KINGDOM OF BAHRAIN

Ministry of Education

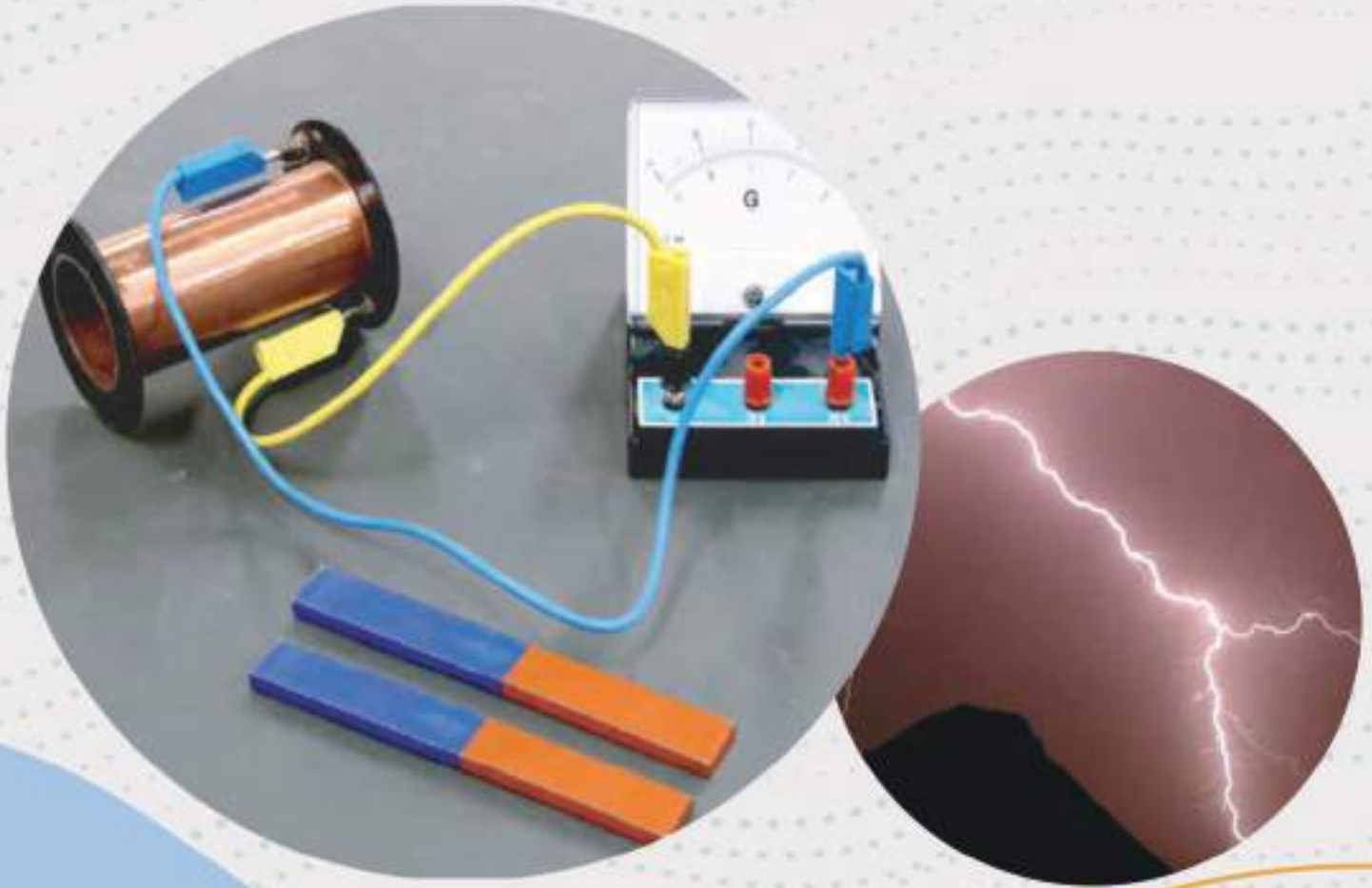
مَمْلَكَةُ البَحْرَيْن

وَزَارَةُ التَّرْبِيَةِ وَالتَّعْلِيم

فيز 312/311

الفيزياء 4

للمرحلة الثانوية



البحرين 2030 BAHRAIN

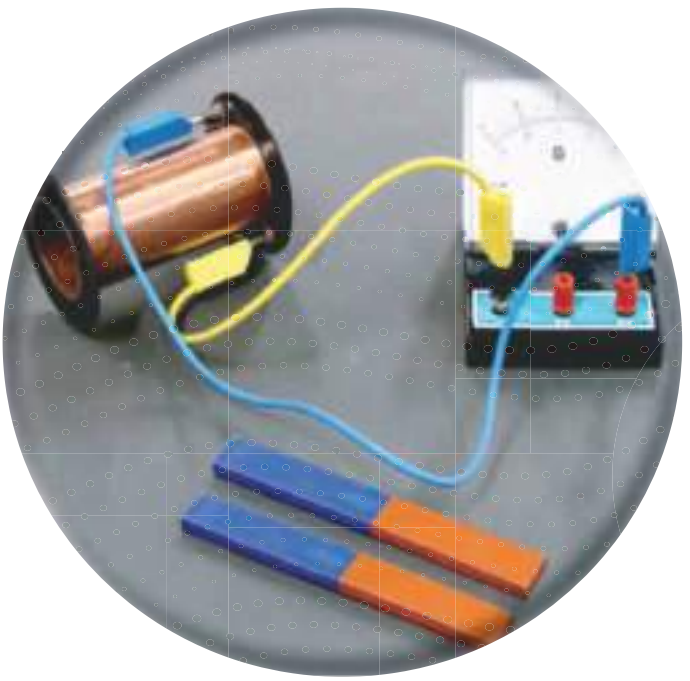
فيز311/فيز312

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد هذا الكتاب لتدريس الفيزياء 4 بمدارسها الثانوية

إدارة سياسات وتطوير المناهج

الفيزياء4

للمرحلة الثانوية



الطبعة الثالثة

1445 هـ - 2023 م

المراجعة والتطوير لهذه الطبعة

فريق متخصص من إدارة سياسات وتطوير المناهج بوزارة التربية والتعليم

www.macmillanmh.com

English Edition Copyright © 2009 the McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

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

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©، 2009م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل© 2008م/ 1429هـ.

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

حضرة صاحب الجلالة الملك حمد بن عيسى آل خليفة

ملك مملكة البحرين المعظم

المقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم

يأتي اهتمام مملكة البحرين بتطوير مناهج التعليم وتحديثها في إطار الخطة العامة للمملكة، وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الأصعدة.

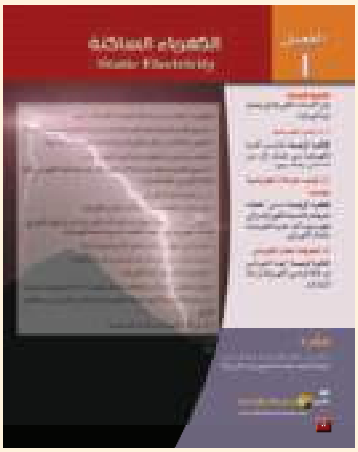
ويأتي كتاب الفيزياء4 للمرحلة الثانوية في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم، الذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم وتعلم هاتين المادتين، يكون للطالب فيه الدور الرئيس والمحوري في عمليتي التعليم والتعلّم. وقد جاء هذا الكتاب في ستة فصول شملت: الكهرباء الساكنة، والكهرباء التيارية، ودوائر التوالي والتوازي الكهربائية، والمجالات المغناطيسية، والحث الكهرومغناطيسي، والكهرومغناطيسية.

وقد جاء عرض محتوى الكتاب بأسلوب مشوق، وتنظيم تربوي فاعل، يعكس توجهات المنهج وفلسفته. وقد كتب بأسلوب يساعد الطالب على تنمية مهارات التحليل والتفسير والاستنتاج والتعبير، وذلك من خلال اهتمامه بالجانب التجريبي. كذلك اشتمل المحتوى على أنشطة متنوعة المستوى، تتسم بإمكانية تنفيذ الطلبة لها، وتراعي في الوقت نفسه مبدأ الفروق الفردية بينهم، بالإضافة إلى تضمينه صورًا وأشكالًا ورسومًا توضيحية معبرة تعكس طبيعة الفصل، مع حرص الكتاب على مبدأ التقويم التكويني في فصوله ودروسه المختلفة.

كما أكدت فلسفة الكتاب أهمية اكتساب الطالب المنهجية العلمية في التفكير والعمل، وتزويده بالمهارات العقلية والعملية الضرورية، ومنها: التجارب الاستهلالية، والتجارب العملية الأخرى، ومختبر الفيزياء، والإثراء، بالإضافة إلى حرصها على ربط المعرفة مع حياة الطالب، إلى جانب التكامل مع المواد الأخرى مثل: الرياضيات، واللغة، والتقنية، والمجتمع.

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

قائمة المحتويات



الفصل 1

الكهرباء الساكنة 8

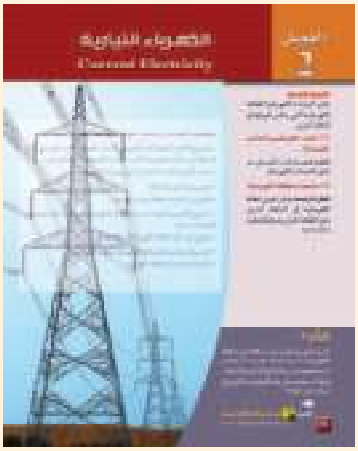
تجربة استهلالية 9

1-1 القوة الكهربائية 9

1-2 توليد المجالات الكهربائية وقياسها 16

1-3 تطبيقات المجالات الكهربائية 22

تقويم الفصل 34



الفصل 2

الكهرباء التيارية 42

تجربة استهلالية 43

2-1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية 43

2-2 استخدام الطاقة الكهربائية 54

تقويم الفصل 62

الفصل 3

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية 68

تجربة استهلالية 69

3-1 الدوائر الكهربائية البسيطة 69

3-2 تطبيقات الدوائر الكهربائية 79

تقويم الفصل 86

قائمة المحتويات

الفصل 4

المجالات المغناطيسية 92

تجربة استهلالية 93

4-1 المغانط: الدائمة والمؤقتة 93

4-2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية 102

تقويم الفصل 112

الفصل 5

الحث الكهرومغناطيسي 118

تجربة استهلالية 119

5-1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية 119

5-2 تغيّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية 127

تقويم الفصل.. 136

الفصل 6

الكهرومغناطيسية 142

تجربة استهلالية 143

6-1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة 143

6-2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء.. 148

تقويم الفصل 160

مصادر تعليمية للطالب 164

دليل الرياضيات..... 165

الجداول 196

المصطلحات 199

الفصل 1

الكهرباء الساكنة
Static Electricity

الفكرة العامة

تؤثر الشحنات الكهربائية في بعضها بقوة كهربائية.

1-1 القوة الكهربائية

الفكرة الرئيسة تتناسب القوة الكهربائية مع مقدار كل من الشحنتين والبعد بينهما.

2-1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها

الفكرة الرئيسة تسمى المنطقة المحيطة بالشحنة الكهربائية والتي تظهر فيها آثار القوة الكهربائية بالمجال الكهربائي.

1-3 تطبيقات المجال الكهربائي

الفكرة الرئيسة الجهد الكهربائي هو طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات.

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بالقوة الكهربائية(قانون كولوم، الكولوم، الشحنة الأساسية).
- تلخيص العلاقات بين القوى الكهربائية والشحنات الكهربائية والبعد بينها.
- التعرف على عددٍ من التطبيقات على القوى الكهروسكونية.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بتوليد المجالات الكهربائية وقياسها(المجال الكهربائي، خط المجال الكهربائي، نقطة التعادل).
- رسم خطوط المجال الكهربائي.
- حل مسائل متعلقة بالشحنة والمجالات والقوى الكهربائية.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بتطبيقات المجالات الكهربائية (فرق الجهد الكهربائي، الفولت، سطوح تساوي الجهد، المكثف(المواسع)، السعة الكهربائية).
- حساب فرق الجهد من خلال الشغل اللازم لتحريك شحنة.
- وصف كيفية توزيع الشحنات على الموصلات المصمتة والجوفاء.
- حل بعض المسائل على السعة الكهربائية.
- توظيف المفاهيم والمعادلات والعلاقات المتعلقة بالكهرباء الساكنة في تطبيقات رياضية.
- استخدام الأدوات والأجهزة المتعلقة بالكهرباء الساكنة لإجراء التجارب واستخلاص النتائج.
- الوعي بأهمية الكهرباء الساكنة في الحياة اليومية.

فكّر ◄

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

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

كيف تتفاعل الأجسام المشحونة عن بُعد؟

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

الخطوات

1. انفخ بالونين، ثم اربط كل منهما بخيط طوله 0.5 m
2. ادلك أحد البالونين بقميصك 8–5 مرات حتى تشحنه، ثم علّقه بخزانة أو طاولة أو غيرهما من وسائل التعليق، مستعملًا شريطًا لاصقًا لتثبيت طرف الخيط.
3. ادلك البالون الثاني بالطريقة نفسها ثم علّقه.
4. **لاحظ** قرّب البالون الثاني نحو البالون الأول ببطء، وصف سلوك البالونين. ألصق طرف خيط البالون الثاني بحيث يصبح معلّقًا بجانب البالون الأول.
5. **لاحظ** قرّب يدك من البالونين المشحونين. ماذا يحدث؟

التحليل

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

التفكير الناقد

ما الجسمان اللذان لاحظتهما سابقًا وقد أثّر أحدهما في الآخر عن بُعد؟

الفيزياء في حياتك

قد تلاحظ في بعض الأحيان أن الملابس التي يتم إخراجها من آلة تجفيف الملابس تكون ملتصقة مع بعضها بعضًا، نتيجة لتشكّل الكهرباء الساكنة على قطع الملابس التي تحتك مع بعضها البعض في البيئات الجافة، وتسمى هذه الظاهرة بالالتصاق الساكن.

تساؤلات جوهرية:

- ما العلاقة بين القوى الكهربائية والشحنات الكهربائية والبعد بينها؟
- ما قانون كولوم؟ وكيف يستخدم؟
- ما تطبيقات القوة الكهربائية؟

المفردات:

- قانون كولوم
- الكولوم
- الشحنة الأساسية

القوى الكهربائية قوى كبيرة؛ لأنه يمكنها أن تنتج بسهولة تسارعًا أكبر من التسارع الذي ينتج بفعل قوة الجاذبية الأرضية. وتعلم أن القوة الكهربائية قد تكون قوة تجاذب أو قوة تنافر. أما قوة الجاذبية الأرضية فتكون قوة تجاذب فقط، وعلى مر السنوات الماضية أجرى الكثير من العلماء محاولات عديدة لقياس القوة الكهربائية. فأجرى دانيال برنولي المعروف بأعماله المتعلّقة بالموائع عدة قياسات بسيطة عام 1760 م، وبيّن هنري كافندش في سبعينيات القرن الثامن عشر أن القوى الكهربائية يجب أن تخضع لقانون التربيع العكسي، إلا أن خجله الشديد دفعه إلى عدم نشر عمله. ولقد اكتُشِفت مخطوطاته لاحقًا بعد أكثر من قرن، بعد أن كرّر عمله علماء آخرون.

قانون كولوم Coulomb's Law

تؤثر القوة الكهربائية بين جسمين مشحونين أو أكثر. حيث تعتمد القوة على البعد بين الجسمين المشحونين؛ فكلما قرّبت مشطًا مشحونًا أكثر من قصاصات ورقية تزداد القوة الكهربائية. والأمر كذلك كلما زادت شحنة كل من الجسمين. فكيف يمكنك تغيير كمية الشحنة بطريقة محكمة أو بطريقة مسيطر عليها؟ حلّ هذه المشكلة عام 1785م الفيزيائي الفرنسي شارل كولوم؛ حيث استخدم كولوم الأدوات الموضحة في **الشكل 1–1**، وهي قضيب عازل في طرفيه كرتان صغيرتان موصلتان A و Á ، عُلّق من منتصفه بسلك رفيع. ووضعت كرة مماثلة B بصورة متصلة مع الكرة A، وعند ملامسة هاتين الكرتين بجسم مشحون تنتقل الشحنات من الجسم المشحون إلى الكرتين وتتوزع عليهما بالتساوي، حيث تكتسب الكرتان الكمية نفسها من الشحنة؛ لأن لهما مساحة السطح الخارجي نفسها. ولأن رمز الشحنة هو q لذا يمكن تمييز مقادير الشحنات على الكرتين بالرمزين: q_A و q_B.

تعتمد القوة الكهربائية على المسافة درس كولوم كيفية اعتماد القوة الكهربائية بين كرتين مشحونتين على المسافة بينهما. ففي البداية قاس كولوم بدقة مقدار القوة اللازمة لِلَيّ (فتل) سلك التعليق بزاوية معينة، ثم وضع شحنتين متساويتين على الكرتين A و B، وبدأ يغيّر المسافة r بينهما. عندها حرّكت القوة الكهربائية الكرة A، مما أدى إلى ليّ سلك التعليق، وبقياس انحراف الكرة A تمكن كولوم من حساب قوة التنافر بينهما، وأثبت أن القوة الكهربائية بين الكرتين تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزيهما.

$$F \alpha \frac{1}{r^2}$$

تعتمد القوة الكهربائية على مقدار الشحنة لاستقصاء كيفية اعتماد القوة الكهربائية على مقدار الشحنة، تعيَّن على كولوم تغيير الشحنات على الكرات بطريقة مدروسة. فشحن كولوم أولاً الكرتين A و B بالتساوي كما عمل ذلك سابقًا. ثم اختار كرة غير

الشكل 1–1 استعمل كولوم جهازًا مماثلاً لقياس القوة بين كرتين، A وB. ولاحظ انحراف الكرة A مع تغيّر المسافة بين A و B.

مشحونة C، مساحة سطحها الخارجي مماثلة للكرة B. عند ملامسة الكرة C للكرة B تتقاسم الكرتان الشحنة الموجودة على الكرة B فقط. وبما أن للكرتين مساحة السطح الخارجي نفسها، لذا تتقاسم الكرتين شحنتها الأصلية؛ وتكون شحنة الكرة B مساوية لنصف شحنة الكرة A. وبعد أن ضبط كولوم موضع الكرة B بحيث أصبحت المسافة r بين الكرتين A و B كما كانت في السابق تمامًا، لاحظ كولوم أن القوة بين الكرتين A و B أصبحت تساوي نصف قيمتها السابقة؛ أي أن القوة الكهربائية تتناسب طرديًّا مع مقدار شحنتي الجسمين.

$$F \alpha q_A q_B$$

وبعد قياسات كثيرة مماثلة لخَّص كولوم النتائج في قانون عُرف **بقانون كولوم**، ينص على أن مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بين الشحنتين q_A و q_B اللتين تفصلهما مسافة مقدارها r يتناسب طرديًّا مع مقدار كل من الشحنتين، وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما.

$$F \alpha \frac{q_A q_B}{r^2}$$

وحدة الشحنة الكهربائية: الكولوم يصعب قياس كمية الشحنة على جسم مباشرة. وقد بيّنت تجارب كولوم أنه يمكن ربط كمية الشحنة بالقوة الكهربائية، لذا تمكَّن كولوم من تعريف كمية معيارية أو قياسية للشحنة بدلالة مقدار القوة التي تولّدها. وسمّيت هذه الوحدة المعيارية للشحنة الكهربائية في النظام الدولي للوحدات SI **الكولوم** C. والكولوم الواحد يساوي مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون، ومقدار شحنة الإلكترون المفرد تساوي 1.6×10^{-19} C، ويسمّى مقدار شحنة الإلكترون **الشحنة الأساسية**. ويمكن للصاعقة أن تحمل شحنة مقدارها 5 C إلى 25 C، وحتى المواد الصغيرة –ومنها قطعة العملة المعدنية– تحتوي على شحنة سالبة قد تصل إلى 10^6 C، وهذا المقدار الهائل من كمية الشحنة السالبة لا ينتج غالبًا أي تأثيرات خارجية لأنه مُعادَل ومُوازَن بكمية شحنة موجبة مساوية له. أما إذا كانت الشحنات غير متعادلة فستتولد قوى كهربائية، وحتى لو كانت شحنة الجسم صغيرة، 10^{-9} C مثلا، فإنها يمكن أن تولّد قوى كهربائية كبيرة.

ووفق قانون كولوم، فإنه يمكن كتابة مقدار القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة q_A والناتجة بفعل تأثير الشحنة q_B التي تقع على بعد r منها على الشكل التالي:

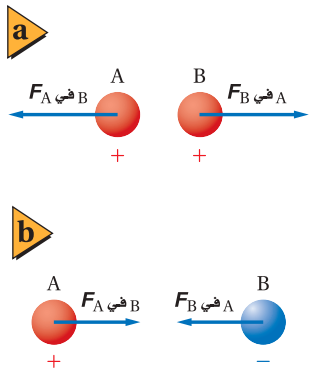
القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين تساوي ثابت كولوم مضروبًا في حاصل ضرب مقداري الشحنتين مقسومًا على مربع المسافة بينهما.

قانون كولوم $F = K \frac{q_A q_B}{r^2}$

إذا وضعت الشحنات في الهواء وقيست بوحدة الكولوم، والمسافة بينها بالأمتار، والقوة بالنيوتن، فإن ثابت كولوم (ثابت النفاذية) K يساوي 9.0×10^9 N.m^2/C^2

يُمكِّننا قانون كولوم من حساب مقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة q_A في الشحنة q_B، كما يُمكِّننا أيضًا من حساب مقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة q_B في الشحنة q_A. وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه. ويمكنك أن تلاحظ أن هذا تطبيق على القانون الثالث لنيوتن في الحركة.

القـوة الكهربائيـة كميـة متجهة، مثلها في ذلـك مثل جميع القوى الأخـرى في الطبيعة، لذا تحتاج متجهات القوة إلى تحديد المقدار والاتجاه. ولأن معادلة قانون كولوم تزوِّدنا بمقدار القوة فقط، لذا فإننا بحاجة إلى تحديد اتجاهها، ويتم ذلك برسـم مخطّط للشحنات وتفسير العلاقـات بينهـا بدقـة. فإذا قرِّب جسـمان A و B مشـحونان بشـحنتين موجبتين أحدهما إلى الآخـر، فـإن كلًّا منهما سـيؤثر في الآخر بقوة تنافر، كما في **الشـكل 2a–1**. أما إذا كان الجسـمان مشحونان بشحنتين مختلفتين، ستكون القوة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر قوة تجاذب، كما موضح في **الشكل 2b–1**.



الشكل 2–1 قاعدة تحديد اتجاه القوة هي: الشحنات المتشابهة تتنافر؛ والشحنات المختلفة تتجاذب.

استراتيجيات حل المسألة

مسائل القوة الكهربائية

استخدم هذه الخطوات لإيجاد مقدار واتجاه القوة المتبادلة بين الشحنات.

1. ارسم مخطّطًا للنظام مبيّنًا فيه المسافات والزوايا جميعها بمقياس رسم مناسب.
2. ارسم متجهات القوى في النظام.
3. استخدم قانون كولوم لإيجاد مقدار القوة.
4. استعمل مخطّطك والعلاقات المثلثية لإيجاد اتجاه القوة.
5. نفّـذ العمليـات الجبرية على كل من الأرقام والوحدات. وتحقّـق أن الوحدات متوافقة مع المتغيرات في السؤال.
6. تأمل إجابتك جيدًا، هل هي منطقية؟

مثـــال 1

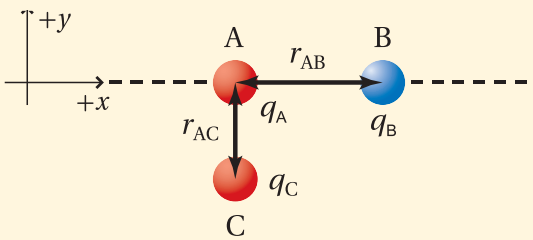
قانون كولوم في بعدين إذا كانت الكرة A مشحونة بشحنة مقدارها $+6.0\ \mu C$، وموضوعة على بُعد $4.0\ cm$ إلى يسار كرة أخرى B مشحونة بشحنة مقدارها $-3.0\ \mu C$، فأجب عما يلي:

a. احسب مقدار واتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

b. إذا وضعت كرة ثالثة C، مشحونة بشحنة مقدارها $+1.5\ \mu C$ مباشرة أسفل الكرة A، وعلى بعد $3.0\ cm$ منها، فما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- أنشئ المحاور الإحداثية، وارسم الكرات عليها.
- بيّن المسافات الفاصلة بين الكرات، وسمِّها، ودوّنها على الرسم.
- ارسم متجهات القوة، وسمِّها، ودوّنها على الرسم.



المعلوم		المجهول
$r_{AB}= 4.0\ cm$	$q_A=+6.0\ \mu C$	$F_{A\text{ في }B} = ?$
$r_{AC}= 3.0\ cm$	$q_B=-3.0\ \mu C$	$F_{A\text{ في }C} = ?$
	$q_C=+1.5\ \mu C$	$F_{\text{محصلة}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. احسب مقدار القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

$$F_{\text{A في B}} = K\frac{q_A q_B}{r^2_{AB}}$$

$$= \left(9.0 \times 10^9 N.\frac{m^2}{C^2}\right) \frac{(6.0 \times 10^{-6} C)\,(3.0 \times 10^{-6} C)}{(4.0 \times 10^{-2} m)^2}$$

$$= 1.0 \times 10^2 N$$

بالتعويض عن $q_A = 6.0\ \mu C$، $q_B = 3.0\ \mu C$

$r_{AB} = 4.0\ cm$

لأن الكرتين A و B مختلفتان في نوع الشحنة فسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A إلى اليمين.

b. احسب مقدار القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة A.

$$F_{\text{A في C}} = K\frac{q_A q_C}{r^2_{AC}}$$

$$= \left(9.0 \times 10^9 N.\frac{m^2}{C^2}\right) \frac{(6.0 \times 10^{-6} C)\,(1.5 \times 10^{-6} C)}{(3.0 \times 10^{-2} m)^2}$$

$$= 9.0 \times 10^1 N$$

بالتعويض عن $q_A = 6.0\ \mu C$، $q_c = 1.5\ \mu C$

$r_{AC} = 3.0\ cm$

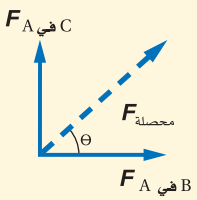
للكرتين A و C شحنتان متماثلتان، لذلك ستتنافران. وسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة A إلى أعلى.

أوجد قيمة الجمع الاتجاهي لـ $F_{\text{A في B}}$ و $F_{\text{A في C}}$ لإيجاد $F_{\text{المحصلة}}$ المؤثرة في الكرة A.

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{F^2_{A\text{ في }B} + F^2_{A\text{ في }C}}$$

$$= \sqrt{(1.0 \times 10^2 N)^2 + (9.0 \times 10^1 N)^2}$$

$$= 130\ N$$



بالتعويض عن $F_{\text{A في B}} = 1.0 \times 10^2\ N$

$F_{\text{A في C}} = 9.0 \times 10^1\ N$

$$\tan\theta = \frac{F_{A\text{ في }C}}{F_{A\text{ في }B}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{F_{A\text{ في }C}}{F_{A\text{ في }B}}$$

$$= \tan^{-1}\frac{9.0 \times 10^1 N}{1.0 \times 10^2 N}$$

$$= 42^\circ$$

بالتعويض عن $F_{A\text{ في }B} = 1.0 \times 10^2\ N$

$F_{A\text{ في }C} = 9.0 \times 10^1\ N$

$F_{\text{محصلة}} = 130\ N,\ 42^\circ$ فوق المحور السيني بزاوية مقدارها

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $(N.m^2/C^2)(C)(C)/m^2 = N)$، تُبسَّط الوحدات فتصبح نيوتن.
- **هل للاتجاه معنى؟** الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.
- **هل الجواب منطقي؟** تتفق قيمة القوة المحصلة مع مقادير مركّبات القوى.

مسائل تدريبية

1. تفصل مسافة مقدارها 0.30 m بين شحنتين؛ الأولى سالبة ومقدارها 2×10^{-4} C، والثانية موجبة ومقدارها 8.0×10^{-4} C، ما القوة المتبادلة بين الشحنتين؟
2. إذا أثرت الشحنة -6.0×10^{-6} C بقوة جذب مقدارها 65 N في شحنة ثانية تبعد عنها مسافة 0.05 m، فما مقدار الشحنة الثانية؟
3. وضعت كرة A شحنتها $+2.0\times10^{-6}$ C عند نقطة الأصل، في حين وضعت كرة B مشحونة بشحنة مقدارها -3.6×10^{-6} C عند الموقع +0.60 cm على المحور x. أما الكرة C المشحونة بشحنة مقدارها $+4.0\times10^{-6}$ C فقد وضعت عند الموقع +0.80 cm على المحور x. احسب القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.

استخدام قانون كولوم تذكّر دائمًا عند استخدام قانون كولوم، أن هذا القانون يُطبّق فقط على الشحنات النقطية أو التوزيعات الكروية المنتظمة للشحنة. وهذا يعني أنه يمكن التعامل مع كرة مشحونة وكأن كل شحنتها مجمّعة في مركزها، إذا كانت الشحنة موزعة بالتساوي على سطحها فقط. فإذا كانت الكرة موصلة وقُرِّبت إليها شحنة أخرى فإن الشحنات على الكرة ستتجاذب أو تتنافر مع هذه الشحنة، حيث لن تؤثر شحنة الكرة في هذه الحالة كما لو كانت مجمّعة في مركزها. لذا، يجب أخذ أبعاد الكرتين المشحونتين والبعد بين مركزيهما بعين الاعتبار قبل تطبيق قانون كولوم. والمسائل المطروحة في هذا الكتاب تفترض أن أبعاد الكرات المشحونة صغيرة جداً بالنسبة للمسافات بينهما و، بحيث يمكن اعتبارها شحنات نقطية، ما لم يذكر خلاف ذلك. أما إذا كانت الأجسام المشحونة أسلاكًا طويلة أو ألواحًا مستوية وجب تعديل قانون كولوم ليناسب توزيعات غير نقطية من الشحنات.

تطبيقات القوى الكهروسكونية
Applications of Electrostatic Forces

هناك العديد من تطبيقات القوى الكهربائية على الجسيمات. فمثلاً، تستطيع هذه القوى

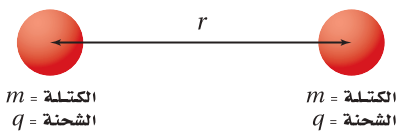
الشكل 3–1. يمكن استعمال مرشّحات الترسيب الكهروسكوني لتقليل السناج المتصاعد من احتراق الوقود الأحفوري.

تجميع السناج من المداخن، ومن ثم تقليل تلوث الهواء، كما هو موضح في **الشكل 3–1**، كما يمكن شحن قطرات الطلاء الصغيرة جدًّا بالحث، واستعمالها لطلاء السيارات وأجسام أخرى بصورة منظمة وموحدة جدًّا. وتستخدم آلات التصوير الفوتوجرافي الكهرباء الساكنة لوضع الحبر الأسود على الورق، بحيث يتم نسخ صورة طبق الأصل للوثيقة الأصلية. وفي حالات أخرى تُركِّز التطبيقات على التحكم في الشحنة الساكنة، فمثلًا يمكن للشحنة الساكنة أن تتلف فيلمًا إذا جذبت غبارًا، كما يمكن أن تتعطل بعض المعدات الإلكترونية عند حدوث تفريغ مفاجئ للشحنة الساكنة. لذا تصمّم التطبيقات في هذه الحالات لتجنّب تراكم الشحنة الساكنة، وإزالة أي شحنة قد تتراكم بطريقة آمنة.

مسألة تحدٍ

يبين الشكل المجاور كرتين لهما الكتلة نفسها m، وشحنة كل منهما $+q$، والبعد بين مركزيهما يساوي r، أجب عما يلي:

1. اشتق تعبيرًا للشحنة q التي يجب أن تكون على كلٍ من الكرتين لكي تكونا في حالة اتزان. افترض أن هناك اتزان بين قوتي الجاذبية والتنافر الكهربائية بين الشحنتين.
2. إذا تضاعفت المسافة بين الكرتين فكيف يؤثر هذا في قيمة الشحنة q التي حدّدتها في المسألة السابقة؟ وضّح ذلك.
3. إذا كانت كتلة كل كرة تساوي 1.50 kg فحدّد قيمة الشحنة التي ينبغي أن تكون موجودة على كل كرة للحفاظ على حالة الاتزان.



1–1 مراجعة

4. **القوة والشحنة** كيف ترتبط القوة الكهربائية بالشحنة؟ صِف القوة عندما تكون الشحنات متشابهة، وصِفها عندما تكون الشحنات مختلفة.
5. **القوة والمسافة** كيف ترتبط القوة الكهربائية مع المسافة؟ وكيف تتغير القوة إذا تضاعفت المسافة بين شحنتين ثلاث مرات؟
6. **القوى الكهربائية** كرتان A وB مشحونتان، المسافة بين مركزيهما r. إذا كانت شحنة الكرة A تساوي $+3\ \mu C$ وشحنة الكرة B تساوي $+9\ \mu C$، فقارن بين القوة التي تؤثر بها الكرة A في الكرة B والقوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.
7. **التفكير الناقد** افترض أنك تختبر صحة قانون كولوم باستخدام كرة بلاستيكية صغيرة موجبة الشحنة وكرة فلزية كبيرة موجبة الشحنة. فوفق قانون كولوم، تتناسب القوة مع $\frac{1}{r^2}$، حيث تمثل r المسافة بين مركزي الكرتين. ولكن عند تقريب الكرتين إحداهما إلى الأخرى وجِدَ أن القوة بينهما أصغر مما هو متوقع من قانون كولوم. وضح ذلك.

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

1–2 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

الفيزياء في حياتك

ما الصورة التي تتشكل في ذهنك عند سماع مصطلح المجال الكهربائي؟ عند رؤيتك لمولد فان دي جراف في أثناء تشغيله، وتخيلك لشخصٍ يلمسه، فقد تلاحظ تنافر شعر الشخص بعضه عن بعض.

تساؤلات جوهرية:

- ما المجال الكهربائي؟
- كيف ترتبط الشحنة والقوة الكهربائية والمجال الكهربائي معًا؟
- كيف يمكن التعبير عن المجالات الكهربائية بالرسوم والنماذج؟

المفردات:

- المجال الكهربائي
- خط المجال الكهربائي
- نقطة التعادل

تشبه القوة الكهربائية قوة التجاذب الكتلي التي درستها سابقًا؛ حيث تتناسب القوة الكهربائية عكسيًّا مع مربع المسافة بين جسمين نقطيين مشحونين، كما تؤثر القوتان عن بُعد من مسافات كبيرة نسبيًّا، فكيف يمكن لقوةٍ ما التأثيرُ خلال ما يبدو أنه حيز فارغ (الفراغ)؟ لتفسير ذلك، اقترح مايكل فاراداي – بسبب أن الجسم A المشحون كهربائيًّا يؤثر بقوة في جسم آخر B مشحون كهربائيًّا عندما يكون موضوعًا في أي مكان في الفراغ أو الوسط – أن الجسم A يجب أن يغيّر بطريقةٍ ما من خصائص ذلك الوسط. وسيستشعر الجسم B بطريقةٍ ما ذلك التغيرَ في الفراغ أو الوسط، وسيتأثر بقوة ناجمة عن التغير في خصائص الوسط في موقعه. وأطلق على تغير خاصية الوسط اسم المجال الكهربائي. إن المجال الكهربائي لا يعني التفاعل بين جسمين عن بُعد، بل يعني التفاعل بين الجسم والمجال الكهربائي عند موقع الجسم، ويطلق على المنطقة المحيطة بأي جسم مشحون التي تظهر فيها آثار القوى الكهربائية اسم **المجال الكهربائي**.

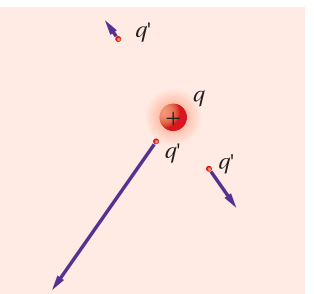
يمكن للقوى التي تؤثر بها المجالات الكهربائية أن تبذل شغلاً، فتنتقل الطاقة من المجال إلى جسم آخر مشحون. وأنت تستخدم هذه الطاقة يوميًّا؛ سواءً وصلت جهازًا كهربائيًّا بقابس، أو استعملت جهازًا كهربائيًّا متنقلاً يعمل ببطارية. ستتعلم في هذا الفصل المزيد حول المجالات والقوى والطاقة الكهربائية.

المجال الكهربائي The Electric Field

كيف يمكن قياس شدة المجال الكهربائي؟ ضع جسيمًا صغيرًا مشحونًا في موقع معين. إذا كان هناك أي قوة كهربائية تؤثر فيه فسوف يكون هناك مجال كهربائي في ذلك الموقع. تسمّى هذه الشحنة الموجبة الموجودة على الجسيم الصغير والتي استعملت لاختبار المجال شحنةَ الاختبار، ويجب أن تكون هذه الشحنة صغيرة بحيث تتأثر بالشحنات الأخرى ولا تؤثر فيها.

قياس (تحديد) شدة المجال الكهربائي لاحظ **الشكل 4–1** الذي يوضّح جسمًا مشحونًا بشحنة مقدارها q. وافترض أنك وضعت شحنة الاختبار الموجبة في نقطة معينة، ولتكن النقطة A مثلاً، ثم حسبت القوة $\boldsymbol{F}$. ستتناسب هذه القوة طرديًّا مع مقدار شحنة الاختبار q' وفق قانون كولوم؛ أي أنه إذا تضاعفت الشحنة ستتضاعف القوة كذلك، لذا تبقى النسبة بين القوة والشحنة ثابتة. وإذا قسمت القوة $\boldsymbol{F}$ على شحنة الاختبار q' ستحصل على كمية متجهة $\boldsymbol{F}/q'$. وهذه الكمية لا تعتمد على شحنة الاختبار، وإنما تعتمد فقط على كل من القوة $\boldsymbol{F}$ وموقع النقطة A. ويعبّر عن شدة المجال الكهربائي عند النقطة A؛

- خطوط المجال الكهربائي باللون النيلي.
- الشحنة الموجبة باللون الأحمر.
- الشحنة السالبة باللون الأزرق.



الشكل 4–1 تُستخدم الأسهم لتمثيل مقدار واتجاه المجال الكهربائي المتولّد حول شحنة كهربائية عند مواقع مختلفة.

أي النقطة التي تمثل موقع شحنة الاختبار بالمعادلة التالية:

شدة المجال الكهربائي تساوي مقدار القوة المؤثرة في شحنة مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.

شدة المجال الكهربائي $\mathbf{E = \frac{F}{q}}$

متجهات المجال

ويكون اتجاه المجال الكهربائي في نفس اتجاه القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة. وتقاس شدة المجال الكهربائي بوحدة نيوتن/ كولوم (N /C).

يمكن تكوين صورة للمجال الكهربائي باستعمال الأسهم لتمثيل متجهات المجال عند مواقع مختلفة، كما هو موضح في **الشكل 4–1**. حيث يستخدم طول السهم لبيان شدة المجال، أما اتجاه السهم فيمثل اتجاه المجال. ولإيجاد المجال الكهربائي الناشئ عن شحنتين عند نقطةٍ ما، يتم إيجاد المجال الكهربائي الناشئ عن كل شحنة على انفراد عند تلك النقطة، ثم يُجمع هذان المجالان جمعًا متجهًا. وتستخدم شحنة اختبار موجبة وصغيرة لرسم المجال الناشئ عن أي تجمّع للشحنات. ويوضح **الجدول 1–1** قيم المجالات الكهربائية المثالية الناتجة عن تجمعات معينة للشحنات.

الجدول 1-1

القيم التقريبية لمجالات كهربائية مثالية

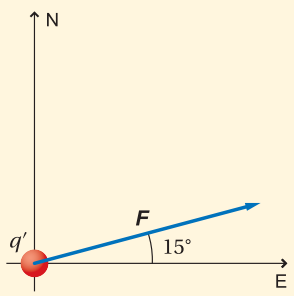
المجال	المقدار (N/C)
بالقرب من قضيب مطاط صلب ومشحون	1×10^{3}
في أنبوب الأشعة المهبطية في التلفاز	1×10^{5}
لإحداث شرارة كهربائية في الهواء	3×10^{6}
عند مدار إلكترون ذرة الهيدروجين	3×10^{11}

مثـــــال 2

شدة المجال الكهربائي قِيس مجال كهربائي في الهواء باستخدام شحنة اختبار موجبة مقدارها $3.0\times10^{-6}\ C$، فتأثرت هذه الشحنة بقوة مقدارها 0.12 N في اتجاه يميل بزاوية 15° شمال الشرق. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم شحنة الاختبار q'.
- حدّد نظام إحداثيات على أن يكون مركزه شحنة الاختبار.
- ارسم متجه القوة بزاوية 15° شمال الشرق.



المعلوم	المجهول
$q' = +3.0\times10^{-6}\ C$	$E = ?$
$F = 0.12\ N$ بزاوية 15° شمال الشرق	

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$E = \frac{F}{q'}$$

بالتعويض عن $F = 0.12\ N$ ،$q' = 3.0 \times 10^{-6}\ C$

$$= \frac{0.12\ N}{3.0 \times 10^{-6}\ C}$$

$$= 4.0 \times 10^{4}\ N/C$$

إن كلًّا من القوة المؤثرة في شحنة الاختبار والمجال الكهربائي في الاتجاه نفسه.

