام به لكي لا تنتج مُضاعفةُ طول السلك مُضاعفةً في مقدار المقاومة؟

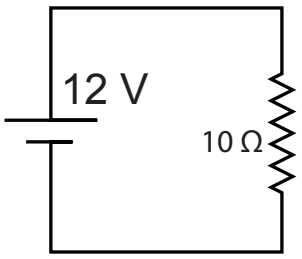
4. كيف يرتبط كلٌّ من فرق الجهد الكهربائي وشدة التيّار الكهربائي ومقدار المقاومة بعضها ببعض؟

5. ما فرق الجهد الكهربائي بين طرفَي مقاومة مقدارها 50 Ω عندما يسري تيّار كهربائي فيها شدّته 0.1 A؟

6. سلك توصيل طوله 35 m يحمل الكهرباء من عمود كهرباء الشارع إلى منزلك. تبلغ مساحة مقطع السلك 95 mm^2، ومصنوع من النُحاس مُقاومته النوعيّة 1.68×10^{-8} Ωm.
   a. احسب المُقاومة الكهربائيّة للسلك.
   b. احسب فرق الجهد الكهربائي بين طرفي السلك عندما يتدفّق عبره تيار كهربائي شدّته 200 A.

7. ارسم مخطّط الدائرة الكهربائية مُبيّنًا أميترًا متصلًا على التوالي بمصباح ومقاومة وبطّارية ومفتاح كهربائي مفتوح.

8. تمّ توصيل بطّارية فرق جهدها 12 V مع مقاومة كما في الشكل.



   a. احسب شدّة التيّار الكهربائي في الدائرة الكهربائية إذا كانت المقاومة 10 Ω.
   b. احسب شدّة التيار الكهربائي في الدائرة الكهربائيّة إذا استُبدلت المقاومة بسلك مُقاومته 0.001 Ω.
   c. هل تعتقد أنّ بإمكان بطاريّة إنتاج شدّة التيّار الكهربائي في الفرع (b)؟ اشرح إجابتك باختصار.

9. ما مقدار شدة التيار الكهربائي في مصباح كشاف، عندما تتدفّق كمّية من الشحنة الكهربائية مقدارها 600 C خلال نصف ساعة.

10. ما فرق الجهد الكهربائي اللازم لتحريك شحنة كهربائيّة مقدارها 50 C عبر جهاز، بحيث تُنجز الشحنة المُتحرّكة شُغلًا مقداره 10 J.

الدرس 5-2

الدوائر الكهربائية المُركّبة
Complex Circuits

تُولّد دولة قطر ما يقرب من 40×10^6 MWh من الكهرباء في كلّ عام، إذ يبلغ استهلاكها السنوي من الكهرباء 37×10^6 MWh تقريبًا. يتمّ توليد مُعظم هذه الطاقة من خلال الوقود الأحفوري، والغاز الطبيعي على وجه التحديد.

تسعى دولة قطر إلى اتّباع نهجٍ أكثر استدامة من الناحية البيئيّة، وغايتها في ذلك الوصول إلى انتاج 20% من الطاقة باستخدام الطاقة الشمسيّة بحلول العام 2030.

الشكل 5-19 محطة طاقة كهربائية.

المفردات

مُقاومة مُكافئة	Equivalent resistance
دائرة توالي	Series circuit
دائرة توازي	Parallel circuit
قانون حفظ الشحنة	Law of conservation of charge
قانون كيرشوف للتيار	Kirchhoff's current law
قانون حفظ الطاقة	Law of conservation of energy
قانون كيرشوف للجهد	Kirchhoff's voltage law
قوة دافعة كهربائية (emf)	Electromotive force (emf)
مقاومة داخلية	Internal resistance
جهد طرفي	Terminal voltage
قدرة كهربائية	Electric power

مخرجات التّعلُّم

P1012.2 يحسب المقاومة المُكافئة لدوائر المقاومات المُركبة.

P1012.3 يصِف الفرق بين القوة الدافعة الكهربائية *emf* وفرق الجهد الكهربائي (P.d). ويُحدّد المقاومة الداخلية للخلية باستخدام المعادلة:

$$emf = I(R+r)$$

P1012.4 يحلّ مسائل حسابية باستخدام العلاقات الآتية: $P = \frac{E}{t}, P = VI, P = I^2R, P = \frac{V^2}{R}$

أنواع الدوائر الكهربائية المُختلفة

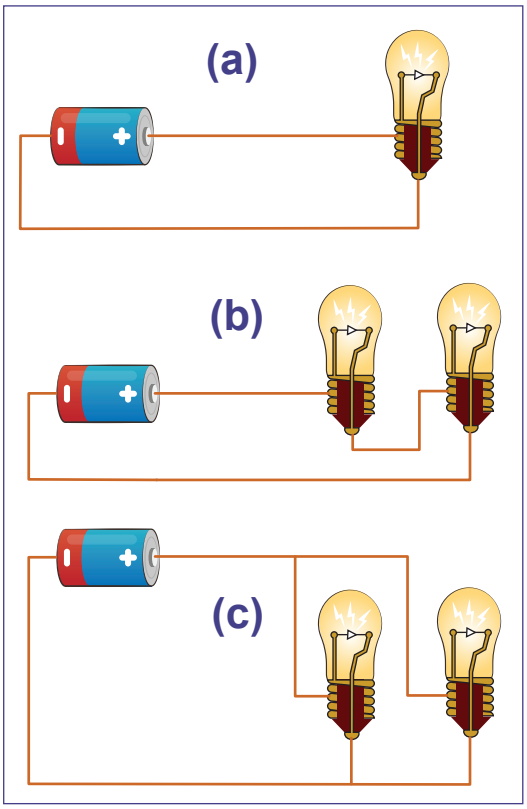
ما الطريقتان الرئيستان في توصيل الدائرة الكهربائيّة؟

كيف يتمّ التشارك في الكهرباء عندما يوجد أكثر من جهاز في الدائرة الكهربائية؟

توجد طريقة واحدة للحصول على دائرة كاملة باستخدام بطّارية ومصباح كهربائي (**الشكل 5-a20**). يُضيء المصباح، عندما يبدأ التيار بالسريان في الدائرة الكهربائية.

لكنْ، بوجود مصباحَيْن في الدائرة الكهربائية سيُصبح الوضع مُختلفًا:

- يُوضّح **الشكل 5-b20** دائرة كهربائية يسري التيار الكهربائي فيها عبر المصباح الأول، ثمّ يسري في المصباح الثاني، ثمّ يعود ليسري نحو البطارية. هذا يعني أنّ التيار نفسه يسري في المصباحَيْن. وإذا قمنا بإزالة أحد المصباحَيْن، فإنّ الدائرة الكهربائية تُصبح مفتوحة ويتوقّف المصباح الثاني عن الإضاءة.
- أمّا **الشكل 5-c20** فيُظهر دائرة كهربائية مُختلفة يسري فيها تيار كهربائي في مصباح من دون أن يمرّ في المصباح الآخر، وإذا قُمنا بإزالة أحد المصباحَيْن من الدائرة الكهربائية فإنّ المصباح الآخر يستمرّ في الإضاءة.

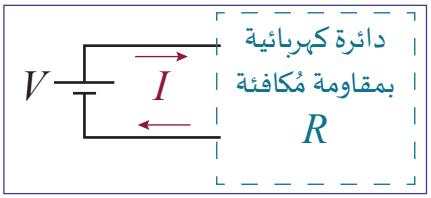


الشكل 5-20 دائرة كهربائية بمصباح واحد، ودائرتان مُختلفتان بمصباحَيْن.

1. أنشئ الدائرة الكهربائية في الشكل 5-a20، ولاحظ شدّة إضاءة المصباح.
2. أنشئ الدائرة الكهربائية في الشكل 5-b20، ولاحظ شدّة إضاءة المصابيح.
3. أنشئ الدائرة الكهربائية في الشكل 5-c20. ولاحظ شدّة إضاءة المصابيح.
4. لماذا تكون شدّة إضاءة المصباحَيْن في الدائرة الكهربائية (c)مُماثلة لشدّة إضاءة المصباح في الدائرة (a)، ولماذا تكون شدّة إضاءة المصباحَيْن في الدائرة الكهربائية (b) أقلّ من شدّة إضاءة المصباح في الدائرة الكهربائية (a).

المقاومة المُكافئة

عندما يتمّ تطبيق جهد كهربائي V، بين طرفَيْ دائرة مُكتملة تتضمّن أجهزة مُتعدّدة، فإنّ شدّة التيار الكهربائي، I المُتدفّق تعتمد على مقدار المقاومة المُكافئة، R_{eq}، للدائرة الكهربائية (**الشكل 5-21**). تُسمّى **المُقاومة المُكافئة Equivalent resistance**، وسيتمّ توضيح ذلك في كلّ من دوائر التوالي ودوائر التوازي.

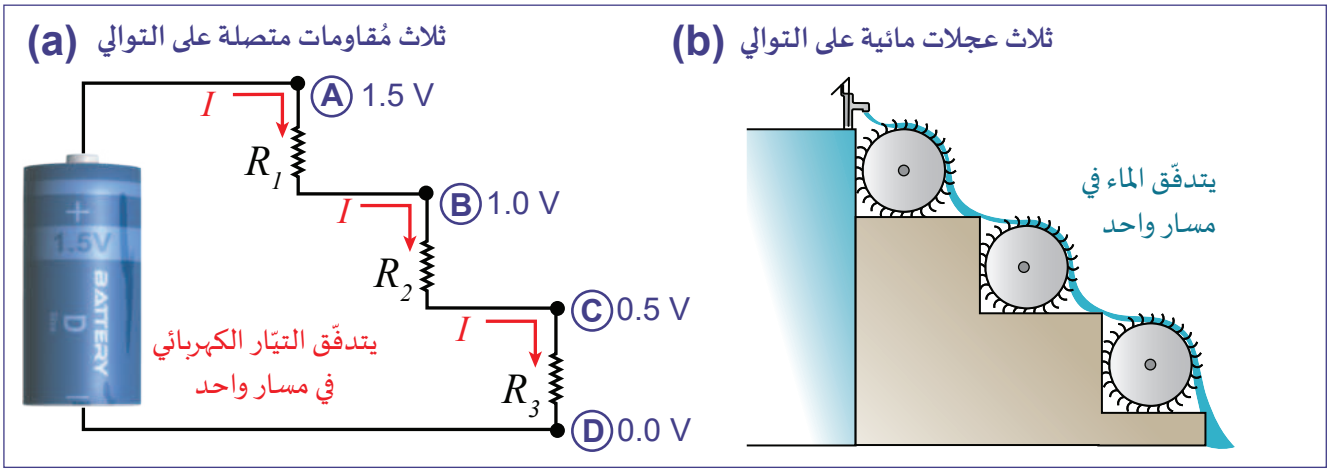


الشكل 5-21 دائرة المقاومة المُكافئة.

دائرة التوالي

تمتلك **دائرة التوالي Series circuit** مسارًا واحدًا يسري فيه التيّار الكهربائي. تربط دائرة التوالي مخرج الجهاز الأول في دائرة التوالي ، بمدخل الجهاز الثاني، ومخرج الجهاز الثاني بمدخل الجهاز الثالث. وهكذا، فإنّ التيار الكهربائي يسري كلّه في دائرة التوالي من جهاز إلى آخر بشكل متتالٍ، كما في **الشكل a22-5**. يُحافظ التيار الكهربائي في دائرة التوالي على شدّته في أثناء سريانه من جهاز إلى آخر.

في دائرة التوالي، يسري التيار الكهربائي نفسه في كلّ مكون من مكونات الدائرة الكهربائية.



الشكل 5-22 (a) ثلاث مقاومات متصلة على التوالي، (b) ثلاث عجلات مائية على التوالي.

الجهد في دائرة التوالي

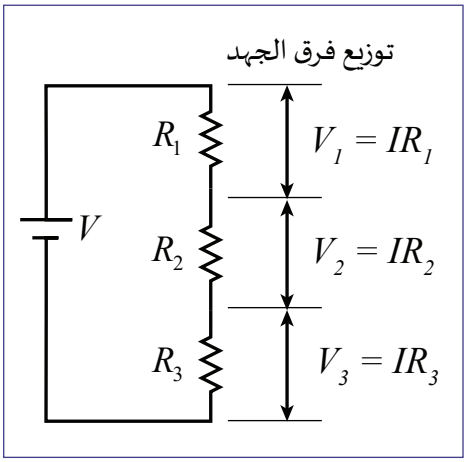
لكي تفهم جيّدًا تغيّرات الجُهد في دائرة التوالي، تخيّل ثلاث عجلات مائية، يُغطي كلّ منها مقدار ثُلث شلّال من الماء (**الشكل b22-5**). عندما يتدفّق الماء على العجلات الثلاث، فإنه يخسر $\frac{1}{3}$ من طاقة الوضع (الارتفاع) مع مروره على كلّ عجلة. وبطريقة مُشابهة، فإنّ كلّ جهاز متتالٍ في دائرة التوالي يستهلك بعضًا من الطاقة التي يحملها التيار الكهربائي. وبالنتيجة، فإنّ الجهد ينخفض. فإذا كانت المقاومات الثلاث مُتساوية المقدار، فإنّ الجهد الكهربائي سينقُص بمقدار الثُلث عبر كلّ مقاومة. وعلى سبيل المثال، إذا كان جُهد البطارية 1.5 V عند نُقطة A. فإنّ الجُهد يكون عند النُقطة B هو 1.0 V، ويكون الجُهد عند النُقطة C هو 0.5 V، والجهد عند النُقطة D هو 0 V.

في دائرة التوالي، يتوزّع الجُهد بين طرفَيْ كلّ مقاومة.

المقاومة في دائرة التوالي

يُوضّح **الشكل 5-23** دائرة كهربائية تتكون من ثلاث مُقاومات متصلة بين طرفَيْ بطارية على التوالي.

1. ما شدّة التيار الكهربائي المُتدفّق في الدائرة الكهربائية؟
2. كيف يُمكن تطبيق قانون أوم في هذه الحالة؟



الشكل 5-23 ثلاث مقاومات على التوالي.

يسري في الدائرة الكهربائية تيارٌ كهربائيٌ شدّته تُساوي الجُهد المُطبّق بين طرفَيْها مقسومًا على المُقاومة المُكافئة للدائرة الكهربائية. كُلما كانت المُقاومة المُكافئة أقلّ، ازدادت شدة التيار الكهربائي الناتج عن البطارية. ولتحديد شدّة التيار الكهربائي يجب علينا إيجاد المقاومة الكُليّة (المقاومة المُكافئة) للدائرة الكهربائية.

إذا كانت الدائرة الكهربائية هي دائرة توالٍ، فإنّ شدّة التيار الكهربائي تكون هي نفسها في كلّ أجزاء ومكوّنات الدائرة، ويكون فرق الجهد الكهربائي للبطاريّة V مُساويًا لمجموع فرق الجهد الكهربائي بين طرفَيْ كلّ مقاومة: $V = V_1 + V_2 + V_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3$

شدّة التيار الكهربائي I هي نفسها في كلّ مُقاومة. وبالتالي، فإنّ بإمكاننا إعادة كتابة المُعادلة من خلال إخراج I عاملٍ مُشتركٍ وجمع المقاومات بعضها مع بعض: $V = I\,(R_1 + R_2 + R_3)$

تُشبه هذه المُعادلة قانون أوم، وإذا استبدلنا بمجموع المُقاومات المقاومة المُكافئة R_{eq} للدائرة الكهربائية:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

سيسمح لنا ذلك بكتابة العلاقة بين فرق الجُهد الكُلّي وشدّة التيار الكُلي: $V = IR_{eq} \longrightarrow I = \dfrac{V}{R_{eq}}$

تُعطي **المُعادلة 5-5** المُقاومة المُكافئة لمقاومات على التوالي.

5-5	المقاومة المُكافئة في دائرة التوالي	R_{eq}	المُقاومة المُكافئة (Ω)
$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$		R_1	المقاومة 1 (Ω)
		R_2	المقاومة 2 (Ω)
		R_3	المقاومة 3 (Ω)

مثال 8

احسب المقاومة المُكافئة لسبعة مُقاومات متصلة معاً على التوالي: 1Ω، 2Ω، 3Ω، 4Ω، 5Ω، 6Ω، 7Ω

المطلوب: المقاومة المُكافئة، R_{eq}.

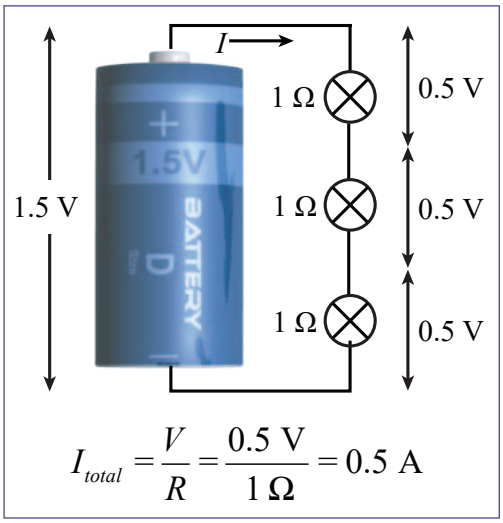
المُعطيات: 1Ω، 2Ω، 3Ω، 4Ω، 5Ω، 6Ω، 7Ω

العلاقات: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$

الحلّ: $R_{eq} = 1\ \Omega + 2\ \Omega + 3\ \Omega + 4\ \Omega + 5\ \Omega + 6\ \Omega + 7\ \Omega = 28\ \Omega$

شدة التيار الكهربائي وفرق الجُهد في دائرة التوالي

يُظهر **الشكل 5-24** دائرة توالٍ تتكوّن من بطارية 1.5 V متصلة بثلاثة مصابيح على التوالي. يملك كلّ مصباح مُقاومة مقدارها 1 Ω.



الشكل 5-24 مصابيح في دائرة التوالي.

يبلغ فرق الجُهد الكهربائي المقاس بين طرفَيْ كلّ مصباح 0.5 V. ولأنّ التيار الكهربائي نفسه يسري في المقاومات الثلاث، فإنّ بإمكاننا حساب شدّة التيار الكهربائي في الدائرة الكهربائيّة من خلال حساب شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ عبر إحدى المقاومات، أي:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{0.5\ \text{V}}{1\ \Omega} = 0.5\ \text{A}$$

تكون شدّة التيار الكهربائي في دائرة التوالي أقلّ من شدّة التيار الكهربائي إذا استخدمنا مصباحًا واحدًا في الدائرة الكهربائية نفسها. يحدث ذلك لأنّ المقاومة المُكافئة للدائرة الكهربائية قد ازدادت، لأن مقاومة كلّ مصباح قد أُضيفت على التوالي وبالتالي، تكون المقاومة المُكافئة أكبر بثلاث مرات من مقاومة مصباح واحد. عند وجود مصباح واحد فقط في الدائرة الكهربائية تكون شدة التيار:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.5}{1} = 1.5\ \text{A}$$

مثال 9

مقاومتان مقدار كلّ منهما 10 Ω و 20 Ω، متّصلتان على التوالي ببطّارية جهدها 10 V. احسب شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ في الدائرة الكهربائية.

المطلوب: شدّة التيار الكهربائي الكُليّ I.

المُعطيات: فرق الجهد $V = 10\ \text{V}$

المقاومة 1: $R_1 = 10\ \Omega$;

المقاومة 2: $R_2 = 20\ \Omega$;

العلاقات:

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

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

الحلّ: يُمكن حساب المقاومة المُكافئة في دائرة التوالي كما يأتي:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 = 10 + 20 = 30\ \Omega$$

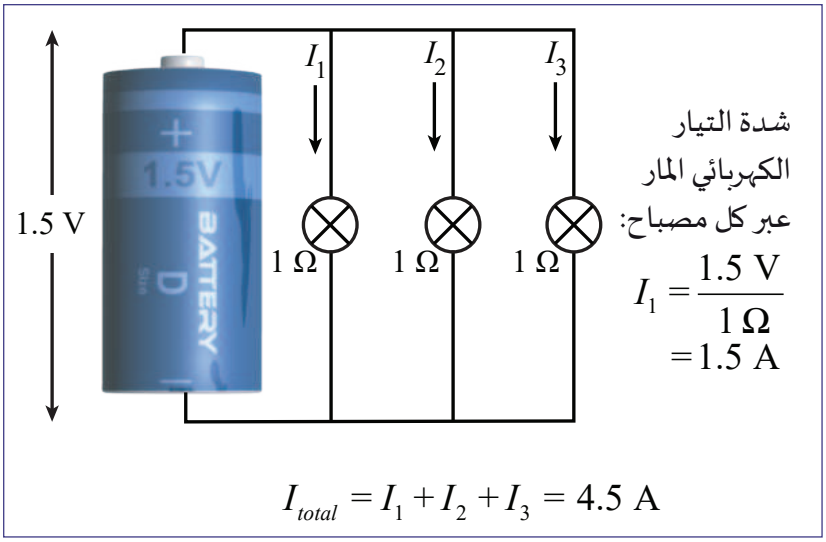
وباستخدام قانون أوم، نحسب شدّة التيار الكهربائي:

دوائر التوازي

تحتوي **دائرة التوازي Parallel circuit** على أفرع تتضمّن أكثر من مسارٍ يمرّ فيه التيار الكهربائي. ففي دائرة التوازي، يُمكن أن يملك كلّ فرع تيار كهربائي مُختلف يسري عبره. وتكون شدّة التيار الكهربائي في الدائرة الكهربائية مُساويةً لمجموع شدّة التيارات الكهربائية المارّة عبر كلّ أفرع الدائرة.

شدة التيار الكهربائي وفرق الجهد في دائرة التوازي

يُوضّح **الشكل 5-25** دائرة التوازي. يملك كلّ مصباح مُقاومة مُنخفضة مُتصلة مباشرة بين طرفَيْ البطارية. وبما أنّ الأسلاك تملك مقاومة مُهملة، لن يكون هناك انخفاض للجهد بين طرفَيْ الأسلاك، وسيحصل كلّ مصباح على كلّ الجُهد الذي تُنتجه البطارية ويساوي 1.5 V وبالتالي تستهلك 1.5 A من التيار الكهربائي، كما لو كان هناك مصباح واحد في الدائرة الكهربائية.



الشكل 5-25 المصابيح في دائرة التوازي.

ويكون التيار الكهربائي الكُلي المُرسل من البطّارية هو 4.5 A، والمُساوي لمجموع التيّار الذي يمرّ في كلّ فرع من الأفرع الثلاثة. وبالتالي فإنّ شدّة التيار الكهربائي في المصابيح الثلاثة من دائرة التوازي أكبر من شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ في دائرة بمصباح واحد. ويُمكننا أن نقول بأنّ دائرة التوازي تُكافئ ثلاث دوائر كهربائية بمصباح واحد في كلّ منها.