$\mathbf{E} = 4.0 \times 10^{4}\ N/C$ ويميل بزاوية 15° شمال الشرق

3 تقويم الجواب

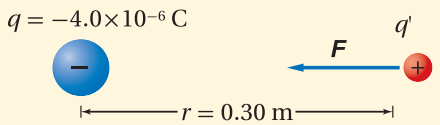
- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة قياس شدة المجال الكهربائي N/C.
- **هل للاتجاه معنى؟** اتجاه المجال في اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة نفسه؛ وذلك لأن شحنة الاختبار موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة المجال تتفق مع القيم الموجودة في **الجدول 1-1**.

مثـــــال 3

شدة المجال الكهربائي ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 0.30 m عن يمين كرة صغيرة مشحونة بشحنة مقدارها $-4.0 \times 10^{-6}\ C$؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الكرة، وبيّن شحنتها q وشحنة الاختبار q' على الرسم.
- حدّد المسافة بين الشحنتين، وسمِّها.
- ارسم متجه القوة المؤثرة في شحنة الاختبار q'، وسمِّه.



المعلوم	المجهول
$q = -4.0 \times 10^{-6}\ C$	$\mathbf{E} = ?$
$r = 0.30\ m$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

إن مقدار كلٍّ من القوة وشحنة الاختبار مجهول، لذا استخدم قانون المجال الكهربائي وقانون كولوم معًا.

$$E = \frac{F}{q'}$$

بالتعويض عن $F = K\frac{qq'}{r^2}$

$$= K\frac{qq'}{r^2 q'}$$

$$= K\frac{q}{r^2}$$

بالتعويض عن $q = -4.0 \times 10^{-6}\ C$
$r = 0.30\ m$ ،$K = 9.0 \times 10^{9}\ N.m^2/C^2$

$$= (9.0 \times 10^{9}\ N.m^2/C^2)\frac{(4.0 \times 10^{-6}\ C)}{(0.30\ m)^2}$$

$$= 4.0 \times 10^{5}\ N/C$$

$\mathbf{E} = 4.0 \times 10^{5}\ N/C$ في اتجاه الكرة أو في اتجاه اليسار

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $N/C = (N.m^2/C^2)(C)/m^2$. تكون الوحدات الناتجة N/C وهي صحيحة لشدة المجال الكهربائي.
- **هل للاتجاهات معنى؟** يمثل اتجاه المجال الكهربائي مسار حركة شحنة الاختبار الموجبة بإتجاه الشحنة السالبة بسبب قوة التجاذب.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة المجال متفقة مع القيم الموجودة في **الجدول 1–1**.

مسائل تدريبية

8. وُضِعت شحنة سالبة مقدارها $2.0\times10^{-8}\ C$ في مجال كهربائي، فتأثرت بقوة مقدارها $0.060\ N$ في الهواء في اتجاه اليمين. ما مقدار واتجاه المجال الكهربائي عند موقع الشحنة؟

9. وُضِعت كرة بيلسان وزنها $2.1\times10^{-3}\ N$ في مجال كهربائي شدته $6.5\times10^{4}\ N/C$، يتجه رأسيًّا إلى أسفل. ما مقدار ونوع الشحنة التي يجب أن توضع على الكرة، بحيث توازِن القوة الكهربائية المؤثرة فيها قوة الجاذبية الأرضية، وتبقى الكرة معلّقة في المجال؟

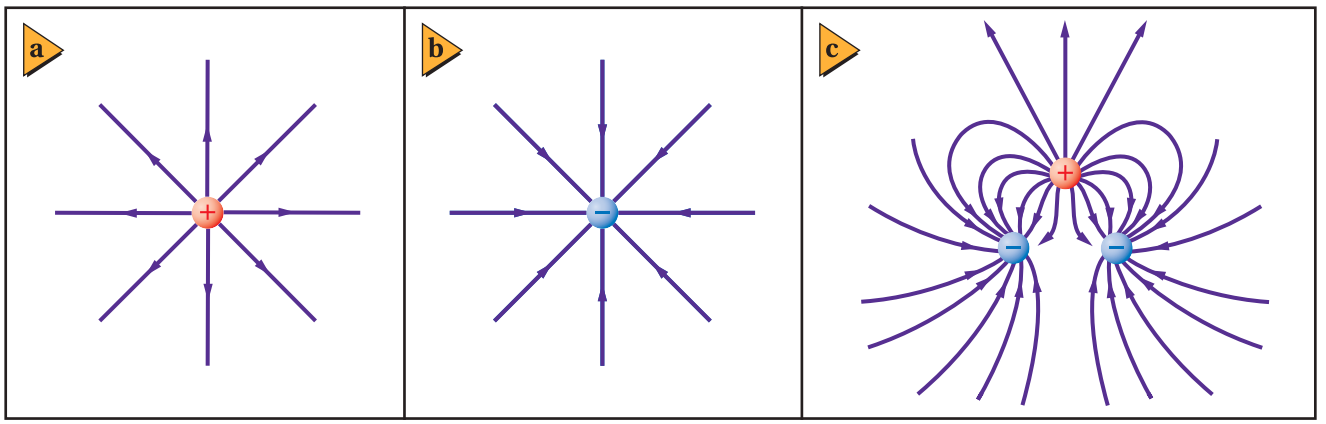
10. يفحص زيد المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة مجهولة المقدار والنوع. فيرسم أولاً المجال بشحنة اختبار مقدارها $1.0\times10^{-6}\ C$، ثم يكرّر عمله بشحنة اختبار أخرى مقدارها $2.0\times10^{-6}\ C$

a. هل يحصل زيد على القوى نفسها في الموقع نفسه عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضّح إجابتك.

b. هل يجد زيد أن شدة المجال هي نفسها عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضّح إجابتك.

تمثيل المجال الكهربائي Picturing the Electric Field

خطوط المجال الكهربائي يُظهر الرسم في **الشكل 5–1** شكل خطوط المجال الكهربائي. وكل خط من هذه الخطوط المستخدمة لتمثيل المجال الكهربائي الفعلي في الفراغ أو الوسط المحيط بالشحنة يسمى **خط المجال الكهربائي (خط القوة)**، ويمثل كل خط منها مسار شحنة اختبار موجبة وصغيرة. ويكون اتجاه المجال الكهربائي عند أي نقطة هو اتجاه المماس المرسوم على خط المجال عند تلك النقطة. وتشير المسافات الفاصلة بين خطوط المجال الكهربائي إلى شدة المجال الكهربائي؛ فكلما كانت هذه الخطوط متقاربة كان المجال الكهربائي قويًّا، وكلما تباعدت الخطوط بعضها عن بعض كان المجال الكهربائي ضعيفًا. وقد مُثّلت خطوط المجال هنا في بُعدين، إلا أنها – في الحقيقة – تنتشر في ثلاثة أبعاد.

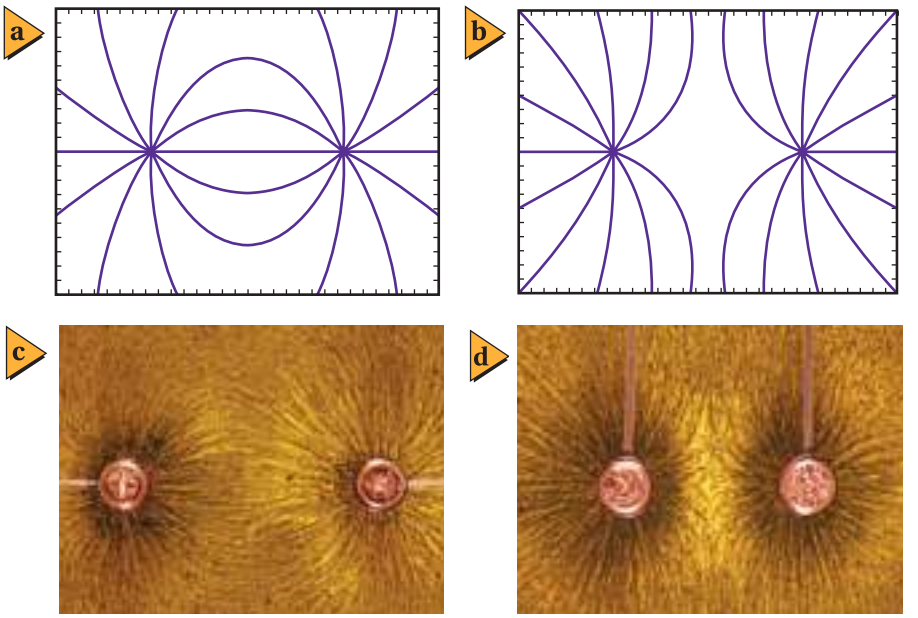


الشكل 1–5 رُسمت خطوط القوى بصورة متعامدة خارجة من جسم شحنته موجبة (a)، ورُسمت بصورة متعامدة داخلة إلى جسم شحنته سالبة (b). ورُسمت خطوط المجال الكهربائي بين جسمين سالبي الشحنة وآخر ذي شحنة موجبة (c).

يكون اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة موجبة في اتجاه الخط الذي يكون مبتعدًا عن الشحنة الموجبة؛ أي في اتجاه الخط الخارج منها. لذا تنتشر خطوط المجال شعاعيًّا إلى الخارج مثل أسلاك إطار الدراجة الهوائية، كما هو موضّح في **الشكل 1–5a**. أما اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة سالبة فيكون في اتجاه الخط المقترب من الشحنة السالبة؛ أي في اتجاه الخط الداخل إليها، كما موضح في **الشكل 1–5b**. وعندما يكون هناك شحنتان أو أكثر فإن المجال الناتج يكون الجمع الاتجاهي للمجالات الناتجة عن هذه الشحنات، وعندها تصبح خطوط المجال منحنية وأنماطها أكثر تعقيدًا، كما هو موضح في **الشكل 1–5c**. لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي تخرج دائمًا من الشحنة الموجبة وتدخل إلى الشحنة السالبة، ولا يمكن أن تتقاطع مطلقًا.

مولد فان دي جراف استخدام قانون كولوم ابتكر روبرت فان دي جراف في ثلاثينيات القرن العشرين مولّد الكهرباء الساكنة ذا الفولتية الكبيرة الموضح في **الشكل 1–6a**. وهو جهاز يعمل على نقل كميات كبيرة من الشحنة الكهربائية من جزء محدّد من الآلة إلى طرفها العلوي الفلزي. ويتم ذلك بنقل الشحنة إلى حزام متحرك عند قاعدة الجهاز، عند الموضع A، ثم تنتقل هذه الشحنات من الحزام إلى القبة الفلزية في الأعلى عند الموضع B. ويبذل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي. وسيُشحن الشخص كهربائيًّا عندما يلمس قُبّة مولّد فان دي جراف الفلزية، حيث تؤدي هذه الشحنات إلى تنافر شعر الشخص بعضه عن بعض، مسبّبًا تغيّر اتجاهه، فيصبح اتجاه الشعر في اتجاه خطوط المجال الكهربائي كما هو موضح في **الشكل 1–6b**.

الشكل 1–6 في مولّد فان دي جراف (a)، تنتقل الشحنات إلى الحزام المتحرك عند النقطة A، ثم تنتقل من الحزام المتحرك إلى القبّة الفلزية عند B. ويبذل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي. وعندما يلمس شخص معزول قبّة مولّد فان دي جراف تكون النتائج مثيرة (b).



■ **الشكل 7–1** خطوط القوة بين الشحنات المختلفة (**c**، **a**)، وبين الشحنات المتشابهة (**d**، **b**) تصف سلوك جسم مشحون بشحنة موجبة في مجال كهربائي. والصورتان في الأعلى هما رسم تصويري لخطوط المجال الكهربائي تم تنفيذه بالحاسوب.

هناك طريقة أخرى لتمثيل خطوط المجال الكهربائي تتلخص في استخدام بذور أعشاب في سائل عازل، مثل الزيت المعدني (زيت السيارات). حيث تؤدي القوى الكهربائية إلى تدوير البذور بحيث تصطف في اتجاه المجال الكهربائي، ومن ثم تشكل نمطًا لخطوط المجال الكهربائي، كما هو موضّح في **الشكل 7–1**. وتسمى النقطة التي تنعدم عندها خطوط المجال الكهربائي **نقطة التعادل**، حيث لا تتأثر الشحنة الموضوعة في هذه النقطة بأي قوة كهربائية. وخطوط المجال الكهربائي خطوط وهميّة لا وجود لها في الواقع، وهي وسيلة لتقديم نموذج للمجال الكهربائي. أما المجالات الكهربائية فهي موجودة. وعلى الرغم من أنها توفّر طريقة لحساب القوة المؤثرة في جسم مشحون؛ إلا أنها لا توضح لماذا تؤثر الأجسام المشحونة بعضها في بعض بقوًى.

2–1 مراجعة

11. **قياس المجالات الكهربائية** افترض أنه طلب إليك قياس المجال الكهربائي في مكان أو فضاء معين، فكيف تستكشف وجود المجال عند نقطة معينة في ذلك الفضاء؟ وكيف تحدّد مقدار المجال؟ وكيف تختار مقدار شحنة الاختبار؟ وكيف تُحدِّد اتجاه المجال؟
12. **شدة المجال واتجاهه** تؤثر قوة كهربائية مقدارها $1.50\times10^{-3}\ \text{N}$ في اتجاه الشرق في شحنة اختبار موجبة مقدارها $2.40\times10^{-8}\ \text{C}$، أوجد المجال الكهربائي في موقع شحنة الاختبار.
13. **خطوط المجال الكهربائي** في **الشكل 7–1**، هل يمكنك تحديد أيّ الشحنتين موجبة، وأيّهما سالبة؟ ماذا تضيف لإكمال خطوط المجال؟
14. **المجال مقابل القوة** كيف يختلف تأثير المجال الكهربائي **E** في شحنة اختبار عن تأثير القوة ***F*** في شحنة الاختبار نفسها؟
15. **التفكير الناقد** افترض أن الشحنة العلوية في **الشكل 5c–1** هي شحنة اختبار موضوعة في ذلك المكان؛ لقياس محصلة المجال الناشئ عن الشحنتين السالبتين. هل الشحنة صغيرة بدرجة كافية للقيام بعملية القياس بدقة؟ وضّح إجابتك.

إن مفهوم الطاقة مفيد جدًّا في الميكانيكا، كما تعلمت من قبل. ويمُكِّننا قانون حفظ الطاقة من حل مسائل الحركة دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل القوى المؤثرة. وينطبق الشيء نفسه على دراسة التفاعلات الكهربائية؛ فقد يؤدي الشغل المبذول في تحريك جسيم مشحون في مجال كهربائي إلى اكتساب هذا الجسيم طاقة وضع كهربائية أو طاقة حركية أو كليهما معًا. ولأن موضوعات هذا الفصل تستقصي الشحنات الساكنة، لذا سيتم مناقشة التغير في طاقة الوضع فقط.

الفيزياء في حياتك

تستخدم في الطب العديد من الأجهزة التي تستخدم لرصد النشاط الكهربائي في جسم الإنسان، فمثلاً يستخدم جهاز (ECG)لتخطيط القلب، ويستخدم جهاز (EEG) لتخطيط النشاط الكهربائي للدماغ.

تساؤلات جوهرية :

- ما فرق الجهد الكهربائي؟
- كيف يرتبط فرق الجهد بالشغل اللازم لنقل شحنة كهربائية بين نقطتين؟
- ما الخصائص التي تتصف بها المكثفات؟

المفردات :

- فرق الجهد الكهربائي
- الفولت
- سطوح تساوي الجهد
- المكثف(المواسع)
- السعة الكهربائية

الطاقة والجهد الكهربائيان Energy and Electric Potential

تذكّر التغير في طاقة وضع الجاذبية لكرة عند رفعها، كما هو موضّح في **الشكل 8–1**. إن كلًّا من قوة الجاذبية $\boldsymbol{F}$ ومجال الجاذبية $\boldsymbol{g} = \frac{\boldsymbol{F}}{m}$ يتجهان نحو الأرض. فإذا رفعت كرة في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية، فإنك تبذل شغلًا عليها، مما يؤدي إلى زيادة طاقة وضعها.

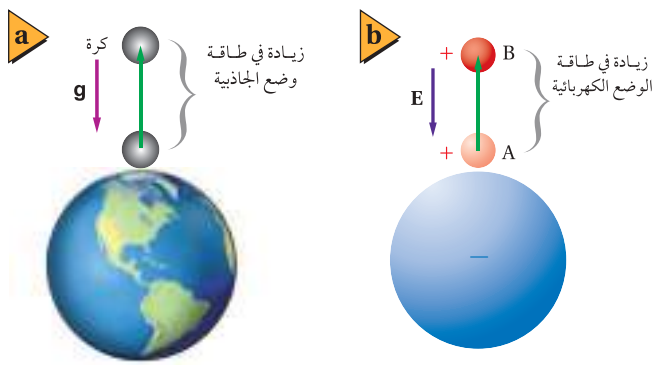
وهذه الحالة مماثلة لحالة شحنتين مختلفتين في النوع؛ حيث تجذب كل منهما الأخرى، لذا يجب أن تبذل شغلًا لسحب إحدى الشحنتين، وإبعادها عن الأخرى. وعندما تبذل ذلك الشغل تكون قد نقلت طاقة إلى الشحنة، حيث تختزن هذه الطاقة فيها على شكل طاقة وضع كهربائية، وكلما زاد مقدار الشحنة، كانت الزيادة في طاقة وضعها الكهربائية $\Delta \mathrm{PE}$ أكبر.

على الرغم من اعتماد القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار q' على مقدارها، إلا أن المجال الكهربائي في موقعها لا يعتمد عليها؛ حيث إن شدة المجال الكهربائي $\mathbf{E} = \frac{\boldsymbol{F}}{q'}$ هي القوة لكل وحدة شحنة. وبطريقة مشابهة يُعرّف **فرق الجهد الكهربائي** ΔV بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بين نقطتين داخل مجال كهربائي مقسومًا على مقدار شحنة الاختبار.

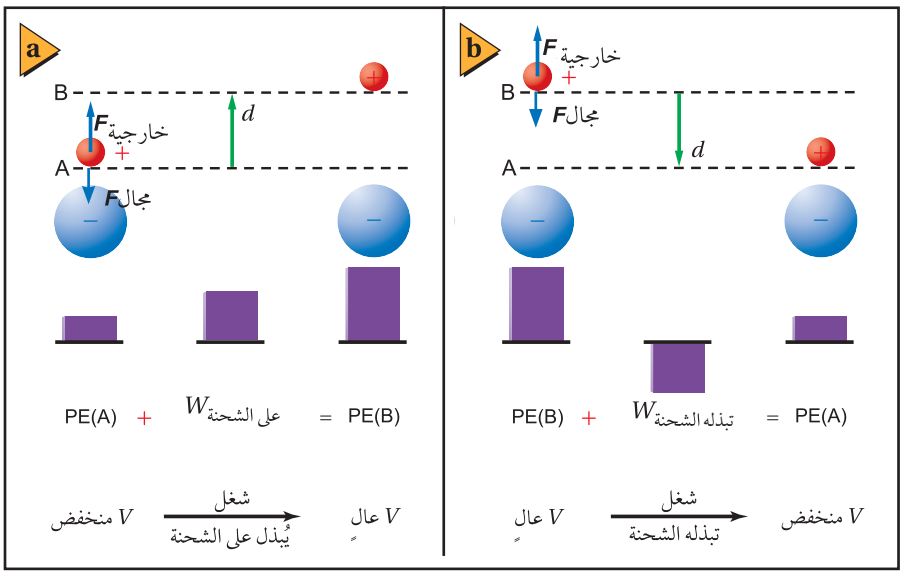
الفرق في الجهد الكهربائي هو النسبة بين الشغل اللازم لتحريك شحنة ومقدار تلك الشحنة.

فرق الجهد الكهربائي $\Delta V = \frac{W}{q}$

ويقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة جول لكل كولوم، ويسمّى الجول الواحد لكل كولوم **الفولت** $V = \mathrm{J/C}$.



الشكل 8–1 هناك حاجة إلى بذل شغل لتحريك جسم في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية الأرضية (a)، وفي اتجاه معاكس للقوة الكهربائية (b). وفي كلتا الحالتين ستزداد طاقة وضع الجسم.



■ **الشكل 9–1** يُحسب فرق الجهد الكهربائي من خلال قياس الشغل المبذول لكل وحدة شحنة. يزداد فرق الجهد الكهربائي عند إبعاد الشحنات المختلفة بعضها عن بعض (**a**). ويقل فرق الجهد الكهربائي عند تقريب الشحنات المختلفة بعضها إلى بعض (**b**).

فرق الجهد الكهربائي الموجب ادرس الحالة الموضّحة في **الشكل 9–1**، حيث تُولّد الشحنة السالبة مجالاً كهربائيًّا متجهًا نحوها. افترض أنك وضعت شحنة اختبار صغيرة موجبة عند النقطة A، ستتأثر عندها شحنة الاختبار بقوة في اتجاه المجال $\boldsymbol{F}$. وإذا حرّكت الآن شحنة الاختبار الموجبة بسرعة منتظمة بعيدًا عن الشحنة السالبة إلى النقطة B، كما هو موضّح في **الشكل 9a–1**، فعليك التأثير فيها بقوة $\boldsymbol{F}_{\text{خارجية}}$. ولأن اتجاه القوة التي أثرت بها في شحنة الاختبار في اتجاه الإزاحة نفسه، لذا سيكون الشغل الذي بذلته على هذه الشحنة موجبًا. وسيكون التغير في فرق الجهد الكهربائي موجبًا أيضًا؛ فالتغير في فرق الجهد الكهربائي، لا يعتمد على مقدار شحنة الاختبار، بل على المجال الكهربائي، والإزاحة فقط.

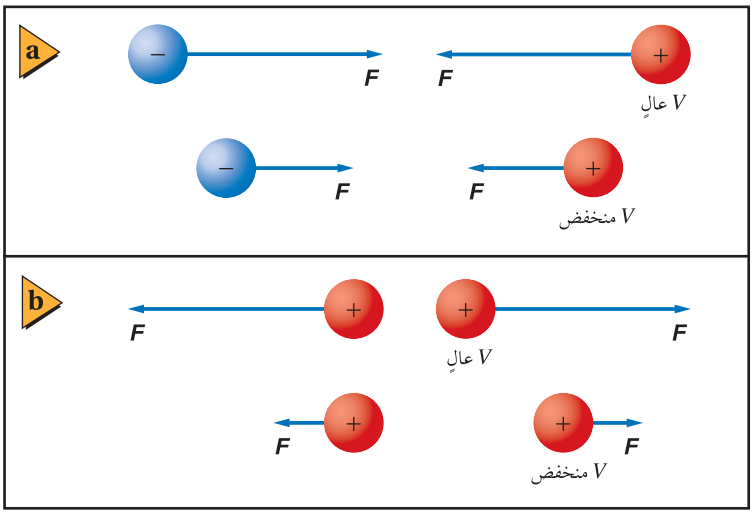
فرق الجهد الكهربائي السالب افترض أنك حرّكت شحنة الاختبار بسرعة منتظمة من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضّح في **الشكل 9b–1**. سيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها في عكس اتجاه الإزاحة، لذا يكون الشغل الذي تبذله سالبًا. وسيكون فرق الجهد الكهربائي سالبًا أيضًا، ومساويًا ومعاكسًا لفرق الجهد الكهربائي عند نقل الشحنة من النقطة A إلى النقطة B. إن فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين لا يعتمد على المسار الذي يُسلك أثناء الحركة من نقطة إلى أخرى، وإنما يعتمد على موقع النقطتين.

فرق الجهد الكهربائي يساوي صفراً هل هناك دائمًا فرق جهد كهربائي بين نقطتين؟ افترض أنك حرّكت شحنة الاختبار في مسار دائري حول الشحنة السالبة. إن القوة التي يؤثر بها المجال الكهربائي في شحنة الاختبار سيكون دائمًا عموديًّا على اتجاه حركتها، لذا فإنك لا تبذل شغلاً في تحريك الشحنة، ومن ثم فإن فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على المسار الدائري يساوي صفرًا. وعندما يكون فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين أو أكثر يساوي صفرًا، فإن هذه النقاط تشكل سطحاً وهميّاً يسمى **سطح تساوي الجهد**.

الجهد مقابل الفولت ويعرّف فرق الجهد الكهربائي عند الحركة من النقطة A إلى النقطة B على أنه $\Delta V = V_B - V_A$، ويقاس فرق الجهد الكهربائي بجهاز الفولتمتر. ويُسمّى فرق الجهد الكهربائي أحيانًا الجهد الكهربائي أو الفولتية؛ وذلك على سبيل التبسيط. لا تخلط بين رمزي فرق الجهد الكهربائي ΔV ووحدة قياسه V.

تطبيق الفيزياء

الكهرباء الساكنة تحتوي الأجهزة الإلكترونية الحديثة - ومنها الحواسيب الشخصية - على أجزاء يمكن أن تتلف بسهولة نتيجة تفريغ الكهرباء الساكنة. ولحماية هذه الأجزاء الحساسة من الأضرار التي قد تنتج خلال الصيانة، على الفني ارتداء سوار فلزي حول معصمه، على أن يكون السوار متصلاً بسلك، وأن يتصل الطرف الآخر للسلك بقطعة فلزية مؤرّضة. حيث يعمل السوار الفلزي على تفريغ الشحنات الزائدة على الفني في الأرض، ويزيل أي فرق جهد كهربائي قد يتكون مع المعدات المؤرّضة.



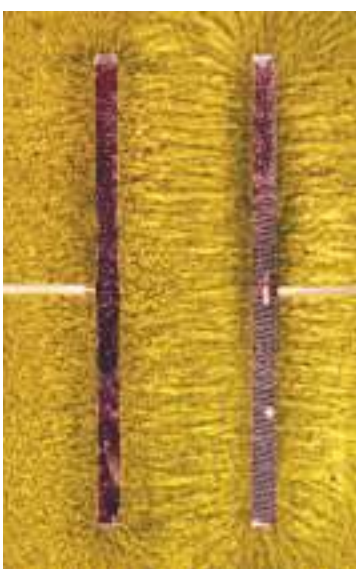
الشكل 10–1 يقل الجهد الكهربائي عند تقريب شحنتين مختلفتين إحداهما إلى الأخرى (a)، ويزداد الجهد الكهربائي عند تقريب شحنتين متشابهتين إحداهما إلى الأخرى (b).

عرفت أن فرق الجهد الكهربائي يزداد عند إبعاد شحنة اختبار موجبة عن شحنة سالبة، والآن ماذا يحدث عند إبعاد شحنة اختبار موجبة عن شحنة موجبة؟ هناك قوة تنافر بين هاتين الشحنتين، وعند إبعاد شحنة الاختبار الموجبة عن الشحنة الموجبة تقل طاقة وضعها الكهربائية. لذا يكون الجهد الكهربائي أقل عند النقاط البعيدة عن الشحنة الموجبة، كما هو موضح في **الشكل 10–1**.

الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم
The Electric Potential in a Uniform Field

يمكننا الحصول على قوةٍ ومجالٍ كهربائيين منتظمين بوضع لوحين موصلين مستويين أحدهما موازٍ للآخر، على أن يُشحن أحدهما بشحنة موجبة، ويُشحن الآخر بشحنة سالبة. يكون المجال الكهربائي بين اللوحين ثابتًا مقدارًا واتجاهًا عند النقاط جميعها ما عدا النقاط التي تكون عند حواف اللوحين، ويكون اتجاه المجال الكهربائي من اللوح الموجب إلى اللوح السالب. ويُمثّل النمط المُتشكّل من بذور الأعشاب الموضّح في **الشكل 11–1** المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين.

الشكل 11–1 تمثيل لمجال كهربائي منتظم بين لوحين متوازيين.



إذا حُرّكت شحنة اختبار موجبة q' مسافة d في عكس اتجاه المجال الكهربائي فإنه يمكننا حساب الشغل المبذول عليها بالعلاقة التالية: $W_{\text{على } q'} = Fd$. لذا يكون فرق الجهد الكهربائي؛ أي الشغل المبذول لكل وحدة شحنة، مساويًا لـ: d ، $\Delta V = \frac{Fd}{q'} = \frac{F}{q}\ d$ ، ولكن شدة المجال الكهربائي هي القوة لكل وحدة شحنة $E = \frac{F}{q}$ ، لذا يُعبّر عن فرق الجهد الكهربائي ΔV بين نقطتين المسافة بينهما d في مجال كهربائي منتظم E بالمعادلة التالية:

فرق الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم يساوي حاصل ضرب شدة المجال الكهربائي في المسافة التي تحركتها الشحنة.

فرق الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم $\Delta V = Ed$

يزداد الجهد الكهربائي كلما تحركنا في اتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي، أي أن الجهد الكهربائي يكون أكبر بالقرب من اللوح الموجب. وباستخدام تحليل الوحدات، يكون حاصل ضرب وحدة E في وحدة d هو $(N/C)(m)$، وهذا يكافئ J/C، والذي يُعدّ تعريفًا للفولت (V).

مثـــــال 4

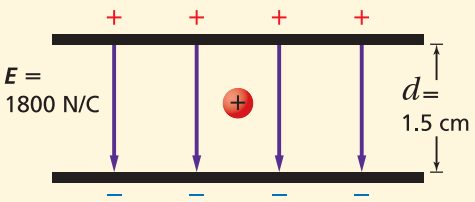
الشغل المبذول لنقل بروتون بين لوحين متوازيين مشحونين لوحان متوازيان مشحونان المسافة بينهما 1.5 cm، وشدة المجال الكهربائي بينهما 1800 N/C، احسب مقدار:

a. فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين.

b. الشغل المبذول لنقل بروتون من اللوح السالب إلى اللوح الموجب بسرعة منتظمة.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم اللوحين على أن يكون البعد بينهما 1.5 cm
- ميّز اللوحين بوضع شحنات موجبة على أحدهما، وشحنات سالبة على الآخر.
- ارسم خطوط المجال الكهربائي، على أن تكون المسافات بين هذه الخطوط متساوية، وأن تتجه الخطوط من اللوح الموجب إلى اللوح السالب.
- بيّن شدة المجال الكهربائي بين اللوحين على الرسم.
- ضع بروتونًا في المجال الكهربائي.



المعلوم	المجهول
$E = 1800\ \text{N/C}$	$\Delta V = ?$
$d = 1.5\ \text{cm}$	$W = ?$
$q = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. أوجد فرق الجهد بين اللوحين.

بالتعويض عن $E = 1800\ \text{N/C}$، $d = 0.015\ \text{m}$

$$\Delta V = Ed$$
$$= (1800\ \text{N/C})(0.015\ \text{m})$$
$$= 27\ \text{V}$$

b. استخدم معادلة فرق الجهد لحساب الشغل.

بالتعويض عن $\Delta V = 27\ \text{V}$، $q = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$$\Delta V = \frac{W}{q}$$
$$W = q\,\Delta V$$
$$= (1.60 \times 10^{-19}\ \text{C})(27\ \text{V})$$
$$= 4.3 \times 10^{-18}\ \text{J}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $(\text{N/C})(\text{m}) = \text{N.m/C} = \text{J/C} = \text{V}$، ستكون الوحدة الناتجة هي الفولت، ووحدة الشغل هي $\text{C.V} = \text{C(J/C)} = \text{J}$
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن يبذل شغل موجب لنقل شحنة موجبة إلى اللوح الموجب.
- **هل الجواب منطقي؟** سيكون الشغل المبذول قليلاً لنقل مثل هذه الشحنة الصغيرة ضمن فرق جهد قليل.

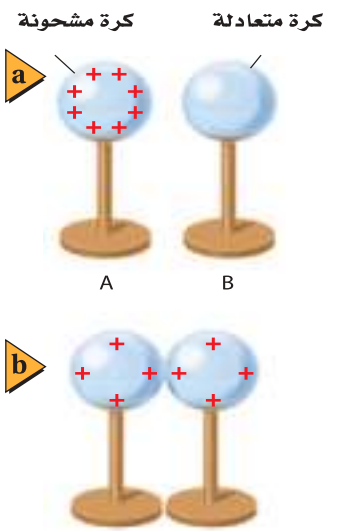
مسائل تدريبية

16. إذا كانت قراءة فولتمتر متصل بلوحين متوازيين مشحونين 400 V، وذلك عندما كانت المسافة بينهما 0.020 m ، فاحسب شدة المجال الكهربائي بينهما.
17. يمكن لبطارية سيارة جهدها 12 V ومشحونة بصورة كاملة أن تختزن شحنة مقدارها 1.44×10^{6} C، ما مقدار الشغل الذي يمكن أن تبذله البطارية قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها؟
18. إذا كان مقدار المجال الكهربائي في مُسارع جسيمات يساوي 4.5×10^{5} N /C، فما مقدار الشغل المبذول لتحريك بروتون مسافة 25 cm خلال هذا المجال؟

توزيع الشحنة وتقاسمها Sharing of Charge

يؤول أي نظام إلى الاتزان عندما تصبح طاقته أقل ما يمكن. فإذا وضعت كرة على قمة تل مثلًا فإنها ستصل في النهاية إلى قاع الوادي وتستقر هناك؛ حيث تكون طاقة وضع الجاذبية لها عندئذٍ أقل ما يمكن، ويفسر المبدأ نفسه، ما يحدث عند تلامس كرة فلزية معزولة ومشحونة بشحنة موجبة مع كرة فلزية أخرى غير مشحونة، كما هو موضّح في الشكل 12–1.

كرات متساوية الحجم إن الشحنات الموجبة على الكرة A يتنافر بعضها مع بعض؛ لذا فعندما يلامس سطح الكرة المشحونة A سطح الكرة المتعادلة B يكون هناك قوة كهربائية محصلة تؤثر في الشحنات الموجودة على الكرة A في اتجاه الكرة B. افترض أنك حرّكت الشحنات ونقلتها منفردة من A إلى B. عندما تنقل الشحنة الأولى ستدفعها الشحنات المتبقية على A في اتجاه B، وللتحكم في سرعتها يجب أن تؤثر فيها بقوة في الاتجاه المعاكس. فتكون بذلك قد بذلت عليها شغلًا سالبًا، ويكون فرق الجهد الكهربائي من A إلى B سالبًا. وعند نقل الشحنات الأخرى ستواجه قوة تنافر من الشحنات التي أصبحت الآن على B؛ إلا أنه ما زال هناك قوة محصلة موجبة في ذلك الاتجاه. وعند مرحلة معينة تصبح القوة التي تدفع الشحنة من A إلى B تساوي قوة التنافر الناتجة عن الشحنات الموجودة على B، عندها يصبح فرق الجهد الكهربائي بين A و B صفرًا. وبعد حالة الاتزان هذه يجب بذل شغل على الشحنة التالية لنقلها من A إلى B، وهذا لا يحدث تلقائيًّا، بل يتطلب زيادة في طاقة النظام. وإذا استمررت في نقل الشحنات سيصبح فرق الجهد الكهربائي من A إلى B موجبًا. لذا يمكنك مشاهدة أن الشحنات تتحرك من A إلى B دون التأثير فيها بقوى خارجية إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين صفرًا.



الشكل 12–1 عندما تلمس كرة فلزية مشحونة كرة فلزية أخرى متعادلة مساوية لها في الحجم تتوزع الشحنات على الكرتين بالتساوي.

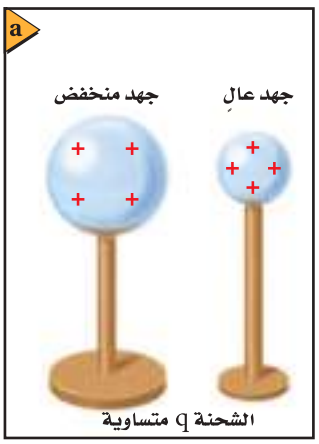
كرات مختلفة الحجم افترض أن الكرتين الموصلتين مختلفتان في الحجم، كما هو موضّح في **الشكل 13-1**. فعلى الرغم من أن عدد الشحنات على الكرتين هو نفسه إلا أن للكرة الكبيرة مساحة سطحية أكبر، لذا تتباعد الشحنات الموجودة عليها بعضها عن بعض مسافات أكبر، ومن ثم تقل قوة التنافر بينها. فإذا لامسنا الكرتين معًا فستكون هناك قوة محصلة تنقل الشحنات من الكرة الصغيرة إلى الكرة الكبيرة. وستنتقل الشحنات إلى الكرة ذات الجهد الكهربائي الأقل وسيستمر ذلك إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بينهما صفرًا. وفي هذه الحالة سيكون للكرة الكبرى شحنة أكبر عند الوصول إلى حالة الاتزان.

يوضّح المبدأ نفسه كيف تتحرك الشحنات على الكرات المنفردة أو على أي موصل آخر؛ حيث تتوزع الشحنات بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة في كل منها صفرًا. وبدون وجود قوة محصلة لا يوجد مجال كهربائي أو مركِّبة له موازيةً لسطح الموصل، لذا لا يوجد فرق في الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على سطحه، ولذلك يكون سطح الموصل المشحون سطح تساوي جهد.

تفريغ الشحنات إذا تم تأريض جسم مشحون بوصله بالأرض، فستنتقل غالبًا أي كمية شحنة عليه إلى الأرض إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الجسم والأرض صفرًا. فيمكن مثلًا أن تُشحن صهاريج نقل البنزين عن طريق الاحتكاك، وإذا انتقلت الشحنات الزائدة الموجودة على صهريج بنزين إلى الأرض من خلال بخار البنزين فستُحدث انفجارًا. ولتفادي حدوث ذلك يوصل سلك فلزي بالصهريج حتى يوصل الشحنات ويُفرّغها في الأرض بطريقة آمنة، كما يوضح الشكل 14-1. وبالمثل إذا لم يتم تأريض جهاز حاسوب بوصله بالأرض فسيتولد فرق جهد كهربائي بين جهاز الحاسوب والأرض، وإذا لامس شخص جهاز الحاسوب فستتدفق الشحنات من الحاسوب إلى الشخص، مما قد يؤدي إلى تلف الجهاز، أو إيذاء الشخص.

الشكل 13-1 تنتقل الشحنات من الكرة ذات الجهد الأعلى إلى الكرة ذات الجهد الأخفض عند تلامسهما، ويستمر انتقال الشحنات إلى أن ينعدم فرق الجهد بينهما.

كرات فلزية مختلفة في الحجم



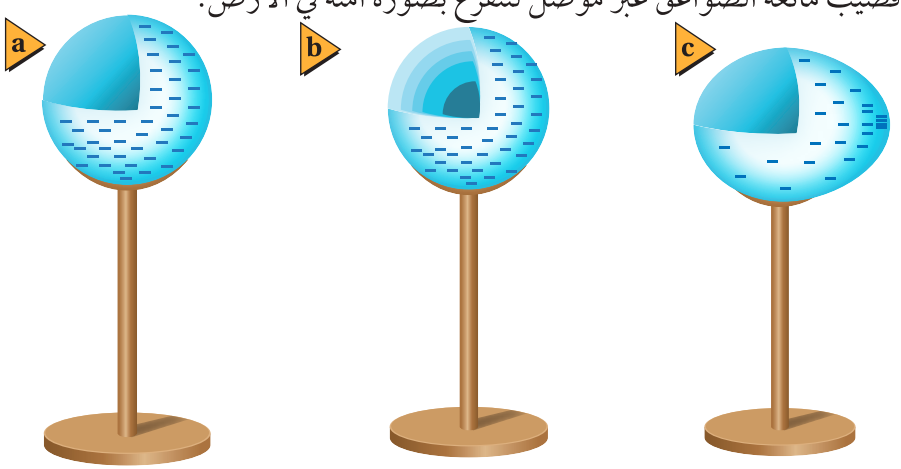
الشكل 14-1 سلك التأريض المتصل بصهريج نفط يمنع اشتعال بخار البنزين.

المجالات الكهربائية بالقرب من الموصلات
Electric Fields Near Conductors

الموصلات منتظمة الشكل تتوزّع الشحنات الكهربائية على موصل مشحون مبتعدة بعضها عن بعض أبعد ما يمكن، بحيث تكون طاقة النظام أقل ما يمكن، مما يؤدي إلى توزع الشحنات الفائضة على سطح الموصل المُصمت كما هو موضح في **الشكل a 15–1**، وإن كان الموصل أجوف فستتحرك الشحنات الفائضة نحو سطحه الخارجي أيضًا. فإذا شُحن وعاء فلزي مقفل أو شبه مقفل فستتوزع الشحنات على سطحه الخارجي، ولن يكون هناك أي شحنات على سطحه الداخلي كما هو موضح في **الشكل b 15–1**، وإن كان السطح الداخلي لجسم ما مُنقّرًا أو خشنًا، مما يجعل مساحة سطحه الداخلي أكبر من مساحة سطحه الخارجي، إلا أن الشحنات ستتوزع كلّها على سطحه الخارجي. وبهذه الطريقة يعمل الوعاء الفلزي المغلق عمل درع واقٍ يحمي ما بداخله من المجالات الكهربائية. فمثلًا يكون الناس داخل السيارة محميين من المجالات الكهربائية الناتجة عن البرق.