يكون فرق الجهد هو نفسه لجميع الأجهزة المتصلة على التوازي.

قوانين دائرة التوازي

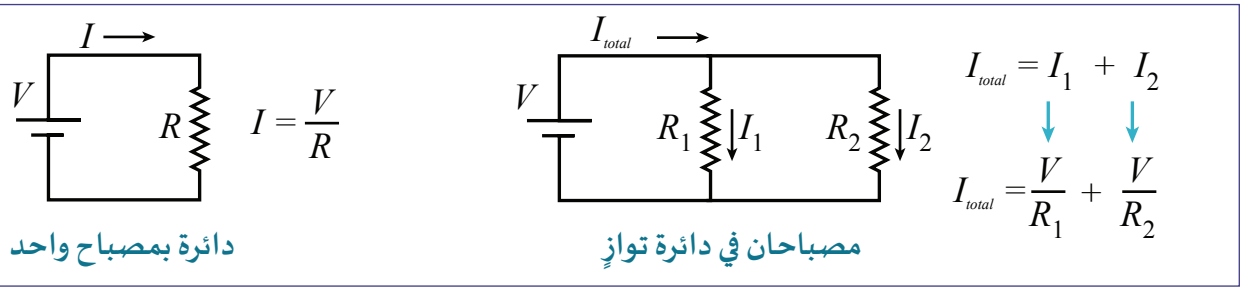
تُساعد القاعدتان الآتيتان على فهم دوائر التوازي بطريقة أفضل:

1. فرق الجهد الكهربائي هو نفسه على طول السلك وبين طرفَيْ كلّ عنصر مقاومة كهربائيّة في الدائرة الكهربائية، حيث تحدث التغييرات في الجهد الكهربائي في المقاومة الكهربائية، وتُعدّ هذه القاعدة هي تقريب جيّد لامتلاك الأسلاك مُقاومة مُنخفضة جدًا.

2. يجب أن يكون التيار الكهربائي المُتدفّق خارج نُقطة تفرّع أو عُقدة في الدائرة الكهربائية مُساويًا للتيار الكهربائي المُتدفّق نحو نُقطة التفرّع. يُسمّى هذا القانون «**قانون كيرشوف للتيار Kirchhoff's current law**». تملك الدائرة الكهربائية المُوضّحة في **الشكل 5-25** ثلاثة أفرع. وبتطبيق قانون كيرشوف للتيار يُمكننا أن نقول إنّ التيار الكهربائي المُتدفّق من البطارية يجب أن يساوي مجموع التيارات الكهربائية في كلّ من الأفرع الثلاثة.

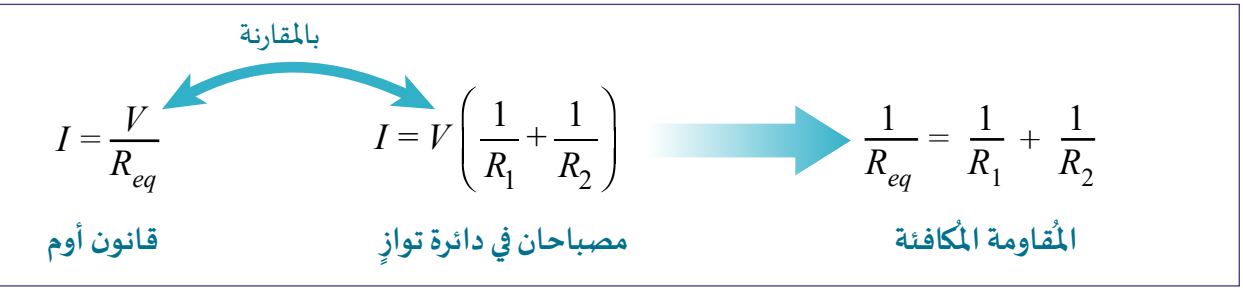
المقاومة المُكافئة في دوائر التوازي

إنّ فرق الجهد بين طرفَيْ الدائرتَيْن الكهربائيتَيْن في **الشكل 5-26** هو نفسه، إلّا أننا نُلاحظ أنّ المصباحَيْن يستهلكان المزيد من التيار الكهربائي الكُلّي. ولفهم السبب وراء ذلك، فإننا نبدأ من قانون أوم، لأن شدّة التيار الكهربائي تساوي فرق الجهد الكهربائي مقسومًا على المقاومة المُكافئة في الدائرة الكهربائية. لكنْ، ما مقدار المقاومة المُكافئة للدائرة الكهربائية؟



الشكل 5-26 المقارنة بين مصباح واحد ومصباحَيْن في دوائر التوازي.

وفقًا لقانون أوم، فإنّ شدّة التيار الكهربائي في فرع من الدائرة الكهربائية تساوي فرق الجهد مقسومًا على مقدار المقاومة في ذلك الفرع (R_1 أو R_2). مع الإشارة إلى أنّ التيار الكهربائي المُرسل من البطارية يساوي مجموع التيارات الكهربائية في كلّ فرع (بحسب قانون كيرشوف للتيار).



عند تطبيق قانون أوم على الدائرة، سنُلاحظ أنّ مقلوب المقاومة المُكافئة يكون مساويًا لمجموع مقلوب كلّ مقاومة من كلّ فرع في الدائرة الكهربائية. يقودنا ذلك مباشرة إلى **المعادلة 6-5**، والتي تُعطي المقاومة المُكافئة R_{eq} لدائرة توازٍ تحتوي على ثلاث مقاومات:

6-5	المقاومة المُكافئة في دائرة التوازي	R_{eq}	المُقاومة المُكافئة (Ω)
	$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$	R_1	المقاومة 1 (Ω)
		R_2	المقاومة 2 (Ω)
		R_3	المقاومة 3 (Ω)

تُعطي المُعادلة قيمة $\frac{1}{R_{eq}}$. ولحساب المقاومة المُكافئة للدائرة الكهربائية يجب إيجاد مقلوب هذه القيمة.

إنّ إضافة المزيد من الأفرع إلى دائرة التوازي سيزيد دائمًا شدّة التيار الكُلّي في الدائرة الكهربائية. حيث تتناقص المقاومة المُكافئة للدائرة الكهربائية. ونتيجة لذلك تزداد شدّة التيار الكهربائي الكُلّي مع الحفاظ على الجهد نفسه.

مثال 10

ما المقاومة المُكافئة لمقاومتَيْن مقدار كلّ منهما 10 Ω مُتّصلتَيْن على التوازي؟

المطلوب: المقاومة المُكافئة R_{eq}

المُعطيات: $R_1 = 10\ \Omega\ , R_2 = 10\ \Omega$

العلاقات: $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$

الحلّ: نجمع المقاومات من خلال توحيد المقامات:

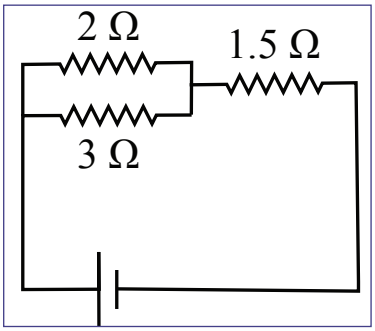
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$= \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5}$$

نقوم بالحلّ لإيجاد مقدار R_{eq}، يُعطينا ذلك: $R_{eq} = 5\ \Omega$

مثال 11

احسب المقاومة المُكافئة في الدائرة المُبيّنة في **الشكل 5-27**.



الشكل 5-27

المطلوب: المقاومة المُكافئة R_{eq}

المُعطيات: $R_1 = 2\ \Omega\ , R_2 = 3\ \Omega\ , R_3 = 1.5\ \Omega$

العلاقات: $R_{eq} = R_1 + R_2$

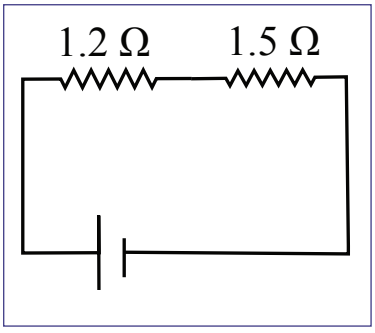
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$

الحلّ: تُكافئ المقاومات على التوازي المقاومة:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6}$$

$$R_{eq} = 1.2\ \Omega$$

وتكون: $R_{eq} = 1.2\ \Omega$

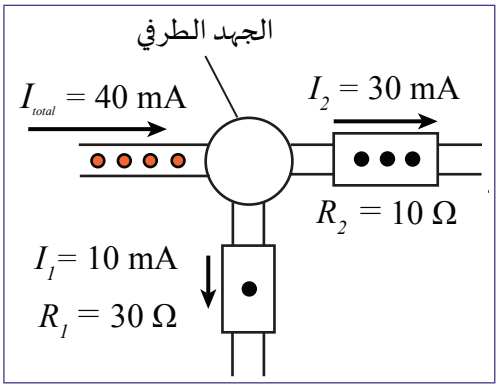


هذه المقاومة 1.2 Ω تُكون دائرة توالي مع المقاومة 1.5 Ω و عليه تكون المقاومة المكافئة للدائرة:

$$R_{eq} = 1.2\ \Omega + 1.5\ \Omega = 2.7\ \Omega$$

قانون كيرشوف للتيار

تتكوّن الدوائر الكهربائية في الحالة المثالية من مقاومات ثابتة المقدار، ويكون من السهل حساب شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ في هذا النوع من المقاومات، إلّا أنّ الحالة لا تكون كذلك دائمًا، فلتحديد كمية التيار الكهربائي المُتدفقة عبر الأجزاء المُختلفة من الدائرة الكهربائية، نقوم بدراسة **قانون حفظ الشحنة Law of conservation of charge**، وهو ينصّ على أنّ الشحنة الكهربائية الكُليّة في نظام معزول تبقى ثابتة. فإذا دخلت شحنتان موجبتان، فذلك يوجب أن تخرج شحنتان مُوجبتان أيضًا.



الشكل 5-28 دخول التيار الكهربائي لعُقدة والخروج منها.

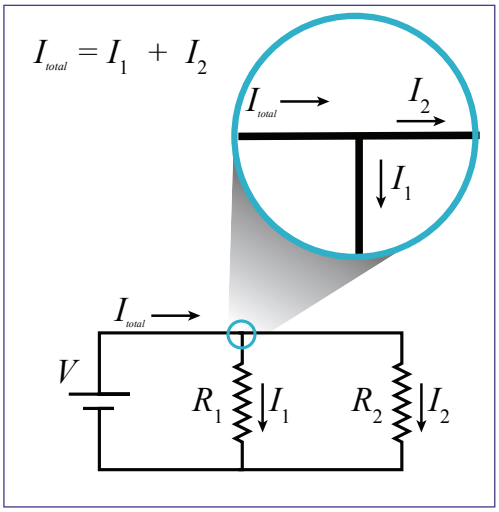
يعتمد قانون كيرشوف الأول على قانون حفظ الشحنة. وهو يُعرف أيضًا باسم قانون كيرشوف للتيار الذي ينصّ على ما يأتي: "الكميّة الكُليّة للتيار الكهربائي الداخل إلى عقدة في دائرة كهربائية يجب أن يساوي الكميّة الكُليّة للتيار الكهربائي الخارج من تلك العقدة". لفهم ذلك، لاحظ **الشكل 5-28**، حيث يدخل 40 mA العقدة. فإذا خرج 10 mA إلى أحد الأفرع، فيجب أن يخرج 30 mA في الفرع الآخر ليتحقّق قانون كيرشوف.

مجموع كلّ التيارات الكهربائية التي تدخل عُقدة تساوي مجموع كلّ التيارات الكهربائية التي تخرج منها.

قانون كيرشوف للتيار في دائرة التوازي

يتمّ تطبيق قانون كيرشوف للتيار عند مناقشة دوائر التوازي ، لأنّ التيار الكُلي، I_{total}، يُمكن أن ينقسم عند أحد العُقد التي تكون نُقطة اتّصال ثلاثة أسلاك توصيل مع بعضها أو أكثر، كما يُمكن إضافة التيارات الكهربائيّة من الأفرع المُتعددة عند العُقدة. يُمكننا استخدام الخطوات الآتية عند تطبيق قانون كيرشوف للتيار في دوائر التوازي:

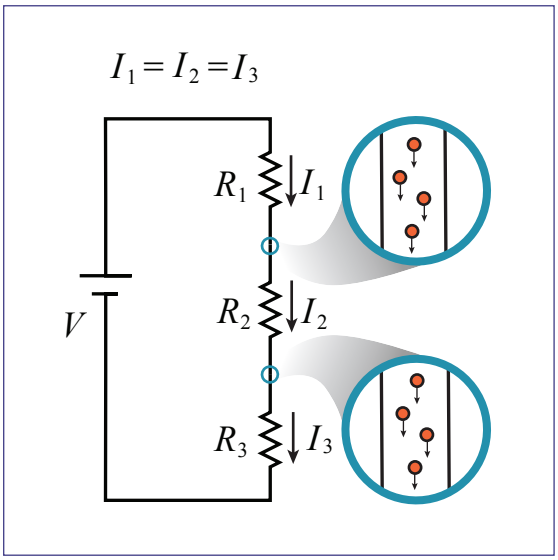
1. طبّق قانون أوم لكلّ مقاومة على حدة.
2. أجمع التيارات المارّة في كلّ مُقاومة لتحصل على التيار الكُلّي.
3. طبّق قانون أوم على كامل الدائرة الكهربائية للحصول على المقاومة المُكافئة.



الشكل 5-29 مسار التيار في دائرة التوازي.

قانون كيرشوف للتيار في دوائر التوالي

يُمكن تطبيق قانون كيرشوف للتيار في جميع الدوائر الكهربائية، وفي دوائر التوالي التي لا تملك أفرعًا. بحيث يجب أن يكون التيار الكهربائي في أيّ نُقطة من نقاط الدائرة الكهربائية هو نفسه.



الشكل 5-30 التيار الكهربائي في دائرة التوالي.

مثال 12

احسب شدة التيار الكهربائي المُتدفّق في كلّ فرع من أفرع الدائرة الكهربائية في **الشكل 5-33**.

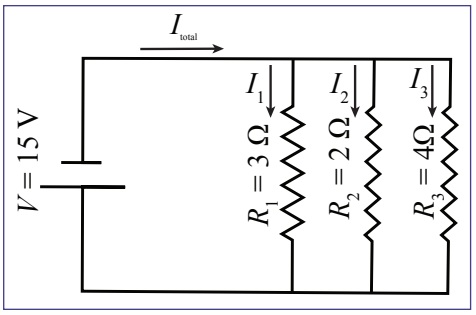
المطلوب: شدة التيار الكهربائي في كلّ فرع I_{total}, I_1, I_2, I_3

المُعطيات: V=15V

المقاومة 1: $R_1 = 3\ \Omega$

المقاومة 2: $R_2 = 2\ \Omega$

المقاومة 3: $R_3 = 4\ \Omega$



الشكل 5-31 دائرة كهربائية بثلاث مقاومات متصلة على التوازي .

العلاقات: $I_{total} = I_1 + I_2 + I_3$

$V = IR$

الحلّ: شدّة التيار الكهربائي في R_1:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{15\ V}{3\ \Omega} = 5\ A$$

شدّة التيار الكهربائي في R_2:

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{15\ V}{2\ \Omega} = 7.5\ A$$

شدّة التيار الكهربائي في R_3:

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{15\ V}{4\ \Omega} = 3.75\ A$$

شدّة التيار الكهربائي الكُلّيّ: $I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 = 5 + 7.5 + 3.75 = 16.25\ A$

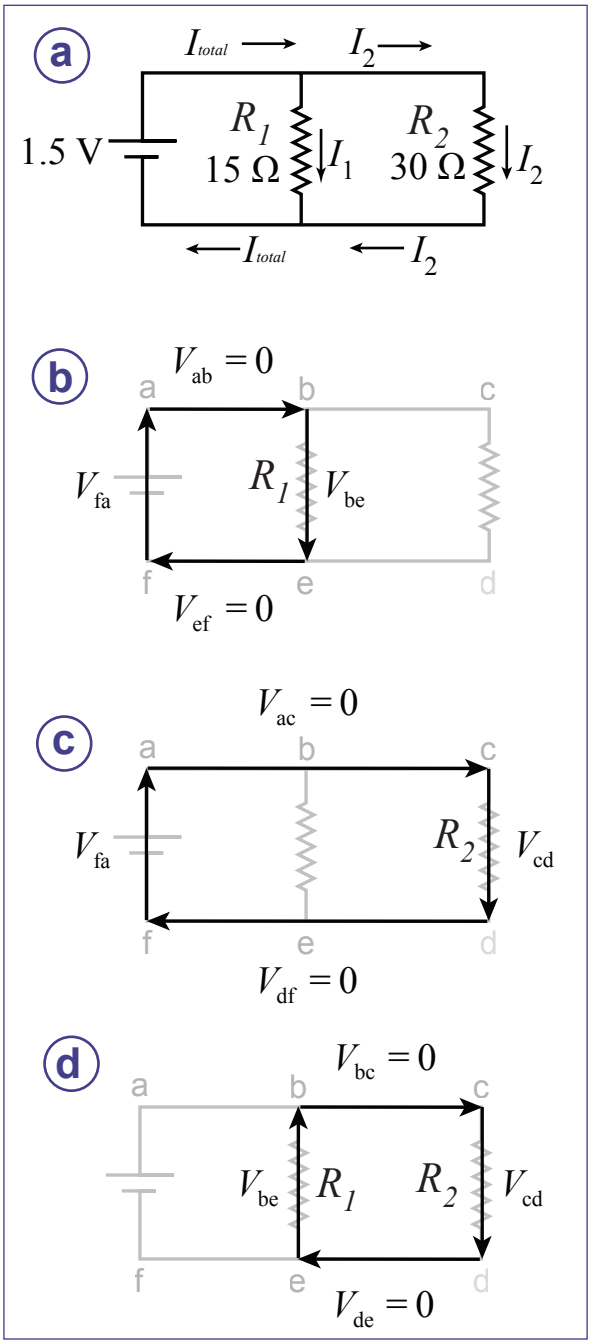
قانون كيرشوف للجهد

لتحديد فرق الجهد الكهربائي بين طرفَيْ مُكوّن كهربائي في دائرة كهربائية، يجب علينا دراسة **قانون حفظ الطاقة Law of conservation of energy**، والذي ينصّ على أنّ الطاقة الكُليّة في نظام معزول تبقى ثابتة.

يربط **قانون كيرشوف للجهد Kirchhoff's voltage law**، أو قانون كيرشوف الثاني، الجهود بعضها ببعض وفقًا لقانون «حفظ الطاقة». حيث إنّ فرق الجهد (المُكتسَب أو المستهلك) في دائرة كهربائية مُغلقة يساوي صفرًا، يمكن تشبيه ذلك بحالة إضافة الطاقة إلى جسم برفعه إلى الأعلى ثمّ استعادة الطاقة المُضافة بإعادته إلى الأسفل.

يُوضّح **الشكل a32-5** دائرة كهربائية مكونة من مقاومتَيْن. يُمكننا تطبيق قانون أوم على كلّ مُقاومة بشكل مُنفصل بهدف حساب شدّة التيار الكهربائي الذي يسري في كلّ منهما. يُستخدم قانون كيرشوف للجهد من أجل إيجاد التيار الكهربائي للدائرة الكهربائية نفسها:

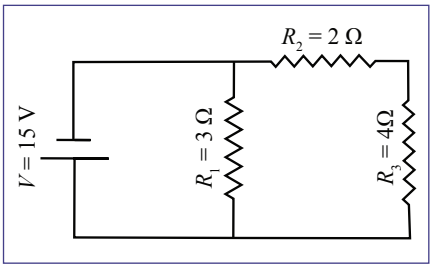
- فكّر في الجهود بين طرفَيْ كلّ عنصر موجود في الحلقة المُغلَقة المُوضّحة في **الشكل b32-5** والتي تربط البطاريّة مع المقاومة R_1، توفّر البطارية زيادة في الجُهد بمقدار 1.5 V، وبحسب قانون كيرشوف للجهد، فإنّ هذه الزيادة تكون مُساويةً لانخفاض الجهد في R_1. وبتطبيق قانون أوم، سيكون انخفاض الجهد بين طرفَيْ R_1 مساويًا للمقدار I_1R_1. وبالتالي، يُمكننا الحلّ من أجل إيجاد شدّة التيار الكهربائي.
- يُوضّح **الشكل c32-5** حلقة أخرى للدائرة الكهربائية نفسها مؤلّفة من البطارية والمقاومة R_2. وفي هذه الحالة أيضًا، سيكون انخفاض الجهد I_2R_2 مُساويًا لجهد البطارية 1.5 V، وذلك وفقًا لقانون كيرشوف للجهد.
- تحمل المقاومة 15 Ω في **الشكل d32-5** ضعفَيْ شدّة التيار الكهربائي في المقاومة 30 Ω، لكن لماذا؟ إنّ فرق الجهد الكهربائي بين طرفَيْ المقاومتَيْن هو نفسه. ونحن نعلم أنّ شدّة التيار الكهربائي تتناسب عكسيًا مع مقدار المقاومة. لذلك، فإنّ المقاومة الأقلّ بمقدار النصف تسحب ضعفَي التيار الكهربائي.



الشكل 5-32 تطبيق قانون كيرشوف للجهد.

مثال 13

احسب فرق الجهد وشدّة التيار الكهربائي بين طرفَيْ كلّ مقاومة في **الشكل 5-33**، ثمّ تحقّق من الجهد باستخدام قوانين كيرشوف.



الشكل 5-33 ثلاث مقاومات في دائرة كهربائية.

المطلوب: فرق الجهد الكهربائي بين طرفَيْ كلّ مقاومة، V_1, V_2, V_3

شدة التيار الكهربائي الذي يمرّ في كلّ مقاومة، I_1, I_2, I_3

المُعطيات: فرق الجهد بين طرفَيْ البطارية، $V = 15\ V$،

المقاومة 1، $R_1 = 3\ \Omega$، المقاومة 2، $R_2 = 2\ \Omega$،

المقاومة 3، $R_3 = 4\ \Omega$.