الموصلات غير منتظمة الشكل يعتمد المجال الكهربائي حول موصل مشحون على شكل الموصل وفرق الجهد الكهربائي بين الموصل والأرض، وعند الرؤوس المدببة من سطح الموصل تكون الشحنات أكثر قربًا بعضها من بعض، كما هو موضح في **الشكل 15–1 c**؛ لذا تكون خطوط المجال الكهربائي عند هذه الرؤوس أكثر تقاربًا، وتكون شدة المجال الكهربائي أكبر. وإذا أصبحت شدة هذا المجال كبيرة بدرجة كافية فإنه يكون قادرًا على مسارعة الإلكترونات والأيونات الناتجة من مرور الأشعة الكونية خلال الذرات، فتصطدم هذه الإلكترونات والأيونات بذرات أخرى، مما يؤدي إلى تأين المزيد من الذرات. وتظهر هذه السلسلة من التفاعلات في صورة وهج وردي اللون، كالذي يُشاهد داخل كرة التفريغ الكهربائي التي تحوي غازات. وإذا كان المجال الكهربائي كبيرًا بصورة كافية فستنتج حزمة من الأيونات والإلكترونات التي تشكل البلازما- وهي مادة موصلة- عندما تصطدم الجسيمات بجزيئات أخرى، وتصدر شرارة كهربائية، أما في الحالات الشديدة فينتج البرق.

مانعة الصواعق أما في مانعة الصواعق فيُثبّت قضيب بطريقةٍ تجعل المجال الكهربائي كبيرًا بالقرب من طرفه، ومع استمرار تسريع المجال الكهربائي للإلكترونات والأيونات، فإن مسارًا موصلًا يبدأ بالتشكل من طرف القضيب إلى الغيوم أو العكس. ونتيجة لشكل القضيب المدبب جدًّا تُفرّغ شحنات الغيمة في صورة شرارة في قضيب مانعة الصواعق بدلاً من تفريغها في المدخنة أو في أي نقطة مرتفعة من المنزل أو البناية. ثم تنتقل الشحنات من قضيب مانعة الصواعق عبر موصل لتتفرّغ بصورة آمنة في الأرض.



الشكل 15–1 تتوزع الشحنات على سطح الكرة الموصلة بانتظام (a). أما الكرة الجوفاء (b) فتستقر الشحنات دائمًا على سطحها الخارجي. أما في الأشكال غير المنتظمة (c) فتقترب الشحنات بعضها إلى بعض عند الأطراف المدببة.

تخزين الشحنات: المُكثّف Storing Charges: The Capacitor

عند رفع كتاب عن سطح الأرض تزداد طاقة وضع جاذبية الكتاب. ويمكن تفسير ذلك على أنه تخزين للطاقة في مجال الجاذبية الأرضي. وبطريقة مماثلة يمكن تخزين الطاقة في المجال الكهربائي؛ والجهاز الذي يعمل على تخزين الشحنات الكهربائية يسمّى **المكثف الكهربائي**، ويتكون من لوحين موصلين بينهما مادة عازلة.

عند إضافة شحنات كهربائية إلى جسم يزداد فرق الجهد الكهربائي بين ذلك الجسم والأرض. وإذا كان شكل الجسم وحجمه ثابتين فإن النسبة بين الشحنة المخزنة على الجسم وفرق الجهد الكهربائي $\frac{q}{\Delta V}$ تبقى ثابتة، وتسمى تلك النسبة **السعة الكهربائية** C. وعند إضافة كمية من الشحنة ولو كانت قليلة إلى كرة صغيرة بعيدة عن الأرض فإن فرق الجهد الكهربائي بينها وبين الأرض يزداد، لذا تكون السعة الكهربائية قليلة. أما الكرة الكبيرة فيمكنها أن تخزن كمية شحنات أكبر عند فرق الجهد نفسه، ولذلك تكون سعتها الكهربائية أكبر.

صُمّمت المكثفات ليكون لها سعات كهربائية محدّدة. وتتكون المكثفات من موصلين يفصل بينهما مادة عازلة. وللموصلين شحنتان متساويتان في المقدار إلا أنهما مختلفتان في النوع. وتستخدم المكثفات في الدوائر الكهربائية لتخزين الشحنات. فبعض المكثفات كبيرة وضخمة جدًّا حتى أنها تملأ غرفة كاملة، ويمكنها تخزين شحنات تكفي لإحداث برق اصطناعي، أو تشغيل ليزرات عملاقة قادرة على إطلاق آلاف الجولات من الطاقة خلال بضعة أجزاء من البليون من الثانية. أما المكثفات الموجودة في التلفاز فيمكنها تخزين كمية كافية من الشحنات عند فروق جهد مساوية لعدة مئات من الفولتات، لذا تكون خطيرة جدًّا إذا لُمست. وتبقى هذه المكثفات مشحونة عدة ساعات بعد إغلاق التلفاز. وهذا هو السبب وراء التحذير من فتح غطاء التلفاز أو غطاء شاشة جهاز الحاسوب حتى لو لم تكن متصلة بمصدر جهد كهربائي.

لا تعتمد السعة الكهربائية لمكثف على شحنته، ويمكن قياسها بشحن أحد اللوحين بشحنة $+q$ والآخر بشحنة $-q$، ثم قياس فرق الجهد الكهربائي الناتج بين اللوحين ΔV. وبعد ذلك نحسب السعة الكهربائية من خلال العلاقة أدناه.

السعة الكهربائية هي النسبة بين الشحنة على أحد اللوحين وفرق الجهد بينهما.

السعة الكهربائية $$C = \frac{q}{\Delta V}$$

الفاراد وحدة قياس تُقاس السعة الكهربائية بوحدة الفاراد، والتي سميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم مايكل فاراداي، والفاراد الواحد عبارة عن واحد كولوم لكل فولت، C/V. وكما أسلفنا أن 1 C وحدة كبيرة جدًّا لقياس الشحنة، فإن 1 F وحدة كبيرة جدًّا أيضًا لقياس السعة الكهربائية؛ فأغلب المكثّفات المستخدمة في الإلكترونيات الحديثة لها سعات

المختبر الافتراضي:

كيف يمكن تخزين كمية كبيرة من الشحنات؟

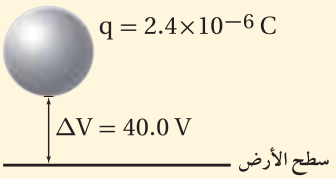
التجربة العملية:

كيف يتغيّر الزمن اللازم لشحن مكثفات مختلفة بتغير سعتها؟

كهربائية تتراوح بين 10 بيكوفاراد (10×10^{-12} F) و 500 ميكروفاراد (500×10^{-6} F). أما المكثفات التي تستخدم في ذاكرة الحاسوب لمنع الضياع في الذاكرة فلها سعات كهربائية كبيرة تتراوح بين 0.5 F و 1.0 F، لاحظ أنه إذا زادت الشحنة زاد فرق الجهد الكهربائي أيضًا؛ أي أن سعة المكثف لا تعتمد على الشحنة q.

مثـــال 5

إيجاد السعة الكهربائية شحنت كرة بشحنة مقدارها 2.4×10^{-6} C فأصبح فرق الجهد الكهربائي بينها وبين الأرض يساوي 40.0 V ، احسب السعة الكهربائية للكرة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم كرة فوق الأرض، وعيّن عليها الشحنة وفرق الجهد.

المعلوم	المجهول
$\Delta V = 40.0$ V	$C = ?$
$q = 2.4\times10^{-6}$ C	

2 إيجاد الكمية المجهولة

بالتعويض عن $q = 2.4\times10^{-6}$ C ، $\Delta V = 40.0$ V

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$
$$= \frac{2.4\times10^{-6}\ \text{C}}{40.0\ V}$$
$$= 6.0\times10^{-8}\ \text{F}$$
$$= 0.060\ \mu\text{F}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $\text{F} = \frac{\text{C}}{\text{V}}$ الوحدة هي الفاراد.
- **هل الجواب منطقي؟** السعة الكهربائية القليلة ستخزّن شحنة كهربائية قليلة عند فرق جهد قليل.

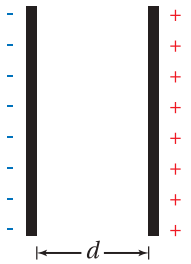
مسائل تدريبية

19. مكثف كهربائي سعته 27 μF وفرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 45 V، احسب مقدار شحنة المكثف.

20. مكثفان، سعة الأول 3.3 μF، وسعة الآخر 6.8 μF، إذا وصل كل منهما بفرق جهد 24 V فأي المكثفين له شحنة أكبر؟ وما مقدارها؟

21. عند إضافة شحنة مقدارها 2.5×10^{-5} C إلى مكثف يزداد فرق الجهد بين لوحيه من 12.0 V إلى 14.5 V، احسب مقدار سعة المكثف.

مسألة تحدٍ



يجذب لوحا مكثّف كهربائي أحدهما الآخر لأنهما يحملان شحنتين مختلفتين، فإذا كانت المسافة بين لوحي مكثف متوازيين d، وسعته الكهربائية C، فأجب عما يلي:

1. اشتق علاقة للقوة الكهربائية بين اللوحين عندما يكون للمكثف شحنة مقدارها q.
2. ما مقدار الشحنة التي يجب أن تخزّن في مكثف سعته 22 μF، والمسافة بين لوحيه 1.5 mm لتكون القوة بين لوحيه 2.0 N؟

أنواع المكثفات المختلفة تصنع المكثفات بأشكالٍ وأحجامٍ مختلفة، كما يوضّح **الشكل 16–1**؛ وتسمّى المكثفات حسب نوع العازل الذي يفصل بين اللوحين، مثل السيراميك، والمايكا، والبوليستر، والورق، والهواء. ويمكن التحكم في السعة الكهربائية لمكثف بتغيير المساحة السطحية للموصلين، أو اللوحين الفلزيين للمكثف، أو تغيير المسافة بينهما، أو تغيير طبيعة المادة العازلة بينهما. ويمكن الحصول على سعة كهربائية كبيرة لمكثف بزيادة المساحة السطحية للوحين الفلزيين وتقليل المسافة بينهما. يمكن التعبير عن الطاقة المختزنة في مكثف سعته C وفرق الجهد الكهربائي بين طرفيه ΔV بالعلاقة $W=\frac{1}{2}q\,\Delta V$، ومن التطبيقات للإستفادة من الطاقة المختزنة في المكثفات آلة التصوير الإلكترونية ذات الفلاش الضوئي كما في الشكل.

الشكل 16–1 أنواع مختلفة من المكثفات.

3–1 مراجعة

22. **فرق الجهد الكهربائي** ما الفرق بين طاقة الوضع الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي؟
23. **المجال الكهربائي وفرق الجهد** بيّن أن الفولت لكل متر هو نفسه نيوتن لكل كولوم.
24. **السعة الكهربائية** احسب مقدار الشحنة المختزنة على مكثف سعته 0.47 μF عندما يُطبّق عليه فرق جهد مقداره 12 V.
25. **توزيع الشحنات** عند ملامسة كرة موصلة صغيرة مشحونة بشحنة سالبة لكرة موصلة كبيرة مشحونة بشحنة موجبة، ماذا يمكن القول عن:
a. جهد كل من الكرتين. **b**. شحنة كل من الكرتين.
26. **التفكير الناقد** بالرجوع إلى **الشكل 6–1**، وضح كيف تستمر الشحنات في التراكم على القبة الفلزية لمولّد فان دي جراف، ولماذا لا تتنافر الشحنات لتعود إلى الحزام عند النقطة B؟

المركبة الفضائية والكهرباء الساكنة Spacecraft and Static Electricity

معظم الأجسام على الأرض لا تتراكم عليها شحنات كهربائية ساكنة كبيرة؛ وذلك بسبب ملامسة سطوح هذه الأجسام لطبقة رطبة تعمل على نقل الشحنات من الأرض أو إليها، حيث يمكن للأرض استيعاب أي كمية من الشحنات، كما تعلّمت في هذا الفصل. أما في الفضاء فلا يوجد رطوبة، كما أن الأرض بعيدة، لذا تصطدم الجسيمات المشحونة التي تنطلق خارجة من الشمس أو تلك الموجودة في طبقة الأيونوسفير بالمركبة الفضائية وتلتصق بها، فتشحن سطح المركبة الفضائية بآلاف الفولتات.

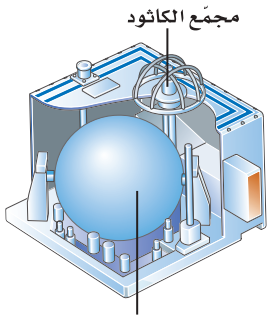
البلازما والشحن البلازما إحدى حالات المادة، وتتكون من إلكترونات حرة وأيونات موجبة. تكون المركبة الفضائية في مدارها محاطة بسحابة رقيقة من هذه البلازما. وتتحرك الإلكترونات في البلازما بسهولة أكثر من الأيونات الموجبة الضخمة، لذا يميل سطح المركبة الفضائية إلى جذب الإلكترونات، فيحدث تراكم للشحنة السالبة. وتجذب هذه الشحنة السالبة بعض الأيونات الموجبة الثقيلة، التي تصطدم بالمركبة الفضائية فتلحق الضرر بسطحها.

هناك صعوبة إضافية على متن *محطة الفضاء الدولية*؛ ناجمة عن صفِّ الألواح الشمسية التي تحوّل الطاقة الشمسية إلى كهرباء. فعندما تزوّد هذه الألواح محطة الفضاء بالطاقة، يصبح جهد سطح المركبة قريبًا من جهد الألواح الشمسية. ونتيجة لذلك قد يحدث قوس كهربائي (تفريغ كهربائي مستمر في صورة شرر متكرر) بين محطة الفضاء والبلازما المحيطة بها.

عواقب القوس درجة حرارة الأقواس الكهربائية المتكوّنة كبيرة جدًّا، كما أنها تحمل تيارًا كهربائيًّا كبيرًا، لذا يمكنها أن تُشعل الصواريخ الرجعية قبل أوان تشغيلها، ويمكنها تفجير براغي التثبيت، وتتداخل مع المعدات الإلكترونية الخاصة بتشغيل المركبة الفضائية. كما أن الألواح الشمسية معرّضة بصورة خاصة لضرر القوس الكهربائي. إضافة إلى الأضرار التي قد تلحق بمكوِّنات المركبة الفضائية فإن تراكم الشحنة قد يعرّض طاقم المركبة الفضائية للخطر في أثناء سيرهم في الفضاء.

لتفريغ فرق الجهد وحماية المركبة والطاقم يجب أن يوصل السطح الخارجي لمحطة الفضاء بسحابة البلازما المحيطة به وذلك بوساطة موصل كهربائي، يسمى قواطع البلازما. يبدأ التوصيل على متن المحطة في مكان تأين غاز الزينون -المتدفق من مستودع في وحدة قواطع البلازما PCU- بوساطة تيار كهربائي. ويحدث هذا التأين عند مجمّع الكاثود (القطب السالب). ويكون الزينون المتأين في حالة البلازما، ويخرج من المركبة عن طريق مجمّع الكاثود. ويعمل تيار البلازما الموصل على وصل المركبة بسحابة البلازما المحيطة بها، مما يؤدي إلى خفض فرق الجهد إلى مستويات آمنة.

وحدة قواطع البلازما



نموذج PCU

تطبيقات مستقبلية قد تصمّم المركبة الفضائية المستقبلية بدمج قواطع البلازما في نظام الدفع. ففي صاروخ البلازما المغناطيسية ذي الدفع النوعي المتغير مثلًا قد يستخدم عادم البلازما الناتج لتوفير الربط الكهربائي بين المركبة الفضائية والبلازما المحيطة بها. ويعتقد العلماء أن هذا النوع من الصواريخ سيستخدم في المستقبل للسفر بين الكواكب.

التوسع

1. **طبّق** ما الغرض من استخدام قواطع البلازما؟ وإلى أي مدى تشبه استخدام إصبعك في تأريض الكشّاف الكهربائي؟
2. **ابحث** كيف يمكن للعلماء تقييم مقدار الشحنة على سطح *محطة الفضاء الدولية*؟

1–1 القوة الكهربائية Electric Force

المفردات
- قانون كولوم
- الكولوم
- الشحنة الأساسية

الفكرة الرئيسة: تتناسب القوة الكهربائية مع مقدار كل من الشحنتين والبعد بينهما

- ينص قانون كولوم على أن القوة بين جسيمين مشحونين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب مقدار شحنتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما. $F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$

لتحديد اتجاه القوة تذكر القاعدة التالية: الشحنات المتشابهة تتنافر، والمختلفة تتجاذب.

- وحدة الشحنة في النظام الدولي للوحدات SI هي الكولوم. والكولوم الواحد C هو مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون. والشحنة الأساسية هي شحنة البروتون أو الإلكترون، ومقدارها يساوي 1.6×10^{-19} C

1–2 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

المفردات
- المجال الكهربائي
- خط المجال الكهربائي
- نقطة التعادل

الفكرة الرئيسة: تسمى المنطقة المحيطة بالشحنة الكهربائية والتي تظهر فيها آثار القوة الكهربائية بالمجال الكهربائي

- يوجد مجال كهربائي حول أي جسم مشحون، ويؤثر هذا المجال بقوى في الأجسام المشحونة الأخرى.
- شدة المجال الكهربائي يساوي القوة مقسومة على وحدة الشحنات. $E = \frac{F}{q'}$
- اتجاه المجال الكهربائي هو اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة صغيرة.
- توفّر خطوط المجال الكهربائي صورة للمجال الكهربائي؛ حيث تكون دائمًا خارجة من الشحنة الموجبة وداخله إلى الشحنة السالبة، ولا تتقاطع مطلقًا، وترتبط كثافتها بشدة المجال.

1–3 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

المفردات
- فرق الجهد الكهربائي
- الفولت
- سطوح تساوي الجهد
- المكثف (المواسع)
- السعة الكهربائية

الفكرة الرئيسة: الجهد الكهربائي هو طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات

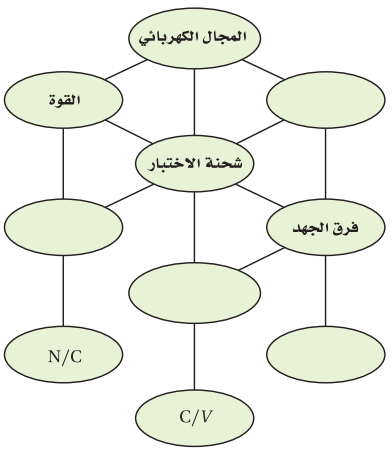
- فرق الجهد الكهربائي يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات الكهربائية في المجال الكهربائي. $\Delta V = \frac{W}{q'}$
- يكون المجال الكهربائي بين لوحين مشحونين متوازيين منتظمًا ماعدا النقاط التي تكون عند أطراف اللوحين، حيث يكون المجال هناك غير منتظم، ويرتبط فرق الجهد مع شدة المجال الكهربائي من خلال العلاقة التالية: $\Delta V = Ed$
- يعمل التأريض على جعل فرق الجهد بين الجسم والأرض صفرًا.
- يمنع التأريض حدوث الشرارة الكهربائية الناتجة عن ملامسه الجسم المتعادل لأجسام أخرى تراكم عليها كمية كبيرة من الشحنات.
- يكون المجال الكهربائي أكبر ما يمكن عند المناطق المدبّبة أو الحادة من سطح الموصل.
- السعة الكهربائية هي النسبة بين شحنة جسم وفرق الجهد الكهربائي عليه.

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$

- يستخدم المكثّف الكهربائي في تخزين الشحنات الكهربائية.

خريطة المفاهيم

27. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: السعة، شدة المجال، J /C ، الشغل.



إتقان المفاهيم

28. كيف تؤثر المسافة بين شحنتين في القوة المتبادلة بينهما؟ وإذا قلّت المسافة في حين بقي مقدار الشحنتين كما هو فماذا يحدث للقوة؟

29. ما الخاصيتان اللتان يجب أن تكونا لشحنة الاختبار؟

30. كيف يحدّد اتجاه المجال الكهربائي؟

31. كيف يتم الإشارة لشدة المجال الكهربائي من خلال خطوط المجال الكهربائي؟

32. ارسم بعض خطوط المجال الكهربائي لكل من الحالات التالية:

a. شحنتين متساويتين في المقدار ومتماثلتين في النوع.

b. شحنتين مختلفتين في النوع ولهما المقدار نفسه.

c. شحنة موجبة وأخرى سالبة مقدارها يساوي ضعفي مقدار الشحنة الموجبة.

d. لوحين متوازيين مختلفين في الشحنة.

33. لماذا يفقد الجسم المشحون شحنته عند وصله بالأرض؟

34. وضع قضيب مطاطي مشحون على طاولة خشبية فحافظ على شحنته بعض الوقت. لماذا لا تُفرّغ شحنة القضيب المشحون مباشرة؟

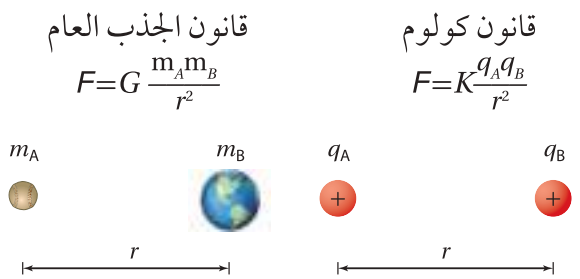
35. قارن بين تركيز الشحنة على زوايا صندوق مشحون مع تركيزها على جوانبه.

36. **أجهزة الحاسوب** تكون الأجزاء الدقيقة في الأجهزة الإلكترونية كتلك الموضحة في **الشكل 17–1**، محتواة داخل صندوق فلزي موضوع داخل صندوق آخر بلاستيكي. لماذا؟

الشكل 17–1

تطبيق المفاهيم

37. يبدو أن قانون كولوم وقانون نيوتن في الجذب العام متشابهان، كما هو موضح في **الشكل 18–1**. فيم تتشابه القوة الكهربائية وقوة الجاذبية؟ وفيم تختلفان؟



الشكل 18–1

38. قيمة الثابت K في قانون كولوم أكبر كثيرًا من قيمة الثابت G في قانون الجذب العام. علامَ يدل ذلك؟

39. يؤثر جسمان مشحونان أحدهما في الآخر بقوة مقدارها 0.145 N عندما كانا على بُعد معيّن أحدهما من الآخر. فإذا قُرِّبا أحدهما إلى الآخر بحيث أصبحت المسافة بينهما رُبع المسافة السابقة فاحسب مقدار القوة المؤثرة في كل منهما.

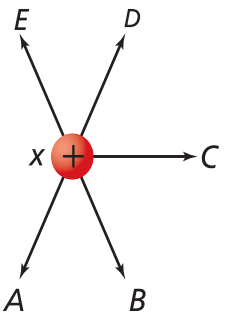
40. القوى الكهربائية بين الشحنات كبيرة جدًّا عند مقارنتها بقوى الجاذبية بينها، ومع ذلك لا نشعر عادة بالقوى الكهربائية بيننا وبين المحيط من حولنا، إلا أننا نشعر بتأثيرات قوى الجاذبية مع الأرض. فسّر ذلك.

41. ماذا يحدث لشدة المجال الكهربائي عندما تنقص شحنة الاختبار إلى نصف قيمتها؟

42. هل يلزم طاقة أكبر أم طاقة أقل لتحريك شحنة موجبة ثابتة خلال مجال كهربائي متزايد؟

43. ماذا يحدث لطاقة الوضع الكهربائية لجسيم مشحون موجود داخل مجال كهربائي عندما يُطلق الجسيم ليصبح حر الحركة؟

44. يبيّن **الشكل 19–1** ثلاث كرات مشحونة بالمقدار نفسه، أما أنواعها فموضّحة على الشكل. الكرتان y و z ثابتتان في مكانيهما، أما الكرة x فهي حرة الحركة. والمسافة بين الكرة x، وكل من الكرتين y و z، في البداية متساوية. حدّد المسار الذي ستبدأ الكرة x في سلوكه. افترض أنه لا يوجد أي قوى أخرى تؤثر في الكرات.



الشكل 19–1

45. كيف تبدو خطوط المجال الكهربائي عندما يكون للمجال الكهربائي الشدة نفسها عند النقاط جميعها في منطقة ما؟

46. يقف زيد وأخته ليلى على سطح مستوٍ معزول، متلامسين بالأيدي، عندما تم إكسابهما شحنة، كما هو موضّح في **الشكل 20–1**. إذا كانت المساحة السطحية لجسم زيد أكبر منها لجسم ليلى فمن منهما سيمتلك كمية أكبر من الشحنات؟ أم أنهما سيمتلكان المقدار نفسه من الشحنات؟

الشكل 20–1

47. إذا كان قطرا كرتي ألومنيوم 1 cm و10 cm فأيّهما له سعة أكبر؟

48. كيف يمكنك تخزين كميات مختلفة من الشحنة في مكثف؟

إتقان حل المسائل

1–1 القوة الكهربائية

ملاحظة: اعتبر أن الشحنات الكهربائية في جميع الأسئلة موضوعة في الفراغ أو الهواء.

49. شحنتان كهربائيتان، q_A و q_B، تفصل بينهما مسافة r، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها F. حلّل قانون كولوم، وحدّد القوة الجديدة التي تنتج تحت الظروف التالية:

a. مضاعفة الشحنة q_A مرتين.

b. تقليل قيمة كل من الشحنتين q_A و q_B إلى النصف.

c. مضاعفة r ثلاث مرات.

d. تقليل r إلى النصف.

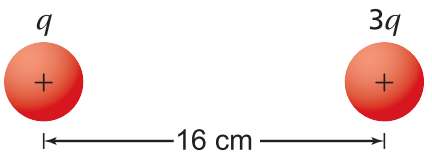
e. مضاعفة q_A ثلاث مرات.

تقويم الفصل 1

50. إذا كانت القوة التي تؤثر في كل من الشحنتين $+8\times10^{-5}\ C$ و $+3\times10^{-5}\ C$ تساوي $2.4\times10^{2}\ N$ فاحسب مقدار المسافة بينهما.

51. إذا أثرت شحنتان موجبتان متماثلتان كل منهما في الأخرى بقوة تنافر مقدارها $6.4\times10^{-9}\ N$، وذلك عندما كانت إحداهما تبعد عن الأخرى مسافة $3.8\times10^{-10}\ m$ فاحسب شحنة كل منهما.

52. يوضح **الشكل 1–21** كرتين مشحونتين بشحنتين موجبتين، شحنة إحداهما تساوي ثلاثة أضعاف شحنة الأخرى، والمسافة بين مركزيهما 16 cm، إذا كانت القوة المتبادلة بينهما 0.28 N فاحسب مقدار الشحنة على كل منهما.

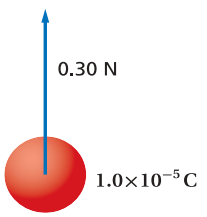


الشكل 1–21

1–2 توليد المجالات الكهربائية وقياسها

شحنة الإلكترون تساوي $-1.60\times10^{-19}\ C$، استخدم هذه القيمة حيث يلزم.

53. يوضّح **الشكل 1–22** شحنة موجبة مقدارها $1.0\times10^{-5}\ C$، تتعرض لقوة 0.30 N، عند وضعها عند نقطة معينة. ما شدة المجال الكهربائي عند تلك النقطة؟



الشكل 1–22

54. إذا كان المجال الكهربائي في الغلاف الجوي يساوي 150 N /C تقريبًا، ويتجه إلى أسفل، أجب عما يلي:

a. ما اتجاه القوة المؤثرة في جسيم مشحون بشحنة سالبة؟

b. أوجد القوة الكهربائية التي يؤثر بها هذا المجال في إلكترون.

c. قارن بين القوة في الفرع **b** وقوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الإلكترون نفسه. (كتلة الإلكترون تساوي $9.1\times10^{-31}\ kg$)

55. ارسم بدقة الحالات التالية:

a. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة $+1.0\ \mu C$

b. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة $+2.0\ \mu C$

(اجعل عدد خطوط المجال متناسبًا مع التغير في مقدار الشحنة).

56. تتسارع الإلكترونات في أنبوب الأشعة المهبطية في تلفاز تحت تأثير مجال كهربائي مقداره $1.00\times10^{5}\ N/C$ احسب ما يلي:

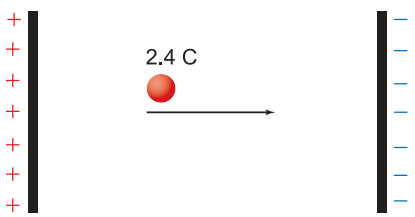
a. القوة المؤثرة في الإلكترون.

b. تسارع الإلكترون إذا كان المجال منتظمًا. اعتبر كتلة الإلكترون $9.11\times10^{-31}\ kg$

57. احسب شدة المجال الكهربائي على بُعد 20.0 cm من شحنة نقطية مقدارها $8.0\times10^{-7}\ C$

1–3 تطبيقات المجالات الكهربائية

58. إذا بُذل شغل مقداره 120 J لتحريك شحنة مقدارها 2.4 C من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، كما هو موضّح في **الشكل 1–23**، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؟



الشكل 1–23

تقويم الفصل 1

59. ما مقدار الشغل اللازم لنقل شحنة مقدارها 0.15 C خلال فرق جهد كهربائي مقداره 9.0 V ؟

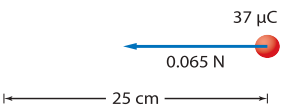
60. بذلت بطارية شغلاً مقداره 1200 J لنقل شحنة كهربائية. ما مقدار هذه الشحنة المنقولة إذا كان فرق الجهد بين طرفي البطارية 12 V؟

61. إذا كانت شدة المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين 1.5×10^{3} N /C، والبعد بينهما 0.060m، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين بوحدة الفولت؟

62. يخزّن مكثف موصول بمصدر جهد 45.0 V شحنة مقدارها 90.0 µC ، ما مقدار سعة المكثف؟

63. ما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين لوحي مكثف سعته 5.4 µF ومشحون بشحنة مقدارها 8.1×10^{-4} C؟

64. إذا لزم قوة مقدارها 0.065 N لتحريك شحنة مقدارها 37 µC مسافة 25 cm في مجال كهربائي منتظم، كما يوضّح **الشكل 24–1**، فما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين؟



الشكل 24–1

65. **آلة التصوير** إذا شُحن مكثف سعته 10.0 µF في آلة تصوير، إلى أن أصبح فرق الجهد عليه 3.0×10^{2} V، فما مقدار الطاقة المختزنة في المكثف؟

مراجعة عامة

66. إذا لامَسَت كرة فلزية صغيرة شحنتها 1.2×10^{-5} C كرة مماثلة متعادلة، ثم وضعت على بعد 0.15 m منها فاحسب القوة الكهربائية بين الكرتين.

67. تؤثر قوة مقدارها 0.36 N في كرة صغيرة شحنتها 2.4 µC، وذلك عند وضعها على بُعد 5.5 cm من مركز كرة ثانية مشحونة بشحنة غير معروفة. ما مقدار شحنة الكرة الثانية؟

68. كرتان متماثلتان مشحونتان، المسافة بين مركزيهما 12 cm، فإذا كانت القوة الكهربائية بينهما 0.28 N فما شحنة كل كرة؟

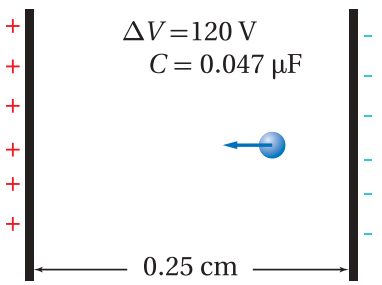
69. ما مقدار الشغل المبذول لتحريك شحنة مقدارها 0.25 µC بين لوحين متوازيين البعد بينهما 0.40 cm، إذا كان المجال بين اللوحين 6400 N /C؟

70. ما مقدار الشحنات المخزّنة في مكثف ذي لوحين متوازيين سعته 0.22 µF ، إذا كان البعد بين لوحيه 1.2 cm، والمجال الكهربائي بينهما 2400 N /C؟

ارجع إلى المكثف الموضح في ***الشكل 26–1*** *عند حل المسألتين التاليين:*

71. إذا وضع إلكترون بين لوحي المكثف فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

72. ما مقدار الشغل اللازم لتحريك شحنة إضافية مقدارها 0.010 µC بين لوحي المكثف عندما يكون فرق الجهد بينهما 120 V؟



الشكل 26–1

73. يمثل الرسم البياني الموضح في **الشكل 1–27**، الشحنة المخزّنة في مكثف في أثناء زيادة فرق الجهد عليه، أجب عما يلي:

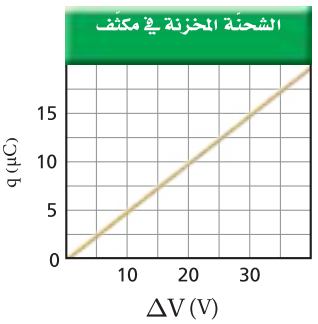
a. ماذا يمثّل ميل الخط الموضّح على الرسم البياني؟

b. ما سعة المكثف الممثّل في هذا الشكل؟

c. ماذا تمثّل المساحة تحت الخط البياني؟

d. ما مقدار الشغل اللازم لشحن هذا المكثف ليصبح فرق الجهد بين لوحيه 25 V؟

e. لماذا لا يساوي الشغل الناتج في المسألة السابقة المقدار $q\Delta V$؟



الشكل 1–27

74. أين يكون المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية صفرًا؟

التفكير الناقد

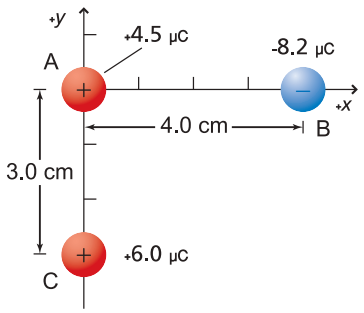
75. **حلّل واستنتج** وضعت الكرة A التي تحمل شحنة مقدارها $+64\ \mu C$ عند نقطة الأصل، ووضعت كرة ثانية B تحمل شحنة مقدارها $-16\ \mu C$ عند النقطة $+1.00\ m$ على محور x، أجب عن الأسئلة التالية:

a. أين يجب وضع كرة ثالثة C شحنتها $+12\ \mu C$ بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفرًا؟

b. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة C تساوي $+6\ \mu C$ فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

c. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة $-12\ \mu C$، فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

76. وضعت ثلاث كرات مشحونة، كما هو موضح في **الشكل 1–28**. أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.



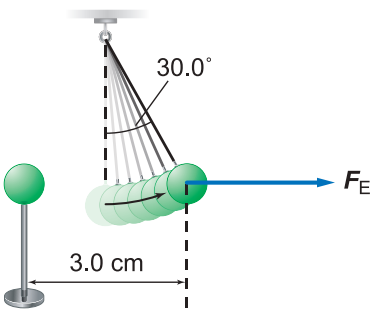
الشكل 1–28

77. يوضح **الشكل 1–29** كرتي نخاع بيلسان، كتلة كل منهما 1.0 g، وشحنتاهما متساويتان، إحداهما معلّقة بخيط عازل، والأخرى قريبة منها ومثبتة على حامل عازل، والبعد بين مركزيهما 3.0 cm فإذا اتزنت الكرة المعلّقة عندما شكّل الخيط العازل الذي يحملها زاوية مقدارها 30.0° مع الرأسي فاحسب كلًّا مما يأتي:

a. المؤثرة في الكرة المعلّقة F_g.

b. المؤثرة في الكرة المعلّقة F_E.

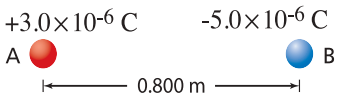
c. الشحنة على كل من الكرتين.



الشكل 1–29

78. **حلل واستنتج** وُضِعت الكرتان الصغيرتان A وB على محور x، كما هو موضح في **الشكل 1–30**. فإذا كانت شحنة الكرة A تساوي $3.00\times10^{-6}\ C$، والكرة B تبعد مسافة مقدارها 0.800 m عن يمين الكرة A، وتحمل شحنة مقدارها $-5.00\times10^{-6}\ C$،

فما شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة فوق المحور x، بحيث تشكل هذه النقطة رأس مثلث متساوي الأضلاع مع الكرتين A و B؟



الشكل 30–1

79. **تطبيق المفاهيم** على الرغم من تصميم قضيب مانعة الصواعق ليوصل الشحنات بأمان إلى الأرض، إلا أن هدفه الرئيس هو منع ضربة الصاعقة في المقام الأول، فكيف تعمل مانعة الصواعق ذلك؟

80. **تطبيق المفاهيم** افترض أن القمر يحمل شحنة محصلة (صافية) تساوي $q-$، وأن الأرض تحمل شحنة محصلة (صافية) تساوي q 10+، ما مقدار الشحنة q التي تنتج مقدار القوة نفسه الناتج عن قوة الجاذبية بين كتلتيهما؟

81. **تصميم النماذج** ما مقدار الطاقة المخزنة في مكثف؟ يُعبَّر عن الطاقة اللازمة لزيادة فرق الجهد للشحنة q بالعلاقة: $E = qV$، ويحسب فرق الجهد في مكثف بالعلاقة: $V = q/C$. لذا فإنه كلما زادت الشحنة على المكثف يزداد فرق الجهد، ومن ثم فإن الطاقة اللازمة لإضافة شحنة عليه تزداد. إذا استخدم مكثف سعته الكهربائية 1.0 F بوصفه جهازًا لتخزين الطاقة في حاسوب شخصي فمثِّل بيانيًّا فرق الجهد V عند شحن المكثف بإضافة شحنة مقدارها 5.0 C إليه. ما مقدار فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ إذا كانت المساحة تحت المنحنى تمثّل الطاقة المُخزنّة في المكثف فأوجد هذه الطاقة بوحدة الجول، وتحقق مما إذا كانت تساوي الشحنة الكلية مضروبة في فرق الجهد النهائي. وضّح إجابتك

الكتابة في الفيزياء

82. هناك قوى بين جزيئات الماء تؤدي إلى أن يكون الماء أكبر كثافة عندما يكون سائلًا بين 0° C و 4° C مقارنة بحالته عندما يكون صلبًا عند 0° C، هذه القوى في طبيعتها ما هي إلا قوى كهروسكونية. ابحث في القوى الكهروسكونية بين الجزيئات، ومنها قوى فان درفال وقوى الاستقطاب، وصِف أثرها في المادة.

83. اختر اسمًا لوحدة كهربائية، مثل: الكولوم، أو الفولت، أو الفاراد، وابحث عن حياة وعمل العالم الذي سُمِّيت باسمه. واكتب مقالة موجزة عن هذا العالم على أن تتضمن المقالة مناقشة العمل الذي برّر إطلاق اسمه على تلك الوحدة.

مراجعة تراكمية

84. إذا أثرت شحنتان 2.0×10^{-5} C و 8.0×10^{-6} C إحداهما في الأخرى بقوة مقدارها 9.0 N، فاحسب مقدار البعد بينهما.

85. إذا كانت القوة الكهربائية بين شحنتين Q و q تساوي F عندما كانت المسافة بينهما r، فما مقدار القوة الجديدة التي تنتج في كل حالة من الحالات التالية:

a. مضاعفة r ثلاث مرات.

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

c. مضاعفة كل من r و Q ثلاث مرات.

d. مضاعفة كل من r و Q مرتين.

e. مضاعفة كل من r و Q و q ثلاث مرات.

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. إذا كانت القوة المؤثرة في جسيم شحنته $5.0\times10^{-9}\ C$ نتيجة تأثير جسيم آخر يبعد عنه 4 cm تساوي $8.4\times10^{-5}N$ فما شحنة الجسيم الثاني بالكولوم؟

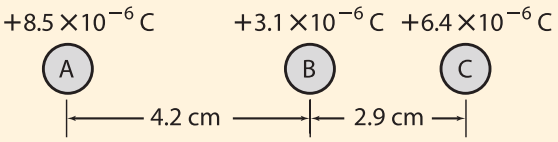
(A) 4.2×10^{-13}

(B) 2.0×10^{-9}

(C) 3.0×10^{-9}

(D) 6.0×10^{-5}

2. إذا وُضِعت ثلاث شحنات A وB وC، على خط واحد، كما هو موضح أدناه، فما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة B بالنيوتن؟



(A) 78 في اتجاه A

(B) 78 في اتجاه C

(C) 130 في اتجاه A

(D) 210 في اتجاه C

3. جسمان مشحونان بالمقدار نفسه من الشحنة، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها 90 N فإذا وضعنا بدلًا من أحد الجسمين جسمًا آخر له الحجم نفسه إلا أن شحنته أكبر من الجسم السابق ثلاث مرات، فما القوة الجديدة بالنيوتن التي سيؤثر بها كل منهما في الآخر؟

(A) 10

(B) 30

(C) 2.7×10^{2}

(D) 8.1×10^{2}

4. لماذا يقاس المجال الكهربائي بشحنة اختبار صغيرة فقط؟

(A) حتى لا تُشتّت الشحنة المجال.

(B) لأن الشحنات الصغيرة لها زخم قليل.

(C) حتى لا يؤدي مقدارها إلى دفع الشحنة المراد قياسها جانبًا.

(D) لأن الإلكترون يستخدم دائمًا كشحنة اختبار، وشحنة الإلكترونات صغيرة.

5. تتأثر شحنة مقدارها $2.1\times10^{-9}\ C$ بقوة مقدارها 14 N فما مقدار المجال الكهربائي المؤثر بوحدة N/C ؟

(A) 0.15×10^{-9}

(B) 6.7×10^{-9}

(C) 29×10^{-9}

(D) 6.7×10^{9}

6. تتأثّر شحنة اختبار موجبة مقدارها $8.7\ \mu C$ بقوة $8.1\times10^{-6}N$ في اتجاه يصنع زاوية 24° شمال الشرق. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي بوحدة N/C في موقع شحنة الاختبار؟

(A) 7.0×10^{-8} ، 24° شمال الشرق.

(B) 1.7×10^{-6} ، 24° جنوب الغرب.

(C) 1.1×10^{-3} ، 24° غرب الجنوب.

(D) 9.3×10^{-1} ، 24° شمال الشرق.

7. ما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين لوحين يبعد أحدهما عن الآخر 18 cm، وشدة المجال الكهربائي بينهما 4.8×10^{3} N/C ؟

(A) 27 V

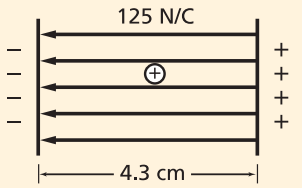
(B) 86 V

(C) 0.86 kV

(D) 27 kV

اختبار مقنن

8. ما مقدار الشغل المبذول بوحدة J على بروتون عند نقله من لوح سالب الشحنة إلى لوح موجب الشحنة، إذا كانت المسافة بين اللوحين 4.3 cm، والمجال الكهربائي بينهما 125 N/C؟



(A) 5.5×10^{-23}

(B) 8.6×10^{-19}

(C) 1.1×10^{-16}

(D) 5.4

9. مكثف سعته 0.093 μF إذا كانت شحنته 58 μC، فما مقدار فرق الجهد الكهربائي عليه بوحدة V؟

(A) 5.4×10^{-12}

(B) 1.6×10^{-6}

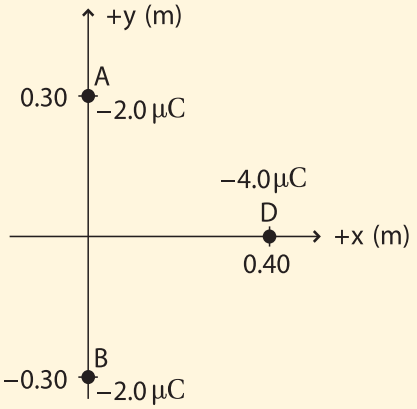
(C) 6.2×10^{2}

(D) 5.4×10^{3}

الأسئلة الممتدة

10. بالرجوع إلى الرسم أدناه، ما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة D من قبل الشحنتين A وB؟ ضمّن إجابتك رسمًا بيانيًّا يوضّح متجهات القوى:

$\boldsymbol{F}_{\text{المحصلة}}$، $\boldsymbol{F}_{D\text{ في }B}$، $\boldsymbol{F}_{D\text{ في }A}$



✓ إرشاد

استعمل نظام الأصدقاء

ادرس ضمن مجموعة؛ لأن الدراسة في مجموعة صغيرة تتيح لك الاستفادة من المهارات والمعارف من مَعين أوسع. وراعِ أن تكون مجموعتك صغيرة ما أمكنك، وتبادلوا طرحَ الأسئلة فيما بينكم، وركِّزوا في نقاشكم وتجنّبوا الخوض في مواضيع جانبية.

الفصل 2

الكهرباء التيارية
Current Electricity

الفكرة العامة

تنقل التيارات الكهربائية الطاقة الكهربائية التي يمكن تحويلها إلى أشكال أخرى.

2-1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية

الفكرة الرئيسة التيار الكهربائي هو تدفق الشحنات الكهربائية.

2-2 استخدام الطاقة الكهربائية

الفكرة الرئيسة يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى مثل الطاقة الحرارية والميكانيكية والإشعاعية.

يتوقع بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بالتيار الكهربائي والدوائر الكهربائية(التيار الكهربائي، التيار الاصطلاحي، الدائرة الكهربائية،الأمبير، المقاومة الكهربائية،المقاوم الكهربائي) .
- وصف الشروط اللازمة لتدفق تيار كهربائي في دائرة كهربائية.
- تصميم دوائر كهربائية مغلقة.
- التفريق بين القدرة، والطاقة في دائرة كهربائية.
- توضيح المفاهيم المرتبطة باستخدام الطاقة الكهربائية(الموصل فائق التوصيل، الكيلوواط. ساعة) .
- توضيح كيف تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.
- حل مسائل رياضية تتعلق بالطاقة الكهربائية والقدرة الكهربائية.
- استكشاف طرائق نقل الطاقة الكهربائية.

فكّر ◄

تكون (جهود) فولتيات أسلاك نقل الطاقة الكهربائية كبيرة جدًّا، بحيث لا يمكن استخدامها بصورة آمنة في المنازل والشركات. فلماذا تستخدم مثل هذه الفولتيات الكبيرة في أسلاك نقل الطاقة؟

تجربة استهلالية

هل يمكنك إنارة مصباح كهربائي؟

سؤال التجربة إذا أُعطيت سلكًا وبطارية ومصباحًا، فهل يمكنك إنارة المصباح؟

الخطوات

1. حاول إيجاد عدد الطرائق الممكنة لإنارة المصباح باستخدام مصباح كهربائي وبطارية وسلك.
تحذير: السلك حاد، وقد يجرح الجلد، كما أنه يسخن إذا وصلت نهايتاه بقطبي بطارية.
2. أنشئ رسمًا تخطيطيًّا لطريقتين يُمكنك بهما إنارة المصباح. تأكد من كتابة أسماء الأجزاء؛ البطارية، والسلك، والمصباح على الرسم.
3. أنشيء رسمًا تخطيطيًّا لثلاث طرائق على الأقل لا يُمكنك إنارة المصباح بأي منها.

التحليل

كيف يمكنك معرفة ما إذا كان التيار الكهربائي يتدفق في الدائرة أم لا؟ وما العلاقة المشتركة بين رسومك الخاصة والمصباح المضيء؟ وما العلاقة المشتركة بين رسومك الخاصة والمصباح غير المضيء؟ وفقًا لملاحظاتك، ما الشروط التي يجب توافرها لكي يضيء المصباح؟

التفكير الناقد

ما الذي يؤدي إلى تدفق الكهرباء في المصباح؟

1–2 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية
Current and Circuits

الفيزياء في حياتك

تحتوي اللوحة الأساسية في جهاز الحاسوب على مكونات مختلفة، مثل رقائق شبه موصلة، ومقاومات، ومكثفات، حيث يتدفق التيار بين تلك المكونات لكي يعمل الحاسوب.

تساؤلات جوهرية:

- ما المقصود بالتيار الكهربائي؟
- كيف تتغير الطاقة الكهربائية في الدوائر الكهربائية؟
- ما قانون أوم؟
- ما العلاقة الرياضية بين القدرة والتيار الكهربائي وفرق الجهد والمقاومة؟

المفردات:

- التيار الكهربائي
- التيار الاصطلاحي
- الأمبير
- الدائرة الكهربائية
- المُقاوم الكهربائي
- المُقاوم الكهربائي

تعلمت أن الماء المتدفق من أعلى شلال له طاقة وضع وطاقة حركية. ورغم توافر كمية كبيرة من طاقتي الوضع والحركة الطبيعيتين في بعض المصادر الطبيعية كما في الشلالات وموجات البحر مثلًا، إلا أن استفادة الناس أو المصانع التي تبعد 100 km أو أكثر عن تلك المصادر قليل، ما لم تنقل تلك الطاقة بكفاءة. وتعدّ الطاقة الكهربائية الوسيلة الأمثل لنقل كميات كبيرة من الطاقة إلى مسافات كبيرة دون ضياع كميات كبيرة منها. وتتم عملية النقل هذه عادة عند فروق جهد كبيرة عبر أسلاك نقل القدرة، وعندما تصل هذه الطاقة إلى المستهلك يُمكن تحويلها بسهولة إلى شكل آخر، أو مجموعة أشكال أخرى، منها الطاقة الصوتية، والطاقة الضوئية، والطاقة الحرارية، والطاقة الحركية. لا يستغنى عن الطاقة الكهربائية في حياتنا اليومية؛ لأن تحويلها إلى أشكال أخرى سهل. فإذا ألقيت نظرة سريعة حولك، ستجد أمثلة كثيرة على ذلك؛ ففي منزلك تساعدك الأنوار على القراءة، كما تعتمد الحواسيب على الكهرباء في عملها. أما خارج المنزل، فمصابيح إنارة الشوارع، والإشارات الضوئية، تستخدم تدفق الشحنات الكهربائية. ستتعلم في هذا الفصل كيف يرتبط فرق الجهد، والمقاومة، والتيار معًا. كما ستتعرّف أيضًا القدرة الكهربائية وتحولات الطاقة.

توليد التيار الكهربائي Producing Electric Current

تعلمت سابقًا أنه عند تلامس كرتين موصلتين تتدفق الشحنات من الكرة ذات الجهد الأعلى إلى الكرة ذات الجهد الأخفض، وسيستمر التدفق حتى يتلاشى فرق الجهد بين الكرتين.

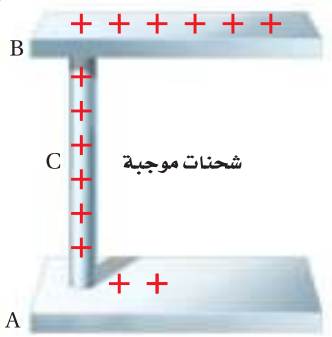
يسمّى تدفق الجسيمات المشحونة **التيار الكهربائي**. ويوضح **الشكل 2-1a** لوحين موصلين A و B، تم توصيلهما بوساطة سلك موصل C. لأن جهد B أكبر من جهد A فإن الشحنات تتدفق من B إلى A عبر السلك C. ويسمّى تدفق الشحنات الموجبة **التيار الاصطلاحي**. ويتوقف تدفق الجسيمات المشحونة عندما يصبح فرق الجهد بين A و B صفرًا. ويمكنك المحافظة أو الإبقاء على وجود فرق جهد كهربائي بين B وA عن طريق ضخ جسيمات مشحونة من اللوح A، لتعود إلى اللوح B، كما هو موضّح في **الشكل 2-1b**. ولأن المضخة (مصدر الجهد) تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات، فإنها تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي حتى تعمل. ولهذه الطاقة مصادر متنوعة؛ فمثلًا تعد خلية الفولتية، أو الخلية الجلفانية (البطارية الجافة) إحدى هذه المصادر المألوفة؛ إذ تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية. عند وصل عدة خلايا جلفانية معًا يتشكل ما يسمى البطارية. وهناك مصدر آخر للطاقة الكهربائية، وهو خلية الفولتية الضوئية أو الخلية الشمسية، حيث تعمل هذه الخلية على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية.

المختبر الافتراضي:

كيف يمكنك إنارة مصباح كهربائي

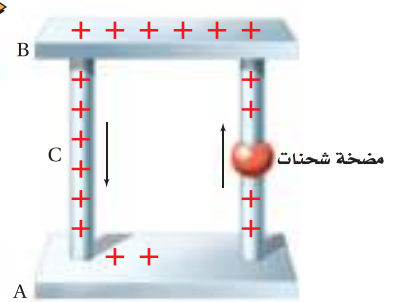
الشكل 2-1 يُعرّف التيار الاصطلاحي بأنه تدفق الشحنات الموجبة من اللوح الموجب إلى اللوح السالب (a). يضخ المولّد الشحنات الموجبة لتعود إلى اللوح الموجب مما يؤدي إلى استمرار تدفق التيار (b). في أغلب الفلزات تتدفق الإلكترونات ذات الشحنة السالبة من اللوح السالب إلى اللوح الموجب، مما يجعل الشحنات الموجبة تبدو وكأنها تتحرك في الاتجاه المعاكس.

a



لا يسري تيار

b

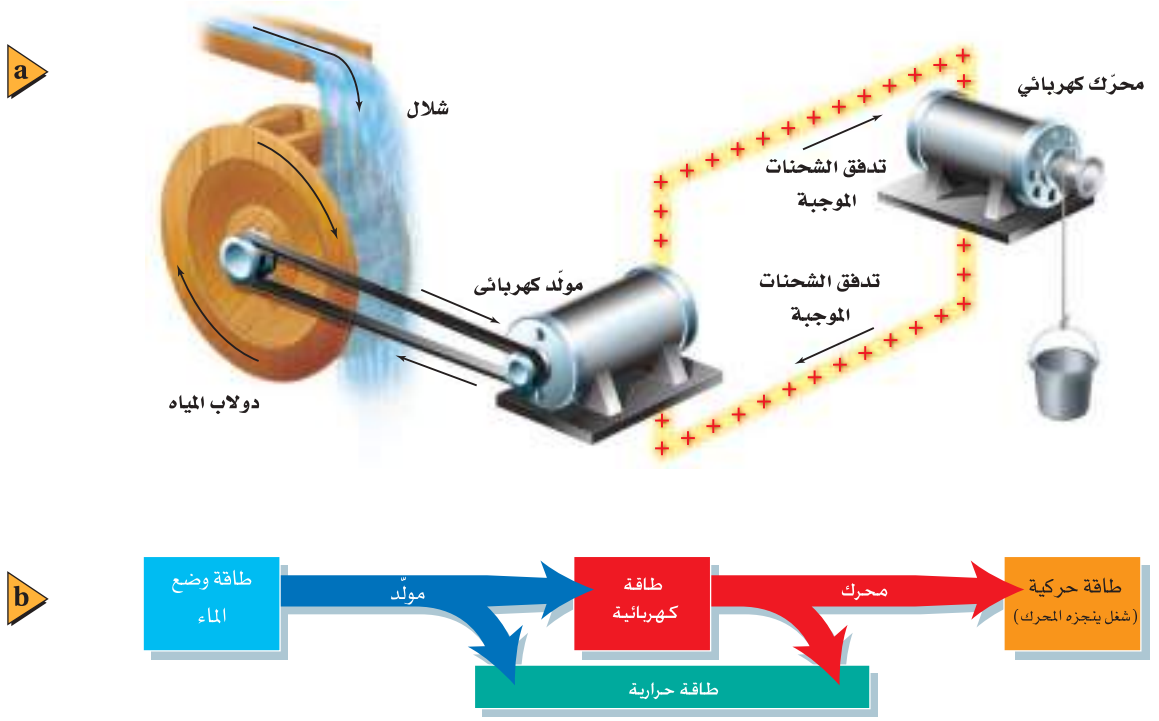


يسري تيار

الدوائر الكهربائية Electric Circuits

تتحرك الشحنات الموضحة في **الشكل 2-1b** في مسار مغلق، بحيث تتحرك في دورة تبدأ من المضخة، ثم تصل إلى اللوح B، وتصل بعد ذلك إلى اللوح A من خلال الموصل C لتعود إلى المضخة مرة أخرى. وتسمى أي حلقة مغلقة أو مسار موصل يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية **الدائرةَ الكهربائية**. وتحتوي الدائرة على مضخة للشحنات، تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من A إلى B، كما تحتوي أيضًا على أداة تقلل من طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من B إلى A. وتتحول عادة طاقة الوضع التي تفقدها الشحنات المتحركة، qV، بوساطة هذه الأداة إلى أشكال أخرى للطاقة، فمثلاً يعمل المحرك على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية، ويحوّل المصباح الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية. وتحوّل المدفأة الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

مقارنة تدفق الماء مع التيار الكهربائي تعمل مضخة الشحنات على تدفق الجسيمات المشحونة، والتي بدورها تشكل التيار الكهربائي. لندرس مثلًا مولّد كهربائي تم تشغيله بوساطة دولاب (ناعورة)، كما هو موضّح في **الشكل 2-2a**. حيث يسقط الماء فيُدير الدولاب، الذي يُدير بدوره المولّد. وهكذا تتحول الطاقة الحركية للمياه إلى طاقة كهربائية بوساطة المولّد. فعمل المولّد يشبه عمل مضخّة الشحنات؛ إذ يزيد من فرق الجهد الكهربائي V. ونحتاج إلى طاقة بمقدار qV لزيادة فرق الجهد للشحنات، وتأتي هذه الطاقة من التغير في طاقة المياه. ولا تتحول جميع الطاقة الحركية للمياه إلى طاقة كهربائية، كما هو موضّح في **الشكل 2-2b**. إذا وُصِل المولّد المُتّصل بدولاب المياه بمحرّك فستتدفق الشحنات الموجودة في السلك داخل المحرك، وسوف يستمر تدفق الشحنات خلال الدائرة لتعود إلى المولّد، حيث يعمل المحرّك على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية.



■ **الشكل 2–2** تتحول طاقة وضع ماء الشلال في النهاية إلى شغل مبذول على الدلو (**a**). ولا تصل كفاءة توليد التيار الكهربائي واستعماله إلى نسبة 100%؛ إذ تنتج بعض الطاقة الحرارية من خلال رش المياه والاحتكاك والمقاومة الكهربائية (**b**).

حفظ الشحنة الشحنات لا تفنى ولا تستحدث، ولكن يمكن نقلها من جسم إلى آخر؛ لذا فإن الكمية الكلية للشحنة –عدد الإلكترونات السالبة والأيونات الموجبة – في الدائرة لا تتغير؛ فإذا تدفق كولوم واحد خلال ثانية واحدة في المولّد فسوف يتدفق عندئذ كولوم واحد أيضًا في المحرك خلال ثانية واحدة، لذا تكون الشحنة كمية محفوظة. كما تكون الطاقة محفوظة أيضًا؛ حيث إن التغير في الطاقة الكهربائية ΔE يساوي qV. ولأن الشحنة محفوظة فإن التغير الكلي في طاقة الوضع للشحنات التي تحركت دورة كاملة في الدائرة الكهربائية يساوي صفرًا. وتكون الزيادة في فرق الجهد الناتج بوساطة المولد مساوية للنقصان في فرق الجهد خلال المحرك. فإذا كان فرق الجهد بين سلكين 120 V فهذا يعني أنه يجب أن يبذل كل من المولد ودولاب المياه شغلًا مقداره 120 J لكل 1 كولوم من الشحنات الواصلة. ويزوّد كل واحد كولوم من الشحنات المتحركة خلال المحرّك 120 J من الطاقة إلى المحرّك.

القدرة Power

تمثل القدرة المعدل الزمني لتحوّل الطاقة، وتقاس بوحدة الواط W، فإذا حوّل مولّد كهربائي 1 J من الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية في كل ثانيه، فعندئذ يمكننا القول إن المولد يحول الطاقة بمعدل 1 J /s أو 1 W، وتعتمد الطاقة التي يحملها التيار الكهربائي على كمية الشحنات المنقولة q، كما تعتمد أيضًا على فرق الجهد V بين طرفي المسار الذي يتحرك فيه التيار؛ أي أن $E = qV$. ويسمّى المعدل الزمني لتدفق الشحنة الكهربائية، $\frac{q}{t}$، **التيارَ الكهربائيَّ**، ويقاس بوحدة كولوم لكل ثانية؛ حيث إن وحدة قياس كمية الشحنة الكهربائية هي الكولوم، كما درست سابقًا. ويُرمز إلى التيار الكهربائي بالرمز I، لذا فإن $I = \frac{q}{t}$. ويسمّى تدفق 1 C /s **الأمبيرَ**، ويرمز له بالرمز A.

ترتبط الطاقة التي يحملها التيار الكهربائي مع الجهد الكهربائي من خلال العلاقة $E = qV$.
ولأن التيار $I = \frac{q}{t}$ يمثّل المعدل الزمني لتدفق الشحنة، فإنه يمكن تحديد القدرة $P = \frac{E}{t}$ لجهاز كهربائي، بضرب الجهد في التيار. ولاشتقاق هذه الصورة المألوفة لمعادلة القدرة الكهربائية الواصلة إلى جهاز كهربائي يمكنك استعمال العلاقة $P = \frac{E}{t}$، ومن ثم تعوض فيها العلاقتين التاليتين $E = qV$ و $q = It$.

القدرة تساوي التيار مضروبًا في فرق الجهد.

القدرة $P = IV$

إذا كان التيار المار في المحرك الموضّح في **الشكل 2a-2** يساوي 3.0 A، وفرق الجهد 120 V فإن قدرة المحرك تحسب كما يأتي: $P = (3.0\ C/s)(120\ J/C) = 360\ J/s$ والتي تساوي 360 W

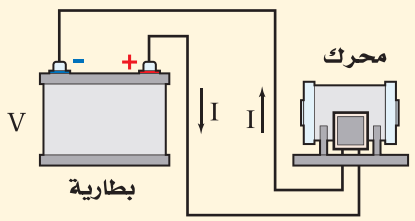
مثـــــال 1

القدرة والطاقة الكهربائية ولّدت بطارية جهدها 6.0 V تيارًا مقداره 0.50 A في محرك كهربائي عند وصله بطرفي البطارية. احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة إلى المحرك.

b. الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك، إذا تم تشغيله مدة 5.0 min

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم دائرة تبين فيها الطرف الموجب لبطارية موصول بمحرك، والسلك الراجع من المحرك موصول بالطرف السالب للبطارية.
- وضّح اتجاه التيار الاصطلاحي.

المعلوم	المجهول
$V = 6.0\ V$	$P = ?$
$I = 0.50\ A$	$E = ?$
$t = 5.0\ min$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم المعادلة $P = IV$ لإيجاد القدرة.

$P = IV$

$P = (0.50\ A)(6.0\ V) = 3.0\ W$ بالتعويض عن $I = 0.50\ A$، $V = 6.0\ V$

b. تعلمت سابقًا أن $P = \frac{E}{t}$. حل هذه المعادلة بالنسبة لـ E لإيجاد الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك.

$E = Pt$

$= (3.0\ J/s)(5.0\ min)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$ بالتعويض عن $P = 3.0\ W$، $t = 5.0\ min$

$= 9.0 \times 10^2\ J$

3 تقويم الجواب

حفظ الشحنة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس القدرة بالواط، والطاقة بالجول.
- **هل الجواب منطقي** قيمتا التيار والجهد قليلتان نسبيًّا، لذا تكون القيمة القليلة للقدرة منطقية.

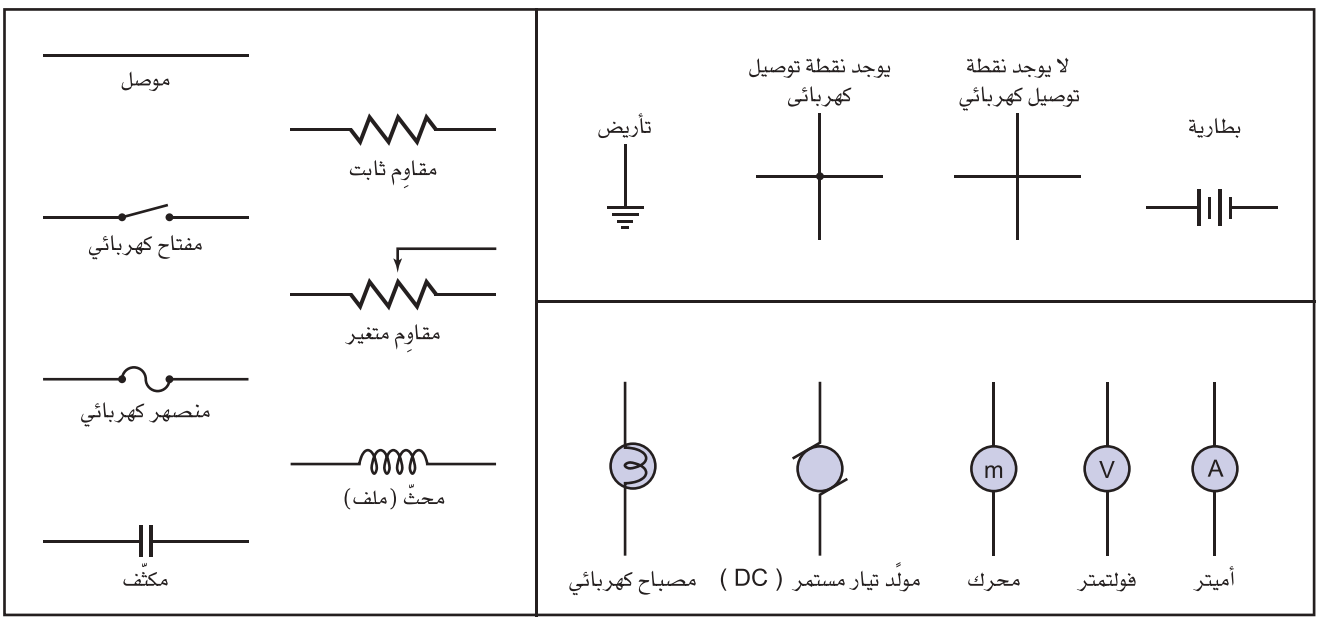
مسائل تدريبية

1. إذا مـرّ تيار كهربائي مقداره 0.50 A في مصبـاح كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 125 V، فما المعدل الزمني لتحويل المصباح للطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية؟
2. مـا مقدار التيـار الكهربائي المار في مصباح قدرتـه 75 W، متصل بمصدر جهد مقداره 125 V؟
3. يسرى تيار كهربائي مقداره 210 A في جهاز بدء التشـغيل في محرك سـيارة. فإذا كان فرق الجهد بين قطبي البطارية 12 V، فما مقدار الطاقة الكهربائية التي تصل إلى جهاز بدء التشغيل خلال 10.0 s؟

تمثيل الدوائر الكهربائية Diagramming Circuits

يمكـن وصف دائرة كهربائية بسـيطة بالكلمات، كما يمكن أيضًـا تصويرها فوتوجرافيًّا أو بالرسـم الفني لأجزائها. وترسـم الدوائر الكهربائية غالبًا باسـتخدام رموز معينة لأجزاء الدائرة، ومثل هذا الرسـم يسـمّى الرسم التخطيطي للدائرة. ويوضح **الشكل 3-2** بعض الرموز المستخدمة في الرسم التخطيطي للدائرة.

الشكل 3-2 تستخدم هذه الرموز عـادةً للرسـم التخطيطي للدوائر الكهربائية.



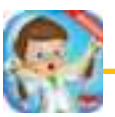
الشكل 4–2 تمثيل تصويري لدائرة بسيطة (**a**)، وتمثيل آخر تخطيطي (**b**).

يوضح **الشكلان 2–4a** و **2–4b** الدائرة نفسها بالرسم التصويري والرسم التخطيطي. ولعلك تلاحظ أن الشحنة الكهربائية في كلا الشكلين تتدفق خارجةً من القطب الموجب للبطارية. لإنشاء الرسوم التخطيطية للدوائر الكهربائية استخدم استراتيجية حل المسألة في الصفحة ٥٣، وحدّد دائمًا اتجاه التيار الاصطلاحي.

مسائل تدريبية

4. ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة تحتوي على بطارية فرق الجهد بين طرفيها 60.0 V، وأميتر، ومقاوِم مقداره 12.5 Ω، موصول على التوالي. أوجد قراءة الأميتر، وحدّد اتجاه التيار.
5. أضف فولتمتر إلى الرسم التخطيطي للدائرة الكهربائية في المسألة السابقة لقياس فرق الجهد بين طرفي المقاوِمين، ثم أعد حلّها.
6. ارسم دائرة على أن تستخدم بطارية، ومصباحًا، ومفتاحًا كهربائيًّا، ومقاوِمًا متغيرًا لتعديل سطوع المصباح.

المقاومة الكهربائية وقانون أوم
Resistance and Ohm's Law



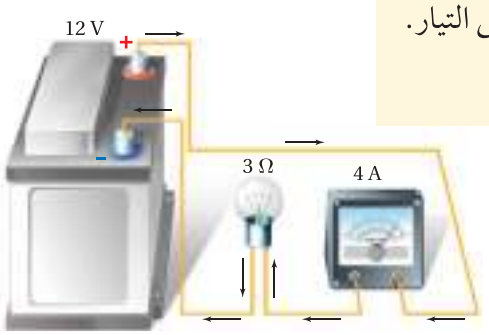
التجربة العملية:

ما العلاقة بين الجهد و التيار؟ وما العلاقة بين المقاومة والتيار؟

درس العالم أوم (1787–1854) العلاقة بين التيار وفرق الجهد، وتوصل إلى أن التيار الكهربائي يتناسب طرديًّا مع فرق الجهد، وعُرفت هذه النتيجة باسم قانون أوم. افترض أن هناك فرق جهد كهربائيًّا بين موصلين، فإذا وصلا بقضيب نحاسي، فسينتج عن ذلك تيار كهربائي. أما عند وضع قضيب زجاجي بينهما، فلن يسري تيار كهربائي. تسمّى الخاصية التي تحدد مقدار التيار الذي سيسري **المقاومة الكهربائية**. يحتوي **الجدول 1–2** في الصفحة التالية على قائمة لبعض العوامل التي تؤثر في المقاومة. وتعرّف المقاومة R بأنها نسبة فرق الجهد الكهربائي V إلى التيار الكهربائي I.

المقاومة تساوي فرق الجهد مقسومًا على التيار.

المقاومة $$R = \frac{\Delta V}{I}$$

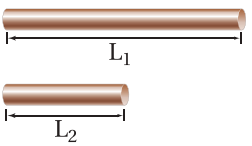
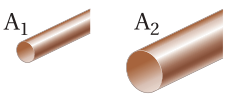
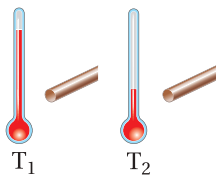


الشكل 5–2 يُعرَّف الأوم الواحد (1 Ω) بأنه $1\ \frac{V}{A}$، يمر تيار كهربائي مقداره 4 A في دائرة كهربائية تحوي مقاومة كهربائية مقدارها 3 Ω عند وصلها ببطارية، فرق الجهد بين قطبيها يساوي 12 V.

الأوم تُقاس مقاومة موصل R بوحدة الأوم، ويعرّف الأوم الواحد (1 Ω) على أنه مقاومة موصل يمر فيه تيار مقداره 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V. يوضّح **الشكل 5–2** دائرة كهربائية بسيطة تربط بين المقاومة والتيار والجهد. وقد أكملت الدائرة الكهربائية بتوصيل أميتر بها؛ وهو جهاز يقيس التيار الكهربائي.

الجدول 1-2

العوامل التي تؤثر في المقاومة الكهربائية

العامل	كيفية تغيّر المقاومة	مثال
الطول	تزداد المقاومة الكهربائية بزيادة الطول.	$R_{L1} > R_{L2}$ 
مساحة المقطع العرضي	تزداد المقاومة الكهربائية بنقصان مساحة المقطع العرضي.	$R_{A1} > R_{A2}$ 
درجة الحرارة	تزداد المقاومة بزيادة درجة الحرارة.	$R_{T1} > R_{T2}$ 
نوع المادة	عند تثبيت كلٍّ من الطول ومساحة المقطع العرضي ودرجة الحرارة، تتغير المقاومة الكهربائية وفق نوع المادة المستخدمة.	تزداد R ↑ البلاتين، الحديد، الألومنيوم، الذهب، النحاس، الفضة

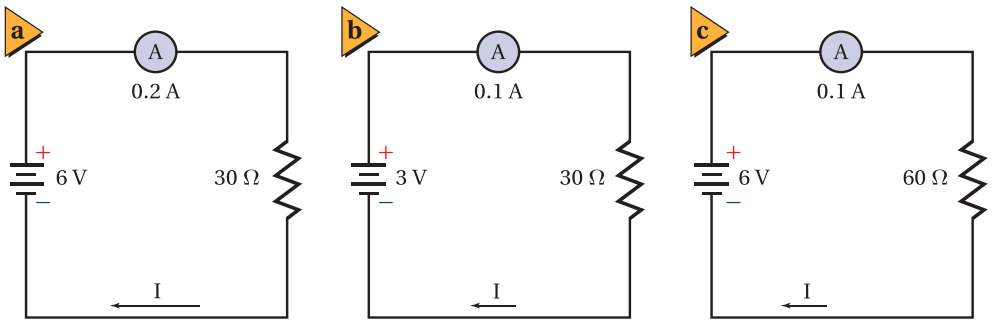
سُمّيت وحدة المقاومة الأوم نسبة إلى العالم الألماني جورج سيمون أوم. ولا تتغير مقاومة معظم الموصلات بتغير مقدار أو اتجاه الجهد المُطبّق عليها. ويُقال عن الموصل بأنه يُحقّق قانون أوم إذا كانت مقاومته ثابتة لا تعتمد على فرق الجهد بين طرفيه.

المقاوم تُحقّق معظم الموصلات الفلزية قانون أوم، ضمن حدود معينة لفروق الجهد، وتعتمد مقاومة تلك الموصلات على طول الموصل ومساحة مقطعه العرضي ونوع مادته إضافة إلى درجة حرارته. إلا أن هناك العديد من الأجهزة المهمة التي لا تُحقّق قانون أوم. فالمذياع والآلة الحاسبة يحتويان على العديد من القطع الإلكترونية، مثل الترانزستورات والدايودات التي لا تُحقّق قانون أوم. وحتى المصباح الكهربائي له مقاومة تتغير وفق درجة حرارتها، لذا فإنه لا يُحقّق قانون أوم.

إن مقاومة الأسلاك المستخدمة في توصيل الأجهزة الكهربائية صغيرة. فمقاومة سلك

تطبيق الفيزياء

المقاومة الكهربائية تبلغ مقاومة مصباح كهربائي مُضاء قدرته الكهربائية 100 W حوالي 140 Ω، أما عند إطفائه وتركه حتى تصبح درجة حرارته مساويةً درجة حرارة الغرفة فستنخفض مقاومته إلى 10 Ω فقط. ويرجع سبب هذا الاختلاف في المقاومة إلى الاختلاف الكبير بين درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة المصباح المُضاء.



الشكل 6–2 يمكن التحكم في التيار المتدفق في الدائرة البسيطة الموضّحة في الشكل (a) عن طريق إزالة بعض الخلايا الجافة (b) أو بزيادة مقاومة الدائرة (c).

مثالي طوله 1 m من النوع المستخدم في مختبرات الفيزياء تساوي 0.03 Ω أما الأسلاك المستخدمة في التمديدات المنزلية فتكون مقاومتها صغيرة وتساوي 0.004 Ω تقريبًا لكل واحد متر من طولها. ولأن مقاومة هذه الأسلاك صغيرة جدًّا فإنه لا يحدث غالبًا نقصان أو هبوط للجهد خلالها. ولإنتاج هبوط أكبر في الجهد، من الضروري وجود مقاومة كبيرة مُتركِّزة في حجم صغير. وتسمى القطعة المصممة ليكون لها مقاومة معينة **المُقاوِم الكهربائي**. ويمكن صنع المقاوِمات من الجرافيت أو أشباه الموصلات أو باستعمال أسلاك طويلة ورفيعة.

التحكم في التيار وهناك طريقتان للتحكم في مقدار التيار المار في دائرة كهربائية؛ حيث يمكن التحكم في التيار الكهربائي I عن طريق تغيير V أو R أو كليهما؛ وذلك لأن $I = \frac{V}{R}$. يوضّح **الشكل 2–6a** دائرة بسيطة؛ فعندما تكون V تساوي 6 V، و R تساوي 30 Ω يكون مقدار التيار 0.2 A. فكيف يمكن تقليل مقدار التيار ليصبح 0.1 A؟ بالرجوع إلى قانون أوم، تلاحظ أنه كلما زاد فرق الجهد المُطبّق على مقاوِم زاد التيار الكهربائي المار فيه، أما إذا قلّ فرق الجهد المُطبّق على المقاوِم إلى النصف فسوف يقل التيار المار فيه إلى النصف أيضًا. ويوضح **الشكل 2-6b** أن الجهد المُطبّق على طرفي المقاوِم قلّ من 6 V إلى 3 V؛ وذلك لتقليل التيار ليصبح 0.1 A. وهناك طريقة أخرى لتقليل التيار حتى يصبح 0.1 A، وذلك بوضع مقاوِم 60 Ω بدلا من المقاوِم 30 Ω، كما هو موضّح في **الشكل 2-6c**.

المقاومات المتغيرة تُستخدم المقاوِمات عادة للتحكم في التيار المار في الدائرة الكهربائية، أو في أجزاء منها. ونحتاج أحيانًا في بعض التطبيقات إلى تغيير سلس ومستمر للتيار. فمثلاً تسمح أدوات التحكم في السرعة في بعض المحركات الكهربائية بتغيير دوران المحرك على مدى واسع ومستمر بدلاً من تلك التغييرات التي تكون محدّدة في صورة خطوة–خطوة. ولتحقيق هذا النوع من التحكم يُستخدم مقاوِم متغير، ويوضح **الشكل 7–2** دائرة كهربائية تحتوي على مقاوِم متغير. تتكون بعض المقاوِمات المتغيرة من ملف مصنوع من سلك فلزي ونقطة اتصال منزلقة (متحركة). وبتحريك نقطة الاتصال إلى مواقع مختلفة على الملف يتغير طول السلك الذي يصبح ضمن الدائرة الكهربائية؛ فبزيادة طول السلك في الدائرة تزداد مقاومة الدائرة، لذا يتغير التيار وفق المعادلة $I = \frac{V}{R}$. وبهذه الطريقة يمكن تعديل سرعة محرك من دوران سريع عندما يكون طول السلك في الدائرة قصيرًا، ليصبح دورانه بطيئًا عند

تجربة

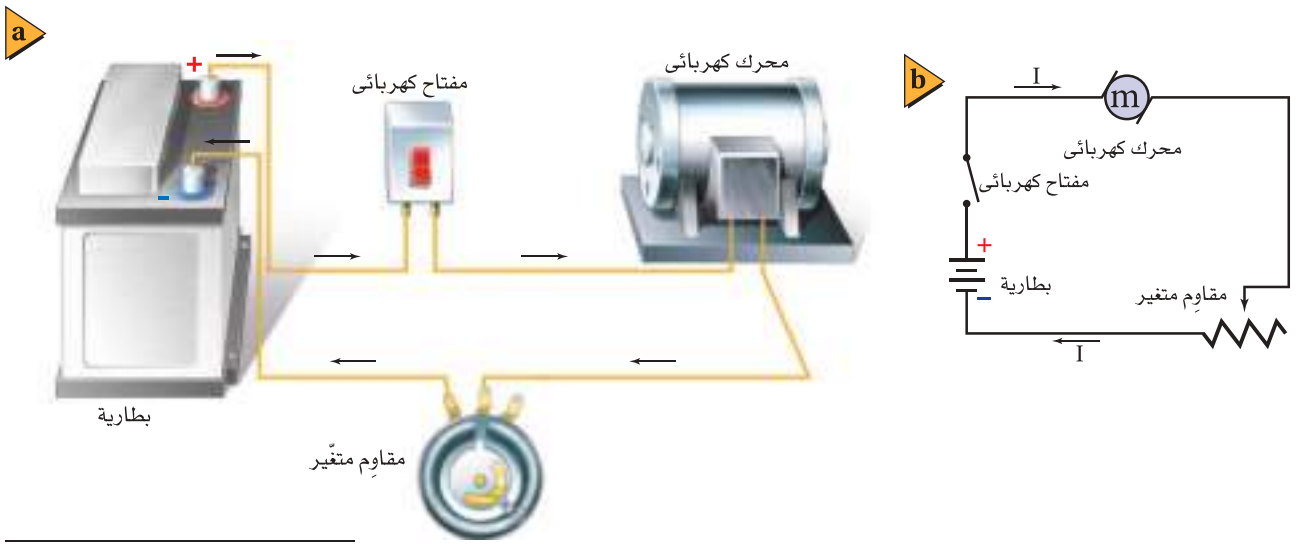
تأثيرات التيار الكهربائي

هل تعتقد أن التيار يقل عند مروره خلال عناصر مختلفة في الدائرة؟ اعمل كالعلماء لكي تتمكّن من اختبار هذا السؤال عمليًّا.

1. ارسم دائرة كهربائية تتضمن مصدر قدرة ومصباحين كهربائيين صغيرين.
2. ارسم الدائرة مرة أخرى، وضمّن رسمك أميتر؛ حتى تتمكن من قياس التيار بين مصدر القدرة والمصباحين.
3. ارسم رسمًا تخطيطيًا ثالثًا للدائرة الكهربائية، على أن تضع فيه الأميتر في موقع يُمكّنك من قياس التيار الكهربائي المار بين المصباحين.

التحليل والاستنتاج

4. **توقع** هل يكون التيار بين المصباحين أكبر من التيار الذي يكون قبلهما، أو أقل منه، أو يبقى ثابتًا؟ وضّح إجابتك.
5. **اختبر** توقعك عن طريق بناء دوائر مختلفة. ***تحذير: السلك حاد، وقد يجرح الجلد.***



الشكل 7–2 يمكن استعمال مقاوِم متغير للتحكم في التيار المار في دائرة كهربائية.

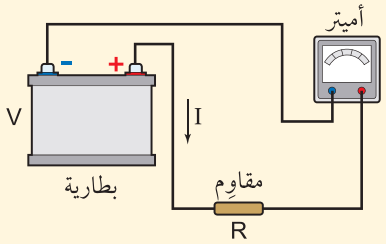
زيادة طول السلك في الدائرة كما يحدث عند التحكم بسرعة المروحة الكهربائية. وهناك أمثلة أخرى على استخدام المقاوِمات المتغيرة للتحكم في مستويات الطاقة الكهربائية في التلفاز وضبطها، مثل التحكم في الصوت، ودرجة سطوع الصورة، وتباينها، والألوان، وتعد جميع أدوات الضبط هذه مقاوِمات متغيرة.