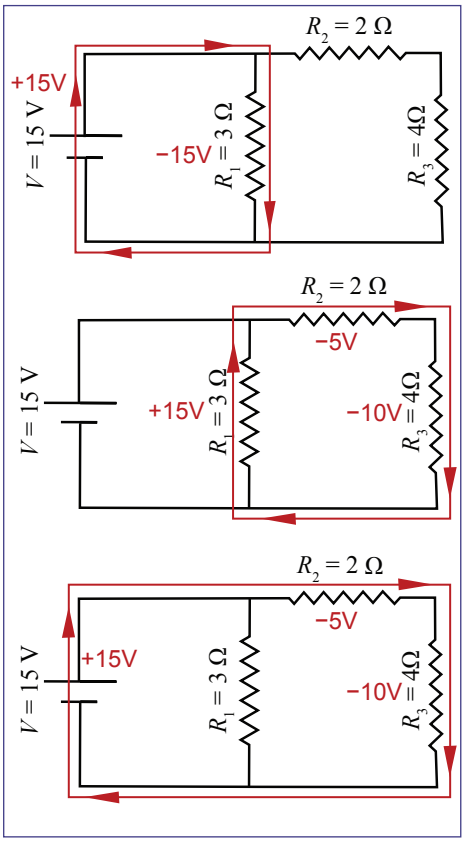
العلاقات: قانون أوم $V = IR$،

قانون كيرشوف للجهد $V_1 + V_2 + V_3 = 0$

الحلّ: لأنّ المقاومة $3\ \Omega$ على التوالي مع البطارية، فإنّ الجهد يكون بين طرفَيْها $15\ V$.

نحسب شدّة التيار الكهربائي في المقاومة 1:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{15\ V}{3\ \Omega} = 5\ A$$



لإيجاد شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ في الفرع الثاني والذي يمرّ في المقاومتَيْن R_2 و R_3، نحسب مقدار المقاومة المُكافئة للفرع أولًا. ولأنّ المقاومات هي على التوالي، فإنّ المقاومة المُكافئة تكون:

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 2 + 4 = 6\ \Omega$$

فرق الجهد بين طرفَيْ المقاومتَيْن هو $15\ V$ أيضًا، لأنهما على التوازي مع البطارية. وبالتالي، فإنّ شدّة التيار الكهربائي في هذا الفرع هي:

$$I_2 = \frac{V}{R_{2,3}} = \frac{15\ V}{6\ \Omega} = 2.5\ A$$

نستخدم قانون أوم لحساب الجهود الأخرى:

$$V_2 = I_2 R_2 = (2.5A)\ (2\ \Omega) = 5\ V$$

$$V_3 = I_2 R_3 = (2.5A)\ (4\ \Omega) = 10\ V$$

نتحقّق من النتائج باستخدام قانون كيرشوف للجهد:

$$V - V_2 - V_3 = 0$$

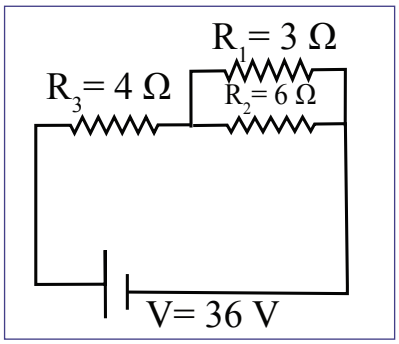
$$15\ V - 5\ V - 10\ V = 0\ V$$

مثال 14

دائرة كهربائية تتكون من ثلاث مقاومات متصلة معًا كما في **الشكل 5-34**، وتتصل مع بطارية فرق الجهد بين قطبيها 36V، احسب ما يأتي :

a. المقاومة المكافئة في الدائرة

b. شدة التيار الكهربائي في كل مقاومة



الشكل 5-34

المطلوب:

a. المقاومة المكافئة R_{eq}

b. شدة التيارات في كل مقاومة: I_1, I_2, I_3

المُعطيات: $R_1 = 3\ \Omega,\ R_2 = 6\ \Omega,\ R_3 = 4\ \Omega,\ V = 36V$.

العلاقات: $V = RI$

الحلّ:

a. المقاومة المكافئة للمقاومتين المتصلتين على التوازي (R_1, R_2)، هي:

$$\frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6}$$

$$R_{1,2} = 2\ \Omega$$

المقاومتان $(R_{1,2}\ ,\ R_3)$ على التوالي: $R_{eq} = R_{1,2} + R_3 = 4+2 = 6\ \Omega$

شدة التيار الكهربائي الكلي الذي يمر في المقاومة (R_3)، هي:

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{36}{6} = 6A$$

$$V_1 = V_2$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2$$

$$3 I_1 = 6 I_2 ..... (1)$$

$$I_1 = I - I_2 = 6 - I_2 ..... (2)$$

بالتعويض في المعادلة (1):

$$3 (6 - I_2) = 6 I_2$$

$$18 = 6 I_2 + 3 I_2 = 9 I_2$$

$$I_2 = 2\ A$$

بالتعويض في المعادلة (2):

$$I_1 = 6 - 2 = 4\ A$$

القدرة الكهربائيّة

القُدرة الكهربائية Electric power هي المُعدّل الزمني لإنتاج الطاقة أو استهلاكها، وتُقاس بواسطة وحدات الطاقة لكلّ وحدة زمن. تُقاس القدرة في النظام الدولّي للوحدات بوحدة الواط. ويُساوي 1واط طاقة مقدارها 1جول لكل ثانية (1 W= 1 J/s). تستخدم مصابيح LED قُدرة تتراوح بين 15 W – 30 W، وقد يحتاج منشار كهربائي إلى 700 W – 1200 W تقريبًا، وقد تحتاج سيّارة كهربائية صغيرة إلى قدرة 30000-70000 W (**الشكل 5-35**).

الشكل 5-35 القُدرة الكهربائية المستهلكة في بعض الأجهزة الكهربائية المُختلفة.

يُمكن حساب القُدرة بوحدة قياس الواط باستخدام **المُعادلة 5-7**.

5-7	القُدرة الكهربائية		
$P = \frac{E}{t}$	P	القدرة الكهربائية (W)	
	E	الطاقة الكهربائية (J)	
	t	الزمن (s)	

تُستخدم المُعادلة 5-8 في حساب القُدرة الكهربائيّة، لكن يُمكن تطبيقها لمُختلف أشكال القُدرة الأخرى، كالقدُرة الميكانيكيّة، والقُدرة الشمسيّة، وتدفق الحرارة.

مثال 15

تُحوّل مقاومة طاقة مقدارها 2.9×10^3 J في دقيقة واحدة. احسب القُدرة الكهربائية المستهلكة من المقاومة.

المطلوب: القُدرة، P

المُعطيات: الطاقة، $E = 2.9 \times 10^3$ J

الزمن، $t = 1$ min $= 60$ s

العلاقات: $P = \frac{E}{t}$

الحلّ:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{2.9 \times 10^3 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 48.33 \text{ W}$$

حساب القُدرة الكهربائية باستخدام فرق الجهد وشدة التيار الكهربائي

تعتمد الطاقة الكهربائية المُستهلكة في جهاز كهربائي على فرق الجهد الكهربائي بين طرفَيْ الجهاز، وعلى مُعدّل تدفّق الشحنة الكهربائية خلال الجهاز. وبالتالي، فإنّ المُعادلة تُكتَب وفق الشكل: $P=\frac{qV}{t}$

ولأنّ شدة التيار الكهربائي تساوي الشحنة المُتدفّقة في وحدة الزمن، فإننا نستطيع إعادة كتابة هذه العلاقة بشكل أنسب (**المعادلة 5-9**)، حيث تُقدّم هذه المُعادلة تعريفًا مُفيدًا وعمليًا لوحدة الفولت.

مقدار 1 فولت يعني أنّ كلّ أمبير من التيار الكهربائي المُتدفّق يحمل معه قُدرة كهربائية مقدارها 1 واط.

8-5	القُدرة الكهربائية باستخدام فرق الجهد وشدة التيار الكهربائي		
$P = VI$		P	القدرة الكهربائية (W)
		V	فرق الجهد (V)
		I	شدّة التيار الكهربائي (A)

لكي يتمّ إرسال المزيد من القُدرة الكهربائية، نستطيع أن نرفع مقدار فرق الجهد الكهربائي أو شدّة التيار الكهربائي: وعلى سبيل المثال، فإنّ إرسال قُدرة مقدارها 1200 W إلى الميكروويف، يتطلّب أن تحمل الدائرة الكهربائية تيارًا شدّته 1200 A تحت جهد 1 V، أو بطريقة عملية أكثر 5 A عند 240 V. التيار الذي تكون شدّته 1200 A تُعدّ مرتفعةً جدًا، ممّا يسبّب انصهار الأسلاك الكهربائية عند تدفق التيار الكهربائي فيها. تستخدم الأنظمة الكهربائية المنزلية جهدًا 240 V وتيارًا أصغر.

مثال 16

يعمل سخّان غاطس قُدرته 1000 W يزوده مقبس الحائط بفرق جهد 240 V. هل سيُسبّب التيار الكهربائي الذي سيستهلكه السخّان إلى فصل قاطع دائرة مكتوب عليه 20 A؟

المطلوب: شدّة التيار الكهربائي الذي يستهلكه السخّان بالمقارنة مع 20 A

المُعطيات: القُدرة الكهربائية، $P = 1000\ \text{W}$

فرق الجهد، $V = 240\ \text{V}$

العلاقات: $P = VI$

الحلّ: نُعيد ترتيب المُعادلة لتُعطينا شدّة التيار الكهربائي:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1000\ \text{W}}{240\ \text{V}} = 4.17\ \text{A}$$

شدّة التيار الكهربائي الذي سيستهلكه السخّان أقلّ من 20 A اللازم لفصل قاطع الدائرة الكهربائية. وبالتالي، لن يفصل قاطع الدائرة.

الشكل 5-36 سخّان غاطس.

القُدرة الكهربائية باستخدام المقاومات

يتمّ وصل البطارية أو مصدر الطاقة في مُعظم الأجهزة الكهربائية بين طرفَيْ مقاومة أو مصباح. فإذا كان كلٌّ من فرق الجهد V ومقدار المقاومة R معلومًا، باستخدام قانون أوم، نعلم أنّ $I = \frac{V}{R}$، فإذا قُمنا بتعويض I في مُعادلة القُدرة الكهربائية، فإننا نحصل على **المُعادلة 9-5**، والتي يُمكن أن تُستخدَم لحساب القُدرة الكهربائيّة بدلالة فرق الجهد ومقدار المقاومة، وتكون مُفيدة عندما تكون شدّة التيار الكهربائي مجهولة.

9-5	القُدرة الكهربائية باستخدام فرق الجهد والمُقاومة		
	$P = \frac{V^2}{R}$	P	القدرة الكهربائية (W)
		V	فرق الجهد (V)
		R	المُقاومة (Ω)

وبطريقة مُماثلة، فإذا كانت شدّة التيار الكهربائي I ومقدار المقاومة R معلومًا، فإننا نقوم بتعوض V في معادلة القُدرة الكهربائية باستخدام قانون أوم، $V = IR$، لنحصل على **المُعادلة 10-5**.

10-5	القُدرة الكهربائية باستخدام شدّة التيار الكهربائي والمقاومة		
	$P = I^2R$	P	القدرة الكهربائية (W)
		I	شدّة التيار الكهربائي (A)
		R	المقاومة (Ω)

مثال 17

a. يسري تيار كهربائي شدّته 2 A في مقاومة مقدارها 10 Ω. احسب القُدرة الكهربائية التي تستهلكها المقاومة.

b. احسب القُدرة الكهربائية التي يستهلكها مصباح عندما يضيء بشكل طبيعي تحت فرق جهد 240 V، إذا علمت أنّ مقدار المقاومة في المصباح هي 960 Ω.

المطلوب: القُدرة، P

المُعطيات:

a. المقاومة الكهربائية، $R = 10\ \Omega$

شدّة التيار الكهربائي، $I = 2\ A$

b. المقاومة، $R = 960\ \Omega$

فرق الجهد، $V = 240\ V$

العلاقات:

a. $P = I^2R$

b. $P = \frac{V^2}{R}$

الحلّ:

a. $P = I^2R = (2A)^2(10\ \Omega) = 40\ W$

b. $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(240)^2 V}{960\Omega} = 60\ W$

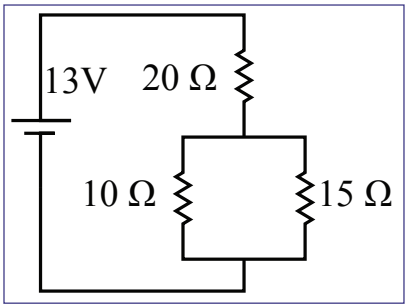
تقويم الدرس 5-2

1. ثلاث مقاومات كهربائية متصلة على التوالي مقدار كلّ منها 25 Ω. ما المقاومة المُكافئة لها؟

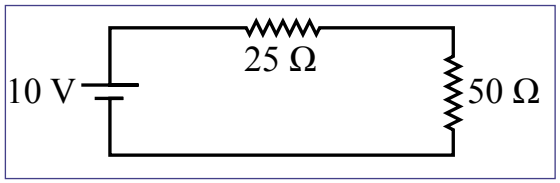
2. a. ارسم مُخطّط الدائرة الكهربائية المُكوَّنة من بطارية ومقاومة كهربائية ومصباح متصلة على التوالي.
   b. ارسم مُخطّط الدائرة الكهربائية المُكوَّنة من بطارية ومقاومة كهربائية ومصباح متصلة على التوازي.

3. لدينا أربع مقاومات كهربائية متصلة على التوالي، مقدار كلّ منها: 10 Ω، 20 Ω، 99 Ω، و 23 Ω. إذا علمت أنّ شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ في أوّل مقاومة هو 0.1 A. فما شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ في المقاومات الثلاث الأخرى؟

4. لديك دائرة كهربائية مكونة من ثلاث مقاومات متصلة مع بطارية فرق جهدها 13V.
   a. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث في الدائرة.
   b. احسب فرق الجهد وشدة التيار في كل مقاومة.

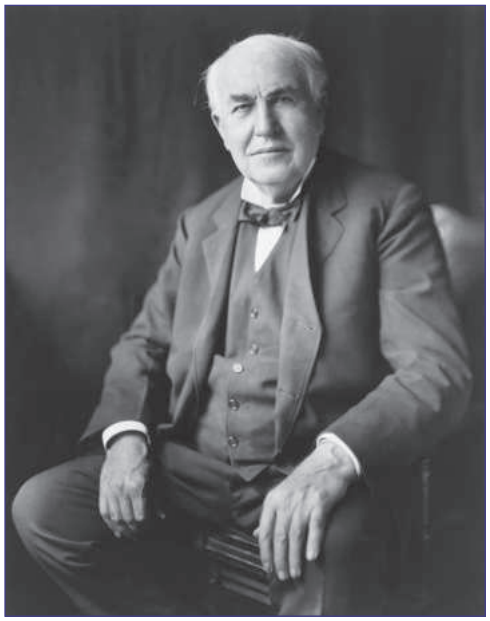


5. a. احسب المقاومة المُكافئة في الشكل المجاور.
   b. احسب شدّة التيار الكهربائي المُتدفّق في الدائرة الكهربائي.
   c. احسب القدرة الكهربائية المستهلكة في المقاومة المكافئة.



6. يحتاج جهاز كهربائي إلى قُدرة كهربائيّة 700 W. كم يجب أن تكون المقاومة الكهربائيّة للجهاز للسماح بتوصيله بين طرفَيْ مصدر للطاقة الكهربائية 220 V؟

توماس ألفا إديسون: 1874-1931



الشكل 5-37 توماس إديسون.

كان توماس إديسون رجل أعمال ومُخترعًا أمريكيًّا، وقد تجلّت شُهرته في كثير من الاختراعات التي توصَّل إليها، من أهم اختراعاته المصباح الكهربائي، والفونوجراف، وكاميرا الصورة المُتحركة. وُلد إديسون في ميلان الواقعة في ولاية أوهايو في العام 1847. كانت والدته مُعلّمة مدرسة فعلّمته القراءة والكتابة والرياضيات. لكنْ، وبالرغم من التحاقه بالمدرسة لأشهر قليلة فقط، فقد أظهرت التوثيقات أنّه كان مُحبًا للقراءة وسريعًا في التعلّم.

بدأ توماس إديسون مسيرته المهنية بممارسة أعمال صغيرة وهو في الثالثة عشرة من عمره: باع الحلويات والجرائد والخضار. وكان يصرف أرباحه التي يجنيها على أجهزته الكهربائية وتجاربه الكيميائية. عمل بعد ذلك مُشغّلًا مقسم هاتف، حيث أجرى تجاربه في أثناء عمله. تنقّل إديسون بين الكثير من المهن ، واستمر في تجاربه في السنوات الأولى منها. عمل إديسون أيضًا في جريدة سُمّيت «ذا جراند ترانك هيرالد»، وقام ببيع الجرائد على الطريق كواحد من مشاريعه التجارية.

يُعدّ جهاز دوبلكس تيليجراف أوّل اختراعات توماس إديسون، حيث كان ينقل رسالتين في الوقت ذاته. تمّ تطوير الجهاز إلى كوادروبلكس لينقل أربع رسائل معًا في الوقت نفسه.

الفونوجراف هو أحد الاختراعات المُميّزة لتوماس إديسون، وهو الاختراع الذي كُشف النقاب عنه في العام 1877، والذي أعطى أديسون شهرة عالمية.

كان لاختراع المصباح الكهربائي الذي يحتوي على فتيلة الكربون الأثر الأكبر في تغيير حياة إديسون: كان مفهوم المصباح الكهربائي موجودًا لأكثر من 70 عامًا، إلّا أنّ الاهتمام به لم يدم طويلًا، فالمواد الأخرى المُستخدمة فيه كانت، إما باهظة الثمن جدًا، أو قصيرة العمر. تكاد القائمة التي تضمّ اختراعات إديسون لا تنتهي هنا، فقد أتبعها باختراعه البطارية القلويّة وجهاز عرض الفيلم، ويبدو من المُستحيل تقريبًا تفصيل كلّ أعماله في صفحة واحدة، فقد امتلك 99 براءة اختراع مُسجّلة باسمه. وقد أمضى جُلّ حياته في العمل حتى فارقها في العام 1931 نتيجة لمضاعفات حدثت له بعد إصابته بمرض السّكري.

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 5-1: التيّار الكهربائي، والجهد الكهربائي، والمقاومة الكهربائية

- **شدّة التيار الكهربائي Electric current** مقدار الشحنة الكهربائية المتدفقة عبر نقطة محددة خلال ثانية واحدة.
- تُقاس شدّة التيار الكهربائي بوحدة **الأمبير Ampere**، نحصل على تيار شدّته 1 A عندما تمرّ شحنة كهربائية مقدارها كولوم واحد عبر نُقطة في ثانية واحدة.
- المسار المُغلق لتدفّق التيار الكهربائي والمؤلّف من مُكوّنات كهربائية يُعرف بأنه **دائرة كهربائية Electric circuit**.
- تُرسَم الدوائر الكهربائية باستخدام **الرموز الكهربائية Electrical symbols** بدلًا من رسم المُكوّنات الكهربائية الفعليّة.
- **الدائرة المُغلقة Closed circuit** دائرة كهربائية يُمكن للتيار الكهربائي أن يسري فيها، أمّا إذا انفصل أحد التوصيلات في الدائرة الكهربائية، فلن يكون سريان التيار الكهربائي ممكنًا. تُسمّى الدائرة الكهربائية في هذه الحالة **الدائرة المفتوحة Open circuit**.
- **فرق الجهد الكهربائي Potential difference**، فرق طاقة الوضع الكهربائيّة التي تمتلكها شحنة مقدارها 1 كولوم عندما تنتقل بين نُقطتَيْن في دائرة كهربائيّة، ويُقاس بوحدة الفولت.
- **الفولت Volt** (1 V) هو فرق الجهد الكهربائي لجول واحد (1 J) من الطاقة لكل كولوم واحد (1 C) من الشحنة الكهربائيّة.
- **المقاومة الكهربائية Resistance** تُعرّف بأنّها قياس لمدى سهولة تدفّق التيّار الكهربائي في الدائرة الكهربائية.
- يُعرّف **قانون أوم Ohm's law** العلاقة بين فرق الجهد والتيار الكهربائي عندما يبقى مقدار مقاومة مادة ما ثابتًا. تُسمّى الأجهزة التي تُحافظ على العلاقة المُعطاة في قانون أوم «الموصلات الأومية»، أمّا الموصلات غير الأومية فلا تخضع للقانون نفسه.

الدرس 5-2: الدوائر الكهربائية المُركبة

- يُمكن أن تملك الدوائر الكهربائية أكثر من مقاومة. تُسمّى المقاومة الكُليّة في دائرة كهربائية **المقاومة المُكافئة Equivalent resistance**.
- **دائرة التوالي series circuit** دائرة كهربائية يسلك فيها التيار الكهربائي مسارًا واحدًا.
- **دائرة التوازي Parallel circuit** الدائرة الكهربائية التي يسلك فيها التيار أكثر من مسار.
- تُعرّف **القُدرة الكهربائية Electric power** بأنها المُعدّل الذي تُنقَل فيه الطاقة الكهربائية.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدِّد

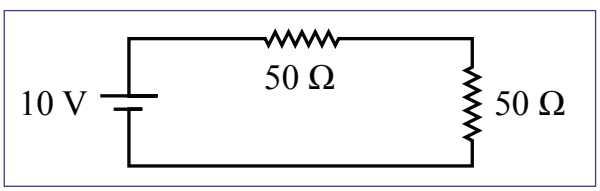
1. أيٌّ من العبارات الآتية تصف العلاقة في قانون أوم؟
   a. المقاومة هي حاصل ضرب فرق الجهد الكهربائي بشدّة التيار الكهربائي.
   b. المقاومة هي ناتج قسمة فرق الجهد الكهربائي على شدّة التيار الكهربائي.
   c. المقاومة هي نسبة شدّة التيار الكهربائي على فرق الجهد.
   d. تزداد مقاومة مُوصِل بازدياد شدّة التيار الكهربائي.

2. ما العلاقة الصحيحة بين شدّة التيار الكهربائي والمُقاومة وفرق الجهد؟
   a. تتناسب شدّة التيار الكهربائي طرديًا مع كلّ من المقاومة وفرق الجُهد.
   b. تتناسب شدّة التيار الكهربائي طرديًا مع المقاومة وعكسيًا مع فرق الجهد.
   c. تتناسب شدّة التيار الكهربائي عكسيًا مع المقاومة وطرديًا مع فرق الجهد.
   d. تتناسب شدّة التيار الكهربائي عكسيًا مع كلّ من المقاومة وفرق الجهد.