الربط مع الأحياء

جسم الإنسان يؤثر جسم الإنسان بوصفه مقاوِمًا متغيرًا؛ حيث تكون مقاومة الجلد الجاف كبيرة بقدر كافٍ لجعل التيارات الناتجة عن الجهود الصغيرة والمعتدلة قليلة. أما إذا أصبح الجلد رطبًا فستكون مقاومته أقل. وقد يرتفع التيار الكهربائي الناتج عن هذه الجهود إلى مستويات خطرة. ويمكن الشعور بتيار كهربائي صغير يصل مقداره إلى قيمة قريبة من 1 mA في صورة صدمة كهربائية خفيفة. أما التيارات التي مقاديرها قريبة من 15 mA فقد تؤدي إلى فقدان السيطرة على العضلات. في حين أن التيارات التي مقاديرها قريبة من 100 mA قد تؤدي إلى الموت.

مثـــــال 2

التيار المار في مقاوِم وصلت بطارية فرق الجهد بين قطبيها 30.0 V بمقاوِم مقداره 10.0 Ω، ما مقدار التيار المار في الدائرة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم دائرة تحتوي على بطارية، وأميتر، ومقاوِم.
- وضّح اتجاه التيار الاصطلاحي.

المعلوم	المجهول
$V = 30.0\ \text{V}$	$I = ?$
$R = 10.0\ \Omega$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم المعادلة $I = \frac{V}{R}$، لإيجاد التيار:

بالتعويض عن $V = 30.0\ \text{V}$ ، $R = 10.0\ \Omega$

$$I = \frac{V}{R}$$
$$= \frac{30.0\ \text{V}}{10.0\ \Omega}$$
$$= 3.00\ \text{A}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُقاس التيار بوحدة الأمبير A.
- **هل الجواب منطقي؟** الجهد كبير والمقاومة قليلة، لذا يكون مقدار التيار 3.00 A منطقيًّا.

مسائل تدريبية

افترض في هذه المسائل جميعها أن جهد البطارية ومقاومات المصابيح ثابتة، بغض النظر عن مقدار التيار.

7. يسحب مصباح تيارًا مقداره 0.5 A عند توصيله بمصدر جهد مقداره 120 V، احسب مقدار:

a. مقاومة المصباح.

b. القدرة الكهربائية المستهلكة في المصباح.

8. وصِل مصباح كُتب عليه 75 W بمصدر جهد 125 V، احسب مقدار:

a. التيار المار في المصباح.

b. مقاومة المصباح.

استراتيجيات حل المسألة

إنشاء الرسوم التخطيطية

اتبع هذه الخطوات عند إعداد الرسوم التخطيطية:

1. ارسم رمز البطارية أو رمز أي مصدر آخر للطاقة الكهربائية، مثل البطارية الموضّحة في الجانب الأيسر من الصفحة.
2. ارسم سلكًا خارجًا من الطرف الموجب للبطارية، وعند الوصول إلى مقاوِم أو أيّ مكون (عنصر) آخر، ارسم الرمز الخاص به.
3. عند الوصول إلى نقطة يكون عندها مساران للتيار الكهربائي، كتلك النقطة الموصول عندها الفولتمتر، نرسم الرمز ⟂ في الرسم التخطيطي. اتبع أحد المسارين إلى أن يتجمع مسارا التيار مرة أخرى، ثم ارسم بعد ذلك المسار الثاني.
4. اتبع مسار التيار حتى تصل إلى الطرف السالب للبطارية، والذي يرسم على شكل خط موازٍ للطرف الموجب، ولكن بطول أقصر.
5. تحقّق من صحة عملك، وأنه تضمن كل الأجزاء، وأن المسارات مكتملة لكي يمر التيار.

2–1 مراجعة

9. **رسم تخطيطي** ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة كهربائية تحتوي على بطارية، ومصباح كهربائي، وتأكد من أن المصباح الكهربائي سيضيء في هذه الدائرة .
10. **المقاومة الكهربائية** يدعي طارق أن المقاومة ستزداد بزيادة فرق الجهد، وذلك لأن $R = \frac{V}{I}$. فهل ما يدعيه طارق صحيح؟ فسر ذلك.
11. **المقاومة الكهربائية** إذا أردت قياس مقاومة سلك طويل فبيّن كيف تركّب دائرة كهربائية باستخدام بطارية، وفولتمتر، وأميتر، والسلك الذي تريد قياس مقاومته. حدّد ما الذي ستقيسه؟ وبيّن كيف ستحسب المقاومة؟
12. **القدرة** تتصل دائرة كهربائية مقاومتها $12\ \Omega$ ببطارية جهدها $12\ V$، حدّد التغير في القدرة، إذا قلّت المقاومة إلى $9.0\ \Omega$؟
13. **الطاقة** تحوِّل دائرة كهربائية طاقة مقدارها $2.2\times10^3\ J$ عندما تُشغّل ثلاث دقائق. حدّد مقدار الطاقة التي ستتحول عندما تشغل مدة ساعة واحدة.
14. **التفكير الناقد** نقول إن القدرة تستهلك وتُستنفد في مقاوِم. والاستنفاد يعني الاستخدام أو الإهدار والتبديد. فما "الاستخدام" عند مرور شحنات في مقاوِم كهربائي؟

تعمل العديد من الأجهزة الكهربائية المنزلية المألوفة على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى للطاقة، كالضوء أو الطاقة الحركية أو الصوت أو الطاقة الحرارية. فعند تشغيل أحد هذه الأجهزة، فأنت تُغلق الدائرة الكهربائية، ويبدأ تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى. ستتعلّم في هذا البند كيفية تحديد معدل تحويل الطاقة، وكمية الطاقة المُحوّلة.

الفيزياء في حياتك

تستخدم الطاقة الكهربائية في شتى المجالات، والتي لا غنى عنها في حياتنا اليومية فهي تستخدم في المنازل للإنارة والتدفئة وتشغيل الأجهزة الكهربائية، وكذلكوكافة المجالات الأخرى مثل الصناعة والاتصالات والمجالات العلمية.

تساؤلات جوهرية:

- كيف تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية؟
- ما العلاقة بين الطاقة الكهربائية والقدرة؟
- كيف يتم نقل الطاقة الكهربائية مع فقدان جزء قليل على شكل حرارة؟

المفردات:

- الموصل فائق التوصيل
- الكيلوواط. ساعة

تحولات الطاقة في الدوائر الكهربائية
Energy Transfers in Electric Circuits

يمكن استخدام الطاقة التي تدخل دائرة كهربائية بطرائق مختلفة؛ فالمحرك الكهربائي يحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية، ويحوّل المصباح الطاقة الكهربائية إلى ضوء. ولا تتحوّل جميع الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك أو المصباح إلى شكل مفيد للطاقة؛ فالمصابيح الكهربائية، وبخاصة المتوهّجة منها، تسخن، كما ترتفع غالبًا درجة حرارة المحركات إلى درجة يتعذَّر معها لمسها، وفي كلتا الحالتين يتحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. ستتفحّص الآن بعض الأدوات التي صُمِّمت لتحول أكبر كمية ممكنة من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

تسخين مقاوِم عند مرور تيار كهربائي في مقاوِم فإنه يسخن؛ وذلك بسبب تصادم الإلكترونات مع ذرات المقاوِم؛ حيث تعمل هذه التصادمات على زيادة الطاقة الحركية للذرات، ونتيجة لذلك ترتفع درجة حرارة المقاوِم. لقد صمّمت كل من المدفأة الحرارية، وصفيحة التسخين، وعنصر التسخين في مجفّف الشعر لتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. هذه التطبيقات وغيرها من التطبيقات المنزلية لاحظ **الشكل 8–2** تعمل عمل مقاوِمات عند وصلها بدائرة كهربائية. فعندما تتحرك شحنة q خلال مقاوِم يقل فرق جهدها بمقدار V. وكما تعلمت سابقًا، فإن التغير في الطاقة يعبَّر عنه بالعلاقة qV. كما تعبّر القدرة ($P = \frac{E}{t}$) عن المعدل الزمني لتغير الطاقة، والتي تعد ذات أهمية كبيرة في التطبيقات العملية. وتعلمت سابقًا أيضًا أن التيار الكهربائي هو المعدل الزمني لتدفق الشحنات ($I = \frac{q}{t}$)، وأن القدرة المستنفدة في مقاوِم تمثَّل بالعلاقة $P = IV$، وأن جهد مقاوِم يُعبَّر عنه بالعلاقة $V = IR$. لذا إذا علمت قيمة كل من I و R أمكنك تعويض $V = IR$ في معادلة القدرة الكهربائية للحصول على المعادلة التالية:

القدرة تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة.

القدرة $P = I^2R$

القدرة والطاقة الحرارية إذا علمت قيمتي كل من V و R، ولم تعلم قيمة I أمكنك عندئذ تعويض المعادلة $I = \frac{V}{R}$ في المعادلة $P = IV$ للحصول على المعادلة التالية:

القدرة تساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة.

القدرة $P = \frac{V^2}{R}$

الشكل 8–2 صُمّمت هذه التطبيقات لتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

القـدرة الكهربائيـة عبارة عن المعدل الـذي تتحول وفقه الطاقة من شـكل إلى آخر، فمثلاً يمكـن أن تتحـول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية، ومن ثم ترتفع درجة حرارة المقاوِم. فـإذا كان المقـاوِم مُسـخِّنًا مغمـورًا أو صفيحة تسـخين في قمة موقد كهربائي مثلًا سـوف تتدفق الحرارة إلى الماء البارد بسرعة تكون كافية لإيصاله إلى نقطة الغليان في دقائق قليلة.

وإذا اسـتمر اسـتنفاد القدرة بمعـدل منتظم فإن الطاقة المتحولة إلى طاقـة حرارية بعد فترة زمنية t ستسـاوي $E = Pt$. ولأن $P = I^2R$ و$P = \frac{V^2}{R}$ فإن الطاقة الكلية التي سـيتم تحويلها إلى طاقة حرارية يمكن التعبير عنها، كما في المعادلات التالية:

الطاقة الحرارية الطاقة الحرارية تسـاوي القدرة المستنفدة مضروبة في الزمن، كما أنها تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة والزمن، وتساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة، ومضروبًا في الزمن.

$$E = Pt$$

$$E = I^2 Rt$$

$$E = \left(\frac{V^2}{R}\right)t$$

التجربة العملية:

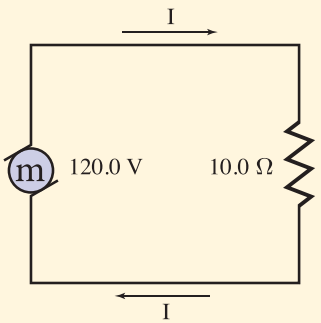
هـل الطاقـة في الميـاه الساخنة محفوظة؟

مثـــــال 3

التسخين الكهربائي يعمل سخّان كهربائي مقاومته 10.0 Ω على فرق جهد مقداره 120.0 V، احسب مقدار:

a. القدرة التي يستنفدها السخان الكهربائي. **b**. الطاقة الحرارية التي ينتجها السخان خلال 10.0 s

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم الحالة.
- عيّن عناصر الدائرة المعلومة، وهي مصدر فرق جهد مقداره 120.0 V، ومقاوِم 10.0 Ω

المعلوم	المجهول
$R = 10.0\ \Omega$	$P = ?$
$V = 120.0\ V$	$E = ?$
$t = 10.0\ s$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. بما أن قيمتي R و V معلومتان، فإننا نستخدم المعادلة $P = \frac{V^2}{R}$.

بالتعويض عن $R = 10.0\ \Omega$، $V = 120.0\ V$

$$P = \frac{(120.0\ V)^2}{10.0\ \Omega} = 1.44\ kW$$

b. حل لإيجاد الطاقة:

بالتعويض عن $P = 1.44\ kW$، $t = 10.0\ s$

$$E = Pt = (1.44\ kW)\ (10.0\ s) = 14.4\ kJ$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القدرة بوحدة الواط، والطاقة بوحدة الجول.
- **هل الجواب منطقي؟** بالنسبة للقدرة: $10^3 = 10^2 \times 10^2 \times 10^{-1}$، لذلك فإن مقدار القدرة منطقي. أما بالنسبة للطاقة: $10^4 = 10^3 \times 10^1$، لذا فإن المقدار 10000 J منطقي.

مسائل تدريبية

15. وُصِل مقاوِم مقداره 39 Ω ببطارية جهدها 45 V، فاحسب مقدار:
a. التيار المار في الدائرة.
b. الطاقة المستهلكة في المقاوم خلال 5.0 min

16. مصباح كهربائي قدرته 100.0 W، وكفاءته 22%؛ أي أن 22% فقط من الطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة ضوئية، احسب:
a. الطاقة الحرارية التي ينتجها المصباح الكهربائي كل دقيقة.
b. الطاقة التي يحوّلها المصباح إلى ضوء في كل دقيقة في أثناء إضاءته.

الموصلات فائقة التوصيل Super conductors **الموصل فائق التوصيل** مادة مقاومتها صفر، حيث لاتوجد ممانعة لمرور التيار في تلك المواد، لذا ليس هناك فرق في الجهد V خلالها. ولأن القدرة المستنفدة في موصل تعطى من ناتج IV فإنه يمكن للموصل الفائق التوصيل توصيلُ الكهرباء دون حدوث ضياع في الطاقة. ولكن لكي تصبح هذه الموصلات فائقة التوصيل يجب تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة أقل من 100 K؛ أي أن الاستفادة من هذه الظاهرة تتطلب حتى الآن وجوب بقاء درجة حرارة جميع هذه المواد أقل من 100 K، من الاستعمالات العملية للموصلات الفائقة التوصيل صناعة المغانط المستخدمة في أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي Magnetic Resonance Imaging (MRI)، وفي السنكروترون (مسرّع الجسيمات)؛ حيث تستخدم تيارات كهربائية ضخمة.

نقل الطاقة الكهربائية
Transmission of Electric Energy

اسلاك نقل الكهرباء إن محطات التوليد الكهربائية في كافة الدول ومنها المحطات الكهروحرارية كما هو في **الشكل 9–2**، قادرة على إنتاج كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية. حيث تُنقل هذه الطاقة غالبًا إلى مسافات كبيرة حتى تصل إلى المنازل والمصانع، فكيف يمكن أن تحدث عملية النقل هذه بأقل خسارة ممكنة للطاقة على شكل طاقة حرارية؟

تعلم أن الطاقة الحرارية تنتج في الأسلاك بمعدل يمكن تمثيله بالمعادلة $P = I^2R$. ويسمّي المهندسون الكهربائيون هذه الطاقة الحرارية المتولّدة غير المرغوب فيها القدرة الضائعة "I^2R". ولتقليل مقدار هذه القدرة الضائعة يتم تقليل التيار I أو المقاومة R.

لجميع أسلاك التوصيل مقاومة، إلا أن مقاومة بعضها صغيرة؛ فمقاومة السلك المستعمل لنقل التيار الكهربائي إلى بيت تساوي 0.20 Ω لكل 1 km من طوله. افترض أنه تم ربط بيت ريفي مباشرة بمحطة كهرباء تبعد عنه مسافة 3.5 km إن مقاومة الأسلاك المستخدمة لنقل التيار في دائرة كهربائية إلى البيت ثم عودته إلى المحطة تُمثّل بالمعادلة التالية:

$$R = 2(3.5\ \text{km})(0.20\ \Omega/\text{km}) = 1.4\ \Omega$$

الشكل 9–2 تزود محطة الحد لتوليد الطاقة مملكة البحرين بحوالي 65٪ من حاجتها للكهرباء.

وإذا استعملت هذه الأسلاك في طبّاخ كهربائي فإنه سيمر فيها تيار مقداره 41 A، ويُعبَّر عن القدرة الضائعة في الأسلاك بالعلاقة التالية: $P = I^2R = (41\ A)^2\ (1.4\ \Omega) = 2400\ W$.

وكل هذه القدرة تُفقد وتضيع لأنها تتحول إلى طاقة حرارية، ويمكن تقليل هذا الضياع بتقليل المقاومة. ويتم ذلك باستعمال أسلاك ذات موصلية كبيرة وقطر كبير. كما يمكن أيضًا تقليل القدرة الضائعة من خلال جعل مقدار التيار المار فيها قليلًا؛ لأن فَقْد الطاقة يتناسب أيضًا مع مربع التيار المار في الموصلات.

كيف يمكن تقليل قيمة التيار المار في أسلاك نقل الكهرباء؟ يمكن تحديد الطاقة الكهربائية المنقولة في الثانية الواحدة (القدرة) في سلك (خط) نقل الكهرباء لمسافة طويلة باستخدام العلاقة $P = IV$. وتلاحظ من هذه العلاقة أنه يمكن تقليل التيار دون تقليل القدرة من خلال رفع الجهد. ولنقل القدرة الكهربائية لمسافات طويلة تستخدم بعض خطوط نقل القدرة الكهربائية جهودًا تزيد على 500 kV؛ حيث يُقلّل التيار المنخفض الناتج من ضياع I^2R في الأسلاك وذلك بالإبقاء على قيمة المعامل I^2 قليلة. تكون الجهود المطبّقة على النقل في الأسلاك الطويلة دائمًا أكبر كثيرًا من الجهود المُطبّقة على أسلاك التمديدات المنزلية؛ وذلك لتقليل ضياع I^2R. ويتم تقليل الجهد الخارج من محطة التوليد عند وصوله إلى المحطات الكهربائية الفرعية؛ ليصبح مقداره 2400 V، ثم يقلّل الجهد مرة أخرى إلى 240 V أو إلى 120 V وفق النظام المعتمد في الدولة قبل أن يستخدم في المنازل.

الكيلوواط.ساعة تسمّى شركات الكهرباء غالبًا شركات القدرة، إلا أنها في الواقع تُزوّدنا بالطاقة بدلًا من القدرة. فالقدرة هي المعدل الزمني لتوصيل الطاقة. فعندما يُسدّد المستهلكون فواتير منازلهم الكهربائية، ومنها الفاتورة الموضّحة في **الشكل 10-2**، فهم يُسدّدون ثمن الطاقة الكهربائية المستهلكة، وليس القدرة.

إن كمية الطاقة الكهربائية المُستهلكة في جهاز تساوي معدل استهلاكه للطاقة، بوحدة جول لكل ثانية (W)، مضروبًا في زمن تشغيل الجهاز بوحدة ثانية. إن الجول لكل ثانية مضروبًا في ثانية s (J/s) يساوي الكمية الكلية للطاقة المستهلكة بوحدة الجول. إن الجول، والذي يُعرف أيضًا على أنه واط.ثانية (Watt.second)، يُعبّر عن كمية قليلة نسبيًّا من الطاقة، وهو وحدة قياس صغيرة جدًّا للطاقة المُستهلكة في الاستخدامات العملية. لهذا السبب تقيس شركات الكهرباء استهلاك الطاقة بوحدة كيلوواط.ساعة (kWh). و**الكيلوواط.ساعة** يساوي قدرة مقدارها 1000 Watt تصل بشكل مستمر لمدة 3600 s (1 h)؛ أو يساوي 3.6×10^6 J، ولا يوجد الكثير من الأجهزة الكهربائية المنزلية التي تلزمها قدرة أكبر من 1000 W ما عدا سخانات المياه والمكيفات الكهربائية والطبّاخات ومجففات الملابس وأفران الميكروويف والمدافئ ومجففات الشعر. فتشغيل عشرة مصابيح ضوئية قدرة كل منها 100 W في الوقت نفسه يستهلك فقط 1 kWh من الطاقة إذا تركت مضاءة مدة ساعة كاملة.

تعلمت طرائق متعددة تستخدمها شركات الكهرباء لحل المشاكل التي يواجهها نقل التيار الكهربائي مسافات طويلة، وتعلمت أيضًا كيف تحسب هذه الشركات فواتير الكهرباء، وكيف تتوقع تكلفة تشغيل أجهزة مختلفة في المنزل. إن عملية توزيع الطاقة الكهربائية إلى جميع المناطق على الأرض، يُعد من أعظم الإنجازات الهندسية في القرن العشرين، ويعد الاستخدام الأمثل للطاقة الكهربائية والمحافظة عليها من التحديات الكبرى التي تواجه البشرية.

a

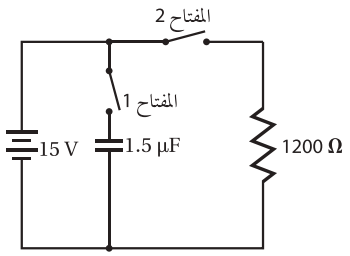
b

الشكل 10-2 يستخدم مقياس الواط.ساعة في قياس مقدار الطاقة الكهربائية التي يستهلكها المستخدم (a). وتستعمل قراءة المقياس لحساب تكلفة الطاقة المستهلكة (b).

مسألة تحدٍ

استخدم الشكل المجاور للإجابة عن الأسئلة التالية:

1. في البداية، المكثف غير مشحون، والمفتاح 1 مغلق، والمفتاح 2 بقي مفتوحًا. احسب فرق الجهد بين طرفي المكثف.
2. إذا فُتِح المفتاح 1 الآن، وبقي المفتاح 2 مفتوحًا فما فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ لماذا؟
3. بعد ذلك، أُغلق المفتاح 2، وبقي المفتاح 1 مفتوحًا. ما فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ وما مقدار التيار المار في المقاوم بعد إغلاق المفتاح 2 مباشرة؟
4. مع مرور الوقت، ماذا يحدث لجهد المكثف والتيار المار في المقاوم؟



مسائل تدريبية

17. يمر تيار كهربائي مقداره 15.0 A في مدفأة كهربائية عند وصلها بمصدر فرق جهد 120 V فإذا تم تشغيل المدفأة بمتوسّط 5.0 h يوميًّا فاحسب:
    a. مقدار القدرة التي تستهلكها المدفأة.
    b. مقدار الطاقة المستهلكة في 30 يومًا بوحدة kWh.
    c. تكلفة استخدام المدفأة عند تشغيلها مدة 30 يومًا، إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 9.0 فلس.
18. تبلغ مقاومة ساعة رقمية 12,000 Ω، وهي موصولة بمصدر فرق جهد مقداره 115 V، فاحسب:
    a. مقدار التيار الذي يمر فيها.
    b. مقدار القدرة الكهربائية التي تستهلكها الساعة.
    c. تكلفة تشغيل الساعة 30 يومًا، إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 9.0 فلس.
19. تنتج بطارية سيارة تيارًا مقداره 55 A لمدة 1.0 h، وذلك عندما يكون فرق جهدها 12 V، ويتطلب إعادة شحنها طاقة أكبر بـ 1.3 مرّة ضعف الطاقة التي تزوّدنا بها؛ وذلك لأن كفاءتها أقل من الكفاءة المثالية. ما الزمن اللازم لشحن البطارية باستخدام تيار مقداره 7.5 A؟ افترض أن فرق جهد الشحن هو نفسه فرق جهد التفريغ.

2–2 مراجعة

20. **الطاقة** يُشغل محركُ السيارة المولدَ الكهربائي، والذي يولّد بدوره التيار الكهربائي اللازم لعمل السيارة، ويُخزّن شحنات كهربائية في بطارية السيارة. وتَستخدم المصابيح الرئيسة في السيارة الشحنةَ الكهربائية المختزنة في بطارية السيارة. جهّز قائمة بأشكال الطاقة في العمليات السابقة.
21. **المقاومة الكهربائية** يتم تشغيل مجفّف الشعر بوصله بمصدر جهد 120 V، ويكون فيه خياران: حار ودافئ. في أيّ الخيارين تكون المقاومة أصغر؟ ولماذا؟
22. **القدرة** حدّد مقدار التغير في القدرة في مقاوم كهربائي إذا قل الجهد المُطبّق عليه إلى النصف.
23. **الجهد** لماذا يتم توصيل الطبّاخ الكهربائي وسخّان الماء الكهربائي بدائرة جهدها 240 V بدلاً من دائرة جهدها 120 V؟
24. **التفكير الناقد** عندما يرتفع الطلب على القدرة الكهربائية تقوم شركات الكهرباء أحيانًا بتقليل الجهد، مما يؤدي إلى خفوت الأضواء. ما الذي يبقى محفوظًا ولا يتغير؟

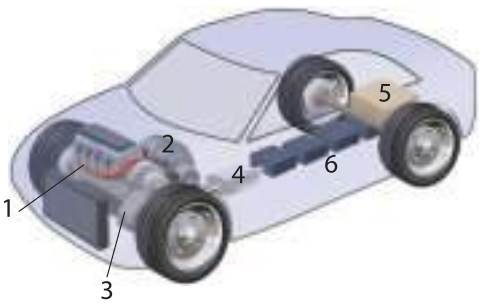
التقنية والمجتمع

السيارات المهجنة Hybrid Cars

السيارات المهجنة ذات كفاءة عالية في استهلاك الوقود ومريحة وآمنة وهادئة وغير ملوّثة للبيئة، وتتسارع بصورة جيدة. لذا فإن مبيعات السيارات المهجنة آخذة في الازدياد.

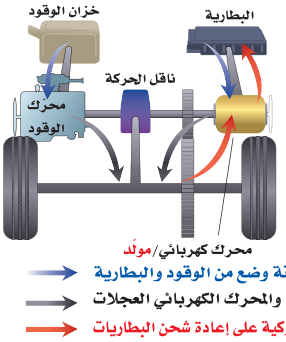
لماذا تسمّى بالمهجنة؟ يطلق على السيارة اسم مهجنة إذا كانت تستخدم مصدرين أو أكثر من مصادر الطاقة. فمثلاً يُطلق على قاطرات الديزل الكهربائية اسم العربات المهجنة. ولكن مصطلح السيارة المهجنة يُطلق عادة على السيارة التي تستخدم الوقود والكهرباء.

للسيارات التقليدية محركات كبيرة تمكّنها من التسارع جيدًا وصعود التلال الحادة، إلا أن حجم محركها يجعلها تستهلك في الغالب كميات كبيرة من الوقود، إضافة إلى تدني كفاءة استفادتها من الوقود مقارنة بالسيارات المهجنة. أما في السيارات المهجنة فوزن محرك البنزين قليل وأكثر فاعلية، مما يجعله يلبي معظم احتياجات وضرورات القيادة. وعند الحاجة إلى المزيد من الطاقة فإنه يمكن الحصول عليها من الكهرباء المخزنة في البطاريات القابلة لإعادة الشحن.



السيارة المهجنة لديها محرك وقود (1) ومحرك كهربائي (2).

كيف تعمل السيارات المهجنة؟ يبين الرسم التوضيحي أعلاه أحد أنواع السيارات المهجنة، والذي يسمّى التهجين المتوازي. حيث يُشغّل محرك الاحتراق الداخلي الصغير (1) السيارة خلال معظم أوضاع القيادة. ويتصل محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي (2) مع العجلات على جهاز ناقل الحركة نفسه (3). تعمل الأدوات الإلكترونية المبرمجة (4) على تحديد وقت استعمال محرك الكهرباء، ووقت استعمال محرك الاحتراق، ومتى يُستعمل الاثنان معًا.



تعمل الطاقة الحركية للسيارة في عملية الكبح المتجدّد على إعادة شحن البطاريات.

لا يحتاج هذا النوع من التهجين إلى مصدر قدرة خارجي إلى جانب الوقود في خزان الوقود (5). ويتم إعادة شحن البطاريات (6) بعملية تسمّى الكبح المتجدّد، كما هو موضّح في الرسم التخطيطي. حيث يعمل المحرك الكهربائي فيها بوصفه مولّدًا؛ فعندما يعمل المحرك الكهربائي على إبطاء حركة السيارة يتم تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية، والتي تعمل بدورها على إعادة شحن البطاريات.

هل السيارات المهجنة تفيد المجتمع؟ زادت السيارات المهجنة من المسافات التي تقطعها السيارات بوساطة كمية معيّنة من الوقود، لذا فقد قللت من تكلفة تشغيل السيارة ومن الغازات المنبعثة من العوادم، ومنها غازا ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون، إضافة إلى مختلف الهيدروكربونات وأكاسيد النيتروجين. حيث تُسهم هذه الانبعاثات في حدوث بعض المشاكل البيئة كالضبخن (الضباب الدخاني). ولأن السيارات المهجنة تزيد من المسافات المقطوعة وتقلل من الغازات المنبعثة من العوادم فإن الكثير من الناس يشعرون أن هذه السيارات تعد إحدى الطرائق الفعّالة للمساعدة على حماية الهواء من التلوث، بالإضافة إلى المحافظة على مصادر الوقود.

التوسع

1. **حلّل واستنتج** ما الكبح المتجدد؟
2. **توقع** هل زيادة مبيعات السيارات المهجنة يفيد المجتمع؟ دعم إجابتك.

2–1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية Current and Circuits

المفردات

- التيار الكهربائي
- التيار الاصطلاحي
- الدائرة الكهربائية
- الأمبير
- المقاومة الكهربائية
- المقاوِم الكهربائي

الفكرة الرئيسة: التيار الكهربائي هو تدفق الشحنات الكهربائية

- يعرّف التيار الاصطلاحي على أنه التيار الذي يكون في اتجاه حركة الشحنات الموجبة.
- تحوّل المولدات الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.
- تحوّل الدائرة الكهربائية الطاقة الكهربائية إلى حرارة أو ضوء أو إلى أشكال أخرى مفيدة للطاقة.
- عندما تتحرك شحنة في دائرة كهربائية، تُسبّب المقاوِمات نقصًا في طاقتها الكهربائية.
- الأمبير يساوي واحد كولوم لكل ثانية. 1 C /s.
- يمكن حساب القدرة بضرب الجهد في التيار. $P = IV$
- تُعطى مقاومة جهاز ما من خلال النسبة بين جهد الجهاز والتيار المار فيه. $R = \frac{V}{I}$
- ينص قانون أوم على أن النسبة بين فرق الجهد بين طرفي موصل وشدة التيار المار فيه ثابتة لهذا الموصل. وأيّ مقاومة لا تتغير بتغيّر درجة حرارتها أو الجهد المُطبّق عليها أو اتجاه حركة الشحنة فيها، تحقّق قانون أوم.
- يمكن التحكم في تيار دائرة كهربائية بتغيير الجهد أو المقاومة أو كليهما.

2–2 استخدام الطاقة الكهربائية Using Electric Energy

المفردات

- الموصل فائق التوصيل
- الكيلوواط.ساعة

الفكرة الرئيسة: يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى مثل الطاقة الحرارية و الميكانيكية و الإشعاعية

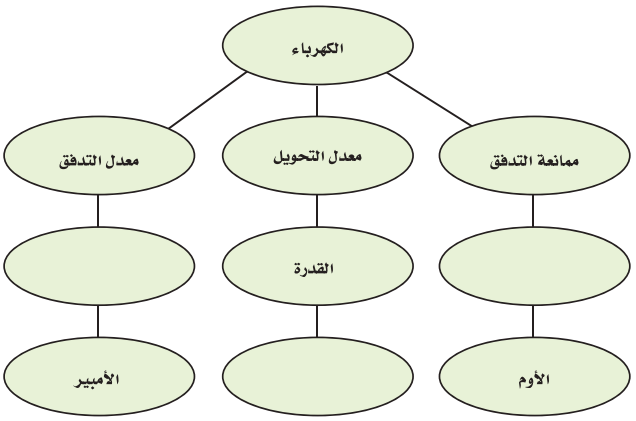
- القدرة في دائرة كهربائية تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة، أو تساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة. $P = I^2R$ أو $P = \frac{V^2}{R}$
- إذا استُنفِدت القدرة بمعدل منتظم، فإن الطاقة الحرارية الناتجة تساوي القدرة مضروبة في الزمن، كما يمكن أيضًا التعبير عن القدرة بـ I^2R و V^2/R للحصول على المعادلتين الأخيرتين:

$$E = Pt$$
$$= I^2Rt$$
$$= \frac{V^2}{R}t$$

- الموصلات فائقة التوصيل مواد مقاومتها صفر، ولا زالت استخداماتها العملية حتى وقتنا الحاضر محدودة.
- الطاقة الحرارية غير المرغوب فيها الناتجة عن نقل الطاقة الكهربائية تسمّى القدرة الضائعة. وأفضل طريقة لتقليل ضياع أو فقد I^2R إلى أقل حد هي تقليل قيمة التيار المار في أسلاك التوصيل. ويمكن تقليل مقدار التيار المار في أسلاك التوصيل دون تقليل القدرة من خلال نقل الكهرباء عند جهود عالية.
- الكيلوواط.ساعة (kWh) عبارة عن وحدة طاقة، وتساوي 3.6×10^6 J

خريطة المفاهيم

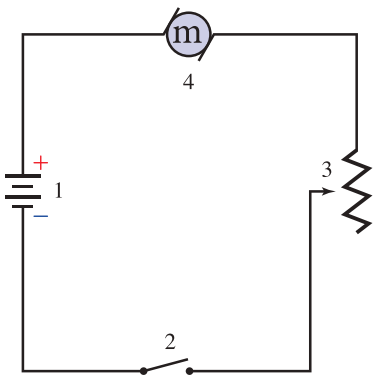
25. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: الواط، التيار، المقاومة.



إتقان المفاهيم

26. عرّف وحدة قياس التيار الكهربائي بدلالة الوحدات الأساسية في النظام الدولي للوحدات.

ارجع إلى الشكل 11–2 للإجابة عن الأسئلة 28–27:



الشكل 11–2

27. ما اتجاه التيار الاصطلاحي في المحرك؟

28. في الشكل 11–2، ما رقم الأداة التي:

a. تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية؟

b. تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية؟

c. تعمل على فتح الدائرة وإغلاقها؟

d. توفّر طريقة لضبط السرعة وتعديلها؟

29. صف تحوّلات الطاقة التي تحدث في الأدوات التالية:

a. مصباح كهربائي متوهّج.

b. مجفّفة ملابس.

c. مذياع رقمي مزوّد بساعة.

30. أي السلكين يوصل الكهرباء بمقاومة أقل: سلك مساحة مقطعه العرضي كبيرة، أم سلك مساحة مقطعه العرضي صغيرة؟

31. لماذا يكون عدد المصابيح التي تحترق لحظة إضاءتها أكبر بكثير من عدد المصابيح التي تحترق وهي مُضاءة؟

32. عند عمل دائرة قصر لبطارية بوصل طرفي سلك نحاسي بقطبي البطارية ترتفع درجة حرارة السلك. فسّر لماذا يحدث ذلك؟

33. ما الكميَّات الكهربائية التي يجب المحافظة على مقاديرها قليلة، عند نقل الطاقة الكهربائية مسافات طويلة بصورة اقتصادية؟

34. عرف وحدة القدرة الكهربائية بدلالة الوحدات الأساسية في النظام الدولي للوحدات؟

تطبيق المفاهيم

35. **خطوط القدرة** لماذا تستطيع الطيور الوقوف على خطوط الجهد المرتفع دون أن تتعرض لصدمة كهربائية؟

36. صِف طريقتين لزيادة التيار في دائرة كهربائية.

37. **المصابيح الكهربائية** يعمل مصباحان كهربائيان في دائرة كهربائية جهدها 120 V، فإذا كانت قدرة أحدهما 50 W والآخر 100 W، فأيّ المصباحين مقاومته أكبر؟ وضّح إجابتك.

38. **قانون أوم** وجدت سارة أداة تُشبه مقاوِمًا. عندما وصلت هذه الأداة ببطارية جهدها 1.5 V مرَّ فيها تيار مقداره 45×10^{-6} A فقط، ولكن عندما استخدمت بطارية جهدها 3.0 V مر فيها تيار مقداره 25×10^{-3} A ، فهل تحقّق هذه الأداة قانون أوم؟

39. إذا غُيّر موقع الأميتر المبين في **الشكل 2–4a** ليُصبح أسفل الشكل، فهل تبقى قراءة الأميتر نفسها؟ وضّح ذلك.

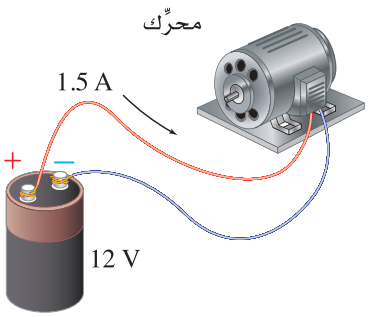
إتقان حل المسائل

2–1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية

40. وصل محرك ببطارية جهدها 12 V كما هو موضّح في **الشكل 2–12**. احسب مقدار:

a. القدرة التي تصل إلى المحرك.

b. الطاقة المُحوَّلة، إذا تم تشغيل المحرك 15 min



الشكل 2–12

41. يمر تيار كهربائي مقداره 0.50 A في مصباح متصل بمصدر جهده 120 V احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة.

b. الطاقة التي يتم تحويلها خلال 5.0 min

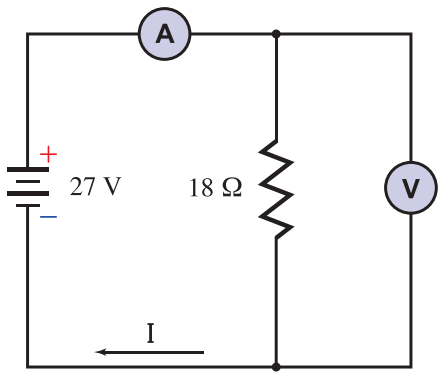
42. أستخدام **الشكل 2–13** للإجابة عن الأسئلة التالية:

a. كم تكون قراءة الأميتر؟

b. كم تكون قراءة الفولتمتر؟

c. ما مقدار القدرة الواصلة إلى المقاوِم؟

d. ما مقدار الطاقة التي تصل إلى المقاوِم كل ساعة؟



الشكل 2–13

43. **مجفّفات الملابس** وصلت مجفّفة ملابس قدرتها 4200 W بدائرة كهربائية جهدها 220 V، احسب مقدار التيار المار في المجفّفة.

44. **البطاريات** إذا مرّ تيار مقداره 0.40 A في مقاوِم مقداره 60.0 Ω عند توصيله بقطبي بطارية، فما فرق الجهد بين قطبي البطارية؟

45. ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة كهربائية على التوالي تتضمن مقاوِمًا مقداره 16 Ω، وبطارية، وأميتر قراءته 1.75 A، حدّد كلًّا من الطرف الموجب للبطارية وجهدها، والطرف الموجب للأميتر، واتجاه التيار الاصطلاحي.

46. يمر تيار كهربائي مقداره 66 mA في مصباح عند توصيله ببطارية جهدها 6.0 V، ويمر فيه تيار مقداره 75 mA عند استخدم بطارية جهدها 9.0 V أجب عن الأسئلة التالية:

a. هل يحقّق المصباح قانون أوم؟

b. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح عند توصيله ببطارية 6.0 V؟

c. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح عند توصيله ببطارية 9.0 V؟

47. يمر تيار مقداره 0.40 A في مصباح موصول بمصدر جهد 120 V، اجب عما يلي:

a. ما مقدار مقاومة المصباح أثناء إضاءته؟

b. تُصبح مقاومة المصباح عندما يبرد $\frac{1}{5}$ مقاومته عندما يكون ساخنًا. ما مقدار مقاومة المصباح وهو بارد؟

c. ما مقدار التيار المار في المصباح لحظة إضاءته من خلال وصله بفرق جهد مقداره 120 V؟

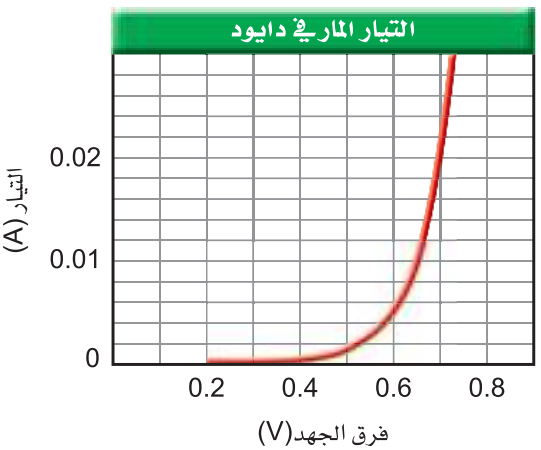
48. **المصابيح الكهربائية** ما مقدار الطاقة المستنفدة في مصباح قدرته 60.0 W خلال نصف ساعة؟ وإذا حوّل المصباح 12% من الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية فما مقدار الطاقة الحرارية التي يولّدها خلال نصف ساعة؟

49. يمثل الرسم البياني في **الشكل 2–14** العلاقة بين فرق الجهد والتيار المار في أداة تدعى الدايود وهو مصنوع من السيليكون. أجب عن الأسئلة التالية:

a. إذا وصِل الدايود بفرق جهد مقداره +0.70 V فما مقدار مقاومته؟

b. ما مقدار مقاومة الدايود عند استخدام فرق جهد مقداره +0.60 V؟

c. هل يُحقّق الدايود قانون أوم؟



الشكل 2–14

2–2 استخدام الطاقة الكهربائية

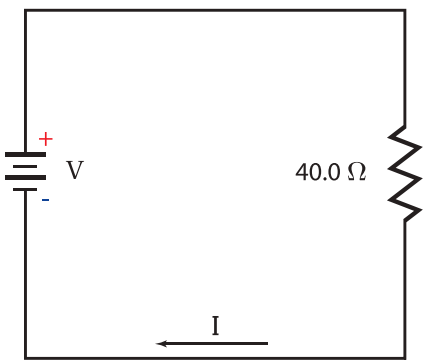
50. **البطاريات** يبلغ ثمن بطارية جهدها 9.0 V تقريبًا دينار واحد، وتولّد هذه البطارية تيارًا مقداره 0.0250 A مدة 26.0 h قبل أن يتم تغييرها. احسب تكلفة كل kWh تُزوِّدنا به هذه البطارية.