3. تملك قطعة من سلك النيكل كروم مساحة مقطع $2\ mm^2$ ومقاومة مقدارها $10\ \Omega$، وتملك قطعة ثانية من السلك نفسه مساحة مقطع $1\ mm^2$. ما مقدار مقاومة سلك النيكل كروم الثاني؟
   a. $5\ \Omega$
   b. $10\ \Omega$
   c. $15\ \Omega$
   d. $20\ \Omega$

4. تتكون دائرة كهربائية من بطارية مع مقاومتَيْن وُصِلَت إحداهما بالأخرى على التوازي. كيف يُمكنك توصيل مِجسّ البيانات ملتيميتر رقمي لقياس شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ في إحدى المقاومتَيْن؟
   a. على التوازي بين طرفَيْ المقاومة.
   b. على التوالي مع المقاومة.
   c. على التوازي بين طرفَيْ البطارية.
   d. على التوالي مع البطارية.

5. ما شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ في الدائرة المُوضّحة؟
   a. 0.1 A
   b. 0.4 A
   c. 1 A
   d. 4 A



تقويم الوحدة

6. يستهلك شاحن هاتف جوّال تيارًا شدّته 0.2 A من مقبس حائط فرق الجهد بين طرفَيْه 120 V. ما مقدار الطاقة التي ستنتقل إليه إذا بقي على الشحن مُدّة 24 ساعة؟

a. 0.024 kWh

b. 0.58 kWh

c. 35 kWh

d. 2070 kWh

7. مصباح مقاومته 50 Ω متصل بين طرفَيْ مقبس 120 V. ما مقدار القُدرة التي يستهلكها المصباح؟

a. 2.4 W

b. 20.8 W

c. 288 W

d. 6000 W

8. أربع مقاومات كهربائية مقدار كلّ منها 1 Ω مُتَّصِلة على التوالي بين طرفَيْ بطارية 10 V. ما مقدار المقاومة المُكافئة في هذه الدائرة الكهربائية؟

a. 0.1 Ω

b. 0.25 Ω

c. 4 Ω

d. 10 Ω

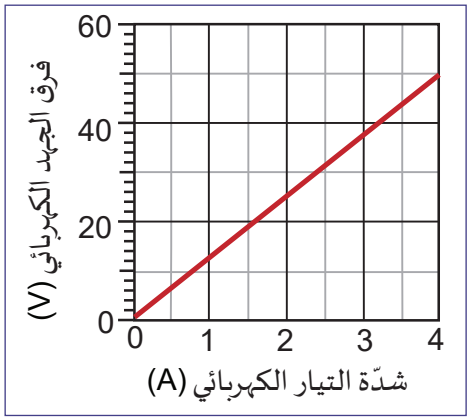
9. ما المقاومة الكهربائيّة لجهاز كهربائي يملك مُنحنى (فرق الجهد - شدة التيار) المُبيّن جانبًا؟

a. 4 Ω

b. 12.5 Ω

c. 50 Ω

d. 200 Ω



الدرس 5-1: التيّار الكهربائي، والجهد الكهربائي، والمقاومة الكهربائية

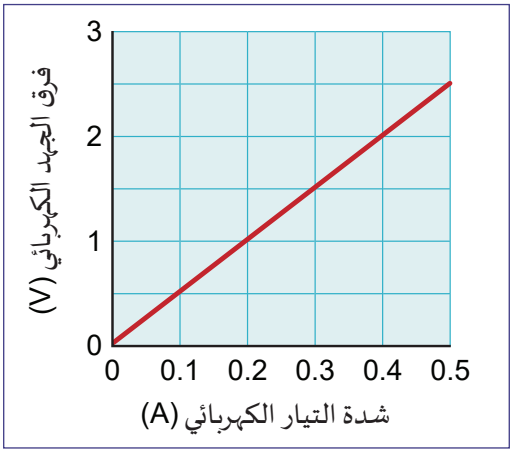
10. ما الذي يسري في الدائرة الكهربائية؟

11. إذا كان مقدار مقاومة في دائرة كهربائية ثابتًا، وإذا ضاعفنا شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ فيها، فكيف سيتغيّر فرق الجهد بين طرفَيْ المقاومة؟

12. إذا قُمنا بتقليل مقدار مقاومة إلى النصف، ومقدار الجهد بين طرفَيْها إلى النصف أيضًا، فكيف ستتغيّر شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ فيها؟

13. ما شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ في مقاومة مقدارها 10 Ω إذا طبّقنا فرقًا للجهد بين طرفَيْها مقداره 5 V؟

14.* تتعرّض مقاومة لانخفاض فرق جهد متغير V، لتمرّ فيها كمّيات متغيّرة من تيار كهربائي I. قام طالب بقياس كلّ من الجهود والتيارات الناتجة ورسم مُنحنى القياسات، كما في الشكل المجاور.



a. احسب ميل المُنحنى.ما القيمة العددية لميل المُستقيم؟ وما وحدة القياس الناتجة؟

b. هل تخضع المقاومة لقانون أوم؟ اشرح إجابتك.

c. أيٌّ من الكميّات التي تظهر في قانون أوم تُمثّل ميل المُنحنى المرسوم؟

15. قام طالب بصُنع مقاومة من خلال لفّ مترين من سلك النيكروم حول قلم، فكان مقدارها 1000 Ω، ثمّ قام بُصنع مقاومة أخرى باستخدام 6 أمتار من السلك نفسه. ما مقدار المقاومة الثانية التي صنعها الطالب؟

16.* احسب شدّة التيار الناتج بواسطة خليّة شمسيّة في آلة حاسبة إذا مرّت فيها كميّة من الشحنة مقدارها 4 C خلال زمن 4 ساعات.

الدرس 5-2: الدوائر الكهربائية المُركبة

17. اذكر المُعادلة التي تربط بين شدّة التيّار الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي والقُدرة الكهربائيّة.

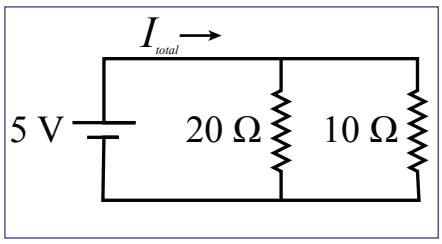
18. يملك مُجفّف الشعر مقاومة مقدارها 15 Ω، ويملك جهاز تجعيد الشعر مقاومة مقدارها 25 Ω، قمنا بوصلهما على التوالي بين طرفَيْ بطارية جهدها 6 V. احسب:

a. شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ عبر الدائرة الكهربائية.

b. القُدرة الكهربائية التي يستهلكها مُجفّف الشعر.

c. القُدرة الكهربائية التي يستهلكها جهاز تجعيد الشعر.

19. احسب في الدائرة الكهربائية المجاورة:



a. المقاومة المُكافئة.

b. شدّة التيار الكهربائي الذي يمرّ في كل من فرعَي الدائرة الكهربائية.

20. سخّان غاطس بقدرة 1000 W، وميكروويف بقدرة 700 W، محمصة بقدرة 1200 W، متصلة جميعها على التوازي بمقبس حائط فرق جهده 120 V. المقبس متصل بقاطع دائرة مُدَوَّن عليه 15 A. هل سينفصل قاطع الدائرة إذا عملت الأجهزة كلّها في الزمن نفسه؟

21.* استخدم قانون أوم والعلاقة $P = IV$ لإيجاد القُدرة الكهربائية لدائرة كهربائية بسيطة مكوّنة من مصدر بفرق جهد 5 V ومقاومة 2 kΩ.

22.** تمّ توصيل مصباح مقاومته 20 Ω بآخر مقاومته 30 Ω على التوازي مع بطارية 10 V، احسب:

a. المقاومة المُكافئة.

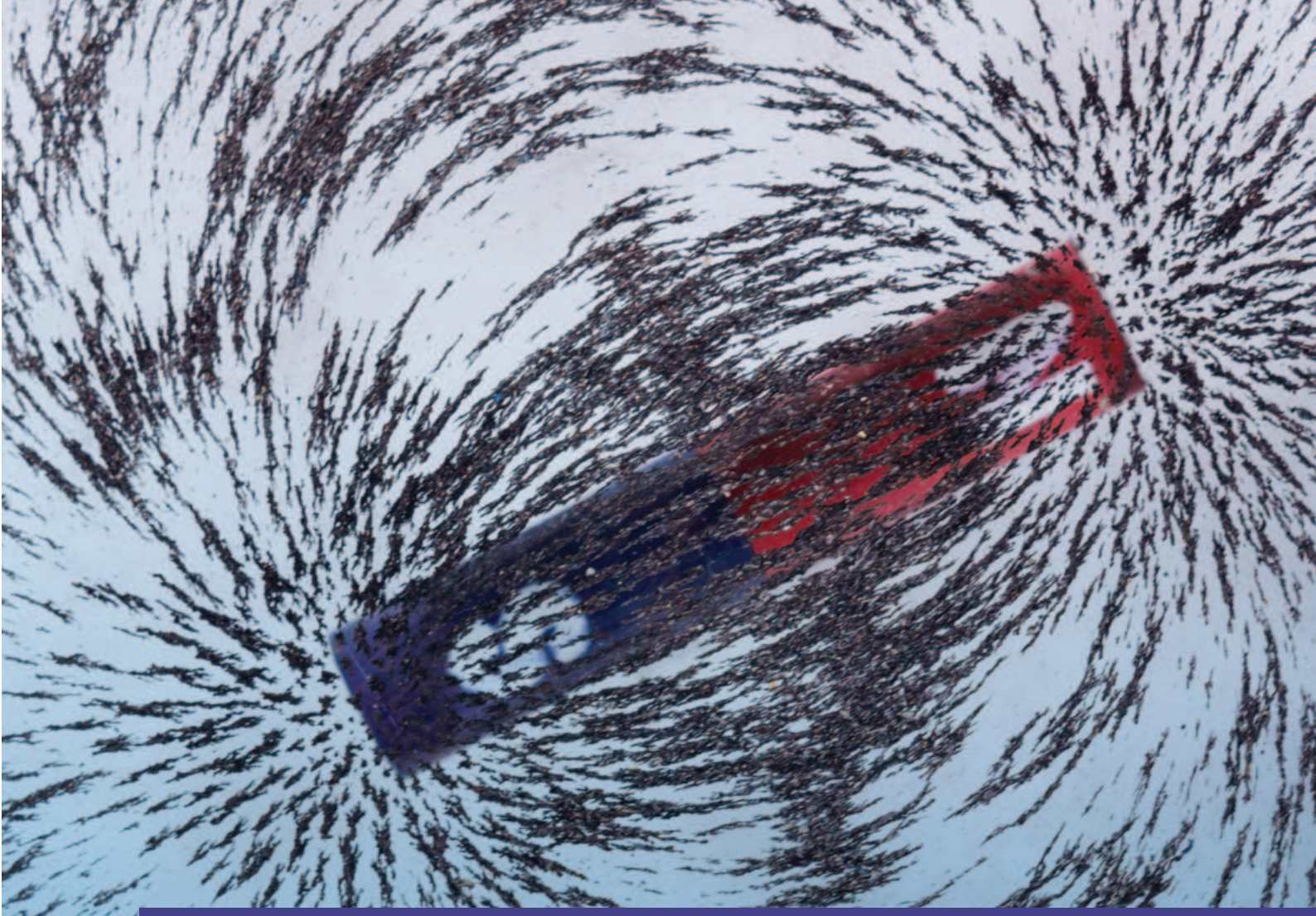
b. شدّة التيار الكهربائي في الدائرة الكهربائية.

c. فرق الجهد بين طرفَيْ مصباح 20 Ω

d. فرق الجهد بين طرفَيْ مصباح 30 Ω

e. القُدرة الكهربائية المُستهلكة بواسطة مصباح 20 Ω

f. القُدرة الكهربائية المُستهلكة بواسطة مصباح 30 Ω



الوحدة 6
الكهرومغناطيسيّة
Electromagnetism

P1013
P1014

في هذه الوحدة

الدرس 6-1: المجالات المغناطيسيّة

الدرس 6-2: القوّة المغناطيسيّة والمحرّكات الكهربائيّة

الوحدة 6

مقدّمة الوحدة

غالبًا ما نستخدم المغانط والأجسام المُمغنطة في حياتنا اليوميّة من دون أن نُدرك ذلك، فالمجال المغناطيسيّ للأرض يُحيط بنا، وهو يحمي كوكبنا من الجُسيمات المشحونة التي تحملها إشعاعات الشّمس.

تُستخدم المغانط والمغانط الكهربائيّة في العديد من الأجهزة الحديثة كالمحرّكات الكهربائيّة والمولدات والمحولات الكهربائية والأقراص الصّلبة في الحواسيب.

كانت تُعدّ كلّ من الكهرباء والمغناطيسيّة ظاهرتَيْن مُنفصلتَيْن حتّى العام 1820 ميلادي، عندما اكتشف العالم الدّنماركي أورستد العلاقة بينهما. حيث لاحظ أنّ حركة الجُسيمات المشحونة، كتدفّق تيّار كهربائيّ في سلك، تُنتج مجالًا مغناطيسيًّا حولها، وأنّ تغيير الفيض المغناطيسيّ، عبر حلقة سلك، يُولّد تيّارًا كهربائيًّا عبر السّلك.

الأنشطة والتجارب

1-6 كثافة الفيض المغناطيسيّ

2-6 حساب كثافة الفيض المغناطيسيّ

الدرس 6-1

المجالات المغناطيسيّة
Magnetic Fields

يُمكن أن تُستخدم البطاقات الائتمانيّة من خلال تمريرها بالقرب من آلة الدّفع الإلكترونيّة، لكن أحيانًا يتمّ رفض البطاقة بالرّغم من توفر رصيد كافٍ فيها. ذلك لأنّ الشّريط المغناطيسيّ الموجود على أحد وجهَيْها، والذي يحمل المعلومات، قد تعرض لمجال مغناطيسيّ من مغانط أخرى مُسبّبًا فقدان تلك المعلومات. وللمحافظة على سلامة المعلومات على الشّريط المغناطيسيّ، يجب إبقاؤه بعيدًا عن مغانط الثّلّاجات والأجهزة الإلكترونيّة الأخرى.

الشكل 6-1 تمرير البطاقة الإئتمانية.

المفردات

مغانط دائمة	Permanent magnets
مغناطيس كهربائيّ	Electromagnet
أقطاب مغناطيسيّة	Magnetic poles
مجال مغناطيسيّ	Magnetic field
خطوط المجال المغناطيسيّ	Magnetic field lines
ملف حلزوني	Solenoid
ملفّ دائريّ	Circular coil
كثافة الفيض المغناطيسيّ	Magnetic flux density
قوّة مغناطيسيّة	Magnetic force
النفاذية في الفراغ	Permeability of free space

مخرجات التّعلُّم

P1013.1 يصف ويمثّل المجالات المغناطيسية برسم خطوط المجال المغناطيسي، ويعرّف شدّة المجال المغناطيسي.

P1013.2 يحدّد نمط خطوط المجال المغناطيسيّ النّاشئ عن سريان تيّار كهربائيّ في سلك مستقيم، وملفّ دائريّ، وملفّ حلزونيّ، ويصف العوامل التي تؤثّر في المجال المغناطيسيّ النّاشئ عنهما.

P1013.3 يعرّف كثافة الفيض المغناطيسيّ (B) لمجال مغناطيسيّ.

P1013.4 يحسب شدّة المجال المغناطيسيّ النّاشئ عن سريان تيّار كهربائيّ في أسلاك باستعمال المعادلة:

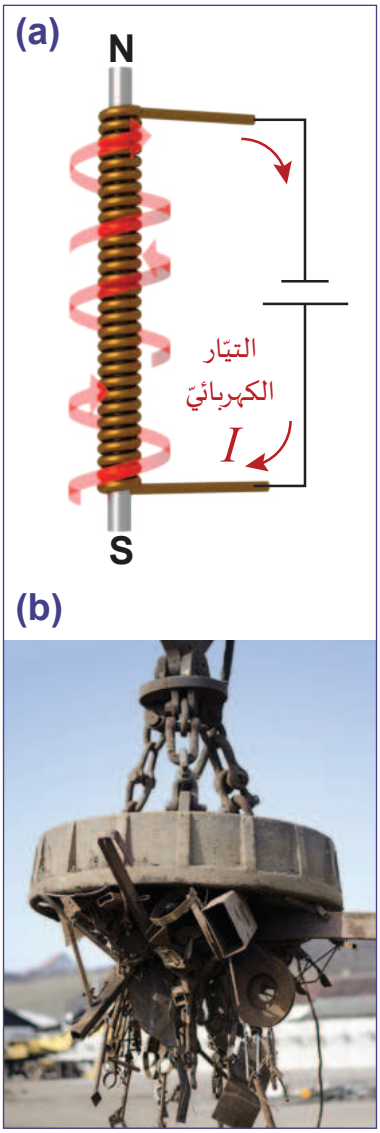
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

المغانط الكهربائيّة

تُسمّى المغانط التي تَنتج عن مرور التيّار الكهربائيّ المغانط الكهربائيّة (**الشّكل a2-6**)، حيث يُمكن جعلها ذات شدّة كبيرة من خلال:

1. زيادة شدّة التيّار الكهربائيّ الذي يسري عبر الملفّ الحلزونيّ.
2. زيادة عدد اللّفّات في الملفّ الحلزونيّ.
3. وضع قلب حديدي داخل الملفّ الحلزونيّ.

يُمكن صُنع مغناطيس كهربائيّ بسيط من خلال لفّ سلك حول مسمار حديد ووصل طرفَي السّلك مع بطّاريّة.

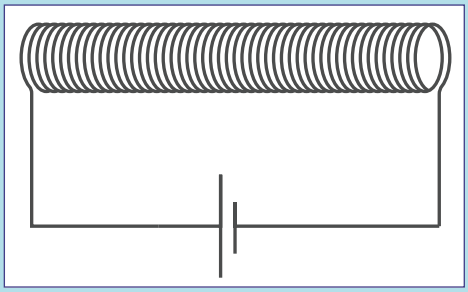


الشكل 2-6 (a) مغناطيس كهربائيّ بسيط، (b) مغناطيس كهربائي كبير.

تطبيقات المغانط الكهربائيّة

تُعدّ المغانط الكهربائيّة مُفيدة للغاية بسبب إمكانيّة التحكّم في تشغيلها وإيقافها عن العمل، وكذلك التحكم في شدتها. يُمكن للمُهندسين، باستخدام أجهزة إلكترونيّة، التحكّم في مقدار واتّجاه التيّار الكهربائيّ وبالتالي تصميم مغانط كهربائيّة لمُختلف أنواع التطبيقات التي تشمل أنظمة الحماية والمُحرّكات حيث تُستخدم في الرّافعات مغانط كهربائيّة في ساحات الخُردة لحمل وتحريك الأجسام الفلزّيّة الكبيرة (**الشّكل b2-6**).

ملفّ حلزونيّ موصول بين طرفَي بطّاريّة كما في **الشّكل 3-6**. ما الاتّجاه الذي سيكون عنده القُطب الشّمالي المغناطيسيّ؟ اشرح كيف استخدمْتَ قاعدة قبضة اليد اليُمنى للإجابة عن ذلك.



الشكل 3-6 دائرة كهربائية تحتوي على ملفّ حلزونيّ.

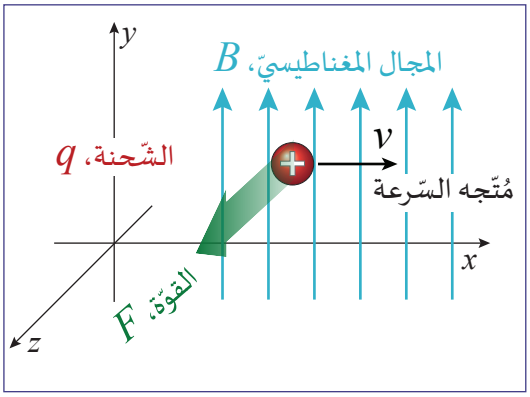
كثافة الفيض المغناطيسيّ، B

المجال المغناطيسيّ كمّيّة مُتّجهة لان القوة المغناطيسيّة كمية متجهة فهي تمتلك اتّجاهًا ومقدارًا.

- يُمكن إيجاد اتّجاه المجال المغناطيسيّ باستخدام البوصلة، كما يُمكن تمثيله على المُخطَّط بواسطة الأسهم وخطوط المجال المغناطيسيّ.
- يُعرّف مقدار المجال المغناطيسيّ بدلالة تأثير المجال على شحنة كهربائيّة مُتحرّكة.
- يُسمّى مقدار المجال المغناطيسيّ **كثافة الفيض المغناطيسيّ Magnetic flux density** ، B، كما أنّه يُعرف بشدّة المجال المغناطيسيّ، ويُقاس بوحدة **تسلا Tesla**، **T**.

يُوضّح **الشّكل 4-6** شحنة كهربائيّة مُتحرّكة عبر مجال مغناطيسيّ.

- اتّجاه مُتّجه سرعة الشّحنة، v، هو مع اتّجاه المحور x.
- يتّجه المجال المغناطيسيّ، B، باتّجاه المحور y.
- تتأثّر الشّحنة المُتحرّكة بقوّة تُسمّى **القوّة المغناطيسيّة Magnetic force**، **F**، باتّجاه المحور z.

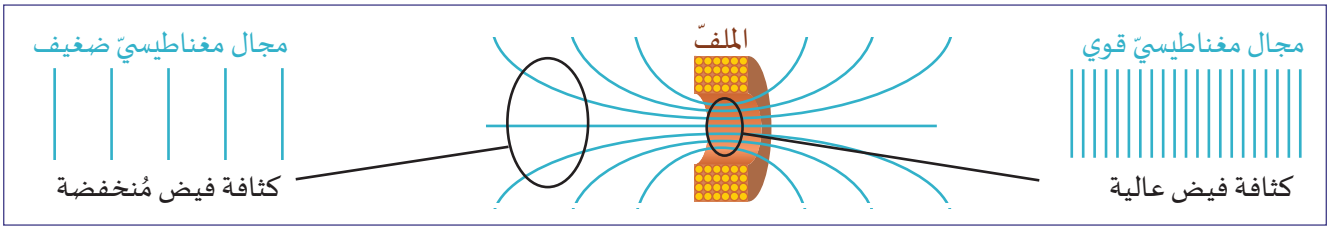


الشكل 4-6 القوّة المؤثّرة في شحنة مُتحرّكة ضمن مجال مغناطيسيّ.

تُنتج كثافة الفيض المغناطيسيّ التي يكون مقدارها 1 T قوّة مقدارها 1 N على شحنة 1 C تتحرّك بسرعة 1 m/s بشكل مُتعامد مع المجال المغناطيسيّ.