51. ما مقدار أكبر تيار ينتج عن قدرة كهربائية مقدارها 5.0 W في مقاوِم مقداره 220 Ω ؟

52. في الدائرة الموضّحة في **الشكل 2–15** تبلغ أكبر قدرة كهربائية آمنة 50 W استخدم الشكل لإيجاد كل مما يلي:

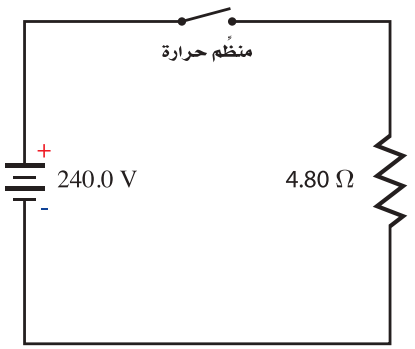
a. أكبر تيار آمن.

b. أكبر جهد آمن.



الشكل 2–15

53. يمثل **الشكل 2–16** دائرة فرن كهربائي. احسب قيمة الفاتورة الشهرية (30 يومًا) إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 9.0 فلس، وتم ضبط منظّم الحرارة ليشتغل الفرن ربع الفترة الزمنية.



الشكل 2–16

تقويم الفصل 2

مراجعة عامة

54. يمر تيار مقداره 1.2 A في مقاوِم مقداره 50.0 Ω لمدة 5.0 min، احسب مقدار الحرارة المتولدة في المقاوِم خلال هذه الفترة.

55. وصِل مقاوِم مقداره 6.0 Ω ببطارية جهدها 15 V، فما مقدار:

a. التيار المار في الدائرة؟

b. الطاقة الحرارية الناتجة خلال 10.0 min؟

56. **المصابيح الكهربائية** تبلغ مقاومة مصباح كهربائي متوهّج 10.0 Ω قبل إضاءته، وتُصبح 40.0 Ω عند إنارته بتوصيله بمصدر جهد مقداره 120 V، أجب عما يلي:

a. ما مقدار التيار الذي يمر في المصباح عند إضاءته؟

b. ما مقدار التيار الذي يمر في المصباح لحظة تشغيله(التيار اللحظي)؟

c. متى يستهلك المصباح أكبر قدرة كهربائية؟

57. يستخدم مقاوِم مُتغيّر للتحكم في سرعة محرك كهربائي جهده 12 V، عند ضَبط المقاوِم ليتحرك المحرك بأقل سرعة يمر فيه تيار مقداره 0.02 A، وعندما يُضبط المقاوِم ليتحرك المحرك بأكبر سرعة يمر فيه تيار مقداره 1.2 A ما مدى المقاوِم المتغير؟

58. يُشغّل محرك كهربائي مضخّة توزيع الماء في مزرعة بحيث تضخ 1.0×10^4 L من الماء رأسيًّا إلى أعلى لمسافة 8.0 m في كل ساعة. فإذا وصِل المحرك بمصدر جهد مقداره 110 V، وكانت مقاومته في أثناء تشغيله 22.0 Ω فما مقدار:

a. التيار الذي يتدفق في المحرك؟

b. كفاءة المحرك؟

التفكير الناقد

59. **تطبيق المفاهيم** يعمل فرن ميكروويف على فرق جهد 120 V، ويمر فيه تيار مقداره 12 A، إذا كانت كفاءته الكهربائية (تحويل تيار AC إلى أشعة ميكروويف) 75%، وكفاءة تحويله أشعة الميكروويف إلى حرارة تستخدم في تسخين الماء أيضًا 75%، أجب عما يلي:

a. ارسم نموذجًا تخطيطيًّا للقدرة الكهربائية مشابهًا لنموذج الطاقة الموضّح في **الشكل 2b–2**. ميّز وظيفة كلّ جزء منه وفقًا للجولات الكلية لكل ثانية.

b. ناقش بصورة عامة الطرائق المختلفة التي يمكنك بها زيادة كفاءة تسخين الميكروويف؟

c. ناقش، لماذا يجب عدم تشغيل أفران الميكروويف وهي فارغة؟

60. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** الرسم البياني للدايود الموضّح في **الشكل 14–2** أكثر فائدة من رسم بياني مشابه لمقاوِم يحقّق قانون أوم. وضح ذلك.

الكتابة في الفيزياء

61. هناك ثلاث أنواع من المعادلات التي تواجهها في العلوم: (1) التعريفات، (2) القوانين، (3) الاشتقاقات. ومن الأمثلة عليها: (1) الأمبير الواحد يساوي كولوم واحد لكل ثانية. (2) القوة تساوي الكتلة مضروبة في التسارع. (3) القدرة الكهربائية تساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة. اكتب صفحة واحدة توضح فيها متى تكون العلاقة "المقاومة تساوي الجهد مقسومًا على التيار" صحيحة.

62. تتمـدد المـادة عند تسـخينها. ابحـث في العلاقة بين التمدد الحراري وأسـلاك التوصيل المستخدمة لنقل الجهد العالي.

مراجعة تراكمية

63. تبعـد شـحنة مقدارهـا $+3.0\times10^{-6}\ C$ مسـافة $2.0\ m$ عن شـحنة أخرى مقدارهـا $+6.0\times10^{-5}\ C$ احسب مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بينهما.

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. إذا وصل مصباح كهربائي قدرته 100 W بسلك كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 120 V فما مقدار التيار المار في المصباح؟

Ⓐ 0.8 A Ⓒ 1.2 A

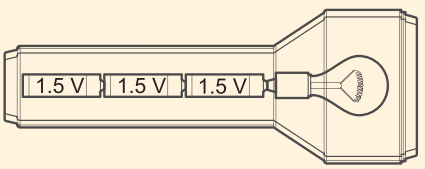
Ⓑ 1 A Ⓓ 2 A

2. إذا وصل مقاوِم مقداره 5.0 Ω ببطارية جهدها 9.0 V فما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال 7.5 min؟

Ⓐ 1.2×10^{2} J Ⓒ 3.0×10^{3} J

Ⓑ 1.3×10^{3} J Ⓓ 7.3×10^{3} J

3. يمر تيار كهربائي مقداره 0.50 A في المصباح اليدوي الموضح أدناه؛ فإذا كان الجهد عبارة عن مجموع الجهود للبطاريات المتصلة، فما مقدار القدرة الواصلة إلى المصباح؟



Ⓐ 0.11 W Ⓒ 2.3 W

Ⓑ 1.1 W Ⓓ 4.5 W

4. إذا أُضيء المصباح اليدوي الموضّح أعلاه لمدة 3.0 min فما مقدار الطاقة الكهربائية التي تصل إليه؟

Ⓐ 6.9 J Ⓒ 2.0×10^{2} J

Ⓑ 14 J Ⓓ 4.1×10^{2} J

5. يمرّ تيار مقداره 2.0 A في دائرة تحتوي على محرك مقاومته 12 Ω، ما مقدار الطاقة المُحوّلة؛ إذا تم تشغيل المحرك دقيقة واحدة؟

Ⓐ 4.8×10^{1} J Ⓒ 2.9×10^{3} J

Ⓑ 2.0×10^{1} J Ⓓ 1.7×10^{5} J

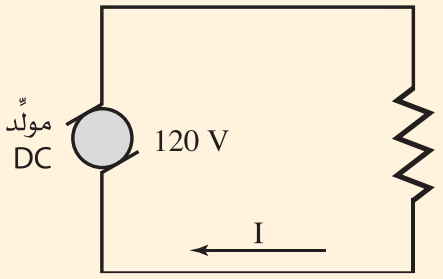
6. ما مقدار الطاقة الكهربائية الواصلة إلى مصباح قدرته 60.0 W، إذا تم تشغيله مدة 2.5 h؟

Ⓐ 4.2×10^{-2} J Ⓒ 1.5×10^{2} J

Ⓑ 2.4×10^{1} J Ⓓ 5.4×10^{5} J

الأسئلة الممتدة

7. يبين الرسم أدناه دائرة كهربائية بسيطة تحتوي مولّد DC، ومقاوِمًا. فإذا كان المقاوِم في الرسم يمثل مُجفّف شعر مقاومته 8.5 Ω فما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟ وما مقدار الطاقة الكهربائية التي يستهلكها مجفف الشعر إذا تم تشغيله مدة 2.5 min؟



إرشاد

أكثر من رسم بياني

إذا تضمّن سؤال اختبار أكثر من جدول، أو أكثر من رسم بياني أو تخطيطي أو مرفق فعليك استخدامها جميعًا. إذا اعتمدت في إجابتك على رسم واحد فقط فمن المحتمل أن تفقد جزءًا مهمًّا من المعلومات.

الفصل 3

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية
Series and Parallel Circuits

الفكرة العامة

يمكن توصيل مكونات الدائرة الكهربائية إما على التوالي أو التوازي، ويمكن أن تكون الدوائر مركبة أي موصولة على التوالي والتوازي معًا.

3-1 الدوائر الكهربائية البسيطة

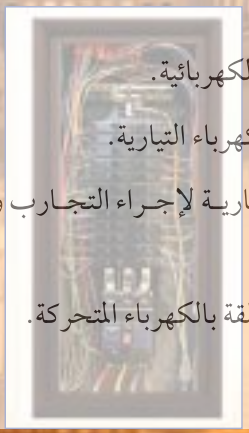
الفكرة الرئيسة يسلك التيار الكهربائي في دوائر التوالي مسارًا واحدًا، أما في دوائر التوازي يسلك أكثر من مسار.

3-2 تطبيقات الدوائر الكهربائية

الفكرة الرئيسة معظم الدوائر الكهربائية تتكون من دوائر مركبة تحتوي توصيلات على التوالي والتوازي معًا.

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بالدوائر الكهربائية البسيطة(دائرة التوالي، المقاومة المكافئة، مجزئ الجهد، دائرة التوازي) .
- وصف دوائر التوالي والتوازي الكهربائية.
- حساب كلاً من التيارات، والهبوط في الجهد، والمقاومة المكافئة في دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بتطبيقات الدوائر الكهربائية (دائرة القصر، المنصهر الكهربائي، قاطع الدائرة الكهربائية، قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ، دائرة كهربائية مركبة، الأميتر، الفولتمتر) .
- توضيح كيف تعمل المنصهرات، وقواطع الدوائر الكهربائية، وقواطع التفريغ الأرضي الخاطئ على حماية أسلاك التوصيلات الكهربائية في المنازل.
- تحليل وحل مسائل تتضمن دوائر كهربائية مركبة.
- توضيح كيفية توصيل كل من الفولتمتر والأميتر في الدوائر الكهربائية.
- استقصاء قانون أوم وتطبيقه في حل المسائل.
- حل مسائل رياضية تتعلق بالطاقة الكهربائية والقدرة الكهربائية.
- استكشاف التطبيقات التقنية التي قامت على مبادئ الكهرباء التيارية.
- استخدام الأدوات والأجهزة المتعلقة بالكهرباء التيارية لإجراء التجارب وتحليل البيانات.
- استقصاء وحل المشكلات المتعلقة ببعض المفاهيم المتعلقة بالكهرباء المتحركة.
- الوعي بأهمية الكهرباء التيارية في الحياة اليومية



فكّر ◄

لماذا توصل الأحمال الكهربائية في المباني على التوازي؟ وكيف توصل القواطع الكهربائية؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

3–1 الدوائر الكهربائية البسيطة
Simple Circuits

الفيزياء في حياتك

تحتوي الأجهزة الكهربائية المختلفة على دوائر كهربائية، بعضها بسيط كدائرة المصباح اليدوي الذي نستخدمه عند انقطاع التيار الكهربائي، والأخرى دوائر مركبة ومعقدة كتلك الموجودة في أجهزة الحواسيب.

تساؤلات جوهرية:

- ما خصائص توصيل الدوائر الكهربائية على التوالي وعلى التوازي؟
- كيف يرتبط كل من التيار وفرق الجهد والمقاومة المكافئة في دوائر التوالي؟
- كيف يرتبط كل من التيار وفرق الجهد والمقاومة المكافئة في دوائر التوازي؟

المفردات:

- دائرة التوالي
- المقاومة المكافئة
- مجزئ الجهد
- دائرة التوازي

يمكن اعتبار النهر الجبلي نموذجًا لتوضيح التوصيلات الكهربائية لدائرة كهربائية، حيث ينحدر ماء النهر من أعلى الجبل إلى سفحه في الأسفل، ويكون التغير في الارتفاع عند جريان الماء من قمة الجبل حتى وصوله السفح هو نفسه بغض النظر عن المسار الذي يسلكه ماء النهر. وتنحدر المياه في بعض الأنهار الجبلية في صورة جدول مفرد، وفي أنهار أخرى تتفرع المياه إلى فرعين أو أكثر عند تدفّقها من فوق شلّال أو من فوق سلسلة من المنحدرات المتتالية، حيث يتدفق جزء من ماء النهر في مسار، في حين تتدفق أجزاء أخرى في مسارات مختلفة. وبغض النظر عن عدد المسارات التي يسلكها ماء النهر فإن الكمية الكلية للماء المتدفق إلى أسفل الجبل ستبقى ثابتة، أي أن كمية الماء المتدفق لا تتأثر بالمسار الذي تسلكه.

تجربة استهلالية

كيف تحمي المُنصهِرات الكهربائية الدوائر الكهربائية؟

سؤال التجربة كيف يحمي منصهر كهربائي دائرة كهربائية من مرور تيار كبير فيها؟

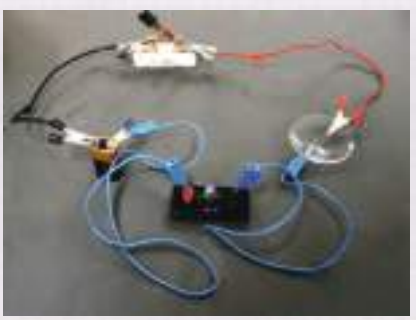
الخطوات

1. كوّن دائرة كهربائية كما هو موضح في الشكل أدناه، باستخدام بطارية 9V، ومصباح صغير، وسلك نحاس، وسلك مواعين، ومفتاح كهربائي.
2. تأكد أن المفتاح الكهربائي مفتوح.
3. **كوِّن فرضية** توقع ماذا سيحدث عند إغلاق المفتاح الكهربائي.
4. **لاحظ** أغلق المفتاح الكهربائي، ولاحظ ما يحدث لسلك المواعين. *تحذير: لا تلمس سلك المواعين بعد غلق المفتاح.*
5. كرّر الخطوات 4–1 باستعمال سلك مواعين أكثر سمكًا أو لفّ عدة أسلاك من سلك المواعين معًا لتصبح سلكًا واحدًا سميكًا، ولاحظ ما يحدث.

التحليل

وضّح العلاقة بين سمك سلك المواعين وسرعة تسخينه وانقطاعه. لماذا تُستخدم القواطع الكهربائية بدل المنصهرات الكهربائية في صناديق الدوائر الكهربائية في المنازل الحديثة؟

التفكير الناقد ما أهمية أن يحل محل المنصهر الكهربائي التالف في دوائر المنازل والسيارات منصهر آخر له مقدار التيار نفسه؟



كيف يشكل مسار ماء النهر في **الشكل 1–3** نموذجًا لدائرة كهربائية؟ إن المسافة التي ينحدرها النهر مشابهة لفرق الجهد في دائرة كهربائية، وكمية الماء المتدفق مشابهة للتيار الكهربائي المار في الدائرة، والمنحدرات الضيقة التي تعيق حركة الماء مشابهة للمقاومات الكهربائية. أيّ أجزاء النهر تشبه بطارية أو مولّدًا كهربائيًّا في دائرة كهربائية؟ تعدّ الشمس مصدر الطاقة اللازمة لرفع الماء إلى قمة الجبل؛ إذ يتبخر الماء من البحيرات والبحار بفعل الطاقة الشمسية، وعند تشكّل الغيوم يهطل منها مطر أو ثلج على قمم الجبال. واصل التفكير في نموذج النهر الجبلي في أثناء دراستك التيار الكهربائي في الدوائر الكهربائية.

الشكل 1–3 تبقى كمية الماء ومقدار الانحدار في الارتفاع هي نفسها، بغض النظر عن المسار الذي يسلكه النهر عند انحداره من قمة الجبل.

دوائر التوالي الكهربائية Series Circuits

وَصَل ثلاثة طلبة مصباحين متماثلين بطرفي بطارية، كما هو موضّح في **الشكل 2–3**. وقبل إغلاقهم الدائرة الكهربائية طلب إليهم المعلم توقع سطوع المصباحين.

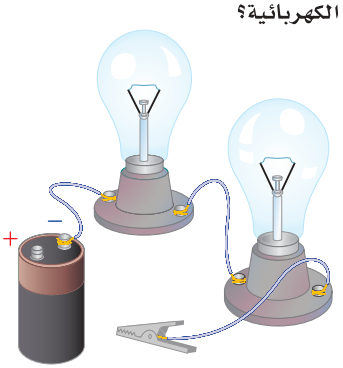
يعلم كل طالب منهم أن سطوع مصباح ما يعتمد على مقدار التيار المار فيه، فتوقع الطالب الأول أن المصباح الأقرب إلى القطب الموجب (+) للبطارية هو فقط الذي سيضيء؛ وذلك لأن التيار سيُستهلك جميعه على شكل طاقة حرارية وضوئية. أما الطالب الثاني فتوقع أن المصباح الأول سيستهلك جزءًا من التيار، وأن المصباح الثاني سيتوهج، ولكن بسطوع أقل من المصباح الأول. أما الطالب الثالث فتوقع أن يكون سطوع المصباحين متساويًا؛ لأن التيار عبارة عن تدفق للشحنات، والشحنات التي تخرج من المصباح الأول لا تجد لها أي منفذ آخر للحركة في الدائرة الكهربائية إلاّ من خلال المصباح الثاني. وأضاف الطالب الثالث: لأن التيار نفسه سيمر في كلٍّ من المصباحين فإن سطوعهما سيكون متساويًا. كيف تتوقع أنت أن يكون سطوع المصباحين؟

المختبر الافتراضي:

كيف تحمي المنصهرات الكهربائية الدوائر الكهربائية؟

التيار والكهربائي في دوائر التوالي إذا فكّرت في نموذج النهر الجبلي وقارنته بهذه الدائرة الكهربائية فستدرك أن توقع الطالب الثالث هو التوقع الصحيح. وتذكُر ممّا تعلمته سابقًا أن الشحنة لا تفنى ولا تستحدث. ولأن للشحنة مسارًا واحدًا فقط تسلكه في هذه الدائرة الكهربائية، وهي لا تفنى، فإنه يجب أن تكون كمية الشحنة التي تدخل الدائرة الكهربائية مساوية للكمية التي تخرج منها؛ وهذا يعني أن التيار يكون هو نفسه في أيّ جزء من أجزاء الدائرة. فإذا وُصِلت ثلاثة أجهزة أميتر في الدائرة، كما هو موضّح في **الشكل 3–3**، فإن قراءة الأجهزة جميعها ستكون متساوية. وتسمّى مثل هذه الدائرة التي يمر في كلِّ جزء من أجزائها التيار نفسه **دائرة التوالي**.

الشكل 2–3 ما توقعك بالنسبة لسطوع المصباحين بعد إغلاق الدائرة الكهربائية؟



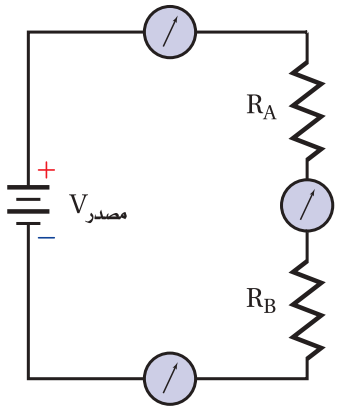
إذا كان التيار متساويًا في أجزاء الدائرة جميعها فما الذي يستهلكه المصباح لإنتاج الطاقة الحرارية والضوئية؟ تذكر أن القدرة الكهربائية هي المعدل الزمني لتحوُّل الطاقة الكهربائية، وتُمثّل بالعلاقة $P = IV$. لذا إذا كان هناك فرق في الجهد أو هبوط في الجهد عبر المصباح فإن الطاقة الكهربائية ستتحوّل من شكل إلى آخر من أشكال الطاقة. ولأن مقاومة المصباح تعرّف بالعلاقة $R = \frac{V}{I}$، لذا يكون هناك فرق في الجهد على هذه المقاومة يساوي $V = IR$، ويسمّى أيضًا الهبوط في الجهد.

المقاومة المكافئة في دوائر التوالي تعلمت من نموذج النهر الجبلي أن مجموع الانحدارات في الارتفاع يساوي الانحدار الكلي من قمة الجبل، وحتى الوصول إلى سفحِه. وكذلك

الأمـر في الدائرة الكهربائيـة؛ حيث تكون الزيادة في الجهد $V_{\text{مصدر}}$ الذي يوفّره المولّد أو أيّ مصـدر طاقـة مسـاويةً مجموع الهبـوط في الجهـد في كلا المصباحـين A و B، ويمكن تمثيلها بالمعادلة التالية: $V_{\text{مصدر}} = V_A + V_B$

لإيجاد الهبوط في الجهد عبر مقاوِم، اضرب مقدار التيار المار في الدائرة الكهربائية في مقدار مقاومـة ذلـك المقـاوِم. ولأن التيـار المـار في كل من المصباحين هو نفسـه فـإن $V_A = IR_A$ و $V_B = IR_B$، لـذا يكـون $V_{\text{مصدر}} = IR_A + IR_B$ أو $V_{\text{مصدر}} = I(R_A + R_B)$. ويمكن إيجاد التيار من خلال المعادلة:

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R_A + R_B}$$



الشكل 3–3 تبين قراءة أجهزة الأميتر أن التيار يكون متساويًا في جميع أجزاء دائرة التوالي.

يمكن اسـتخدام الفكرة نفسها لتشـمل أي عدد من المقاومات المتصلة على التوالي، وليس مقاومتين فقط. وسيمر التيار نفسه في هذه الدائرة الكهربائية إذا وضعنا فيها مقاوِمًا واحدًا مقاومته R تسـاوي مجموع مقاومتي المصباحين، وتسمى مثل هذه المقاومة **المقاومة المكافئة** للدائرة الكهربائية. إذًا المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة على التوالي هي مجموع المقاومات المفردة، ويُعبّر عنها بالمعادلة التالية:

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاوِمات متصلة على التوالي تساوي مجموع المقاومات المفردة.

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاوِمات موصولة على التوالي $R = R_A + R_B + \ldots$

لاحظ أن المقاومة المكافئة في حالة التوصيل على التوالي تكون أكبر من أي مقاومة مفردة، لذا إذا لم يتغير جهد البطارية فإن إضافة أجهزة جديدة على التوالي سيقلل من التيار المار في الدائرة. ولحسـاب التيار في دائرة توالٍ، نحسـب المقاومة المكافئة أولاً، ثم نستخدم المعادلة التالية:

التيار في دائرة التوالي يساوي فرق جهد المصدر مقسومًا على المقاومة المكافئة.

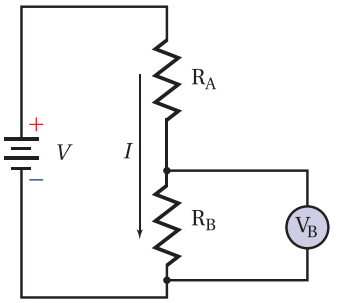
التيار الكهربائي $I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R}$

التجربة العملية:

مـا العلاقـة بـين التيـار وفـرق الجهـد والمقاومة في دوائر التوالي؟

مسائل تدريبية

1. وصِلـت المقاومـات 5 Ω و15 Ω و10 Ω في دائـرة تـوالٍ كهربائيـة ببطارية جهدهـا 90 V، ما مقـدار المقاومة المكافئة للدائرة؟ وما مقدار التيار المار فيها؟
2. وصِلـت بطاريـة جهدهـا 9 V بثلاثة مقاوِمات موصولة عـلى التوالي في دائرة كهربائيـة. إذا زاد مقدار أحد المقاوِمات فأجب عما يلي:
   a. كيف تتغير المقاومة المكافئة؟
   b. ماذا سيحدث للتيار؟
   c. هل يكون هناك أي تغير في جهد البطارية؟
3. وصِل طرفا سلك بعشرة مصابيح ذات مقاومات متساوية، ومتصلة على التوالي بمصدر جهد مقداره 120 V فإذا كان التيار المار في المصابيح 0.06 A فاحسب مقدار:
   a. المقاومة المكافئة للدائرة.
   b. مقاومة كل مصباح.



الشكل 4–3 في دائرة مجزئ الجهد هذه اختيرت قيمتا المقاومتين R_A و R_B بحيث يكون الهبوط في الجهد خلال المقاومة R_B يساوي الجهد المطلوب.

الهبوط في الجهد في دائرة التوالي عند مرور تيار كهربائي في أيّ دائرة كهربائية يجب أن يكون مجموع التغيرات في الجهد عبر كل عناصر الدائرة صفرًا؛ وذلك لأن مصدر الطاقة الكهربائية للدائرة؛ أي البطارية أو المولّد الكهربائي، يعمل على رفع الجهد بمقدار يساوي مجموع الهبوط في الجهد الناتج عن مرور التيار في جميع مقاوِمات الدائرة الكهربائية، لذا يكون المجموع الكلي للتغيرات في الجهد صفرًا.

ومن التطبيقات المهمة على دوائر التوالي دائرة تسمى **مجزئ الجهد**. وهو دائرة توالٍ تُستخدم لإنتاج مصدر جهد بالقيمة المطلوبة من بطارية ذات جهد كبير. افترض مثلًا أن لديك بطارية جهدها 9 V، إلا أنك تحتاج إلى مصدر فرق جهد يساوي 5 V، انظر الدائرة الموضّحة في **الشكل 4–3**، ولاحظ أن المقاوِمين R_A ، R_B متصلان على التوالي ببطارية جهدها V، لذا تكون المقاومة المكافئة للدائرة $R = R_A + R_B$. أما التيار فيحسب بالمعادلة التالية:

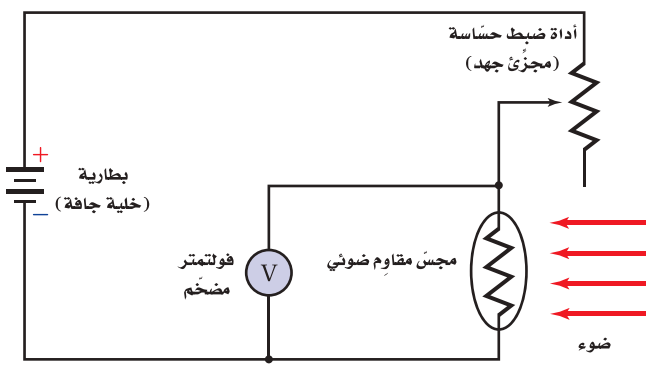
$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_A + R_B}$$

القيمة المطلوبة للجهد 5 V، وهي هنا تساوي الهبوط في الجهد V_B عبر المقاوِم R_B: $V_B = IR_B$، باستخدام هذه المعادلة، وقيمة التيار (المعادلة السابقة) نحصل على:

$$V_B = I R_B$$
$$= \left(\frac{V}{R_A + R_B}\right) R_B$$
$$= \left(\frac{V R_B}{R_A + R_B}\right)$$

المقاومات الضوئية تُستخدم عادة مجزِّئات الجهد مع المجسّات؛ مثل المقاوِمات الضوئية؛ حيث تعتمد مقاومة المقاوِم الضوئي على كمية الضوء التي تسقط عليه، وهو يُصنع عادة من مواد شبه موصلة؛ مثل السليكون أو السيلينيوم أو كبريتيد الكادميوم. تتغير مقاومة مقاوِم ضوئي مثالي من 400 Ω عند سقوط ضوء عليه إلى 400 kΩ عندما يكون المقاوِم في مكان معتم. ويعتمد الجهد الناتج عن مجزئ الجهد المستخدم في المقاوم الضوئي على كمية الضوء التي تسقط على مجسّ المقاوِم، ويمكن استعمال هذه الدائرة كمقياس لكمية الضوء، كما هو موضّح في **الشكل 5–3**؛ حيث تلتقط دائرة إلكترونية فرق الجهد وتحوّله إلى قياس للاستضاءة. وستقل قراءة الفولتمتر المضخّم عند زيادة الاستضاءة، وهناك استخدام آخر لمجزئات الجهد في عصا التحكم بالالعاب الإلكترونية حيث تؤدي حركة اليد إلى تغيّر في مقاومة المجزئ.

الشكل 5–3 الجهد الناتج عن مجزئ الجهد يعتمد على كمية الضوء التي تسقط على مجسّ المقاوِم الضوئي.



مثـــال 1

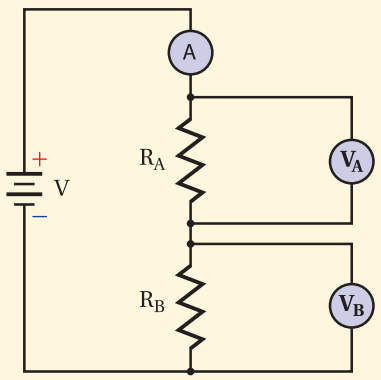
الهبوط في الجهد في دائرة التوالي وصِل المقاوِمان 47.0 Ω و82.0 Ω على التوالي بقطبي بطارية جهدها 45.0 V، أجب عما يلي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

b. ما مقدار الهبوط في الجهد في كل مقاوم؟

c. إذا وضع مقاوِم مقداره 39.0 Ω بدلًا من المقاوِم 47.0 Ω فهل ستزداد شدة التيار أم تقل أم تبقى ثابتة؟

d. ما مقدار الهبوط الجديد في الجهد في المقاوِم 82.0 Ω؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للدائرة الكهربائية.

المعلوم	المجهول
$V_{مصدر} = 45.0\ V$	$I = ?$
$R_A = 47.0\ \Omega$	$V_A = ?$
$R_B = 82.0\ \Omega$	$V_B = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لحساب التيار نجد أولًا المقاومة المكافئة.

بالتعويض عن $R = R_A + R_B$

$$R = R_A + R_B,\quad I = \frac{V_{مصدر}}{R}$$

بالتعويض عن $V_{مصدر} = 45.0\ V,\ R_A = 47.0\ \Omega,\ R_B = 82.0\ \Omega$

$$= \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$$

$$= \frac{45.0\ V}{47.0\ \Omega + 82.0\ \Omega} = 0.349\ A$$

b. استعمل المعادلة $V = IR$ لكل مقاوِم.

بالتعويض عن $I = 0.349\ A,\ R_A = 47.0\ \Omega$

$$V_A = IR_A = (0.349\ A)(47.0\ \Omega) = 16.4\ V$$

بالتعويض عن $I = 0.349\ A,\ R_B = 82.0\ \Omega$

$$V_B = IR_B = (0.349\ A)(82.0\ \Omega) = 28.6\ V$$

c. احسب التيار المار في الدائرة باستخدام المقاوِم 39.0 Ω كقيمة جديدة لـ R_A

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$$

بالتعويض عن $V_{مصدر} = 45.0\ V,\ R_B = 82.0\ \Omega,\ R_A = 39.0\ \Omega$

$$= \frac{45.0\ V}{39.0\ \Omega + 82.0\ \Omega} = 0.372\ A$$ يزداد التيار

d. أوجد الهبوط الجديد في الجهد في R_B

بالتعويض عن $I = 0.372\ A,\ R_B = 82.0\ \Omega$

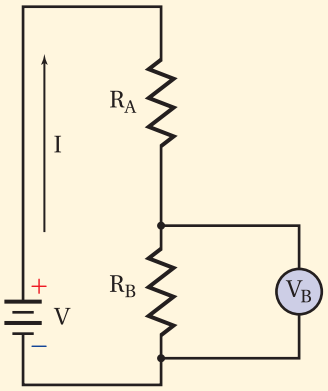
$$V_B = IR_B = (0.372\ A)(82.0\ \Omega) = 30.5\ V$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة التيار الكهربائي عبارة عن $A = V/\Omega$، ووحدة الجهد $V = A.\Omega$
- **هل الجواب منطقي؟** بالنسبة للتيار إذا كان $R > V$ فإن $I < 1$. كذلك فإن الهبوط في الجهد عبر أي مقاوِم يجب أن يكون أقل من جهد الدائرة (المصدر)، وكلا قيمتي V_B أقل من $V_{مصدر}$ والتي تساوي 45.0 V

مثـــــال 2

مجزئ الجهد وصِلت بطارية جهدها 9.0 V بمقاوِمين 390 Ω و470 Ω، على شكل مجزئ جهد. ما مقدار جهد المقاوِم 470 Ω ؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم البطارية والمقاوِمين في دائرة توالٍ كهربائية.

المعلوم	المجهول
$V_{\text{مصدر}} = 9.0\ \text{V}$	$V_B = ?$
$R_A = 390\ \Omega$	
$R_B = 470\ \Omega$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

لحساب التيار نجد أولًا المقاومة المكافئة للدائرة.

$$R = R_A + R_B$$

بالتعويض عن $R = R_A + R_B$

احسب جهد المقاوِم R_B

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R}$$

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R_A + R_B}$$

$$V_B = IR_B$$

$$= \frac{V_{\text{مصدر}} R_B}{R_A + R_B}$$

بالتعويض عن $R_B = 470\ \Omega$، $R_A = 390\ \Omega$، $V_{\text{مصدر}} = 9.0\ \text{V}$

$$= \frac{(9.0\ \text{V})(470\ \Omega)}{390\ \Omega + 470\ \Omega}$$

$$= 4.9\ \text{V}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة الجهد $\Omega/\text{V}\Omega = \text{V}$، ونختصر Ω فيبقى V.
- **هل الجواب منطقي؟** الهبوط في الجهد أقل من جهد البطارية. ولأن 470 Ω أكبر من نصف المقاومة المكافئة، لذلك يكون الهبوط في الجهد أكبر من نصف جهد البطارية.

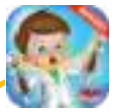
مسائل تدريبية

4. افترض أن قيم الدائرة الكهربائية الموضّحة في المثال 1 هي $R_A = 255\ \Omega$ و$R_B = 292\ \Omega$ و$V_A = 17.0\ \text{V}$، وليس هناك أيّ معلومات أخرى، فأجب عما يلي:
   a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟
   b. ما مقدار جهد البطارية؟
   c. ما مقدار القدرة الكهربائية الكلية المستنفدة؟ وما مقدار القدرة المستنفدة في كل مقاوِم؟

d. هل مجموع القدرة المستنفدة في كل مقاوم يساوي القدرة الكلية المستنفدة في الدائرة؟ وضّح ذلك.

5. قام طالب بعمل مجزئ جهد يتكوّن من بطارية جهدها 45 V ومقاومين قيمتاهما 475 kΩ و235 kΩ، فإذا قيس الجهد الناتج عبر المقاوم الأصغر فما مقدار هذا الجهد؟

6. ما مقدار المقاوم الذي يمكن استخدامه عنصرًا في دائرة مجزئ جهد مع مقاوم آخر مقداره 1.2 kΩ، بحيث يكون الهبوط في الجهد عبر المقاوم 1.2 kΩ يساوي 2.2 V عندما يكون جهد المصدر 12 V؟



التجربة العملية:

كيف تعمل المقاومات الموصولة معاً على التوازي؟

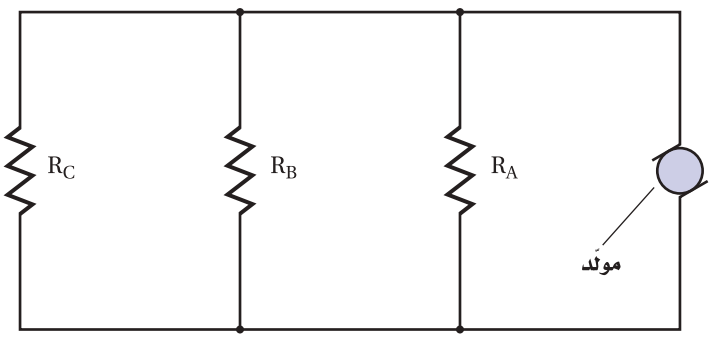
دوائر التوازي Parallel Circuits

انظر إلى الدائرة الكهربائية الموضّحة في **الشكل 6–3**. ما عدد مسارات التيار فيها؟ يمر التيار الخارج من المولّد في المقاومات الثلاثة. وتسمّى مثل هذه الدائرة التي تحتوي على مسارات متعددة للتيار الكهربائي **دائرة التوازي**. فالمقاومات الثلاثة في الشكل موصولة على التوازي؛ حيث يتصل طرفا كل مسار بطرفي المسار الآخر. بالرجوع إلى نموذج النهر الجبلي، تلاحظ أن مثل هذه الدائرة الكهربائية موضحة بعدَّة مسارات مختلفة لتدفق الماء في صورة جداول، بَعد تدفقه من أعلى الجبل أو سلسلة منحدرات متتالية، حيث يمكن أن يكون تدفق الماء في بعض المسارات كبيرًا، وفي بعضها الآخر بمقدار أقل، ولكن يبقى التدفق الكلي يساوي مجموع التدفُّقات في كل المسارات. إضافة إلى ذلك سيكون مقدار الانحدار في الارتفاع هو نفسه بغض النظر عن المسار الذي يتدفق فيه الماء. وبالمثل يكون التيار الكلي في دائرة التوازي الكهربائية مساويًا مجموع التيارات التي تمر في كل مسار، أما فرق الجهد فيكون هو نفسه في كل مسار؛ أي أن الجهد متساوٍ في كل المسارات.

التيار الكهربائي في دوائر التوازي ما مقدار التيار المار في كل مقاوم في دائرة توازٍ كهربائية؟ يعتمد مقدار التيار الذي يمر في كل مقاوم على مقدار مقاومته. ففي **الشكل 7–3** مثلًا يكون فرق الجهد بين طرفي كل مقاوم 120 V، ويعطى التيار المار في كل مقاوم بالعلاقة I

تطبيق الفيزياء

اختبار قياس المقاومة تعمل الأوميترات المستخدمة في قياس مقدار المقاومة عن طريق تمرير جهد معلوم عبر المقاوم فتقيس التيار، ثم يُظهر الجهاز مقدار المقاومة. تستخدم بعض الأوميترات جهودًا أقل من 1V لتجنب إتلاف المكونات الإلكترونية الحساسة، في حين قد يستخدم بعضها الآخر مئات الفولتات للتحقق من سلامة المواد العازلة.



الشكل 6–3 تكون المسارات المتوازية للتيار الكهربائي في هذا المخطط مماثلة للمسارات المتعددة التي يمكن أن يسلكها الماء في أثناء انحداره من قمة جبل.

$V/R =$، لذا يمكنك حساب التيار المار في المقاوِم 24 Ω كما يلي: $I = (120\ V)/(24\ \Omega)$ $= 5.0\ A$، ثم تحسب التيار المار في كل من المقاوِمين الآخرين. ويكون التيار الكلي المار في المولّد مساويًا مجموع التيارات في المسارات الثلاثة، ويساوي في هذه الحالة 38 A

تغيرّ المقاومة في دوائر التوازي ماذا يحدث عند فصل المقاوِم 6 Ω من الدائرة؟ وهل تتغير قيمة التيار المار في المقاوم 24 Ω؟ تعتمد قيمة هذا التيار فقط على فرق الجهد بين طرفي المقاوِم وعلى مقدار مقاومته. ولأن أيًّا منهما لم يتغير، فإن التيار يبقى ثابتًا ولا يتغير. وينطبق الشيء نفسه أيضًا على التيار الذي يمر في المقاوِم 9 Ω. أي أن فروع دائرة التوازي الكهربائية لا يعتمد بعضها على بعض. أما التيار الكلي المار في المولّد فيتغير عند فصل أي من المقاوِمات الثلاثة، فعند فصل المقاوِم 6 Ω يصبح مجموع التيارين في المسارين 18 A

المقاومة المكافئة في دوائر التوازي كيف يمكن إيجاد المقاومة المكافئة لدائرة توازٍ كهربائية؟ يكون مقدار التيار الكلي المار في المولّد الموضّح في **الشكل 7–3** يساوي 38 A، لذا فإن قيمة المقاومة المُفردة التي يمر فيها تيار مقداره 38 A عند توصيلها بفرق جهد مقداره 120 V تساوي:

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

$$= \frac{120\ V}{38\ A} = 3.2\ \Omega$$

لاحظ أن هذه المقاومة تكون أقل من أي مقاومة من المقاوِمات الثلاث الموصولة على التوازي. فتوصيل مقاوِمين أو أكثر على التوازي يقلّل دائمًا من المقاومة المكافئة للدائرة؛ وذلك لأن كل مقاوِم جديد يوصل على التوازي يُضيف مسارًا جديدًا للتيار، وهذا يزيد من قيمة التيار الكلي مع بقاء فرق الجهد ثابتًا.

لحساب المقاومة المكافئة لدائرة توازٍ، لاحظ أولاً أن التيار الكلي في الدائرة هو مجموع التيارات في كل الفروع، فإذا كانت التيارات I_A و I_B و I_C هي التيارات المارة في الفروع و I هو التيار الكلي فإن $I = I_A + I_B + I_C$. أما فرق الجهد بين طرفي أيّ مقاوِم فسيكون هو نفسه في كل المقاوِمات، لذا يمكن إيجاد التيار المار في المقاوِم R_A بالعلاقة $I_A = V/R_A$. وبناءً على ذلك يمكن إعادة كتابة معادلة مجموع التيارات في الدائرة كما يلي:

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_A} + \frac{V}{R_B} + \frac{V}{R_C}$$

وبقسمة طرفي المعادلة على V، نجد المقاومة المكافئة للمقاوِمات الثلاثة المتصلة على التوازي.

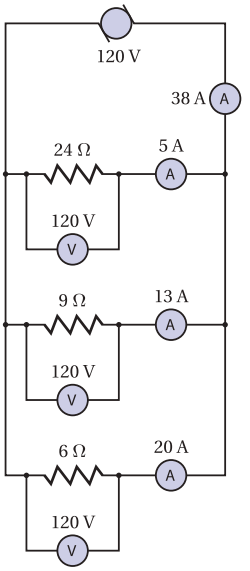
المقاومة المكافئة لمجموعة مقاوِمات موصولة معًا على التوازي

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} \ldots\ldots$$

مقلوب المقاومة المكافئة يساوي مجموع مقلوب المقاومات المفردة.

يمكن استخدام هذه المعادلة لإيجاد المقاومة المكافئة لأيّ عدد من المقاوِمات الموصولة على التوازي.

مولّد كهربائي



الشكل 7–3 يكون التيار الكلي في دائرة توازٍ كهربائية مساويًا مجموع التيارات في المسارات المفردة.

تجربة

مقاومة التوازي

ركّب دائرة توازٍ كهربائية تتكوّن من مصدر قدرة، ومقاوِم، وأميتر.

1. **توقع** ماذا يحدث للتيار الكلي في الدائرة الكهربائية عند توصيل مقاوِم آخر مماثل للمقاوِم الأول على التوازي معه؟
2. **اختبر** توقعك.
3. **توقع** مقادير التيارين الجديدين عندما تتضمن الدائرة ثلاث أو أربع مقاوِمات متماثلة موصولة على التوازي.
4. **اختبر** توقعك.

التحليل والاستنتاج

5. **أنشئ** جدول بيانات لتوضيح النتائج.
6. **فسّر** نتائجك بتضمينها كيفية تغير المقاومة.

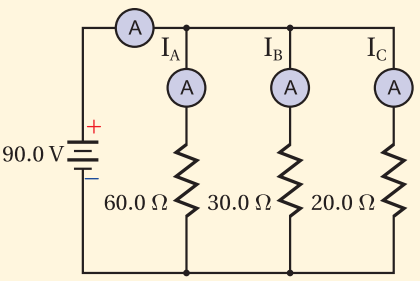
مثـــــال 3

المقاومة المكافئة والتيار في دائرة توازٍ كهربائية وصِلت المقاوِمات الثلاثة التالية: 60.0 Ω و30.0 Ω و20.0 Ω على التوازي ببطارية جهدها 90.0 V، احسب مقدار:

a. التيار المار في كل فرع في الدائرة الكهربائية.

b. المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية.

c. التيار المار في البطارية.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للدائرة الكهربائية.
- ضمِّن رسمك مجموعة من الأميترات لتبين أين توصلها لتقيس التيارات جميعها.

المعلوم		المجهول	
$R_C = 20.0\ \Omega$	$R_A = 60.0\ \Omega$	$I = ?$	$I_A = ?$
$V = 90.0\ V$	$R_B = 30.0\ \Omega$	$R = ?$	$I_B = ?$
			$I_C = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لأن الجهد على كلّ مقاوِم يكون هو نفسه لجميع المقاوِمات، لذا نستخدم العلاقة التالية: $I = \frac{V}{R}$ في كل فرع.

بالتعويض عن $R_A = 60.0\ \Omega$ ،$V = 90.0\ V$

$$I_A = \frac{V}{R_A} = \frac{90.0\ V}{60.0\ \Omega} = 1.50\ A$$

بالتعويض عن $R_B = 30.0\ \Omega$ ،$V = 90.0\ V$

$$I_B = \frac{V}{R_B} = \frac{90.0\ V}{30.0\ \Omega} = 3.00\ A$$

بالتعويض عن $R_C = 20.0\ \Omega$ ،$V = 90.0\ V$

$$I_C = \frac{V}{R_C} = \frac{90.0\ V}{20.0\ \Omega} = 4.50\ A$$

b. استخدم معادلة المقاومة المكافئة لدوائر التوازي.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}$$

بالتعويض عن $R_A = 60.0\ \Omega$ ،$R_B = 30.0\ \Omega$ ،$R_C = 20.0\ \Omega$

$$= \frac{1}{60.0\ \Omega} + \frac{1}{30.0\ \Omega} + \frac{1}{20.0\ \Omega} = \frac{1}{10.0\ \Omega}$$

$$R = 10.0\ \Omega$$

c. استخدم $I = \frac{V}{R}$ لإيجاد التيار الكلي.

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

بالتعويض عن $V = 90.0\ V$ ،$R = 10.0\ \Omega$

$$= \frac{90.0\ V}{10.0\ \Omega} = 9.00\ A$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس التيار بوحدة الأمبير، والمقاومة بوحدة الأوم.
- **هل الجواب منطقي؟** المقاومة المكافئة أقل من أي مقاومة مفردة، والتيار في الدائرة I يساوي مجموع التيارات المارة في كل المقاوِمات $I = I_A + I_B + I_C$.

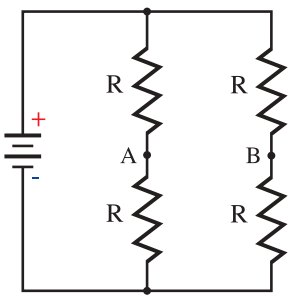
مسائل تدريبية

7. وصِلت ثلاثة مقاوِمات مقدار كل منها 120.0 Ω و 60.0 Ω و 40 Ω على التوازي مع بطارية جهدها 12.0 V، احسب مقدار:
   a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.
   b. التيار الكهربائي الكلي المار في الدائرة.
   c. التيار المار في كل مقاوِم.
8. إذا أردنا تغيير مقاومة فرع في دائرة كهربائية من 150 Ω إلى 93 Ω فإنه يجب إضافة مقاوِم إلى هذا الفرع. ما مقدار المقاومة التي يجب إضافتها؟ وكيف يتم توصيلها؟

القدرة الكهربائية في دوائر التوازي والتوالي تختلف توصيلات التوالي والتوازي في كيفية تأثيرها في دوائر الإضاءة. تخيّل مصباحين القدرة الكهربائية للأول 60 W، والقدرة الكهربائية للثاني 100 W ويعمل كل منهما على جهد مقداره 120 V، قد استخدما في دائرة إضاءة. لتحديد أي المصباحين أكثر سطوعًا ينبغي تذكر أن سطوع إضاءة أي مصباح كهربائي يتناسب طرديًّا مع القدرة المستنفدة فيه، بحساب مقاومة كل من المصباحين نجد أن $R_1 = (120)^2/60 = 240\ \Omega$، $R_2 = (120)^2/100 = 144\ \Omega$، فعند توصيل المصباحين معًا على التوازي بجهد 120 V، يكون سطوع المصباح الذي قدرته الكهربائية 100 W أكبر؛ لأن القدرة المستنفذة فيه أكبر، وذلك لأن مقاومته الكهربائية أقل ($P=V^2/R$)، وعند وصلهما على التوالي يكون سطوع المصباح الذي قدرته الكهربائية 60 W أكبر؛ لأن القدرة المستنفذة فيه أكبر، وذلك لأن مقاومته الكهربائية أكبر ($P=I^2R$).

3–1 مراجعة

9. **أنواع الدوائر الكهربائية** قارن بين الجهود والتيارات في دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.
10. **التيار الكلي** دائرة توازٍ فيها أربعة أفرع للتيار، وقيم التيارات في تلك الفروع 120 mA و250 mA و380 mA و 2.1 A، ما مقدار التيار الذي يزوِّده المصدر؟
11. **التيار الكلي** تحتوي دائرة توالٍ على أربعة مقاوِمات. إذا كان التيار المار في أحد المقاوِمات يساوي 810 mA فاحسب مقدار التيار الذي يزوِّده المصدر.
12. **التفكير الناقد** تحتوي الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل 3–8 على أربعة مقاوِمات متماثلة. افترض أن سلكًا استُخدم لوصل النقطتين A وB أجب عن الأسئلة التالية مع توضيح السبب:
    a. ما مقدار التيار المار في السلك؟
    b. ماذا يحدث للتيار المار في كل مقاوِم؟
    c. ماذا يحدث للتيار الخارج من البطارية؟
    d. ماذا يحدث لفرق الجهد بين طرفي كل مقاوِم؟



الشكل 3–8

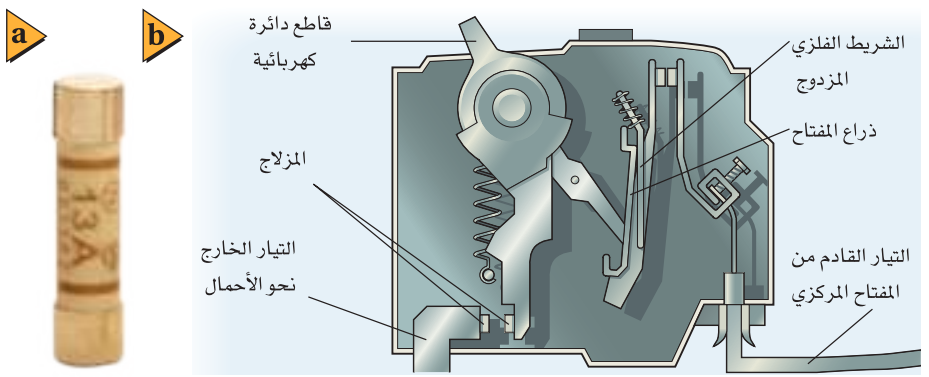
تعلمت سابقًا عن بعض العناصر المستخدمة في الدوائر الكهربائية، ومن المهم تعرّف وفهم متطلبات هذه الأنظمة وحدودها. وقبل كل شيء، يجب أن تكون مدركًا لتدابير السلامة التي يجب اتباعها لتجنب وقوع الحوادث والإصابات.

أدوات السلامة Safety Devices

تعمل المنصهرات وقواطع الدوائر الكهربائية كأدوات حماية وسلامة، تمنع حدوث حمل زائد في الدائرة يمكن أن ينتج عن تشغيل عدة أجهزة كهربائية في الوقت نفسه، أو عند حدوث دائرة قصر في أحد الأجهزة الكهربائية. تحدث **دائرة القصر** عند تكوّن دائرة كهربائية مقاومتها صغيرة جدًّا؛ ممّا يجعل التيار المار فيها كبيرًا جدًّا. فعند توصيل مجموعة من الأجهزة الكهربائية على التوازي تقل المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية أكثر كلما شغّلنا جهازًا منها، مما يؤدي إلى زيادة التيار المار في الأسلاك، وقد يُنتج هذا التيار الإضافي طاقة حرارية كافية لصهر المادة العازلة للأسلاك، فيؤدي ذلك إلى تلامس الأسلاك وحدوث دائرة قصر وقد تُحدث حريقًا.

المنصهر الكهربائي هو قطعة قصيرة من فلز تنصهر عندما يمرّ فيها تيار كبير **الشكل (3–9a)**. وسمك هذه القطعة الفلزية يُحدّده مقدار التيار اللازم لعمل الدائرة الكهربائية، بحيث يمر فيها التيار الكهربائي بأمان دون أن يؤدي إلى تلفها. وإذا مر تيار أكبر من التيار الذي تتحمله الدائرة تنصهر هذه القطعة وتقطع التيار الكهربائي عن الدائرة، وهذا يؤدي إلى حماية الدائرة من التلف. يوضّح **الشكل 3–9b قاطع الدائرة الكهربائية**، وهو مفتاح كهربائي آلي يعمل على فتح الدائرة الكهربائية عندما يتجاوز مقدار التيار المار فيها القيمة المسموح بها؛ لأن مرور مثل هذا التيار يُحدث حملًا زائدًا في الدائرة. لذا يعمل القاطع على فتح الدائرة الكهربائية وإيقاف التيار.

يسلك التيار مسارًا مفردًا عند خروجه من مصدر الطاقة، ومروره بجهاز كهربائي ليعود إلى المصدر مرة أخرى. ويؤدي وجود عيب أو خلل أحيانًا في الجهاز أو سقوطه في الماء إلى تكوّن مسار آخر للتيار. وإذا كان الشخص المستخدم للجهاز جزءًا من هذا المسار فإن مرور التيار فيه سيُسبّب إصابة خطيرة له. حيث يمكن أن يؤدي مرور تيار صغير مقداره 5 mA خلال شخص إلى موته بالصدمة أو الصعقة الكهربائية. ووجود **قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ** في قابس التيار يمنع حدوث مثل هذه الإصابات؛ لأنه يحتوي على دائرة إلكترونية تستشعر الفروقات البسيطة في التيار الكهربائي الناجمة عن مسار إضافي للتيار، فتعمل تلك القواطع على فتح الدائرة الكهربائية. وتُلزم غالبًا القوانين والشرائع المتعلقة بكهرباء المباني بتركيب هذا النوع من القواطع في كل من الحمام والمطبخ والمنافذ الكهربائية الخارجية.



منصهر كهربائي — قاطع الدائرة الكهربائية

الشكل 3–9 المنصهر الكهربائي (a) قاطع الدائرة الكهربائية (b).

الفيزياء في حياتك

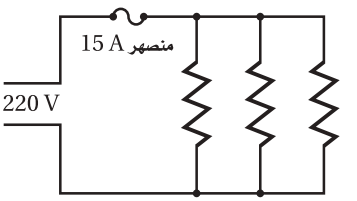
توجد في أغلب المنازل لوحات كهربائية تحتوي على قواطع للدوائر الكهربائية، ومنصهرات، وتضاف هذه الأدوات إلى الدوائر الكهربائية لمنع تلفها عند زيادة قيم التيار الكهربائية عن قيم محددة.

تساؤلات جوهرية:

- كيف تعمل المنصهرات الكهربائية والقواطع الكهربائية على حماية أسلاك التوصيلات الكهربائية في المنازل؟
- كيف تحدد قيم التيار وفرق الجهد في دوائر التوالي والتوازي؟
- كيف تستخدم أجهزة الأميتر والفولتمتر لقياس التيار وفرق الجهد في الدوائر الكهربائية؟

المفردات:

- دائرة القصر
- قاطع الدائرة الكهربائية
- دائرة كهربائية مركبة
- الفولتمتر
- المنصهر الكهربائي
- قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ
- الأميتر



الشكل 10–3 يسمح توصيل التوازي في المنزل بتزامن توصيل أكثر من جهاز؛ أي استعمال أكثر من جهاز في الوقت نفسه. وإذا استعمل عدد كبير من الأجهزة في الوقت نفسه فإن ذلك قد يؤدي إلى انصهار المنصهر الكهربائي.

التمديدات الكهربائية المنزلية يوضح **الشكل 10–3** دائرة توازٍ كهربائية تُستعمل في التمديدات المنزلية، ويوضح الشكل أيضًا بعض الأجهزة الكهربائية المنزلية التي توصل على التوازي، حيث لا يعتمد التيار المارّ فيها على التيارات المارة في الأجهزة الأخرى. إذا تم وصل تلفاز قدرته 440 W بمصدر جهد 220 V، سيكون التيار المار في التلفاز 2.0A . وعند وصل مكواة كهربائية قدرتها 1100 W بمصدر الجهد نفسه سيكون التيار المار فيها 5 A. وأخيرًا، إذا وصِل مجفّف شعر قدرته 1320 W بمصدر الجهد نفسه أيضًا فسيمر فيه تيار مقداره 6 A. ويمكن حساب المقاومة المكافئة للأجهزة الثلاثة كما يلي:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{110\ \Omega} + \frac{1}{44\ \Omega} + \frac{1}{36.7\ \Omega}$$

$$R = 17\ \Omega$$

ولحماية الأجهزة الكهربائية، يوصل منصهر كهربائي على التوالي بمصدر الجهد، بحيث يمر التيار الكهربائي الكلي فيه. ويحسب التيار الكلي المار في المنصهر باستخدام المقاومة المكافئة.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220\ V}{17\ \Omega} = 13\ A$$

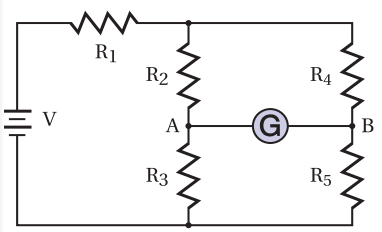
فإذا كان أكبر تيار يتحمله المنصهر يساوي 10 A فإن التيار 13 A يكون أكبر من قدرة تحمل المنصهر الكهربائي، فيؤدي ذلك إلى صهره أو احتراقه، فتفتح الدائرة الكهربائية.

توّفر المنصهرات وقواطع الدوائر الكهربائية الحماية من التيارات الكبيرة، وبخاصة تلك التيارات الناتجة عن حدوث دوائر القصر. وفي حال عدم استعمال منصهر أو قاطع فإنه يمكن للتيار الناتج عن دائرة قصر أن يحدث حريقًا. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تحدث دائرة قصر إذا أصبحت الطبقة العازلة للسلكين الموصولين بمصباح كهربائي هشة وتالفة؛ لأنه يمكن أن يتلامس السلكان، فينتج عن ذلك مقاومة مقدارها 0.010 Ω تقريبًا، مما يؤدي إلى مرور تيار كهربائي كبير جدًّا. $I = V/R = \frac{220\ V}{0.010}\ \Omega = 22{,}000\ A$

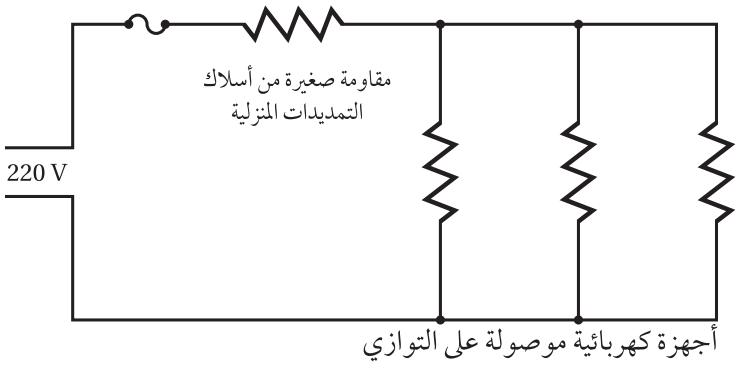
سيؤدي مرور مثل هذا التيار إلى صهر المنصهر الكهربائي أو فتح القاطع الكهربائي، ومن ثم فتح الدائرة الكهربائية، ممّا يمنع ارتفاع درجة حرارة الأسلاك إلى حد يكفي لبدء الحريق وعلية يجب ان تكون قيمة المنصهر أعلى قليلاً من التيار المار في الدائرة.

مسألة تحدٍ

الجلفانومتر جهاز يستخدم لقياس التيارات الكهربائية وفروق الجهد الصغيرة جدًّا. عندما تكون قراءة الجلفانومتر الموضح في الدائرة المجاورة صفرًا نقول إن الدائرة مُتزنة.



1. يقول زميلك في المختبر إن الطريقة الوحيدة لجعل الدائرة مُتزنة هي جعل جميع المقاوِمات متساوية. فهل هذا يجعل الدائرة مُتزنة؟ وهل هناك أكثر من طريقة لجعل الدائرة مُتزنة؟ وضّح إجابتك.
2. اشتق معادلة عامة لدائرة مُتزنة مستخدمًا التسميات المعطاة. *تنبيه: تعامل مع الدائرة على أنها مجزئ جهد.*
3. أيّ المقاوِمات يمكن أن نضع مكانه مقاومًا متغيرًا لكي يُستخدم كأداة في ضبط الدائرة وموازنتها؟
4. أيّ المقاوِمات يمكن أن نضع مكانه مقاومًا متغيرًا لكي يُستخدم أداة تحكّم وضبط حسّاسة؟ ولماذا يكون ذلك ضروريًّا؟ وكيف يمكن استخدامها عمليًّا؟



■ **الشكل 11–3** تتصل المقاومة الصغيرة لأسلاك التوصيل على التوالي بالأجهزة الكهربائية الموصولة على التوازي في التوصيلات المنزلية.

الدوائر الكهربائية المُركّبة
Combined Series–Parallel Circuits

هل لاحظت حدوث ضعف في إضاءة مصباح الحمام أو غرفة النوم عند تشغيل مجفّف الشعر؟ يوصل كل من المصباح ومجفف الشعر على التوازي عبر مصدر جهد مقداره 220 V، ولا يجب أن يتغير التيار المار في المصباح عند تشغيل مجفف الشعر؛ بسبب توصيلهما على التوازي، لكن ضعف إضاءة المصباح يعني أن التيار قد تغير، ويحدث مثل هذا الضعف في الإضاءة لأن مقاومة أسلاك التمديدات المنزلية صغيرة، وكما هو موضّح في **الشكل 11–3** فإن هذه المقاومة موصولة على التوالي مع دائرة التوازي. وتسمى الدائرة التي تحتوي على نوعي التوصيل التوالي والتوازي معًا **دائرةً كهربائية مُركّبة**. وتستخدم الاستراتيجية التالية لتحليل مثل هذه الدوائر.

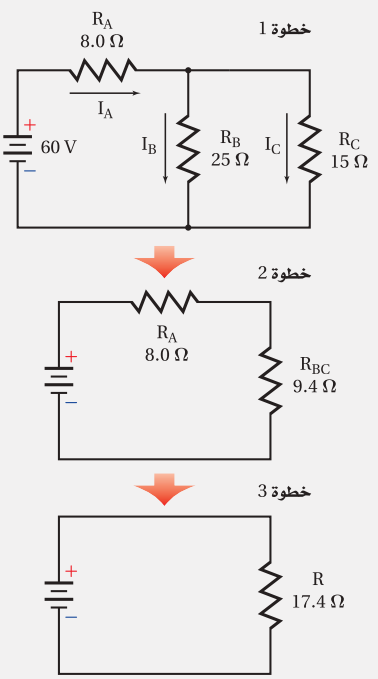
استراتيجيات حل المسألة

الدوائر الكهربائية المركّبة

عند تحليل دائرة كهربائية مُركّبة نستخدم الخطوات التالية لتبسيط المسألة:

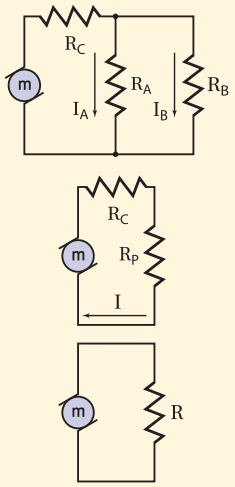
1. ارسم رسمًا تخطيطيًّا للدائرة الكهربائية.
2. حدّد المقاومات الموصولة معًا على التوازي. تعمل مقاومات التوازي على تجزئة التيار، ويكون لها فرق الجهد نفسه. احسب المقاومة المكافئة لهذه المقاومات. ثم ارسم رسمًا تخطيطيًّا جديدًا يحتوي على المقاومة المكافئة لمقاومات التوازي.
3. هل المقاومات الآن –ومنها المقاومة المكافئة لمقاومات التوازي– موصولة على التوالي؟ في مقاومات التوالي يكون هناك مسار واحد فقط للتيار. أوجد المقاومة المكافئة الجديدة التي يمكن أن تحل محل هذه المقاومات. ثم ارسم رسمًا تخطيطيًّا جديدًا يحتوي على هذه المقاومة.
4. كرّر الخطوتين 2، و3 حتى تختصر مقاومات الدائرة كُلّها في مقاوم واحد. أوجد تيار الدائرة الكلي، ثم ارجع في المسألة عكسيًّا لحساب التيار وفرق الجهد لكل مقاوم.

مخطط اختزال دائرة كهربائية



مثـــــال 4

الدوائر الكهربائية المُركّبة وصِل مُجفّف شعر مقاومته 12.0 Ω، ومصباح كهربائي مقاومته 125 Ω معًا على التوازي بمصدر جهد 125 V موصول معه مقاوِم 1.5 Ω على التوالي، كما هو موضح في الشكل. أوجد التيار المار في المصباح عند تشغيل مجفف الشعر.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الدائرة متضمنة مُجفّف الشعر والمصباح.
- ضع المقاومة المكافئة R_P بدلاً من المقاومتين R_A و R_B.

المعلوم			المجهول	
$R_A = 125\ \Omega$	$R_C = 1.50\ \Omega$		$I_A = ?$	$I = ?$
$R_B = 12.0\ \Omega$	$V_{مصدر} = 125\ V$		$R_P = ?$	$R = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب المقاومة المكافئة لدائرة التوازي، ثم أوجد المقاومة المكافئة للدائرة كاملة، ثم احسب التيار.

بالتعويض عن $R_A = 125\ \Omega$، $R_B = 120\ \Omega$

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} = \frac{1}{125\ \Omega} + \frac{1}{12.0\ \Omega}$$

$$R_P = 10.9\ \Omega$$

بالتعويض عن $R_C = 1.50\ \Omega$، $R_p = 10.9\ \Omega$

$$R = R_C + R_p = 1.50\ \Omega + 10.9\ \Omega = 12.4\ \Omega$$

بالتعويض عن $R = 12.4\ \Omega$، $V_{مصدر} = 125\ V$

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R} = \frac{125\ V}{12.4\ \Omega} = 10.1\ A$$

بالتعويض عن $I = 10.1\ A$، $R_C = 1.50\ \Omega$

$$V_C = IR_C = (10.1\ A)(1.50\ \Omega) = 15.2\ V$$

بالتعويض عن $V_{مصدر} = 125\ V$، $V_C = 15.2\ V$

$$V_A = V_{مصدر} - V_C = 125\ V - 15.2\ V = 1.10 \times 10^2\ V$$

بالتعويض عن $V_A = 1.10 \times 10^2\ V$، $R_A = 125\ \Omega$

$$I_A = \frac{V_A}{R_A} = \frac{1.10 \times 10^2\ V}{125\ \Omega} = 0.880\ A$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التيار بوحدة الأمبير، ويقاس الهبوط في الجهد بوحدة الفولت.
- **هل الجواب منطقي؟** المقاومة أكبر من الجهد، لذا يكون التيار أقل من 1 A.

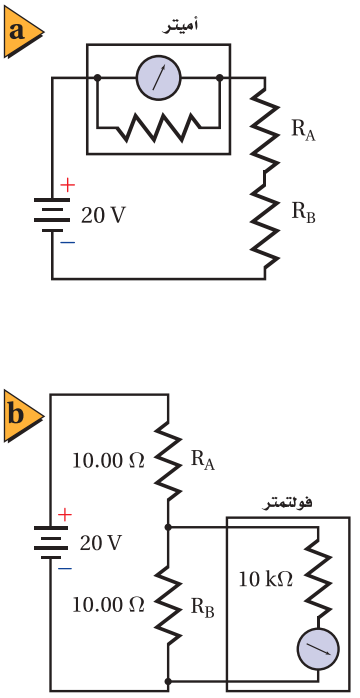
مسائل تدريبية

13. يتصل 11 مصباحًا كهربائيًّا معًا على التوالي، وتتصل المجموعة على التوالي بمصباحين كهربائيين يتصلان على التوازي. فإذا كانت المصابيح جميعها متماثلة، فأيها يكون سطوعه أكبر عند توصيلها مع مصدر جهد كهربائي؟
14. ماذا يحدث للدائرة الموصوفة في المسألة السابقة، إذا احترق أحد المصباحين المتصلين على التوازي؟
15. ماذا يحدث للدائرة الموصوفة في المسألة **13** إذا حدث دائرة قصر لأحد المصباحين المتصلين على التوازي؟

الأميترات والفولتمترات Ammeters and Voltmeters

الأميتر جهاز يستخدم لقياس التيار الكهربائي في أي فرع أو جزء من دائرة كهربائية. فإذا أردت قياس التيار الكهربائي المار في مقاوِم، فعليك أن تصل جهاز الأميتر على التوالي بهذا المقاوِم، وهذا يتطلب قطع مسار التيار وإدخال الأميتر. وفي الحالات المثالية، يجب ألا يؤثر استخدام الأميتر في قيمة التيار المار في المقاوِم. لذا يُصمّم الأميتر بحيث تكون مقاومته أقل ما يمكن؛ ولذلك يوصل مع ملفه مقاومة صغيرة على التوازي، ويوصل الأميتر على التوالي في الدوائر الكهربائية لاحظ **الشكل 12a–3**.

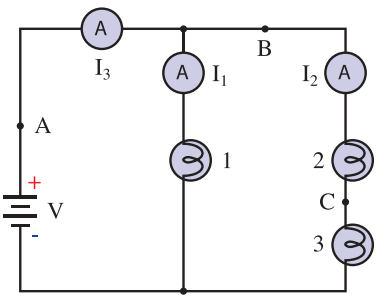
الفولتمتر يُستخدم لقياس الهبوط في الجهد عبر جزء من دائرة كهربائية. ولقياس الهبوط في الجهد عبر مقاوِم يتم وصل الفولتمتر مع هذا المقاوِم على التوازي. ويُصمّم الفولتمتر بحيث تكون مقاومته كبيرة جدًّا؛ وذلك حتى يكون التغير في التيارات وفروق الجهد في الدائرة الكهربائية أقل ما يمكن. ولذلك يوصل مع ملفه مقاومة كبيرة جدًّا على التوالي، ويوصل الفولتمتر على التوازي في الدوائر الكهربائية لاحظ **الشكل 12b–3**.



الشكل 12–3 يتصل أميتر على التوالي بمقاومين (a). غَيَّرت المقاومة الصغيرة للأميتر التيار بمقدار صغير جدًا. ويتصل الفولتمتر بمقاوِم على التوازي (b). سيكون التغير في تيار الدائرة وجهدها مهملاً بسبب المقاومة الكبيرة للفولتمتر.

3–2 مراجعة

ارجع إلى الشكل 13–3 للإجابة عن الأسئلة 16– 20



الشكل 13–3

16. **التيار** إذا كان $I_1 = 1.1\ A$ و $I_3 = 1.7\ A$ فما مقدار التيار المار في المصباح 2؟

17. **دوائر التوالي الكهربائية** إذا فُصِل السلك عند النقطة C، ووُصِل مقاوم صغير على التوالي بالمصباحين 2 و3 فماذا يحدث لسطوع كل منهما؟

18. **جهد البطارية** عند وصل فولتمتر بين طرفي المصباح 2 كانت قراءته 3.8 V، وعند وصل فولتمتر آخر بين طرفي المصباح 3 كانت قراءته 4.2 V، ما مقدار جهد البطارية؟

19. **الدوائر الكهربائية** بالرجوع إلى المعلومات الواردة في السؤال السابق، هل المصباحان 2، و3 متماثلان؟

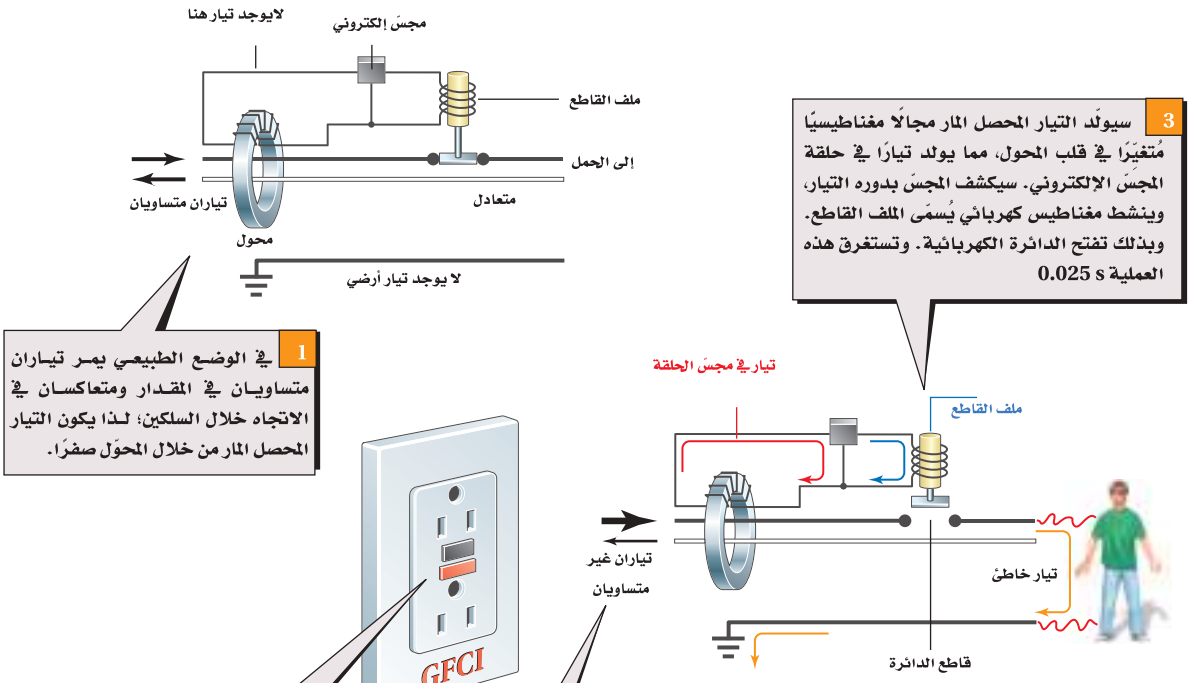
20. **التفكير الناقد** هل هناك طريقة لجعل المصابيح الثلاثة في الشكل تُضيء بالشدة نفسها دون استخدام أيّ مقاوِمات إضافية؟ وضّح إجابتك.

كيف تعمل

دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ؟

Ground Fault Circuit Interrupter (GFCI)

يحدث التفريغ الأرضي الخاطئ عندما يسلك التيار مسارًا خاطئًا نحو الأرض، كأن يمر التيار الكهربائي من خلال جسم شخص. وكان شارل دالزيل أستاذ الهندسة في جامعة كاليفورنيا خبيرًا في تأثيرات الصدمات الكهربائية. وعندما أدرك أن التفريغ الأرضي الخاطئ كان سببًا لحدوث العديد من الصعقات الكهربائية اخترع جهازًا يمنع وقوع مثل هذه الحوادث. فما مبدأ عمل دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ (GFCI)؟



1 في الوضع الطبيعي يمر تياران متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه خلال السلكين؛ لذا يكون التيار المحصل المار من خلال المحوّل صفرًا.

2 في حالة التفريغ الخاطئ يمر تيار من السلك الحي (hot conductor) نحو الأرض عن طريق جسم الشخص. ويكون التياران في السلكين غير متساويين، لذا يكون هناك قيمة لمحصلة التيار المار من خلال المحوّل.

3 سيولّد التيار المحصل المار مجالًا مغناطيسيًا مُتغيّرًا في قلب المحول، مما يولد تيارًا في حلقة المجسّ الإلكتروني. سيكشف المجسّ بدوره التيار، وينشط مغناطيس كهربائي يُسمّى الملف القاطع. وبذلك تفتح الدائرة الكهربائية. وتستغرق هذه العملية 0.025 s

4 يُوصل قابس الفحص في دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ مقاومًا صغيرًا بالدائرة الكهربائية، فينشئ مرة أخرى تيارات غير متساوية في المحول، ويفتح الدائرة الكهربائية.

التفكير الناقد

1. **كوّن فرضية** يَحدث التفريغ الخاطئ عندما يقف شخص على سطح مبلّل بالماء ويلمس جهازًا موصولاً بالكهرباء. كيف يكون الماء عاملًا في تكوّن التفريغ الأرضي الخاطئ؟
2. **حلل واستنتج** هل تعمل دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ على حماية شخص عندما يُمسك أحد السلكين بيد ويُمسك السلك الآخر باليد الأخرى؟ وضّح إجابتك؟
3. **احسب** في دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ، كان مقدار مقاوم الفحص $14.75\ k\Omega$. احسب التيار المار في هذا المقاوم إذا كان فرق الجهد $115\ V$. هل يُعدّ هذا التيار كبيرًا؟

3–1 الدوائر الكهربائية البسيطة Simple Circuits

المفردات

- دائرة التوالي
- المقاومة المكافئة
- مجزئ الجهد
- دائرة التوازي

الفكرة الرئيسة: يسلك التيار الكهربائي في دوائر التوالي مساراً واحداً، أما دوائر التوازي يسلك أكثر من مسار.

- يكون التيار متساويًا في جميع أجزاء دائرة التوالي الكهربائية البسيطة.
- المقاومة المكافئة لدائرة التوالي هي مجموع مقاومات أجزائها.

$$R = R_A + R_B + R_c + \ldots$$

- التيار الكهربائي المار في دائرة التوالي يساوي حاصل قسمة فرق الجهد على المقاومة المكافئة.

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R}$$

- مجموع الهبوط في الجهد خلال مقاوِمات دائرة التوالي يساوي فرق الجهد المُطبّق على طرفي مجموعة المقاوِمات.
- مجزئ الجهد يمثل دائرة توالٍ كهربائية تستخدم للحصول على جهد بقيمة معينة من بطارية ذات جهد كبير.
- يكون الهبوط في الجهد خلال جميع أفرع دائرة التوازي الكهربائية متساويًا.
- يكون التيار الكلي في دائرة التوازي الكهربائية مساويًا لمجموع تيارات أفرع الدائرة.
- يكون مقلوب المقاومة المكافئة لمجموعة مقاوِمات موصولة على التوازي مساويًا لمجموع مقلوب كل مقاومة.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} + \ldots$$

- إذا فُتح أي فرع من أفرع دائرة التوازي الكهربائية فلن يمر تيار في هذا الفرع، ولن تتغيّر قيمة التيارات المارة في الأفرع الأخرى، إلا أن التيار الكلي يتغير.

3–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية Applications of Circuits

المفردات

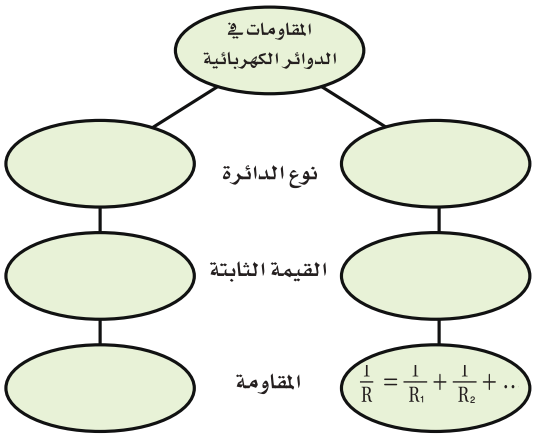
- دائرة القصر
- المنصهر الكهربائي
- قاطع الدائرة الكهربائية
- قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ
- دائرة كهربائية مُركّبة
- الأميتر
- الفولتمتر

الفكرة الرئيسة: معظم الدوائر تتكون من دوائر مركبة تحتوي توصيلات على التوالي والتوازي معاً.

- يعمل المنصهر الكهربائي أو قاطع الدائرة الكهربائية الموصول بالجهاز على التوالي على فتح الدائرة عند مرور تيارات كهربائية كبيرة فيها خطر على الجهاز.
- تتكون الدائرة المركّبة من توصيلات التوالي والتوازي معًا. وفي البداية يُختزل أي تفرع توازٍ إلى مقاومة مكافئة واحدة ثم تُختزل أيّ مقاوِمات أخرى موصولة على التوالي في مقاومة مكافئة واحدة.
- يستخدم الأميتر في قياس التيار المار في الدائرة أو في أيّ فرع فيها. وتكون مقاومة الأميتر دائمًا صغيرة جدًّا، كما أنه يوصَل دائمًا على التوالي في الدائرة الكهربائية.
- يقيس الفولتمتر فرق الجهد بين طرفي أي جزء أو مجموعة أجزاء في الدائرة. وتكون مقاومته دائمًا كبيرة جدًّا، كما أنه يوصل دائمًا على التوازي بين طرفي الجزء المراد قياس جهده في الدائرة الكهربائية.

خريطة المفاهيم

21. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: دائرة التوالي، $R = R_1 + R_2 + R_3$، تيار ثابت، دائرة التوازي، جهد ثابت.