يُسمّى مقدار المجال المغناطيسيّ كثافة الفيض المغناطيسيّ ويُقاس بوحدة تسلا، T.

يُشير تقارب خطوط المجال المغناطيسيّ من بعضها في المُخطّطات إلى كثافة عالية للفيض المغناطيسيّ وشدّة أكبر للمجال المغناطيسيّ، كما في مركز ملفّ المغناطيس الكهربائيّ (**الشّكل 6-5**)، حيث تمتلك المناطق التي تتباعد فيها خطوط المجال الممغناطيسيّ كثافة أقلّ للفيض المغناطيسيّ.



الشكل 5-6 تمثيل كثافة الفيض المغناطيسيّ على المُخطَّط.

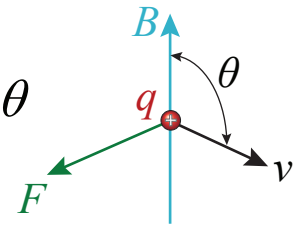
إنّ مجالًا مغناطيسيًّا شدّته (1 T) هو مقدار كبير جدًّا، يُمكن مقارنة ذلك مع المجال المغناطيسيّ للأرض الذي يمتلك كثافة فيض مغناطيسيّ تبلغ نحو 0.00005 T بالقرب من سطح الأرض.

القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في شُحنة كهربائيّة

تعتمد القوّة المغناطيسيّة المؤثِرة في شحنة كهربائيّة على الشُّحنة وسرعتها، وكثافة الفيض المغناطيسيّ، وعلى الزّاوية بين مُتّجه السّرعة ومتجه المجال المغناطيسيّ (**المُعادلة 6-1**).

6-1	القوة المغناطيسيّة المؤثِرة في شحنة		
		F	القوّة المغناطيسيّة (N)
		q	الشّحنة الكهربائيّة (C)
		v	السرعة المتجهة (m/s)
		B	كثافة الفيض المغناطيسيّ (T)
		θ	الزاوية بين مُتّجه السرعة المتجهة والمجال المغناطيسيّ (°)

$$F = qvB\sin\theta$$



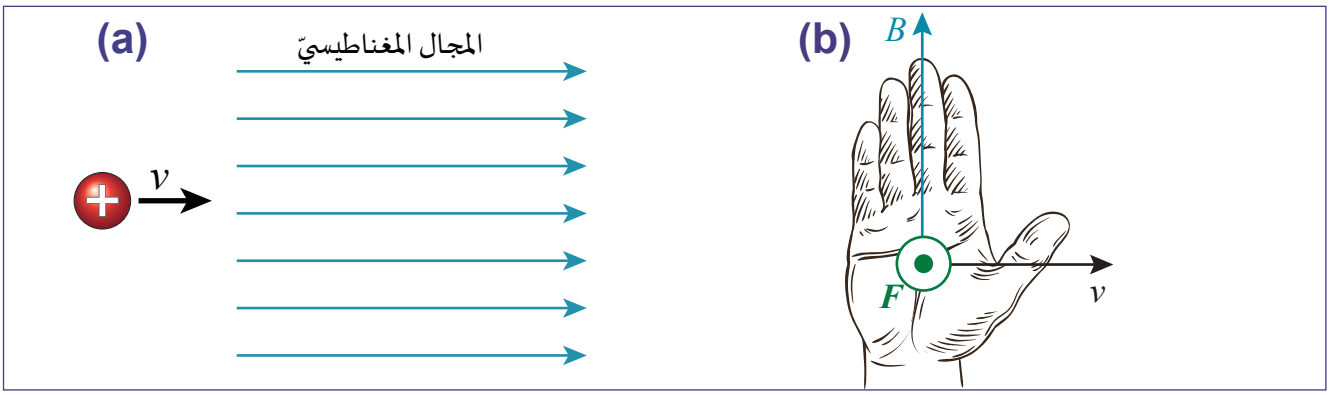
تصِف الزاوية التي تظهر في المُعادلة 6-1 الزاوية المحصورة بين مُتّجه سرعة الشّحنة ومُتّجه المجال المغناطيسيّ. ولحساب مقدار القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في الشّحنة الكهربائيّة يجب تذكّر النّقاط الآتية:

1. مقدار القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في شحنة كهربائية ساكنة يساوي صفر.
2. مقدار القوّة المغناطيسيّة المؤثِرة في شحنة كهربائيّة تتحرّك موازيةً لخطوط المجال المغناطيسيّ يساوي صفر (**الشّكل 6-a6**).
3. يكون مقدار القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في شحنة كهربائيّة قيمة عظمى عندما يكون اتجاه حركة الشحنة الكهربائية متعامدًا مع اتجاه المجال المغناطيسي أي يصنع زاوية 90°.

اتّجاه القوّة المغناطيسيّة

لإيجاد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة، سنستخدم قاعدة كفّ اليد اليُمنى بطريقة مُختلفة؛ كما هو مُوضّح في **الشّكل 6-b19**.

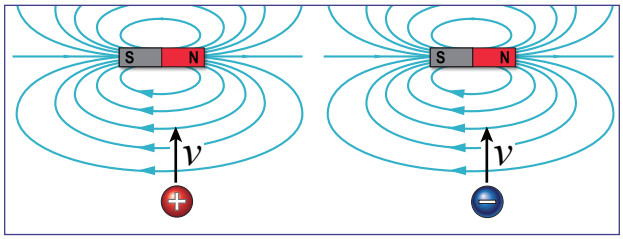
- إذا كانت الأصابع تُشير إلى اتّجاه المجال المغناطيسيّ.
- والإبهام يُشير إلى اتّجاه السّرعة.
- عندها تكون راحة الكفّ مُشيرةً إلى اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة على شحنة موجبة.
- ويكون اتّجاه هذه القوّة في الاتّجاه المُعاكس إذا كانت الشُّحنة سالبة.



الشكل 6-6 (a) لا يُنشئ مُتّجه السرعة الموازي للمجال المغناطيسي قوّة مغناطيسيّة ($sin\theta = 0$)، (b) قاعدة كفّ اليد اليُمنى، حيث تُشير راحة الكف إلى اتجاه القوّة المغناطيسيّة نحو خارج الصفحة.

مثال 1

يُظهر المُخطّط إلكترون وبروتون يتحرّكان باتّجاه مغناطيس.



a. ما اتّجاه القوّة المغناطيسيّة على البروتون؟

b. ما اتّجاه القوّة المغناطيسيّة على الإلكترون؟

المطلوب: اتّجاه القوّة المغناطيسيّة

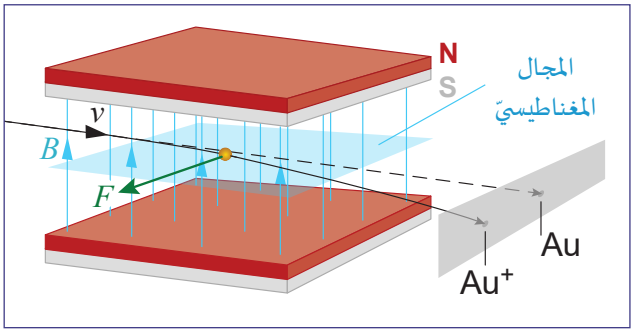
العلاقات: قاعدة كفّ اليد اليُمنى

الحلّ:

ملاحظة: عند رسم المُتّجهات، يدلّ الرّمز ⊙ على مُتّجه اتّجاهه نحو خارج الصّفحة، ويدلّ الرمز ⊗ على مُتّجه يتّجه نحو داخل الصّفحة.

مثال 2

يفصل جهاز مطياف الكتلة الجُسَيمات تبعًا لشحنتها وكتلتها. يتحرّك أيون ذرة ذهب، Au^+ شحنته 1.6×10^{-19} C، بسرعة 5×10^5 m/s، بحيث يكون مُتّجه السّرعة مُتعامدًا مع مجال مغناطيسيّ شدّته 2 T. احسب القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في أيون ذرة الذّهب.



المطلوب: القوّة المغناطيسيّة، F.

المُعطيات: الشّحنة الكهربائيّة، $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C، السرعة، $v = 5 \times 10^5$ m/s، كثافة الفيض المغناطيسيّ، $B = 2$ T، الزّاوية، $\theta = 90°$.

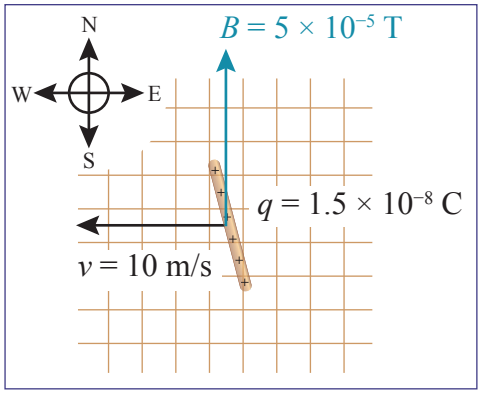
العلاقات: $F = qvB\sin\theta$;

الحلّ:

$$F = qvB\sin\theta$$
$$= (1.6 \times 10^{-19}\ \text{C})(5 \times 10^5\ \text{m/s})(2\ \text{T})(\sin 90°)$$
$$= 1.6 \times 10^{-13}\ \text{N}$$

مثال 3

تَمّ دَلْكُ قضيب زجاجيّ بواسطة قطعة حرير، فنتجت عند ذلك شحنة كهربائيّة موجبة مقدارها 15 nC على قضيب الزجاج، ثمّ تمّ رَمْيُه نحو الغرب بسرعة 10. m/s احسب مقدار واتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثِّرة في القضيب الزجاجيّ نتيجة للمجال المغناطيسيّ للأرض. علمًا أنّ اتّجاه المجال المغناطيسي الأرضيّ نحو الشّمال وشدّته 5×10^{-5} T.



المطلوب: مقدار القوّة المغناطيسيّة، F، واتجاهها.

المُعطيات:

شحنة القضيب الزجاجيّ، $q = 15\ nC$

السرعة المتجهه، $v = 10\ m/s$

شدّة مجال الأرض المغناطيسيّ، $B = 5 \times 10^{-5}\ T$

العلاقات: $F = qvBsin\theta$

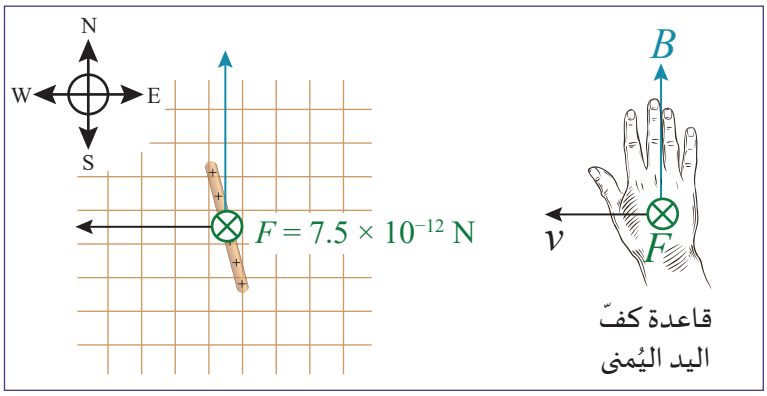
الحلّ:

في هذا المثال كان اتّجاه رمي القضيب نحو الغرب، واتّجاه المجال المغناطيسيّ للأرض نحو الشّمال. هذا يعني أنّ الزاوية بين مُتّجه سرعة القضيب والمجال المغناطيسيّ للأرض هو 90°.

وباستخدام مُعادلة القوّة المغناطيسيّة نجد:

$$F = qvB\sin\theta = (15\times10^{-9}\text{C})(10\text{ m/s})(5\times10^{-5}\text{ T})\sin 90°$$
$$= 7.5\times10^{-12}\text{ N}$$

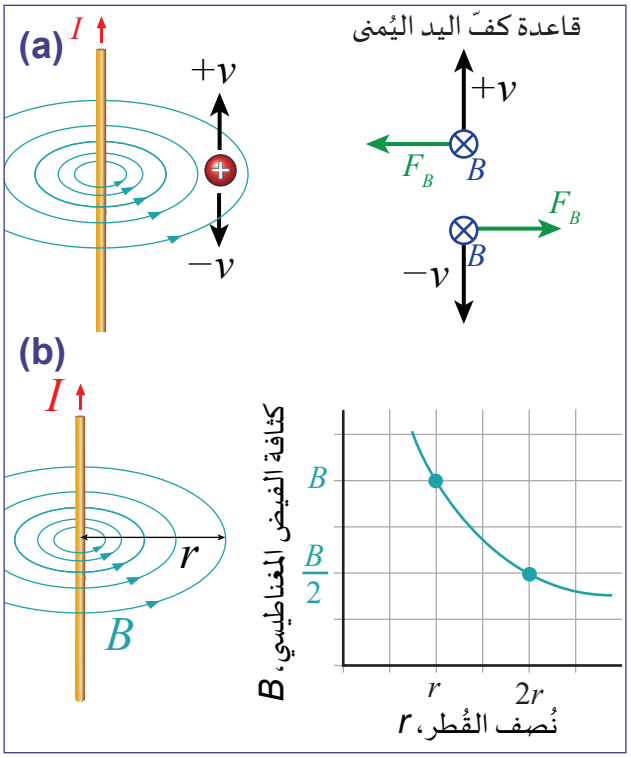
يمكننا استخدام قاعدة كفّ اليد اليمنى لتحديد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة، كما يأتي: نبسط كفّ اليد اليُمنى بحيث تشير السّبابة وبقيّة أصابع اليد إلى اتّجاه المجال المغناطيسيّ، ويشير الإبهام إلى اتّجاه السّرعة (إلى اليسار)، عندها يكون اتّجاه القوّة المؤثِّرة خارجًا من باطن الكفّ باتّجاه داخل الصّفحة.



المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يمر فيه تيّار كهربائيّ

يُنتج السّلك المُستقيم والذي يحمل تيّارًا كهربائيًّا، مجالًا مغناطيسيًّا على شكل دوائر مركزها السّلك. يُمكن أن يؤثّر المجال المغناطيسيّ النّاتج بقوّة مغناطيسيّة في الجُسيمات القريبة المشحونة والمتحركة، وبتطبيق قاعدة كف اليد اليُمنى، كما في **الشّكل a7-6**، يُمكن مُلاحظة أنّ الجُسيمات المشحونة بشحنة موجِبة تتحرّك في اتّجاه تدفّق التيّار الكهربائيّ، سوف تتأثّر بقوة مغناطيسيّة اتجاهها نحو السّلك. بالإضافة إلى ذلك، سوف تتأثّر الجُسيمات المشحونة بشحنة كهربائيّة موجبة والمتحرّكة بعكس اتّجاه التيّار الكهربائيّ، بقوّة مغناطيسيّة اتجاهها بعيدًا عن السّلك.

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسيّ عكسيًّا مع المسافة عن السّلك، فإذا ازدادت المسافة من r إلى $2r$، فإنّ شدّة المجال المغناطيسي تتناقص بمقدار النّصف كما في **الشّكل b7-6**.



الشكل 7-6 (a) اتجاه القوّة المغناطيسيّة حول تيّار كهربائي في سلك (b) مقدار القوّة المغناطيسيّة يتناسب عكسيًّا مع البعد عن السلك.

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسيّ طرديًّا مع شدّة التّيّار الكهربائيّ المُتدفِّق عبر السّلك. تُوضّح لنا **المُعادلة 2-6** العلاقة بين كثافة الفيض المغناطيسيّ، وشدّة التّيّار الكهربائيّ، والمسافة عن السّلك. يُسمّى الثّابت μ_0 **نفاذية الفراغ Permeability of free space**، وهو يُساوي $4\pi \times 10^{-7}$ T m/A.

2-6 | **كثافة الفيض المغناطيسيّ حول سلك**

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

B	كثافة الفيض المغناطيسيّ (T)
μ_0	ثابت نفاذية الفراغ = $4\pi \times 10^{-7}$ (Tm/A)
I	شدّة التيّار الكهربائيّ (A)
r	المسافة عن السّلك (m)

بحسب المُعادلة 2-6، يُقاس المجال المغناطيسيّ B بوحدة تسلا (T)، وشدّة التيار الكهربائيّ I بوحدة الأمبير (A)، والمسافة عن السّلك r، بوحدة المتر (m). أمّا نفاذية الفراغ فهي ثابت فيزيائيّ يصف نسبة كثافة الفيض المغناطيسيّ الناتج لكلّ أمبير من التّيّار الكهربائيّ. تشتمل وحدة قياس μ_0 على T.m/A، ويكون مقدارها أكبر في الموادّ المغناطيسيّة كالحديد، لهذا السّبب يُوضع في العديد من أجهزة المغانط الكهربائيّة قلب من الحديد داخل الملفّ الحلزونيّ.

القوّة المغناطيسيّة حول سلك مُستقيم يمرّ فيه تيّار كهربائيّ

يتناسب مقدار القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في شحنة متحرّكة طرديًّا مع كثافة الفيض المغناطيسيّ. ولتحديد القوّة المؤثّرة في شحنة متحرّكة بالقرب من سلك، اِتبع الخطوتَيْن الآتيتَيْن:

1. استخدم **المُعادلة 6-2** لتحديد كثافة الفيض المغناطيسيّ على مسافة، r، وشدّة تيّار كهربائيّ، I.
2. استخدم **المُعادلة 6-1** لتحديد القوّة المؤثّرة في الشّحنة المتحرّكة.

مثال 4

a. احسب كثافة الفيض المغناطيسيّ على مسافة 10 cm من سلك مُستقيم يحمل تيّارًا كهربائيًّا شدّته 2 A.

b. احسب القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في بروتون، على مسافة 10 cm من السّلك المستقيم في الفرع (a)، علمًا أنّ البروتون يتحرّك بسرعة 6×10^7 m/s بإتجاه يصنع زاوية 90° مع المجال المغناطيسيّ.

المطلوب: كثافة الفيض المغناطيسيّ B

مقدار القوّة المغناطيسيّة (F)المؤثّرة في بروتون،

المُعطيات: شدّة التيّار الكهربائيّ في السّلك، $I = 2\ A$

المسافة عن السّلك، $r = 10\ cm$

سرعة البروتون، $v = 6 \times 10^7\ m/s$، شحنة البروتون، $q = 1.6 \times 10^{-19}\ C$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m/A

العلاقات: $F = qvBsin\theta \quad B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}$

الحلّ:

a.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$= \frac{\left(4\pi \times 10^{-7}\ \text{Tm/A}\right)\left(2\ \text{A}\right)}{2\pi\left(0.1\ \text{m}\right)}$$

$$= 4 \times 10^{-6}\ \text{T}$$

b. $F = qvBsin\theta$

$$= (1.6 \times 10^{-19}\ \text{C})\ (6 \times 10^7\ \text{m/s})(4 \times 10^{-6}\ \text{T})\sin 90°$$

$$= 3.84 \times 10^{-17}\ \text{N}$$

تطبيقات تكنولوجيّة

تُستخدم في القطار المغناطيسيّ (**الشّكل 6-8**) مغانط كهربائيّة قويّة تتكوّن من ملفّات يمرّ فيها تيّار كهربائيّ، تولِّد قوّة كبيرة تجعل القطار المغناطيسيّ ينطلق فوق سكّة الحديد من دون أن يلامسها، فيتخلّص بذلك من قوى الاحتكاك، ويسير بسرعة تزيد على 500 km/h. فالمجالات المغناطيسيّة تقوم بوظيفتَيْن معًا، هما رفع القطار فوق السّكّة بمسافة بضعة سنتمترات، ثمّ دفعه إلى الأمام بتسارُع كبير. وعند إيقاف القطار، فإنّ ذلك يتمّ باستخدام مكابح تعمل على مجالات مغناطيسيّة تولِّد قوى معاكسة لاتِّجاه الحركة.

الشكل 6-8 قطار الرفع المغناطيسي.

ومن التّطبيقات الطّبّيّة التي تستخدم فيها المغانط الكهربائيّة جهاز التّصوير بالرّنين المغناطيسيّ MRI (**الشّكل 6-9**). يحتوي الجهاز على ملفّات ضخمة تولِّد مجالات مغناطيسيّة قويّة جدًّا. فعند إدخال المريض داخل الجهاز وتشغيل الملفّات، تؤثّر هذه المجالات في ذرّات الهيدروجين الموجودة في جُزَيْئات الماء الموجودة في أنسجة جسم الإنسان فتُحْدِث لها دورانًا. وعند إطفاء المجال المغناطيسيّ تعود ذرّات الهيدروجين إلى وضعها السّابق، مُصدِرة بذلك نبضة كهرومغناطيسيّة تلتقطها أجهزة خاصّة فتحوِّلها إلى صورة طبقيّة واضحة لأعضاء جسم المريض الدّاخليّة.

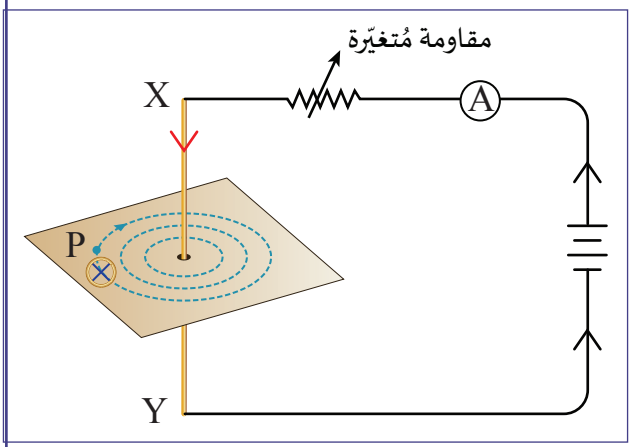
الشكل 6-9 يُستخدم في جهاز الرنين المغناطيسي مغانط كهربائيّة.

نشاط 6-1 كثافة الفيض المغناطيسيّ

سؤال الاستقصاء	كيف يُمكننا رسم خطوط المجال المغناطيسيّ وحساب كثافة الفيض المغناطيسيّ حول سلك مستقيم يحمل تيارًا كهربائيًا؟
الموادّ المطلوبة	مصدر للطّاقة، أميتر، سلك نحاس سميك، مجموعة من البوصلات الصّغيرة، قطع من الورق المُقوّى، بُرادة حديد.

الخطوات

1. استخدم سلك النّحاس السّميك لِتُمَرِّره عبر الورق المُقوّى من X إلى Y، ثمّ قُم بتوصيل الدّائرة الكهربائيّة في **الشّكل 6-10**.
2. ثبّت الورق المُقوّى على حامل.
3. اضبط المُقاومة المُتغيّرة بحيث يتدفّق تيّار كهربائيّ شدّته 0.5 A عبر الدّائرة الكهربائيّة.
4. انثر بُرادة الحديد ولاحظ النّمط المُتشكِّل، ثمّ ارسم هذا النّمط في ورقة العمل.



الشكل 6-10 توصيل الدائرة الكهربائيّة.

5. احسب كثافة الفيض المغناطيسيّ عند نصف قُطر 0.5 cm عن السّلك.
6. كرّر الحسابات لنُصفي قُطر 1 cm و 1.5 cm.
7. زد شدّة التيّار الكهربائيّ من خلال ضبط المُقاومة المُتغيّرة، بمقدار 0.5A في كلّ مرّة، وسجّل النّتائج في الجدول.

الجدول

شدّة التيّار الكهربائيّ (A)	كثافة الفيض المغناطيسيّ عند نصف قُطر 0.5 cm	كثافة الفيض المغناطيسيّ عند نصف قُطر 1 cm	كثافة الفيض المغناطيسيّ عند نصف قُطر 1.5 cm
0.5			
1.0			
1.5			
2.0			

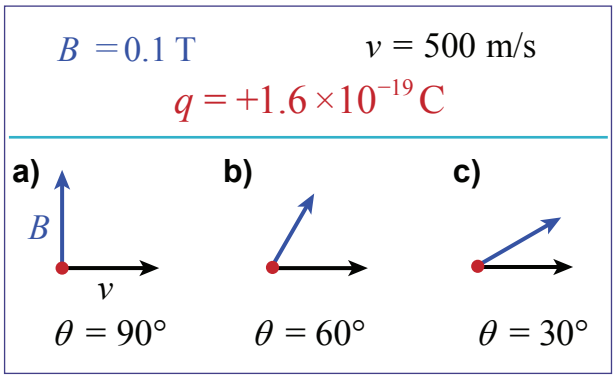
الأسئلة

a. كيف تغيّر النّمط النّاتج عن بُرادة الحديد عندما ازدادت شدّة التيّار الكهربائيّ؟ ماذا يخبرك ذلك حول كثافة الفيض المغناطيسيّ؟

تقويم الدرس 6-1

1. احسب شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي شدته 30 A في سلك مستقيم، عند نقطة تبعد عن السلك مسافة 5 cm؟

2. يُوضح الشّكل أدناه ثلاثة اتّجاهات مُختلفة لكلّ من مُتّجه السّرعة والمجال المغناطيسيّ لشحنة كهربائيّة مُوجبة مُتحرّكة. احسب القوّة المغناطيسيّة في كلّ من الحالات الثّلاث، علمًا أنّ ما يتغيّر هو الزّاوية فقط.



3. تفترض إحدى القصص الخياليّة أنّ مركبةً يُمكن لها الطّيران من خلال استغلال المجال المغناطيسيّ للأرض. لنعتبر أنّ هناك جسمًا يحمل شحنة كهربائيّة +1C يتحرّك باتجاه يصنع زاوية قائمة مع المجال المغناطيسيّ للأرض (5×10^{-5} T). ما السّرعة التي يجب أن يتحرّك بها الجسم حتّى تؤثر فيه قوّة مقدارها 1 N؟

4. يتحرك بروتون بسرعة 200 m/s باتجاه موازٍ لسلك مستقيم في وضع أفقي يمر فيه تيار كهربائي 10A باتجاه الغرب. احسب القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون لحظة مروره بنقطة تقع إلى الشمال من السلك وتبعد عنه مسافة 2 cm

الدرس 6-2

القوّة المغناطيسيّة والمحرّكات الكهربائيّة

Magnetic Force and Electric Motors

مخرجات التّعلُّم

P1014.1 يعرض ويُوضّح كيفيّة تفاعل المجال المغناطيسيّ النّاشئ عن سريان تيّار كهربائيّ في موصل مع مجال مغناطيسيّ ثابت عند وضع الموصل فيه.

P1014.2 يصِف التأثير الحركيّ في سلك يسري به تيّار كهربائيّ مُتعامد مع اتّجاه مجال المغناطيسيّ، ويحسب القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في السّلك باستخدام المعادلة: $F = BIL$

P1014.3 يصِف آليّة عمل المُحرّك الكهربائيّ ويُوضّحها.

ستبدو الحياة مُختلفة عمّا تبدو عليه اليوم في غياب المُحرّك الكهربائيّ، فهو يدخل في تصميم عدة أجهزة كهربائيةمثل مُجفّف الشّعر ليعمل على نفث الهواء السّاخن منه، ويسمح للمروحة الكهربائية بالدّوران.

استطاع عالم دنماركي في العام 1820 يُدعى هانز أورستد من إظهار أنّ التّيّار الكهربائيّ يُنتج مجالًا مغناطيسيًّا. وبعد سنة من ذلك، في العام 1821، وسّع مايكل فاراداي أعمال أورستد وقام ببناء أوّل جهاز يستخدم القوى الكهرومغناطيسيّة لتدوير ملفّ، كان ذلك الاختراع هو أوّل محرّك كهربائيّ.

الشكل 6-11 مُحرّك كهربائيّ حديث.

المفردات

مُحرّك كهربائيّ	Electric motor
عاكس	Commutator

صُنع ملفّ مُتحرّك

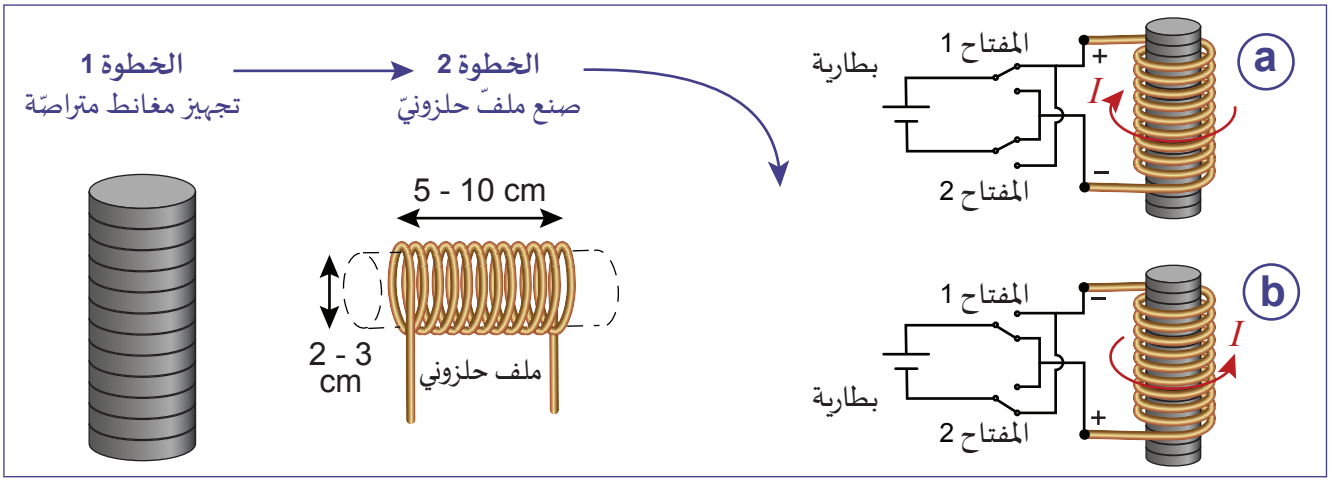
كيف يُمكن استخدام المغانط الكهربائيّة والمفاتيح الكهربائيّة لإنتاج حركة إلى الأمام والخلف؟

الخطوة 1

ضع مجموعة من المغانط الدائرية بشكل متراصّ فوق بعضها، كتلك التي يُمكن استخدامها من أجل تثبيت الأشياء على باب البرّاد. يجب أن يكون ارتفاع المجموعة المُتراصّة أكبر بنحو 3 - 2 مرّات على الأقلّ من قُطر المغانط (**الشّكل 6-12**).

الخطوة 2

اصنع ملفًّا حلزونيًّا عن طريق إعداد 20 لفّة على الأقلّ من سلك معزول حول ورقة مُقوّى حول أنبوب، بحيث يكون حجم الأنبوب متناسبًا لتُوضع فيه مجموعة المغانط من دون أن تتلامس مع الملفّ. احرص على أن تترك طرفَي الملفّ بطول إضافيّ من السّلك. يمكنك ترك الأنبوب داخل الملفّ، ولصق الملفّ بالأنبوب للحصول على متانة أكبر.



الشكل 6-12 توضيح جهاز كهروميكانيكيّ.

الخطوة 3

ضع الملفّ الحلزونيّ حول مجموعة المغانط. قم بتوصيل الدائرة في **الشّكل 6-12a** بمفتاحَي نقطتَي تلامس وتحويلتَيْن، بالإضافة إلى بطّاريّة، مُستخدمًا سلكًا رفيعًا ومرنًا.

a. عندما يكون المفتاحان على الوضع (a)، يتّصل الطّرفان الموجب والسّالب للبطّاريّة بالملفّ، فيتدفّق تيّار كهربائيّ عبر الملفّ باتّجاه حركة دوران عقارب الساعة.

b. عند وضع المفتاحين على الوضع (b)، يتّصل الطّرفان الموجب والسّالب للبطّاريّة بشكل معكوس بالملفّ، فيتدفّق تيّار كهربائيّ عبر الملفّ باتّجاه يُعاكس حركة دوران عقارب السّاعة.

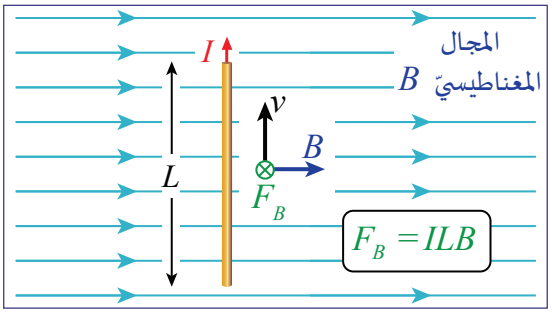
الأسئلة والملاحظات

حرّك المفتاح إلى الأمام والخلف بين الوضعَيْن (a) و (b). لاحظ حركة الملفّ.

ما سبب هذه الحركة؟ صِف القوى المغناطيسيّة.

القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في سلك مستقيم يحمل تيّارًا كهربائيًّا

تتأثّر الأجسام المشحونة المتحرّكة داخل مجال مغناطيسيّ بقوّة مغناطيسيّة تُسبّب لها انحرافًا. يتألف السلك من جُسيمات مشحونة مُتحرّكة، عندما يتم وضعه ضمن مجال مغناطيسي تتأثر الشحنات في السلك بقوّة مغناطيسيّة، فتحرف القوّة المغناطيسيّة الشحنات داخل السلك، مُسببةً انحراف السلك أيضًا.



الشكل 13-6 القوّة المؤثّرة في سلك مستقيم يحمل تيّارًا كهربائيًّا موجودًا ضمن مجال مغناطيسيّ.

يعتمد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في سلك على كلّ من اتّجاه التيّار الكهربائيّ واتّجاه المجال المغناطيسيّ. يُمكن تحديد انحراف السّلك نتيجة لوجوده داخل مجال مغناطيسيّ مُنتظِم (**الشّكل 13-6**) باستخدام قاعدة كف اليد اليُمنى.

- تُوجّه الأصابع باتّجاه المجال المغناطيسيّ.
- والإبهام مع اتّجاه التّيّار الكهربائيّ.
- تدل راحة الكفّ على اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في السّلك.

مقدار القوّة المؤثّرة في سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا

يُبيّن الشّكل 6-26 اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في سلك موجود داخل مجال مغناطيسيّ؛ يُطرح السّؤال الآتي: كيف بالإمكان حساب مقدار هذه القوّة؟ علينا أن نتوقّع أنّ القوّة المغناطيسيّة ستكون ذات مقدار أكبر إذا كان طول السّلك أكبر، أو إذا كانت شدّة التيّار الكهربائيّ المُتدفّق عبر السّلك أكبر، أو إذا كان المجال المغناطيسيّ المُحيط بالسّلك ذو شدّة أكبر. يعتمد مقدار القوّة المغناطيسيّة على العوامل الثّلاثة السّابقة: شدّة التيّار الكهربائيّ، وطول السّلك، والمجال المغناطيسيّ، والظّاهرة في **المُعادلة 3-6**.

3-6	القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا	
		F القوّة المغناطيسيّة (N)
		I شدّة التيّار الكهربائيّ (A)
		L طول السّلك (m)
		B كثافة الفيض المغناطيسيّ (T)
		θ الزّاوية بين السلك و خطوط المجال المغناطيسي (°)

$$F = ILBsin\theta$$

تفترض المعادلة 3-6 أنّ هناك زاوية بين المجال المغناطيسيّ B، واتّجاه السّلك ذي الطّول L، فإذا كانت الزّاوية بين L و B تُساوي 90°، عند تعويضها في $sin\theta$ نحصل على 1؛ يُمكننا في هذه الحالة استخدام العلاقة وفق الشّكل: $F = ILB$، أمّا إذا كانت الزّاوية بين L و B تُساوي 0°، فلن يتأثر السّلك بأيّ قوّة مغناطيسيّة لأن $sin\theta=0$ فتكون $F = 0$

انحراف سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا

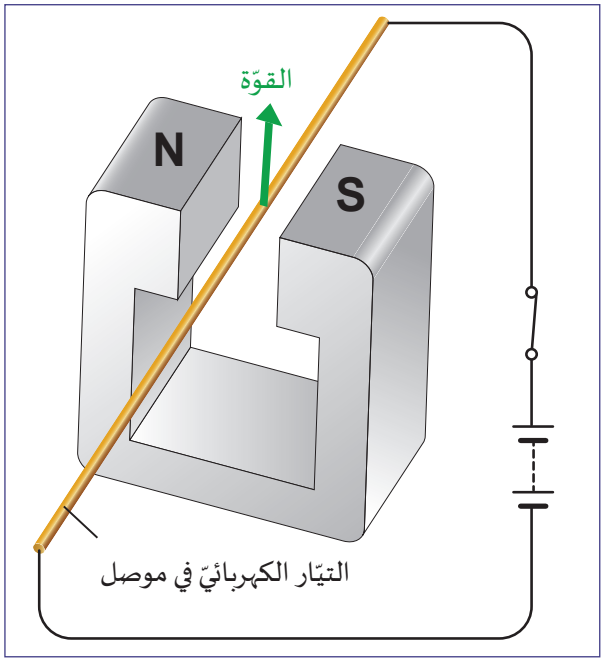
تُسبّب القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا انحرافًا له. يُمكن اختبار ذلك عند كلّ مرّة يتغيّر فيها التيّار الكهربائيّ.

a. جهّز الدّائرة الكهربائيّة في **الشّكل 6-14** باستخدام سلك معزول بشكل جيّد.

b. ضع السّلك بين القُطبَيْن الشّماليّ والجنوبيّ لمغناطيس.

c. قبل إغلاق الدّائرة الكهربائيّة، توقّع اتّجاه انحراف السّلك، باستخدام قاعدة كف اليد اليُمنى.

d. ثبّت السّلك في مكانه برفق، ثمّ شغّل مصدر الطّاقة.



الشكل 6-14 انحراف سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا موجودًا ضمن مجال مغناطيسيّ مُنتظم.

ما اتّجاه انحراف السّلك؟

كيف سيتغيّر اتّجاه انحراف السّلك عند تغيير اتّجاه التيّار الكهربائيّ؟

مثال 5

احسب مقدار القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في سلك يقطع عموديًا مجال مغناطيسيّ، علمًا أنّ شدّة التيّار الكهربائيّ المُتدفّق في السّلك 20 A، وكثافة الفيض المغناطيسيّ 1.5 T، وطول السّلك 10 cm.

المطلوب: القوّة المغناطيسيّة، F

المُعطيات: شدّة التيّار الكهربائيّ $I = 20\ A$

كثافة الفيض المغناطيسيّ $B = 1.5\ T$

طول السّلك $L = 10\ cm$، الزّاوية $\theta = 90°$

العلاقات: $F = ILBsin\theta$

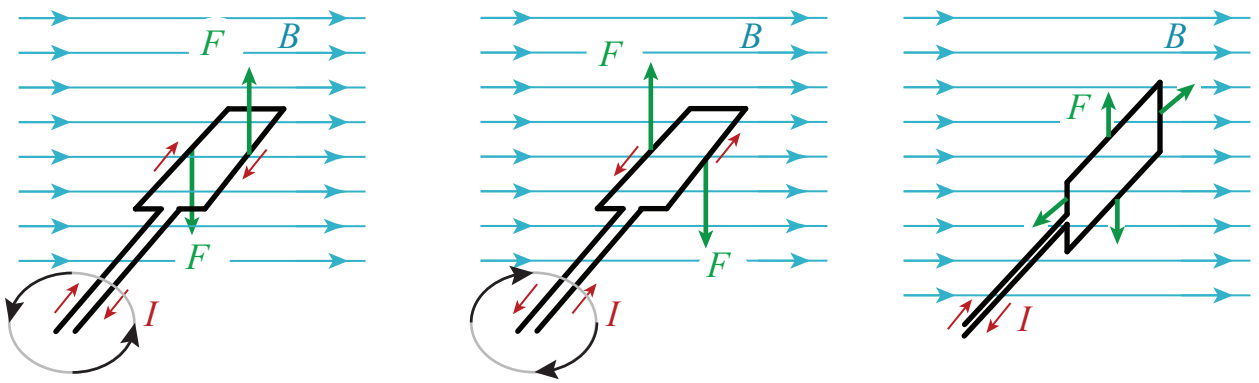
الحلّ: $F = ILBsin\theta$

$$F = (20\ A)(0.10\ m)(1.5\ T)(\sin 90°)$$

$$= 3\ N$$

القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في حلقة سلك

يُوضّح **الشّكل 6-15** حلقة سلك مُستطيلة بأطراف مُستقيمة موضوعة ضمن مجال مغناطيسيّ مُنتظم. عندما يتدفّق تيّار كهربائيّ عبر السّلك، فإنّ قوّة مغناطيسيّة تؤثّر في أطراف الحلقة تكون مُتعامدة مع المجال المغناطيسيّ.



(a) دوران عكس اتّجاه حركة عقارب السّاعة

(b) دوران مع اتّجاه حركة عقارب السّاعة

(c) تلغي القوى بعضها

الشكل 6-15 (a) حلقة أفقيّة تحمل تيّارًا كهربائيًّا، (b) انعكاس اتّجاه التّيّار الكهربائيّ، (c) حلقة عموديّة تحمل تيّارًا كهربائيًّا.

يُمكن أن تتأثر حلقة سلك تحمل تيّارًا كهربائيًّا موجودة ضمن مجال مغناطيسيّ بقوى مغناطيسيّة تعمل على تدوير الحلقة.

يُمكن ملاحظة ثلاثة أوضاع للحلقة والتّيّار الكهربائيّ.

a. مُستوي الحلقة موازٍ للمجال المغناطيسيّ، والتّيّار الكهربائيّ يتدفّق عكس اتّجاه حركة عقارب السّاعة، في هذه الحالة يتأثّر الطّرف الأيمن للحلقة بقوّة مغناطيسيّة اتّجاهها للأسفل، ويتأثّر الطّرف الأيسر بقوّة مغناطيسيّة بالاتّجاه المُعاكس. تعمل القوّتان على تدوير الحلقة مع اتّجاه حركة عقارب السّاعة.

b. مُستوي الحلقة موازٍ للمجال المغناطيسيّ، والتّيّار الكهربائيّ يتدفّق مع اتّجاه حركة عقارب السّاعة، في هذه الحالة ينعكس اتّجاه القوّتَيْن المؤثّرتَيْن في طرفَي الحلقة، ممّا يدفع الحلقة إلى الدّوران باتّجاه مُعاكس لحركة عقارب السّاعة.

c. مُستوي الحلقة عموديّ على المجال المغناطيسيّ، تكون مُحصّلة القوى المغناطيسيّة المؤثّرة في الحلقة في هذه الحالة صفرًا مهما كان اتّجاه التّيّار الكهربائيّ المتدفّق في الحلقة، حيث يتأثّر كلّ جزء من الحلقة المستطيلة بقوّة، لكن باتّجاهات متعاكسة، فيُلغي بعضها الآخر، وبالنّتيجة تكون محصّلة القوى المؤثّرة في الحلقة صفرًا.

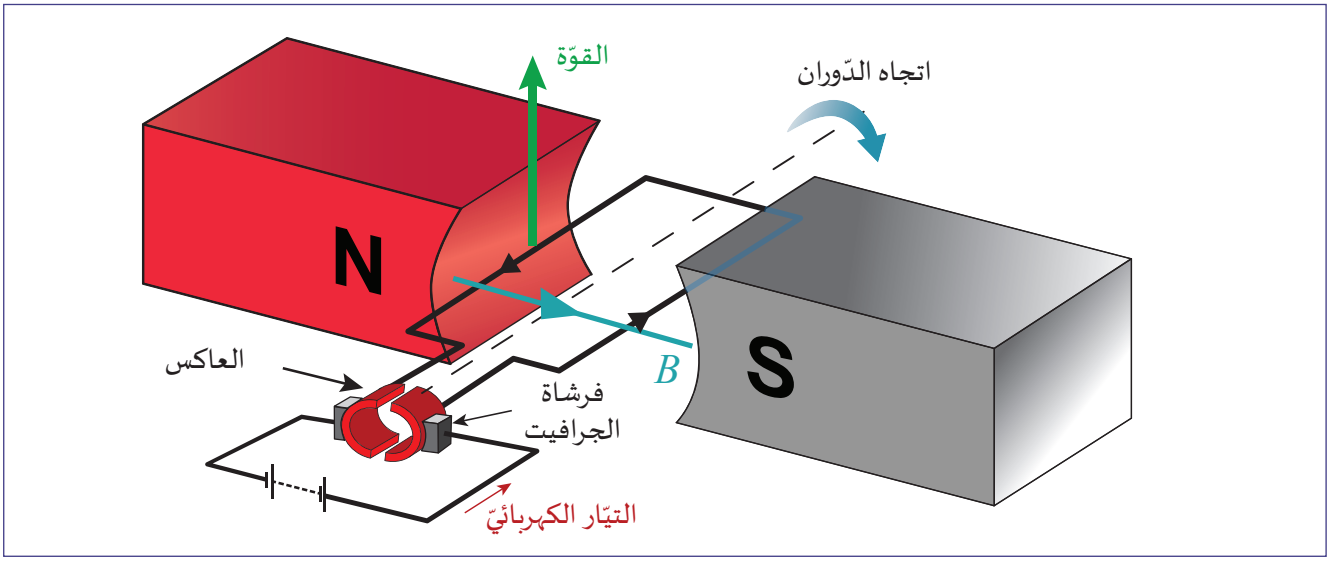
إذا كان مستوى الحلقة عموديًّا على المجال المغناطيسيّ، عندها لن تتأثّر الحلقة بأيّ قوة مغناطيسية.

المحرِّكات الكهربائيّة

تعمل القوى المؤثرة في حلقة تحمل تيّارًا كهربائيًّا ضمن مجال مغناطيسيّ على تدوير الحلقة باتّجاه مُعيّن. يُعدّ هذا المبدأ أساسًا **للمحرّك الكهربائيّ Electric motor**، وللمحافظة على استمرار دوران الحلقة بالاتّجاه نفسه يجب أن يحدث أمران:

1. يجب حصر القوى في التّدوير بحيث يكون محور دوران الملفّ عموديًّا على المجال المغناطيسيّ.
2. وجود آليّة لعكس التّيّار الكهربائيّ كلّ نصف دورة، وبالتّالي تعمل القوى المغناطيسيّة على تدوير الملفّ بالاتّجاه نفسه دائمًا.

تحتوي مُعظم المُحرّكات على جهاز يُسمّى **العاكس Commutator**، وهو جهاز يغيّر من التّوصيلات الكهربائيّة للحلقة خلال دورانه، بحيث توصل فرشاة الجرافيت التّيّار الكهربائيّ إلى العاكس (**الشّكل 6-16**).



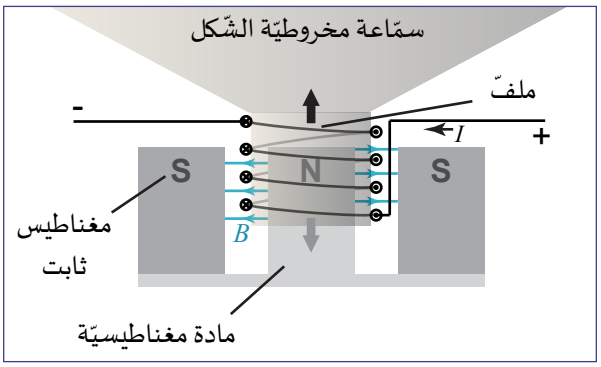
الشكل 6-16 مُحرّك كهربائيّ بسيط.

1. يتكون العاكس من نصفي أسطوانة نحاسيين معزولين عن بعضهما ويتصل كل نصف مع أحد طرفي الحلقة، ويدور العاكس مع الحلقة.
2. يتدفّق التّيّار الكهربائيّ عبر فرشاتين من الجرافيت الموصلة الملامسة للعاكس، تقوم كلّ فرشاة بالتوصيل الكهربائي بين البطّاريّة وسلك الحلقة عن طريق العاكس.
3. خلال دوران الحلقة، يتبادل الطّرفان الموجب والسّالب للبطّاريّة في اتّصالهما بالحلقة بحيث ينعكس إتجاه التّيّار في الحلقة كلّ نصف دورة، ليحافظ على القوى المغناطيسيّة في الاتّجاه نفسه، ممّا يحافظ على استمرار دوران الحلقة في الاتّجاه نفسه.

تنتشر العديد من أنواع المحرّكات الكهربائيّة في العالم اليوم. يُوضّح الشّكل 6-16 مُحرّك تيّار مُستمرّ DC بحيث يُحافظ طرفا البطّاريّة الموجب والسّالب على قُطبيهما. أمّا في مُحرّكات التّيّار المُتردّد AC، فيتبدّل الجهد 60 مرّة في الثانية، فيوفّر بذلك تيّارًا كهربائيًّا متردّدًا في الملفّ الدّوّار من دون العاكس.

مُكبّرات الصّوت

تتنافر الأقطاب المغناطيسيّة المُتماثلة، وتتجاذب الأقطاب المغناطيسيّة المُختلفة نتيجة للتأثير المتبادل بين المجالَيْن المغناطيسيَّيْن لمغناطيسَيْن مُختلفَيْن. لا ينحصر التأثير المتبادل للمجالات المغناطيسيّة في المغانط الدّائمة، فقد يكون أحد هذين المجالين ناشئ عن التيّار المُتدفّق عبر الموصِلات الكهربائيّة، وعندما يتأثّر الموصِل بمجال مغناطيسيّ آخر، تنتج قوّة مغناطيسيّة، تعمل على تحريك الموصل إن كان مقدارها مناسبًا.



الشكل 6-17 كيف يعمل مُكبّر الصّوت.

يعتمد مبدأ عمل مكبّرات الصّوت على التأثير المتبادل بين المجالات المغناطيسيّة لموصلات كهربائيّة ومغناطيس قويّ. يُوضّح **الشّكل 6-17** مقطعًا رأسيًا لمُكبّر صوت، حيث نلاحظ وجود ملفّ موجود داخل مجال مغناطيسيّ قويّ ناتج عن مغانط دائمة. فعندما يتدفّق تيّار كهربائيّ عبر الملفّ، يُنتج الملفّ مجالاً مغناطيسياً خاص به، فيتأثّر المجالان المغناطيسيّان مع بعضهما مُسبّبَين حركة للملفّ للأعلى والأسفل.

يُسبّب اتّجاه التيّار الكهربائيّ في الشّكل 6-17 تحرُّك الملفّ للأعلى، وعندما يتمّ عكس اتّجاه التيّار الكهربائيّ، يتحرّك الملفّ للأسفل. يُثبَّت الملفّ على سمّاعة مخروطيّة الشّكل، تكون مصنوعة من مادّة الفوم، والتي تتحرّك بدورها مع حركة الملف للأعلى والأسفل، لتُسبّب هذه الحركة موجات تضاغطيّة مُنتجةً الصّوت.

يُمكن إجراء مُحاكاة لحركة الملفّ بسهولة في المُختبر.

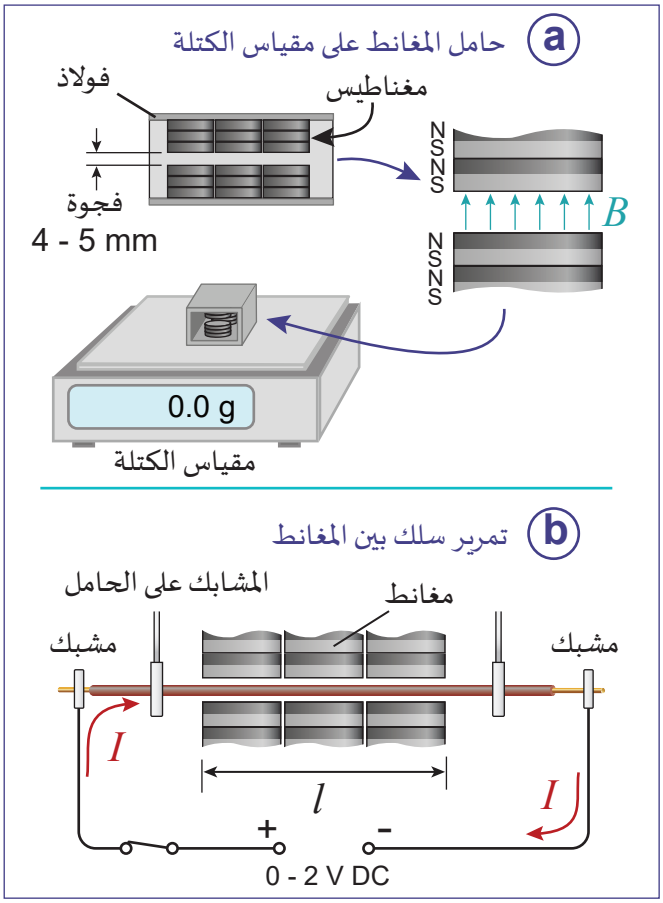
1. ضع مغانط دائرية صغيرة على طاولة لتصنع برجًا منها.
2. شكّل أنبوبًا بواسطة قطعة من الورق المُقوّى ذات سمك قليل، بحيث يُمكن تمرير برج المغانط من خلاله.
3. اصنع عددًا من اللفّات لتشكيل ملفّ من سلك النّحاس حول الجزء العلويّ من الأنبوب. تأكّد من ترك طول كافٍ من السّلك عند طرفَي الملفّ.
4. قُم بتوصيل السّلكين بين طرفَي بطّارية 1.5 V، ستلاحظ أنّ الملفّ يتحرّك.
5. اعكس موقع السّلكين بين طرفَي البطّاريّة، ستُلاحظ أنّ الملفّ يتحرّك بالاتّجاه المُعاكس.

نشاط 6-2 حساب كثافة الفيض المغناطيسيّ

سؤال الاستقصاء	كيف يُمكننا حساب كثافة الفيض المغناطيسيّ باستخدام قوّة مؤثّرة في سلك؟
الموادّ المطلوبة	سلك نُحاس سميك، حاملان مع مشابك، مغناطيسان، حامل للمغناطيس، مقياس الكتلة (ميزان رقميّ) بدقّة وضوح 0.1، أميتر، مصدر طاقة كهربائية، مقاومة متغيّرة، مسطرة.

الخطوات

1. ضع المغناطيس داخل حامل المغناطيس على مقياس الكتلة (الميزان) (**الشّكل 6-18a**). أعد ضبط المقياس على 0.0 g.
2. جهّز الدّائرة الكهربائيّة في **الشّكل 6-18b**. يجب أن يُوضَع السّلك في الفراغ بين المغناطيس. يجب أن لا يتلامس السّلك مع المغناطيس.
3. شغّل مصدر الطّاقة واضبط المقاومة المتغيّرة بحيث تكون قراءة الأميتر 0.5 A. دوّن قراءة الكتلة الظّاهرة من مقياس الكتلة.
4. زِد شدّة التيّار بمقدار 0.5 A إلى أن تبلغ شدّة 5 A. دوّن قراءاتك لشدّة التيّار الكهربائيّ والكتلة.



الشكل 6-18 (a) تجهيز المغانط، (b) تجهيز الدّائرة الكهربائيّة.

الجدول

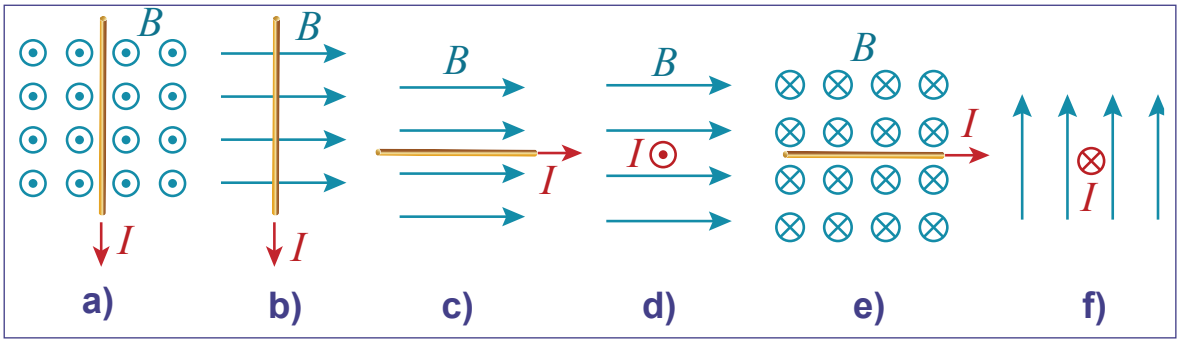
شدّة التيّار الكهربائيّ (A)	الكتلة (kg)	القوّة (N)	كثافة الفيض المغناطيسيّ (T)

الأسئلة

a. حوّل الكتلة إلى قوّة بعد ضربها بالمقدار 9.8 N/kg.

b. استخدم معادلة القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في سلك، لتحسب كثافة الفيض المغناطيسيّ واكتب نتيجتك في الجدول.

1. وُضع سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا ضمن مجال مغناطيسيّ كما في الشّكل أدناه. ما اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في السّلك في كلّ حالة؟



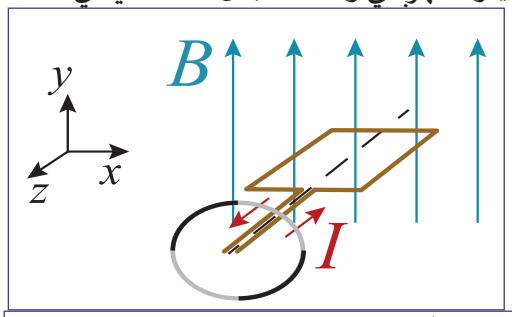
2. يحمل سلك بطول 20 m تيّارًا كهربائيًّا شدّته 300 A، تبلغ شدّة المجال المغناطيسيّ للأرض على السّلك 5.00×10^{-5} T، والزّاوية بين السّلك والمجال المغناطيسيّ للأرض 35°. احسب مقدار القوّة المؤثّرة في السّلك نتيجة للمجال المغناطيسيّ للأرض.

3. وُضع سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا بين قُطبَي مغناطيس قويّ بشكل متعامد مع المجال، بحيث يكون مقدار 4 cm من السّلك موجودًا داخل المجال المغناطيسيّ. يتأثّر السّلك بقوّة مغناطيسيّة مقدارها 2.16 N عندما يتدفّق فيه تيّار كهربائيّ شدّته 30 A. احسب كثافة الفيض المغناطيسيّ.

4. وُضع سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا شدّته 8 A ضمن مجال مغناطيسيّ شدّته 1.20 T. يبلغ طول السّلك 50 cm ويتأثّر بقوّة مغناطيسيّة مقدارها 2.4 N. احسب الزّاوية بين السّلك واتّجاه المجال المغناطيسيّ.

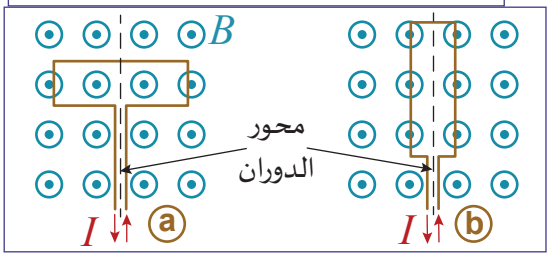
5. يُصنع سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا زاوية θ مع مجال مغناطيسيّ. كم يجب أن يكون مقدار الزّاوية لتكون القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة على السّلك صفر لجميع قيم شدة التّيّار الكهربائيّ وشدة المجال المغناطيسيّ.

6. يُوضح الشّكل المجاور حلقة تحمل تيّارًا كهربائيًّا ضمن مجال مغناطيسيّ. ما اتّجاه دوران الحلقة في الحالتين الآتيتين:



a. اتجاه التيار في الحلقة عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

b. اتجاه التيار في الحلقة مع اتجاه حركة عقارب الساعة



7. ملفّان مستطيلان مُختلفان ضمن مجال مغناطيسيّ كما في الشّكل المجاور. أي الملفين سيخضع لقوّة دوران أكبر؟ اشرح إجابتك.

ضوء على العلماء

ويليام جيلبرت: 1540-1603

الشكل 6-19 ويليام جيلبرت.

ويليام جيلبرت فيزيائيّ انجليزيّ، وطبيب مُعالِج، وفيلسوف. عُرف عنه بأنّه أوّل عالِم استقصى المغناطيسيّة مُستعينًا بالطّريقة العلميّة، وقد اكتشف امتلاك الأرض مجالًا مغناطيسيًّا ضعيفًا.

وُلِد في بلدة كولشيستر شرق انجلترا، حيث عمل والده جيروم جيلبرت موظَّفًا قضائيًّا؛ التحق وليام بكليّة سانت جونس في كامبريدج، وحاز شهادة البكالوريوس والماجستير في الفنون، ليُصبح طبيبًا في العام 1569.

بعد نيله درجته، انتقل جيلبرت إلى مدينة لندن لممارسة الطب ونال درجة الزّمالة في كليّة الأطبّاء الملكيّة، وفي العام 1600 أصبح رئيسًا لها.

كان ويليام جيلبرت شغوفًا بالمغانط وبأعمال روبرت نورمان. وخلال أدائه عمله كطبيب مُعالج، أجرى وليام تجارب على المغانط، ناشرًا كتابه "عن المغانط والأجسام المغناطيسيّة" في العام 1600، يصف فيه تجارب تُستخدَم فيها المغانط. توصَّل في دراسته إلى استنتاج مفاده أنّ البوصلة تُشير دائمًا إلى الشمال الجغرافي بسبب المجال المغناطيسيّ للأرض، وناقش أنّ مركز الأرض مُكوّن من الحديد وهو السّبب الذي يسبب انحراف البوصلة، كما اقترح أنّ الأرض تدور حول محورها وهو عكس السّائد في ذلك الوقت.

مضى جيلبرت في دراستِه عن الشّحنات الكهربائيّة السّاكنة، ويعود إليه الفضل في اختراع أوّل كشاف كهربائيّ، والذي يُسمّى فيرسوريوم. قاد عمله إلى إنتاج واستخدام مُصطلح "الكهرباء"، والمُشتقّ من كلمة "إلكترسيوس" اللّاتينيّة.

توفّي جيلبرت في العام 1603 ودُفن في بلدته كولشيستر.

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

الدرس 6-1: المجالات المغناطيسيّة

- تُستخدَم الكهرباء للحصول على مغانط مؤقته، وتُسمى **المغانط الكهربائيّة Electromagnets**.
- قد تُغيّر **القوى المغناطيسيّة Magnetic force** من مسار الشّحنات الكهربائيّة.
- يتمّ وصف شدّة المجال المغناطيسيّ من خلال **كثافة الفيض المغناطيسيّ Magnetic flux density**.
- تحتوي المُعادلة المُستخدمة في حساب كثافة الفيض المغناطيسيّ على ثابت يُسمّى **ثابت نفاذية الفراغ Permeability of free space**، وهو يُساوي $4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{T}\ m/A$.

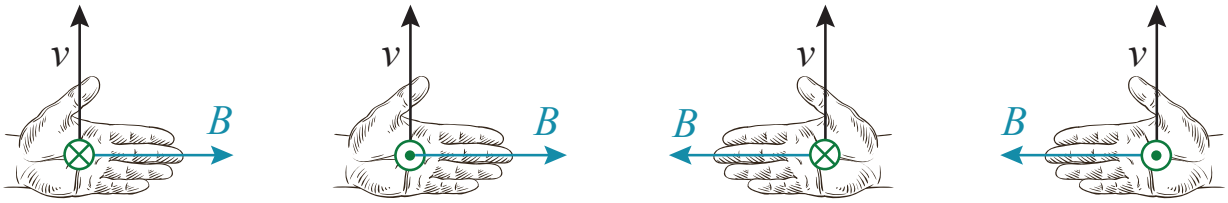
الدرس 6-2: القوة المغناطيسيّة والمحرّك الكهربائيّ

- يستخدم **المحرّك الكهربائيّ Electric motor** المجال المغناطيسيّ للمغناطيس الكهربائيّ لتحويل الطّاقة الكهربائيّة إلى طاقة ميكانيكيّة.
- **العاكس Commutator** جهاز يعكس بشكل أتوماتيكيّ اتّجاه التيّار الكهربائيّ المتدفّق في الملفّ الدّوّار للمحرّك الكهربائيّ كلّ نصف دورة.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدِّد

1. ما المُخطَّط الذي يُمثّل التّطبيق الصّحيح لقاعدة كفّ اليد اليُمنى في تحديد القوّة، F، المؤثّرة في جُسيم مشحون بشحنة كهربائيّة موجبة، q، يتحرّك بسرعة، v، بزاوية قائمة مع المجال المغناطيسيّ، B؟



.a **.b** **.c** **.d**

2. جُسَيم مشحون بشحنة كهربائيّة موجبة، q، يتحرّك بسرعة، v، صانعًا زاوية قائمة مع مجال مغناطيسيّ، B، فيتأثر الجُسيم بقوّة مغناطيسيّة، F. جُسيم آخر بشحنة، $2\ q$، يتحرّك بسرعة $2\ v$، في المجال المغناطيسيّ نفسه وبالاتّجاه نفسه. ما القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة على الجُسيم الثاني؟

.a 0.5 F

.b F

.c 2 F

.d 4 F

.e في الشّكل تُوضّح الاتّجاه الصّحيح لتدفّق التيّار الكهربائيّ واتّجاه المجال المغناطيسيّ؟

3. تدخل شحنة كهربائيّة $q = 4 \times 10^{-5}\ C$ مجالًا مغناطيسيًّا شدته $B = 2\ T$، بسرعة $v = 480\ m/s$ باتّجاه مُتعامد مع المجال المغناطيسيّ. ما مقدار القوّة التي تتأثّر بها الشّحنة خلال وجودها ضمن المجال؟

.a 2.9 N

.b 0.038 N

.c 0.96 N

.d 5.8 N

الدرس 6-1: المجالات المغناطيسيّة

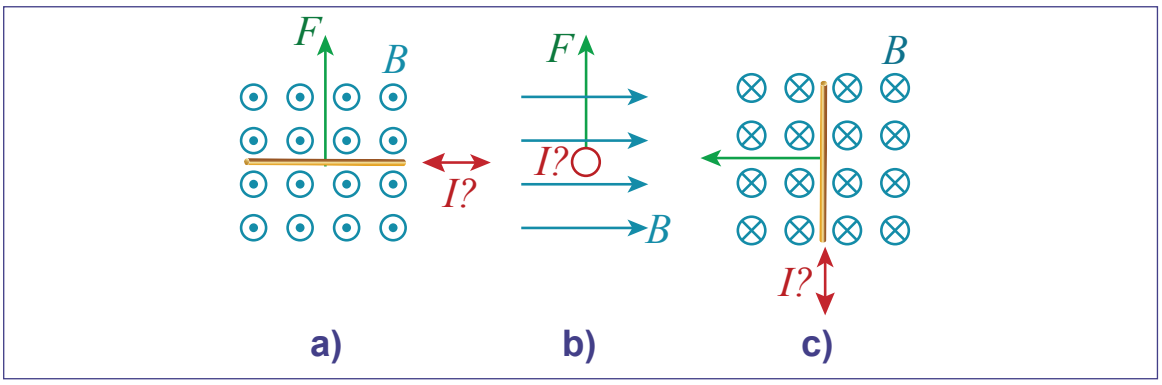
4. تنطلق بروتونات موجِبة الشّحنة لأنوية ذرّات الهيدروجين عبر الفضاء بعد قذفها من انفجار شمسيّ ضخم. تتأثر بعض هذه البروتونات بالمجال المغناطيسيّ للأرض. بافتراض أنّ البروتون يصل الغلاف الجوّيّ للأرض بسرعة 300 km/s ويتأثّر بمجال مغناطيسيّ شدّته B = 10 nT.

.a إذا كانت حركة البروتون موازية للمجال المغناطيسيّ، ما مقدار القوّة المغناطيسيّة التي يتأثّر بها؟

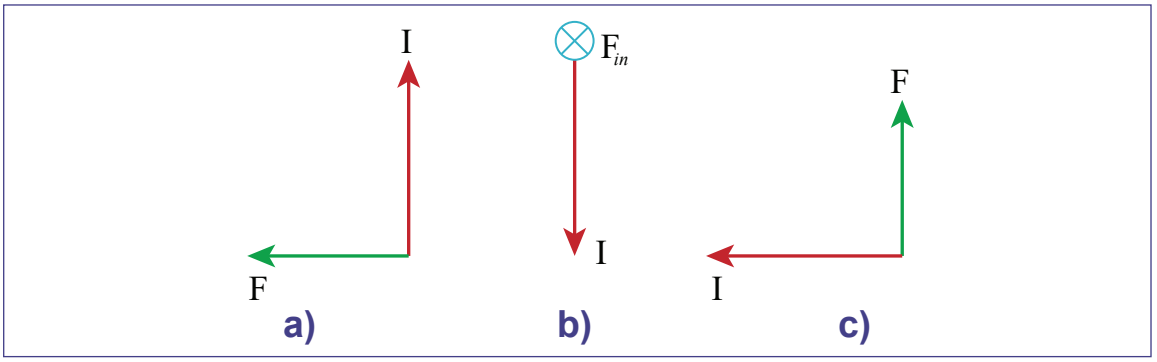
.b إذا كانت حركة البروتون تصنع زاوية قائمة مع المجال المغناطيسيّ، ما مقدار القوّة المغناطيسيّة التي يتأثّر بها؟

الدرس 2-6: القوّة المغناطيسيّة والمحرّكات الكهربائيّة

5. وُضع سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا ضمن مجال مغناطيسيّ. تُوضّح المُخطّطات أدناه اتّجاه القوّة المغناطيسيّة التي يتأثّر بها السّلك. ما اتّجاه التيّار الكهربائيّ في كلّ حالة؟



6. وُضِع سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا ضمن مجال مغناطيسيّ. تُوضّح المُخطّطات أدناه اتّجاه القوّة المغناطيسيّة التي يتأثّر بها السّلك. ما اتّجاه المجال المغناطيسيّ في كلّ حالة؟ يُمثّل رمز x اتّجاه القوّة المغناطيسيّة نحو داخل الصّفحة.



7. يصنع سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا زاوية 60° مع المجال المغناطيسيّ للأرض ذي الشدّة 5×10^{-5} T. يبلغ طول السّلك 0.75 m. احسب شدّة التيّار الكهربائيّ المتدفّق عبر السّلك إذا كان مقدار القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في السّلك 7×10^{-3} N.

مسألة للبحث

أجرِ بحثًا وناقش مميزات ونتائج استخدام المحركات الكهربائيّة في سيّارات المستقبل.

الشكر والتقدير

جميع الرسوم الفنية الواردة في هذا العمل صمَّمتها شركة تطوير العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات (STEM) في الولايات المتحدة الأميركية. وهي وحدها تملك الحق القانوني لإجازة استخدام تلك الرسوم.

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية كما أنهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

Illustration: Muhammad Farouk/Shutterstock; Photo: DnD-Production/Shutterstock; 3D image: FXartist/Shutterstock; Illustration: Alexander Sergeevich/Shutterstock; Stamp art: spatuletail/Shutterstock; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design Illustration: Designua/Shutterstock; Photo: Rabbitmindphoto/Shutterstcock; Illustration: Andrey Suslov/Shutterstock; Illustration: zffoto/Shutterstock; Photo: Ken Stocker/Shutterstock; Photo: Kobkit Chamchod/ Shutterstock 1218821710; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design Photo: Nobuhiro Asada/ Shutterstock; Photo: AjayTvm/Shutterstock; 3D Image: ktsdesign/Shutterstock; Photo: Abdelrahman Hassanein/ Shutterstock; 3D image: KateStudio/Shutterstock; Photo illustration: adike/Shutterstock; 3D image: Giovanni Cancemi/ Shutterstock; 3D Illustration: Axel_Kock/Shutterstock; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design 3D Illustration: Image Craft/Shutterstock; Photo: ThePowerPlant/Shutterstock; Photo: pogonici/Shutterstock; Photo Ton Photographer 7824/Shutterstock; Illustration: elenabsl/Shutterstock; Photo: David Evison/Shutterstock; Photo: Augustine Bin Jumat/Shutterstock; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design Illustration: Muhammad Farouk/Shutterstock 1800616687, DnD-Production/Shutterstock 278922299, 3D image: VFXartist/Shutterstock 1483410965, illustration: Alexander Sergeevich/Shutterstock 1230374893, Stamp art: spatuletail/Shutterstock 1812900445, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design, Illustration: Designua/Shutterstock 1472540423, photo: Rabbitmindphoto/Shutterstcok 1487654072, Illustration: Andrey Suslov/Shutterstock 589410938, Illustration: zffoto/Shutterstock 389695105, Photo: Ken Stocker/Shutterstock 1082226821, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design , Photo: Nobuhiro Asada/Shutterstock, 144455530, Photo: AjayTvm/Shutterstock 757231510, 3D Image: ktsdesign/Shutterstock 430949605, Photo: Abdelrahman Hassanein/Shutterstock 1230989149, 3D image: KateStudio/Shutterstock 1159868263, Photo illustration: adike/Shutterstock 1036533352, 3D image: Giovanni Cancemi/Shutterstock 76423743, 3D Illustration: Axel_Kock/Shutterstock 1625661736, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design, 3D Illustration: Image Craft/Shutterstock 1466789552, ThePowerPlant/Shutterstock 1652355403, Photo: pogonici/Shutterstock 262939175, Photo Ton Photographer 7824/Shutterstock 1074125777, Illustration: elenabsl/Shutterstock 1567621081, Photo: David Evison/Shutterstock 77061922, Photo: Augustine Bin Jumat/Shutterstock71913914, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design

Janaka Dharmasena / Shutterstock, Nasky/ Shutterstock, adike/ Shutterstock, Richard Peterson/ Shutterstock, stihii/ Shutterstock, NoPainNoGain/ Shutterstock, Teguh Mujiono/ Shutterstock, Improvisor/ Shutterstock, Jose Luis Calvo/ Shutterstock, Rattiya Thongdumhyu/ Shutterstock, Peter Hermes Furian/ Shutterstock, Sebastian Kaulitzki/ Shutterstock, VectorMine/ Shutterstock, bsd/ Shutterstock, Blamb/ Shutterstock, MikeMartin / Shutterstock, Photographee.eu/ Shutterstock, Jason Boyce/ Shutterstock, Maridav, Eugene Onischenko/ Shutterstock, CI Photos/ Shutterstock, Sergey Nivens, Vasyl Shulga/ Shutterstock, Sea Wave, Tanya Sid/ Shutterstock, belushi, / Shutterstock,Birger Olovson, Dionisvera/ Shutterstock

1.28 sportpoint / Shutterstock,ChrisVanLennepPhoto, Jacob Lund, sattahipbeach,/Shutterstock, Catalin Grigoriu/ Shutterstock, Designua/Shutterstock, LightField Studios/Shutterstock, lotan/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Pawel Graczyk/Shutterstock, Studio BKK/Shutterstock, Kateryna Kon/Shutterstock, GraphicsRF/Shutterstock, nayef hammouri/Shutterstock, adike/Shutterstock, Maridav/Shutterstock, Lukas Budinsky , Jacob Lund/Shutterstock, iPreech Studio/Shutterstock, ChiccoDodiFC/Shutterstock, Blazej Lyjak/Shutterstock, design36/Shutterstock, udaix/ Shutterstock, Animashka, electra/Shutterstock, Viktoria_P/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman Science, Emre Terim, Aksanaku/Shutterstock, Blamb/Shutterstock, Tefi/Shutterstock, icsnaps/Shutterstock, Artemida-psy/ Shutterstock, OLESHKO GANNA/ Shutterstock Aninna/Shutterstock, Public Domain/Shutterstock, Public domain/ Shutterstock, Juan Gaertner/Shutterstock, Andrey_Popov/Shutterstock, iambasic_Studio/Shutterstock, Sirirat/ Shutterstock, ibreakstock/Shutterstock, Belish, Arthur Didyk/Shutterstock, Yenyu Shih, Eugene Onischenko/ Shutterstock, Robert Przybysz/Shutterstock, matimix/Shutterstock, Alex Kravtsov/Shutterstock,Babka/Shutterstock, Makalex69/Shutterstock, illustrator graphic/Shutterstock, OSTILL is Franck Camhi, Eugene Onischenko, /Shutterstock, Sergey Nivens/Shutterstock, Alan Freed/Shutterstock, Microgen/Shutterstock,Alfredo Ottonello/Shutterstock, Dmitrydesign/Shutterstock, ZouZou (jumping/Shutterstock, alphaspirit/Shutterstock, George Rudy/Shutterstock, Kati Finell/Shutterstock, haeryung stock images/Shutterstock, sportpoint/Shutterstock, Gwoeli/Shutterstock, Fauad A. Saad/Shutterstock, Oksana Volina/Shutterstock, VectorMine/Shutterstock, sportoakimirka/Shutterstock, Sergii Chemov/ homydesign/ Ivan Sm/Shutterstock, vectorfusionart/Shutterstock, Inspiring/Shutterstock, courtyardpix/ Shutterstock, Designua/Shutterstock, Toa55/ Digital Storm/Shutterstock, David Prahi/ mezzotint/ brizmaker/ Shutterstock, Fauad A. Saad/Shutterstock, yanik88/ sportpoint/ Andrea Izzotti/Shutterstock, sezer66/ Thomas C. Altman sportpoint/Shutterstock, Mauricio Graiki/Shutterstock, Swapan Photography/ Shawn Hampel/ cloki/ Dan Thornberg/Shutterstock, Georgios Kollidas/Shutterstock, Lia Koltyrina/Shutterstock, matsabe/Shutterstock, Ksenia Raykova/Shutterstock, Bill McKelvie/Shutterstock, Andrey Burmakin/ kuruneko/ ZoranOrcik/Shutterstock, Imagesines/ Shutterstock, Diagram/Shutterstock, HelloRF Zcool/ Andrey Burmakin//Shutterstock, Alex Kravtsov/ sirtravelalot/ Suzanna Tucker/Shutterstock, Graph/Shutterstock, Gwoeii/Shutterstock, Graph/ Oleksii Sidorov/Shutterstock, sizov/ LUKinMEDIA/Shutterstock, BUY THIS/Shutterstock, Stock image/Shutterstock, TLaoPhotography/Shutterstock, TASER/Shutterstock, Roger costa morera/Shutterstock, Preto Perola/ HomeArt/Shutterstock, topimages/ NDT/ KKulikov/Shutterstock, OSTILL is Franck Camhi/ Wikipedia Ljupco Smokovski/ Alexander Kirch/ Stefan Schurr/ Jonah_H/Shutterstock, Brocreative/ Motion Arts/ Dan Thornberg/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman Science,

faboi/ TASER/ faboi/Shutterstock, Miriam Doerr Martin Frommherz/ Bjoern Wylezich/Shutterstock, Inna Bigun/ Shutterstock, Steven_Mol/Shutterstock, goffkein.pro/Shutterstock, EugenePut/ RomanVX/Shutterstock, fotoliza/ Shutterstock, IDKFA/Shutterstock, Yosanon Y/ VarnakovR/Shutterstock, Rost9/ Tyler Boyes/ Dimarion/Shutterstock, Maridav/Shutterstock, Dmitry Markov152/Shutterstock, Rudenkois/Shutterstock, Patthana Nirangkul/Shutterstock, KpixMining/ Moon Light PhotoStudio//Shutterstock, -V-/ koya979/ amfroey/ Andrey Armyagov/Shutterstock, Billion Photos/Shutterstock, Christopher Boswell/ DenisVolkov/Shutterstock, Hein Nouwens/ Dragance137/Shutterstock, Everett Collection/ BrunoRosa/ sportspoint/Shutterstock, Dennis van de Water/Shutterstock, Michael Rolands/ Shutterstock,Thomas C. Altman/Altman Science marekuliasz/ Melinda Nagy/Shutterstock, Brostock/ Digital Storm/ Shutterstock, D.Pimborough/ SolidMaks/ Stanislaw Mikulski/Shutterstock, Wikipedia, Dainis Derics/Shutterstock, Doug Lemke/Shutterstock, dotshock/Shutterstock, Dmitry Yashkin/Shutterstock, Jose L. Stephens/Shutterstock, PCHT/Shutterstock, Chokniti Khongchum/Shutterstock, BlueRingMedia/Shutterstock, Quick Shot/ J_K/ Vibrant ImageStudio/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman ScienceStudioMolekuul/Shutterstock, OlegD/Shutterstock, Rudmer Zwerver/Shutterstock, Fouad A. Saad/ dioch/Shutterstock, Magcom/ StudioMolekuul/Shutterstock, Trooper2000/Shutterstock, kwanchai.c/ inewsfoto/ Chamille White/Shutterstock, Fotokostic/Shutterstock, LuckyStep/ Shutterstock, Prill/Shutterstock, Shine Nucha/ Toa55/ Idambies/Shutterstock, Chokniti Khongchum/ Perception 7/ Shutterstock, AlexLMX/Shutterstock, Iricat/ petrroudny43/ Yuriy Seleznev/Shutterstock,

Shaijo/Shutterstock, Patrick Salsbury/ Altman Science, BalLi8Tic/Shutterstock, losmandarinas/Shutterstock, Wlad74/Shutterstock, Dudarev Mikhail/Shutterstock, VectorMine/Shutterstock, Michael Stifter/Shutterstock, Tom Wang/Shutterstock, Everett Historical/Shutterstock, PhotoHouse/Shutterstock, Callipso/Shutterstock, alice-photo/ Shutterstock, udaix/Shutterstock, Designua/Shutterstock, magnetix/Shutterstock, enzozo/Shutterstock, Designua/ Shutterstock, Vshivkova/Shutterstock, ktsdesign/Shutterstock, angellodeco/Shutterstock, Billion Photos/Shutterstock, Ody_Stocker/Shutterstock, kanyanat wongsa/Shutterstock, Zita/Shutterstock, Aha-Soft/Shutterstock, Gorodenkoff/ Shutterstock, Designua/Shutterstock, Katy Pack/ nevodka/Shutterstock, Rattiy Thongdumhyu/Shutterstock, Kateryna Kon/Shutterstock, Juan Gaertner/Shutterstock, Elena Pavlovich/ Shawn Hempel/Shutterstock, Spectral-Design/ Shutterstock, Katiekk/Shutterstock, Natali_Mis/Shutterstock, OSweetNature/Shutterstock, Soleil Nordic/Shutterstock, Dmitry Kalinovsky/ elenabsl/Shutterstock, Lorna Roberts/ THAIFINN/Shutterstock, DrimaFilm/Shutterstock, Mari-Leaf/Shutterstock, 3d_man/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Nathan Devery/Shutterstock, gritsalak karalak/ Shutterstock, Olga Rudyk/Shutterstock, petrroudny43/Shutterstock, Kapitosh/Shutterstock, Nate troyer/Shutterstock, machimorales/Shutterstock, acceptphoto/Shutterstock, Tomasz Klejdysz/Shutterstock, Kaentian Street/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Sawat Benyenngam/Shutterstock, JIANG HONGYAN/ Mvolodmyr/Shutterstock, Dr Morley Read/Shutterstock, symbiot/ sigit wiyono/ Linas T/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman Science, Fourleaflover/ Shutterstock, igorstevanovic/ HEDADZI PE/CHAN/nexusby/Shutterstock, Panchenko Vladimir/Shutterstock,

Peter Hermes Furian/Shutterstock, Everett Historical/Shutterstock, OSweetNature/Shutterstock, Triff/Shutterstock, Fouad A. Saad/Shutterstock, KanKhem/Shutterstock, Cq photo juy/Shutterstock, CandMe/Shutterstock, dani3315/ vrx/ /Shutterstock, Mishakov Valery/ sivVector/Shutterstock, Efman/Shutterstock, Art-Perfect/Shutterstock, Negro Elkha/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Benson HE/ udaix/Shutterstock, Fouad A. Saad/Shutterstock, BetterPhoto/Shutterstock, Mega Pixel/Shutterstock, StudioMolekuul/ /Shutterstock, urfin/Shutterstock, kondr. konst/Shutterstock, suteelak phundang/ shltz/Shutterstock, Aonprom Photo/Shutterstock, Andrew Balcombe/ Don Mammoser/ Vladimir Gjorgiev/Shutterstock, Richard Whitcombe/Shutterstock, Chase Dekker/Shutterstock, paulynn/ Anna Hoychuk/ Dalibro/Shutterstock, Yana Gershanik/ Lalandrew/Shutterstock, Alaettin YILDIRIM/ Shutterstock, Matej Kastelic/Shutterstock, Poring Studio/Shutterstock, g_dasha/Shutterstock, Billion Photos/ Shutterstock, shtukicrew/Shutterstock, Amy Newton-McConnel/ Ongkan/Shutterstock, bonchan/Shutterstock, MITstudio/Shutterstock,

200dgr/Shutterstock, SpelaG91/ UlrikaArt/ Luis Echeverri Urrea/Shutterstock, Rich Carey/Shutterstock, Davdeka/ Shutterstock, Newman Studio/Shutterstock,

gstraub/Shutterstock; Jenny_Tr/Shutterstock; Fer Gregory/Shutterstock; Crystal-K/Shutterstock; 3Dsculptor/ Shutterstock; ibreakstock/Shutterstock; BeataGFX/Shutterstock; ZikG/Shutterstock; focal point/Shutterstock; u3d/ Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc ;Tuba Rehman/Shutterstock; Arpon Pongkasetkam/Shutterstock; JPC-PROD/Shutterstock; Lutsenko_Oleksandr/Shutterstock; gstraub/Shutterstock; ggw/Shutterstock; Kim Christensen/Shutterstock; Blue Lemon Photo Shutterstock; StudioMolekuul/Shutterstock; botazsolti/Shutterstock; Kriengsak tarasri/Shutterstock; David Plo Caviedes/Shutterstock, Toltemara/Shutterstock; sasha2109/Shutterstock; LeysanI/Shutterstock; ggw/Shutterstock; Ajamal/Shutterstock; helfei/Shutterstock; Fablok/Shutterstock; gogoiso/ Shutterstock; HAFIZULLAHYATIM/Shutterstock; ninikas/Shutterstock; Monkey Business Images/Shutterstock; public domain , Surasak_Photo/Shutterstock; White_Fox/Shutterstock; chemistrygod/Shutterstock; SUWIT NGAOKAEW/ Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific, Inc.; StudioMolekuul/Shutterstock; Rabbitmindphoto/Shutterstock; petrroudny43/Shutterstock; kesipun/Shutterstock; wellphoto/Shutterstock; Toa55/Shutterstock; PNOIARSA/ Shutterstock; ggw/Shutterstock; Rattiya Thongdumhyu/Shutterstock; Satienpong P/Shutterstock; DariaRen/ Shutterstock; tanewpix168/Shutterstock;

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته
نرحب بكم في
موقع ومنتديات صقر الجنوب التعليمية المنهاج القطري
ويسعدنا ويشرفنا ان نستمر معكم في تقديم
كل ما هو جديد للمنهاج المحدثة المطورة ولجميع
المستويات والمواد
ملفات نجمعها من كل مكان ونضعها لكم في مكان واحد
ليسهل تحميلها
علما ان جميع ما ننشر مجاني 100%

أخي الزائر - أختي الزائرة انا دعمكم لنا هو انمامكم لنا
فهو شرف كبير لنا
صفحتنا على الفيس بوك هنا
مجموعتنا على الفيس بوك هنا
مجموعتنا على التلقرام هنا
قنواتنا على اليوتيوب هنا

جميع ملفاتنا نرفعها على مركز تحميل خاص في صقر الجنوب

نحن نسعى دائما الى تقديم كل ما هو أفضل لكم و هذا وعد منا ان شاء الله
شجعونا دائما حتى نواصل في العطاء و نسأل الله ان يوفقنا و يسدد خطانا

في حال واجهتك اي مشكلة في تحميل اي ملف من منتديات صقر الجنوب المنهاج القطري
صفحة اتصل بنا

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

قنوات تيليجرام منهاج دولة قطر الفصل الأول والثانى محدث

قناة المستوى الأول	قناة المستوى الثانى	قناة المستوى الثالث
قناة المستوى الرابع	قناة المستوى الخامس	قناة المستوى السادس
قناة المستوى السابع	قناة المستوى الثامن	قناة المستوى التاسع
قناة المستوى العاشر	قناة المستوى الحادى عشر	قناة المستوى الثانى عشر

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

قنوات اليوتيوب التعليمية للمنهاج القطري من المستوى 01-10

قناة المستوى الأول	قناة المستوى الثاني	قناة المستوى الثالث
قناة المستوى الرابع	قناة المستوى الخامس	قناة المستوى السادس
قناة المستوى السابع	قناة المستوى الثامن	قناة المستوى التاسع
قناة المستوى العاشر	قناة المستوى الحادي عشر	قناة المستوى الثاني عشر

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

مجموعات الفيس بوك للمنهاج القطرى الفصل الاول والفصل الثانى محدث

رياض الاطفال

مجموعة المستوى الأول	مجموعة المستوى الثانى	مجموعة المستوى الثالث
مجموعة المستوى الرابع	مجموعة المستوى الخامس	مجموعة المستوى السادس
مجموعة المستوى السابع	مجموعة المستوى الثامن	مجموعة المستوى التاسع
مجموعة المستوى العاشر	مجموعة المستوى الحادى عشر	مجموعة المستوى الثانى عشر

صفحتنا على الفيس بوك

الهدف الرئيسي

لمنتديات صقر الجنوب

هو

منصة تعليمية مجانية

هدفنا المنفعة ونشر العلم

نشر العلم مجاناً لكل من يطلب العلم في جميع أنحاء العالم

لا نفرض أي رسوم أو نفقات على العضويات في الموقع

علما انه مجاني بدون تسجيل عضوية

لنستمر في البقاء ان شاء الله

يمكن ان تساهم في استمرارنا والتخفيف

عنا مصاريف السيرفر والاستضافة

مهما كانت مساهمتك صغيرة أو كبيرة، لها أثر كبير في استمرار

الموقع لتقديم خدماته المجانية من ملفات حصرية ومنقولة

من خلال دعمنا على حسابنا الخاص على

من خلال الضغط هنا PayPal