إتقان المفاهيم

22. إذا وصلت مجموعة مقاوِمات مختلفة في قيمها على التوازي، فكيف تُقَارن قيمة كل منها بالمقاومة المكافئة للمجموعة؟

23. لماذا تكون تمديدات أسلاك الكهرباء في المنازل على التوازي، وليس على التوالي؟

24. وضّح كيف يعمل منصهر كهربائي على حماية دائرة كهربائية ما؟

25. ما المقصود بدائرة القصر؟ ولماذا تكون خطيرة؟

26. لماذا يُصمّم الأميتر بحيث تكون مقاومته صغيرة جدًّا؟

27. لماذا يُصمّم الفولتمتر بحيث تكون مقاومته كبيرة جدًّا؟

28. كيف تختلف طريقة توصيل الأميتر في دائرة كهربائية عن طريقة توصيل الفولتمتر في الدائرة نفسها؟

تطبيق المفاهيم

29. افترض أن المقاوِم R_A في مجزئ الجهد الموضّح في الشكل 4-3 صُمّم ليكون مقاوِمًا متغيّرًا، فماذا يحدث للجهد الناتج V_B في مجزئ الجهد إذا زاد مقدار المقاوِم المتغير؟

30. تحتوي الدائرة A على ثلاثة مقاوِمات مقدار كل منها 60 Ω موصولة على التوالي، أما الدائرة B فتحتوي على ثلاثة مقاوِمات مقدار كل منها 60 Ω موصولة على التوازي. كيف يتغير التيار المار في المقاوِم الثاني في كل دائرة منهما إذا قطع مفتاح كهربائي التيار عن المقاوِم الأول؟

31. إذا توافر لديك بطارية جهدها 6 V وعدد من المصابيح جهد كلٍّ منها 1.5 V، فكيف تصل المصابيح بحيث تضيء، على ألا يزيد فرق الجهد بين طرفي كلٍّ منها على 1.5 V؟

32. مصباحان كهربائيّان مقاومة أحدهما أكبر من مقاومة الآخر. أجب عما يلي:
   a. إذا وصل المصباحان على التوازي فأيُّهما يكون سطوعه أكبر (أي يستنفد قدرة أكبر)؟
   b. إذا وصل المصباحان على التوالي فأيهما يكون سطوعه أكبر؟

33. اكتب نوع الدائرة المستخدمة (توالٍ أم توازٍ) فيما يلي:
   a. التيار متساوٍ في جميع أجزاء الدائرة الكهربائية.
   b. المقاومة المكافئة تساوي مجموع المقاومات المُفردة.
   c. الهبوط في الجهد عبر كل مقاوم في الدائرة الكهربائية متساوٍ.
   d. الهبوط في الجهد في الدائرة الكهربائية يتناسب طرديًّا مع المقاومة.
   e. إضافة مقاوم إلى الدائرة يُقلّل المقاومة المكافئة.
   f. إضافة مقاوم إلى الدائرة يزيد المقاومة المكافئة.
   g. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاوِمات دائرة كهربائية صفرًا، ولم يمر تيار في جميع المقاوِمات الأخرى الموجودة في الدائرة.
   h. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاوِمات دائرة كهربائية صفرًا، ولم تتغيّر مقادير التيارات الكهربائية المارة في جميع المقاوِمات الأخرى الموجودة في الدائرة.
   i. هذا النوع من التوصيل مناسب لتمديدات الأسلاك في المنزل.

34. **منصهرات المنزل** لماذا يكون خطيرًا استعمال منصهر 30 A بدلاً من المنصهر 15 A المستخدم في حماية دائرة المنزل؟

إتقان حل المسائل

3–1 الدوائر الكهربائية البسيطة

35. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات التالية: 680 Ω، 1.1 kΩ، 10 kΩ إذا وصلت على التوازي.

36. إذا احتوت دائرة توالٍ على هبوطين في الجهد 5.50 V، 6.90 V فما مقدار جهد المصدر؟

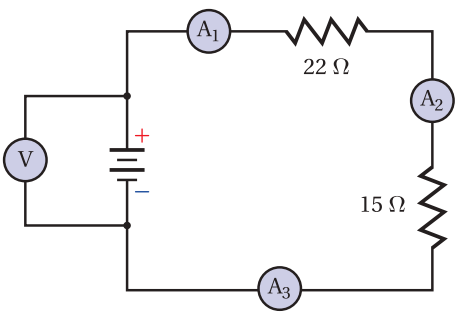
37. يمر تياران في دائرة توازٍ، فإذا كان تيار الفرع الأول 3.45 A وتيار الفرع الثاني 1.00 A فما مقدار التيار المار في مصدر الجهد؟

38. إذا كانت قراءة الأميتر 2 الموضّح في **الشكل 3–14** تساوي 0.50 A، فاحسب مقدار:

a. فرق الجهد بين طرفي المقاوِم 22 Ω

b. فرق الجهد بين طرفي المقاوِم 15 Ω

c. جهد البطارية.



الشكل 3–14

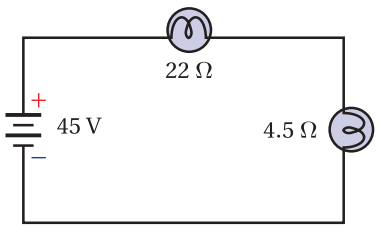
39. وصِل مصباحان مقاومة الأول 22 Ω ومقاومة الثاني 4.5 Ω على التوالي بمصدر فرق جهد مقداره 45 V، كما هو موضّح في **الشكل 3–15**، فاحسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

b. التيار المار في الدائرة.

c. الهبوط في الجهد في كل مصباح.

d. القدرة المستهلكة في كل مصباح.



الشكل 3–15

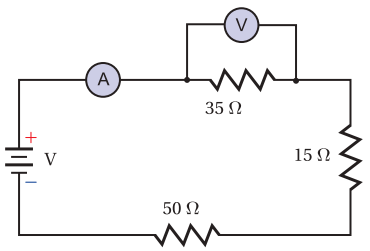
40. إذا كانت قراءة الفولتمتر الموضّح في **الشكل 3–16** تساوي 70.0 V فأجب عن الأسئلة التالية:

a. ما مقدار قراءة الأميتر؟

b. أي المقاوِمات أسخن؟

c. أي المقاوِمات أبرد؟

d. ما مقدار القدرة المزوّدة بوساطة البطارية؟



الشكل 3–16

41. إذا كان جهد البطارية الموضحة في **الشكل 3–17** يساوي 110 V، فأجب عن الأسئلة التالية:

a. ما مقدار قراءة الأميتر 1؟

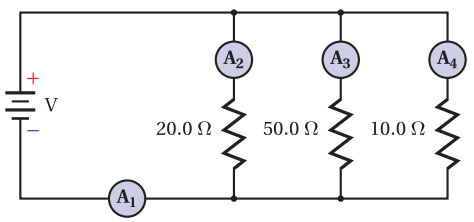
b. ما مقدار قراءة الأميتر 2؟

c. ما مقدار قراءة الأميتر 3؟

d. ما مقدار قراءة الأميتر 4؟

e. أي المقاوِمات أسخن؟

f. أي المقاوِمات أبرد؟



الشكل 3–17

42. إذا كانت قراءة الأميتر 3 الموضح في **الشكل 17–3** تساوي 0.40 A فما مقدار:
a. جهد البطارية؟
b. قراءة الأميتر 1؟
c. قراءة الأميتر 2؟
d. قراءة الأميتر 4؟

43. إذا كان الحمل الموصول بطرفي بطارية يتكون من مقاومين 47 Ω و15 Ω موصولين على التوالي، فما مقدار:
a. المقاومة الكلية للحمل؟
b. جهد البطارية إذا كان التيار المار في الدائرة يساوي 97 mA؟

44. **أنوار الاحتفالات** يتكون أحد اسلاك الزينة من 18 مصباحًا صغيرًا متماثلًا، موصولة على التوالي بمصدر جهد مقداره 120 V، فإذا كان السلك يستنفد قدرة مقدارها 64 W، فما مقدار:
a. المقاومة المكافئة لسلك المصابيح؟
b. مقاومة كل مصباح؟
c. القدرة المستنفدة في كل مصباح؟

45. **التلفاز** يستهلك تلفاز قدرة تساوي 275 W عند وصله بقابس 120 V، أجب عن الأسئلة التالية:
a. احسب مقاومة التلفاز.
b. إذا شكّل التلفاز وأسلاك توصيل مقاومتها 2.5 Ω ومنصهر كهربائي، دائرة توالٍ تعمل بوصفها مجزّئ جهد، فاحسب الهبوط في الجهد عبر التلفاز.
c. إذا وصِل مجفّف شعر مقاومته 12 Ω بالقابس نفسه الذي يتصل به التلفاز، فاحسب المقاومة المكافئة للجهازين.
d. احسب الهبوط في الجهد عبر كل من التلفاز، ومجفّف الشعر.

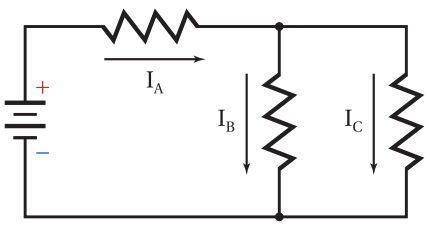
46. وصِل مقاومان؛ 16.0 Ω و20.0 Ω، على التوازي بمصدر جهد مقداره 40.0 V، فما مقدار:
a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي؟
b. التيار الكلي المار في الدائرة؟
c. التيار المار في المقاوِم 16.0 Ω؟

47. صمّم فيصل مجزئ جهد باستخدام بطارية جهدها 12 V ومقاومان. فإذا كان مقدار المقاوِم R_B يساوي 82 Ω، كم يجب أن يكون مقدار المقاوِم R_A حتى يكون الجهد الناتج عبر المقاوِم R_B يساوي 4.0 V؟

3–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية

ارجع إلى الشكل 18–3 للإجابة عن الأسئلة 51–48:

48. إذا كان مقدار كل مقاوِم من المقاومات الموضّحة في الشكل يساوي 30 Ω فاحسب المقاومة المكافئة.



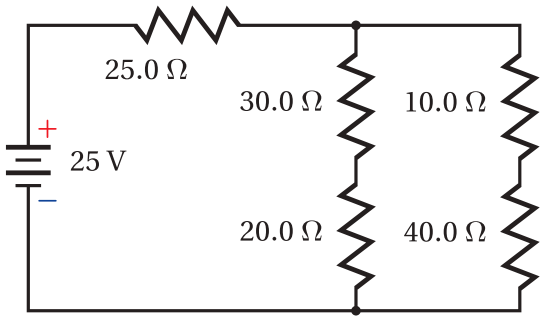
الشكل 18–3

49. إذا كان كل مقاوِم يستنفد 120 mW، فاحسب القدرة الكلية المستنفدة.

50. إذا كان $I_A = 13\ mA$ و$I_B = 1.7\ mA$ فما مقدار I_C؟

51. بافتراض أن $I_B = 13\ mA$ و$I_C = 1.7\ mA$، ما مقدار I_A؟

52. بالرجوع إلى **الشكل 19–3**، أجب عما يلي:
a. ما مقدار المقاومة المكافئة؟
b. احسب مقدار التيار المار في المقاوِم 25 Ω؟
c. أي المقاوِمات يكون أسخن، وأيها يكون أبرد؟



الشكل 19–3

53. تتكـوّن دائـرة كهربائية من سـتة مصابيـح ومدفأة كهربائية موصولة جميعها على التوازي. فإذا كانت قدرة كلّ مصباح 60 W ومقاومته 240 Ω ، ومقاومة المدفـأة 10.0 Ω، وفـرق الجهد في الدائرة يسـاوي 120 V فاحسـب التيار المـار في الدائرة في الحالات التالية:

a. أربعة مصابيح فقط مضاءة.

b. جميع المصابيح مضاءة.

c. المصابيح الستة والمدفأة جميعها تعمل.

54. إذا احتـوت الدائـرة الكهربائيـة في المسـألة السـابقـة على منصهـر كهربائي كتب عليه 12 A فهل ينصهـر هذا المنصهر إذا شُـغّلت المصابيح الستة والمدفأة؟

مراجعة عامة

55. وصلت ثلاثة مقاومات مقاومتها 5 Ω، 10 Ω، 15 Ω على التوازي بمصدر جهد مقداره 20 V أجب عما يلي:

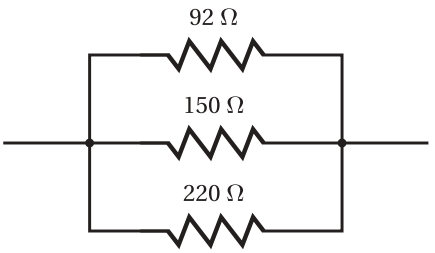
a. في أي منهـا يـسري أكبر تيـار كهربائـي؟ وما مقداره؟

b. أي من هذه المقاومـات يكون بين طرفيه فرق الجهد الأكبر؟

56. احسـب القيمة العظمى للجهـد الكهربائي الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاثة الموصولة على التـوالي، والذي لا يؤدي لتلـف أي من المقاومات الموضحة في **الشكل 20–3**، علمًا بأن قدرة كل منها 5.0 W

الشكل 20–3

57. احسـب القيمة العظمى للجهـد الكهربائي الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاثة الموصولة على التوازي، والذي لا يؤدي لتلف أي من المقاومات الموضحـة في **الشـكل 21–3** علـمًا بـأن قـدرة كلٍّ منها 5.0 W



الشكل 21–3

التفكير الناقد

58. **تطبيق الرياضيات** اشتق علاقة لحساب المقاومة المكافئة في كل من الحالات التالية:

a. مقاوِمـان قيمتاهمـا متسـاويتان موصولان معًا على التوازي.

b. ثلاثة مقاوِمـات قيمها متسـاوية موصولة معًا على التوازي.

c. عدد N من مقاوِمات قيمها متسـاوية موصولة معًا على التوازي.

59. تطبيق المفاهيم صمّم دائرة كهربائية يمكنها إضاءة 12 مصباح متماثلًا، بكامل شدتها الضوئية الصحيحية بوساطة بطارية جهدها 48 V، لكل حالة مما يلي:

a. يقتضي التصميم A أنه إذا احترق فتيل أحد المصابيح تبقى المصابيح الأخرى مضيئة.

b. يقتضي التصميم B أنه إذا احترق فتيل أحد المصابيح تضيء المصابيح الأخرى التي بقيت تعمل بكامل شدتها الضوئية الصحيحة.

c. يقتضي التصميم C أنه إذا احترق فتيل أحد المصابيح ينطفئ مصباح آخر.

d. يقتضي التصميم D أنه إذا احترق فتيل أحد المصابيح فإما أن ينطفئ مصباحان أو لا ينطفئ أي مصباح في الدائرة.

الكتابة في الفيزياء

60. ابحث في قوانين جوستاف كيرتشوف، واكتب ملخصًا من صفحة واحدة حول كيفية تطبيقها على الأنواع الثلاثة للدوائر الكهربائية الواردة في الفصل.

مراجعة تراكمية

61. إذا كانت شدة المجال الكهربائي على بُعد d من شحنة نقطية Q يساوي **E**، فماذا يحدث لمقدار المجال الكهربائي في الحالات التالية:

a. مضاعفة d ثلاث مرات.

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

c. مضاعفة كلٍّ من d و Q ثلاث مرات.

d. مضاعفة شحنة الاختبار q' ثلاث مرات

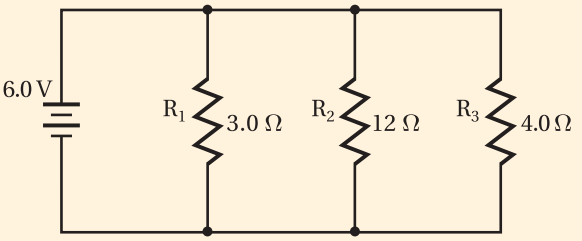
e. مضاعفة كلٍّ من q' و d و Q ثلاث مرات.

62. إذا نقص التيار المار في دائرة كهربائية فرق الجهد فيها 12 V من 0.55 A إلى 0.44 A، فاحسب مقدار التغير في المقاومة.

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

استخدم الرسم التخطيطي أدناه الذي يمثّل دائرة كهربائية للإجابة عن الأسئلة 4–1.



1. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟

(A) $\frac{1}{19}\ \Omega$ (C) 1.5 Ω

(B) 1.0 Ω (D) 19 Ω

2. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

(A) 0.32 A (C) 1.2 A

(B) 0.80 A (D) 4.0 A

3. ما مقدار التيار الكهربائي المار في المقاوم R_3؟

(A) 0.32 A (C) 2.0 A

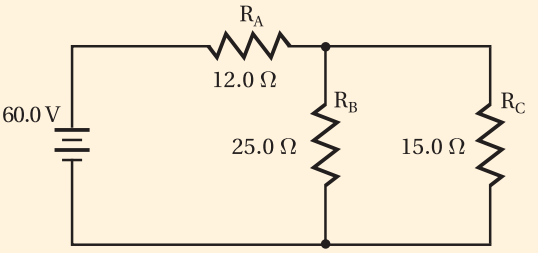
(B) 1.5 A (D) 4.0 A

4. ما مقدار قراءة فولتمتر يوصل بين طرفي المقاوم R_2؟

(A) 0.32 V (C) 3.8 V

(B) 1.5 V (D) 6.0 V

استخدم الرسم التخطيطي أدناه الذي يمثل دائرة كهربائية للإجابة عن السؤالين 5 و6.



5. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟

(A) 8.42 Ω (C) 21.4 Ω

(B) 10.7 Ω (D) 52.0 Ω

6. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

(A) 1.15 A (C) 2.80 A

(B) 2.35 A (D) 5.61 A

7. إذا وصل محمود ثمانية مصابيح مقاومة كل منها 12 Ω على التوالي فما مقدار المقاومة الكلية للدائرة؟

(A) 0.67 Ω (C) 12 Ω

(B) 1.5 Ω (D) 96 Ω

8. أيّ العبارات التالية صحيحة؟

(A) مقاومة الأميتر المثالي كبيرة جدًّا.

(B) مقاومة الفولتمتر المثالي صغيرة جدًّا.

(C) مقاومة الأميترات تساوي صفرًا.

(D) تُسبِّب الفولتمترات تغيرات صغيرة في التيار.

الأسئلة الممتدة

9. يقيم حامد حفلًا ليليًّا. ولإضاءة الحفل وصل 15 مصباحًا كهربائيًّا على التوالي ببطارية سيارة جهدها 12.0 V، ولحظة وصل هذه المصابيح بالبطارية لم تُضئ، وأظهرت قراءة الأميتر أن التيار المار في المصابيح 0.350 A فإذا احتاجت المصابيح إلى تيار مقداره 0.500 A لكي تُضيء، فكم مصباحًا عليه أن يفصل من الدائرة؟

✓ إرشاد

خذ قسطًا من الراحة

إذا كان لديك فرصة لأخذ قسط من الراحة في أثناء الاختبار أو كان يمكنك الوقوف فلا تتحرج من ذلك، وانهض من مقعدك وتحرك؛ فإن ذلك يعطيك طاقة إضافية، ويساعدك على تجلية تفكيرك. وخلال فترة الاستراحة فكر في شيء آخر غير الاختبار، وبذلك تكون قادرًا على أن تبدأ من جديد.

الفصل 4

المجالات المغناطيسية
Magnetic Fields

الفكرة العامة

تحاط المغانط والشحنات الكهربائية المتحركة بمجالات مغناطيسية تؤثر بقوى على المواد المغناطيسية وعلى الشحنات المتحركة.

4-1 المغانط: الدائمة والمؤقتة

الفكرة الرئيسة ينتج المجال المغناطيسي عن المغانط والتيار الكهربائي.

4-2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية

الفكرة الرئيسة : تعتمد الكثير من الأدوات بما في ذلك سماعات الأذن والمحركات الكهربائية في مبدأ عملها على قوى تنتج عن المجالات المغناطيسة.

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بالمغانط: الدائمة والبسيطة (المستقطب، المجال المغناطيسي، التدفق المغناطيسي، قاعدة قبضة اليد اليمنى، الملف الحلزوني، المغناطيس الكهربائي، المنطقة المغناطيسية).
- وصف خصائص المغانط ومنشأ المغناطيسية في المواد.
- المقارنة بين المجالات المغناطيسية المختلفة.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بالقوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية (قاعدة اليد اليمنى، الجلفانوميتر، المحرك الكهربائي، ملف ذو القلب الحديدي).
- الربط بين الحث المغناطيسي واتجاه القوى المؤثرة في سلك يحمل تيارًا كهربائيًا موضوع في مجال مغناطيسي.
- حل مسائل على القوة التي يؤثر بها في مجال مغناطيسي في أسلاك يسري فيها تيارات كهربائية، أو في جسيمات مشحونة متحركة في مجال مغناطيسي.
- وصف تصميم المحرك الكهربائي ومبدأ عمله.
- استخدام الأدوات والأجهزة المتعلقة بالمجال المغناطيسي لإجراء التجارب وتمثيل البيانات وتحليلها لاستخلاص النتائج.
- استقضاء ويحل المشكلات المتعلقة ببعض مفاهيم المجال المغناطيسي.
- إدراك أهمية المجال المغناطيسي في الحياة اليومية.

فكّر ◄

كيف تسبب القوى التي تبذلها المغانط تسارعا للجسيمات؟ هل يمكن لأي جسيم أن يتسارع؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

في أي اتجاه تؤثر المجالات المغناطيسية؟

سؤال التجربة ما الإتجاه الذي تؤثر فيه قوة في جسم ممغنط موضوع في مجال مغناطيسي؟

الخطوات

1. ضع أمامك قضيبًا مغناطيسيًّا بصورة أفقية على أن يكون قطبه الشمالي نحو اليسار.
2. ضع قضيبًا مغناطيسيًا آخر بصورة أفقية أيضًا على بعد 5.0 cm من القضيب الأول (يجب أن تكون قادرا على وضع بوصلة بين القضيبين المغناطيسيين)، على أن يكون قطبه الشمالي نحو اليسار أيضًا.
3. ارسم شكلاً توضّحيا لما قمت به على ورقة وتحقق من تحديد الأقطاب عليه.
4. ضع البوصلة بالقرب من احد القطبين وارسم الاتجاه الذي يشير إليه قطبها الشمالي.
5. غير في موضع البوصلة نحو القطب الآخر عدة مرات، وفي كل مرة ارسم الاتجاه الذي يشير إليه السهم حتى تحصل على 20–15 سهمًا.
6. كرر الخطوات 5 – 3 على أن يكون القطبان الشماليان متقابلين في هذه المرة.

التحليل

ما الاتجاه الذي يشير إليه الطرف الأحمر لإبرة البوصلة عادة؟ وما الاتجاه الذي يشير إليه طرفها الآخر؟ ولماذا قد لا تشير بعض الأسهم إلى أي الموقعين في السؤالين أعلاه؟

التفكير الناقد يسمى المخطط الذي حصلت عليه بعد رسمك للأسهم، المجال المغناطيسي. تذكر المقصود بكل من مجال الجاذبية الأرضية، والمجال الكهربائي، وعرّف المجال المغناطيسي.

4–1 المغانط: الدائمة والمؤقتة
Magnets: Permanent and Temporary

الفيزياء في حياتك

يحتوي الشريط المغناطيسي في بطاقة الاعتماد البنكي على ملايين المغانط الصغيرة التي تكون متماسكة معًا، ويتم تشفير البيانات بالنظام الثنائي، كما تميّز الأصفار والأحاد من تردد عكس المناطق.

تساؤلات جوهرية:

- ما خصائص المغانط؟
- كيف تنشأ المغناطيسية؟
- ما سمات المجالات المغناطيسية؟
- ما العلاقة بين المجالات المغناطيسية والتيارات الكهربائية؟

المفردات:

- المجالات المغناطيسية
- التدفق المغناطيسي
- قاعدة قبضة اليد اليمنى
- الملف الحلزوني
- المغناطيس الكهربائي
- قاعدة اليد اليمنى
- المنطقة المغناطيسية

عُرفت المغانط والمجالات المغناطيسية منذ أكثر من 2000 سنة مضت. وقد استخدم البحارة الصينيون المغانط على صورة بوصلات ملاحية قبل 900 سنة تقريبًا. ودرس العلماء الحجر المغناطيسي والذي يسمي المغناطيس الطبيعي منذ القدم وفي أنحاء العالم كافة، واليوم فإن للمغانط أهمية متنامية في حياتنا اليومية. فالمولدات الكهربائية، والمحركات الكهربائية البسيطة، وأجهزة التلفاز، وأجهزة العرض التي تعمل بوساطة الأشعة المهبطية، وأشرطة التسجيل، ومشغلات الأقراص الصلبة الموجودة داخل أجهزة الحاسوب، جميعها تعتمد على الآثار المغناطيسية للتيارات الكهربائية.

وإذا كنت قد استخدمت البوصلة يوما ما، أو التقطت الدبابيس، أو مشابك الورق بوساطة المغناطيس، تكون قد لاحظت بعض آثار المغناطيسية. ولربما تكون قد صنعت مغناطيسًا كهربائيًا أيضًا، وذلك بلف سلك معزول حول مسمار، ثم وصلت طرفي السلك ببطارية. وستكون خصائص المغانط أكثر وضوحًا إذا استخدمت في تجربتك مغناطيسين. ولدراسة المغناطيسية بصورة أفضل يمكنك التجريب بوساطة المغانط كتلك الموضحة في **الشكل 1–4**.

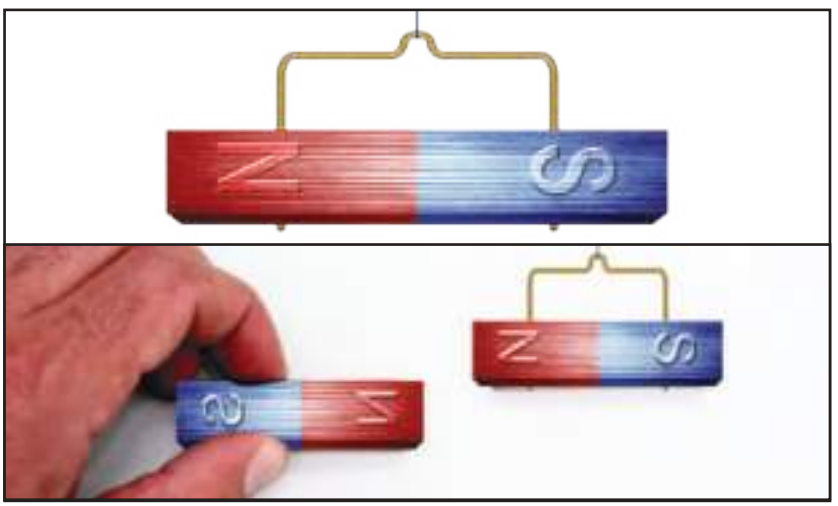
الشكل 1–4 المغانط الشائعة التي تباع في معظم محال الأدوات المخبرية والمكتبات.

الخصائص العامة للمغانط General Properties of Magnets

أقطاب المغناطيس علّق مغناطيسًا بخيط، كما هو موضّح في **الشكل 2a–4**. ستجد أن القضيب المغناطيسي قد استقر في اتجاه شمال – جنوب. اكتب الحرف N عند الطرف الذي يشير إلى اتجاه الشمال بوصفه مرجعًا. يمكنك أن تستنتج من خلال هذه التجربة البسيطة أن المغناطيس **مستقطب**، أي له قطبان متميزان متعاكسان، أحدهما القطب الباحث عن الشمال، ويسمى القطب الشمالي. والآخر القطب الباحث عن الجنوب، ويسمى القطب الجنوبي. والبوصلة ليست أكثر من مغناطيس صغير حر الدوران.

الأقطاب تتنافر أم تتجاذب علق مغناطيسًا آخر بالطريقة نفسها، وحدد القطب الشمالي له كما فعلت مع المغناطيس الأول. ولاحظ تفاعل المغناطيسين؛ وذلك بتقريب أحدهما إلى الآخر، كما هو موضح في **الشكل 2b–4**. ماذا يحدث عند تقريب القطبين الشماليين أحدهما إلى الآخر؟ حاول ذلك مع الأقطاب الجنوبية. وأخيرًا ماذا يحدث عند تقريب القطبين المختلفين أحدهما إلى الآخر؟

لعلك لاحظت أن القطبين الشماليين يتنافران وكذلك الجنوبيان. ولعلك لاحظت كذلك أن القطب الجنوبي لأحدهما انجذب نحو القطب الشمالي للآخر. أي أن الأقطاب المتشابهة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب. ولجميع المغانط قطبان مختلفان. وإذا قسمت المغناطيس إلى نصفين فسينتج مغناطيسان جديدان أصغر منه، كل منهما له قطبان. وقد حاول العلماء كسر المغناطيس ليفصلوا القطبين أحدهما عن الآخر للحصول على قطب مغناطيسي منفرد إلا أن أحدًا لم ينجح في ذلك حتى على المستوى المجهري.



الشكل 2–4 إذا علّقت مغناطيسًا تعليقاً حراً فإن المغناطيس سيتخذ اتجاها يتناسب مع الخصائص المغناطيسية للأرض (a). سيشير القطب الشمالي للمغناطيس نحو الشمال. وإذا قرّبت القطب الشمالي للمغناطيس الآخر نحو القطب الشمالي للمغناطيس المعلق فسوف يبتعد المغناطيس المعلق (b).

الشكل 3–4 ينجذب المسمار الفولاذي نحو المغناطيس. وفي هذه العملية يصبح المسمار نفسه ممغنطًا، ويمكنك أن ترى أنه عندما يلمس المغناطيس المسمار فإن المسمار يصبح قادرًا على جذب أجسام فلزية أخرى. وعند فصل المسمار عن المغناطيس تسقط بعض الأجسام الفلزية؛ وذلك لأن المسمار يفقد جزءًا من مغناطيسيته.

وإذا علمنا أن المغانط تتجه دائمًا في اتجاه شمال – جنوب فسوف يظهر لنا أن الأرض نفسها مغناطيس عملاق. ولأن الأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب، والقطب المغناطيسي الشمالي لإبرة البوصلة يشير نحو الشمال، لذا يجب أن يكون القطب المغناطيسي الجنوبي للأرض بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي لها.

كيف تؤثر المغانط في المواد الأخرى عرفت منذ طفولتك أن المغانط تجذب مغانط أخرى وبعض الأجسام القريبة، ومنها المسامير والدبابيس ومشابك الورق، والعديد من الأجسام الفلزية الأخرى. وخلافًا للتفاعل بين مغناطيسين فإن أي طرف للمغناطيس يجذب أي طرف لقطعة فلز. فكيف تفسر هذا السلوك؟ أولاً، إذا لامس المغناطيس مسمارًا فولاذيًا، ثم لامس المسمار قطعًا فلزية صغيرة فسيصبح المسمار نفسه مغناطيسًا، كما هو موضّح في **الشكل 3–4**. فالمغناطيس يسبب تحفيزًا للمسمار الفولاذي ليصبح مستقطبًا. ويعتمد اتجاه قطبية المسمار على قطبية المغناطيس. فإذا أبعدت المغناطيس فسيفقد المسمار بعضًا من مغناطيسيته، ولن يطول جذبه للأجسام الفلزية الأخرى.

المغانط المؤقتة إذا كررت التجربة الموضّحة في **الشكل 3–4**، ووضعت قطعة من الحديد المطاوع (حديد يحتوي على القليل من الكربون) بدلاً من المسمار، فستلاحظ أن الحديد يفقد كامل جاذبيته للأجسام الفلزية الأخرى مباشرة عند إبعاد المغناطيس؛ وذلك لأن الحديد المطاوع مغناطيس مؤقت. أما المسمار فيحتوي على معادن أخرى تتيح له الاحتفاظ ببعض مغناطيسيته عند إبعاد المغناطيس الدائم.

المجالات المغناطيسية حول المغانط
Magnetic Fields Around Magnets

عندما تجري تجربة باستخدام مغناطيسين تلاحظ أن القوى بين المغانط – سواء أكانت قوة تجاذب أو تنافر – لا تحدث عند تلامس المغناطيسين فقط، بل حتى دون تلامسهما.

وبالطريقة نفسها التي وصفت بها قوة الجاذبية والقوة الكهربائية من خلال مجال الجاذبية الأرضية، والمجال الكهربائي، يمكن وصف قوى المغناطيس من خلال المجالات المغناطيسية المتولدة حول المغناطيس. وهذه **المجالات المغناطيسية** كميات متجهة تظهر في المنطقة التي تؤثر فيها القوة المغناطيسية.

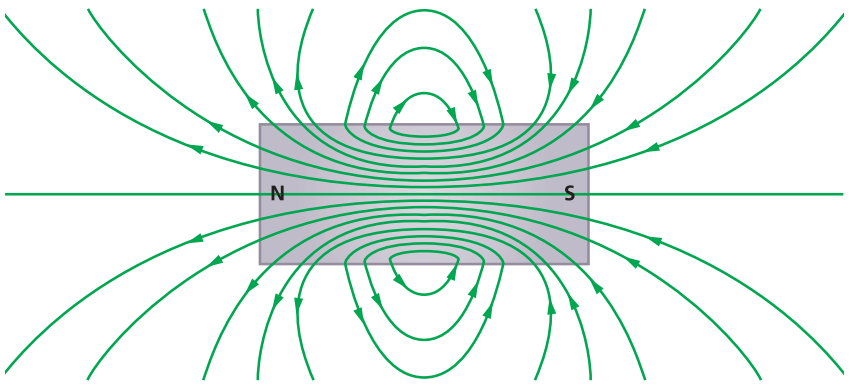
الشكل 4–4 يظهر المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي بوضوح في الأبعاد الثلاثة وذلك عند تعليق المغناطيس في الجليسرول مع برادة الحديد (a)، إلا أنه من الأسهل وضع المغناطيس أسفل ورقة، ثم رش برادة الحديد فوقها لمشاهدة نمط المجال المغناطيسي في بعدين (b).

يمكن تمثيل المجال المغناطيسي الموجود حول المغناطيس باستخدام برادة الحديد. فكل قطعة صغيرة من برادة الحديد تصبح مغناطيسًا بوساطة الحث، مثل إبرة البوصلة تمامًا، وتدور برادة الحديد حتى تصبح موازية للمجال المغناطيسي. ويوضّح **الشكل 4a–4** برادة الحديد في محلول الجليسرول وهي تحيط بالقضيب المغناطيسي. ويمكن ملاحظة صورة ثلاثية الأبعاد للمجال.

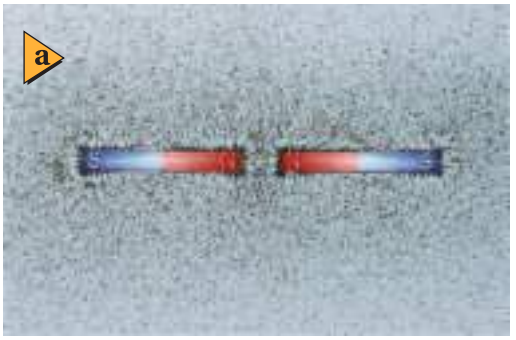
وفي **الشكل 4b–4** ترتبت برادة الحديد، وأعطت رسمًا ثنائي الأبعاد للمجال المغناطيسي ويساعدك ذلك على تصور خطوط المجال المغناطيسي. ويمكن لبرادة الحديد كذلك أن تظهر كيف يتشوّه المجال المغناطيسي بوساطة جسم فلزي.

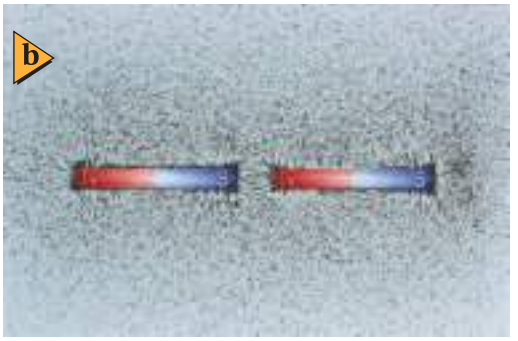
خطوط المجال المغناطيسي هي خطوط وهمية تمثل المسار المفترض لحركة قطب شمالي مفرد حر الحركة عند وضعه في المجال. لاحظ أن خطوط المجال المغناطيسي تشبه خطوط المجال الكهربائي في كونها وهمية، وهي تستخدم لتساعدنا على تصور المجال، وتوفّر لنا القدرة على قياس شدة المجال المغناطيسي. ويسمّى عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق السطح عمودياً **بالتدفق المغناطيسي**. والتدفق عبر وحدة المساحة يتناسب طرديًّا مع شدة المجال المغناطيسي. وكما تلاحظ من **الشكل 4–4** فإن معظم التدفق المغناطيسي مركز عند القطبين؛ حيث يكون المجال المغناطيسي عندهما أكبر ما يمكن.

اتجاه خط المجال يُحدد اتجاه خط المجال المغناطيسي بأنه الاتجاه الذي يشير إليه القطب الشمالي لإبرة البوصلة عند وضعها في المجال المغناطيسي. واتجاه خطوط المجال خارج المغناطيس تعد خارجة من القطب الشمالي، وداخلة إلى القطب الجنوبي، كما هو موضّح في **الشكل 5–4**. ماذا يحدث داخل المغناطيس؟ لا توجد أقطاب مفردة تنتهي فيها أو تبدأ منها خطوط المجال المغناطيسي، لذا فهي تكمل دورتها داخل المغناطيس دائمًا من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لتشكّل حلقات مقفلة.



الشكل 5–4 يمكن تصوّر خطوط المجال المغناطيسي على شكل حلقات مغلقة تخرج من القطب الشمالي وتدخل إلى القطب الجنوبي للمغناطيس نفسه، لتكمل دورتها إلى القطب الشمالي.





■ **الشكل 6–4** تبين خطوط المجال المغناطيسي الممثلة ببرادة الحديد أن الأقطاب المتشابهة تتنافر (a)، والأقطاب المختلفة تتجاذب (b). ولا تشكل برادة الحديد خطوطًا متصلة بين الأقطاب المتشابهة. لكنها تبين القطبين الشمالي والجنوبي، وخطوط المجال المغناطيسي تنقل مباشرة بين القطبين الشمالي والجنوبي لمغناطيسين.

ما نوع المجالات المغناطيسية المتكونة بوساطة أزواج من القضبان المغناطيسية؟ يمكن مشاهدة هذه المجالات بوضع مغناطيسين أسفل ورقة، ورشّ برادة حديد عليها. يبين **الشكل 6a–4** خطوط المجال بين قطبين متشابهين. وفي المقابل إذا وضع قطبان مختلفان متقاربان فإنهما يكوّنان مجالًا، كما هو موضح في **الشكل 6b–4**. وتبين برادة الحديد أن خطوط المجال بين قطبين مختلفين تتجه مباشرة من أحد المغناطيسين لتصل إلى الآخر.

القوى المؤثرة في الأجسام الموضوعة في مجالات مغناطيسية تؤثر المجالات المغناطيسية بقوى في مغانط أخرى؛ فالمجال المغناطيسي الناتج عن القطب الشمالي لمغناطيس يدفع القطب الشمالي لمغناطيس آخر بعيدًا في اتجاه خط المجال، والقوى الناتجة عن المجال نفسه والمؤثرة في قطب جنوبي لمغناطيس آخر تجذبه في عكس اتجاه خطوط المجال. وفي الوقت نفسه، فإن المغناطيس الثاني يحاول أن يصطف أو يترتب مع المجال، كما في إبرة البوصلة.

عندما توضع عينة مصنوعة من الحديد، والكوبالت أو النيكل في المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم، تصبح خطوط المجال مركزة أكثر خلال هذه العينة،وتتمغنط بالحث، وتبدو خطوط المجال كأنها تخرج من القطب الشمالي للمغناطيس وتدخل أحد طرفي العينة، وتمر خلالها، ثم تخرج من الطرف الآخر للعينة، ولذلك يكون طرف العينة القريب من القطب الشمالي للمغناطيس قطبًا جنوبيًّا فتنجذب العينة نحو المغناطيس.

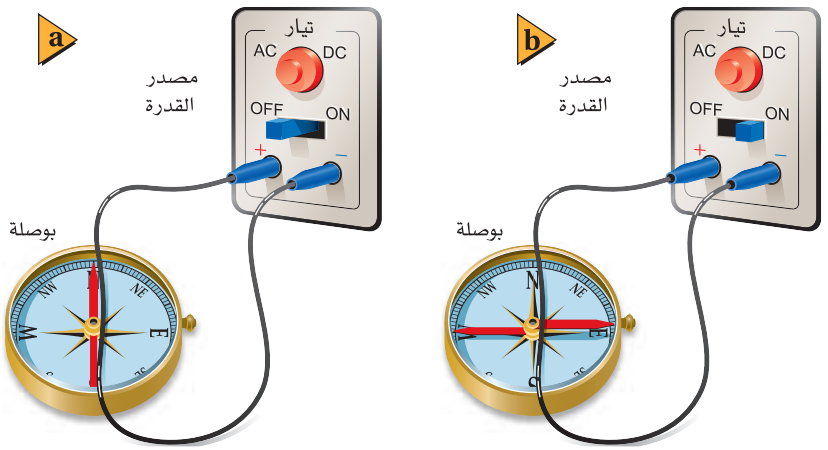
مسائل تدريبية

1. يبين **الشكل 7–4** خمسة مغانط في صورة أقراص مثقوبة بعضها فوق بعض. فإذا كان القطب الشمالي للقرص العلوي متجهًا إلى أعلى فما نوع القطب الذي سيكون نحو الأعلى للمغانط الأخرى؟
2. يجذب مغناطيس مسمارًا، ويجذب المسمار بدوره قطعًا صغيرة، كما هو موضّح في **الشكل 3–4**. إذا كان القطب الشمالي للمغناطيس الدائم عن اليسار كما هو موضّح فأي طرفي المسمار يمثل قطبًا جنوبيًّا؟
3. لماذا تكون قراءة البوصلة المغناطيسية غير صحيحة أحيانًا؟

■ **الشكل 7–4**

الكهرومغناطيسية Electromagnetism

أجرى الفيزيائي الدنماركي هانز كريستيان أورستد في عام 1820م تجارب على التيارات الكهربائية المارة بالأسلاك، فوضع سلكًا فوق محور بوصلة صغيرة، وأوصل نهايتي السلك إلى دائرة كهربائية مغلقة، كما هو موضّح في **الشكل 4–8a** وتعجب عند رؤية إبرة البوصلة تدور لتصبح في اتجاه عمودي على السلك، كما هو موضّح في **الشكل 4–8b**. أي أن القوى المؤثرة في قطبي مغناطيس البوصلة كانت متعامدة مع اتجاه التيار داخل السلك. ووجد أورستد أيضًا أنه إذا لم يكن هناك تيار في السلك فإنه لا توجد قوى مغناطيسية.

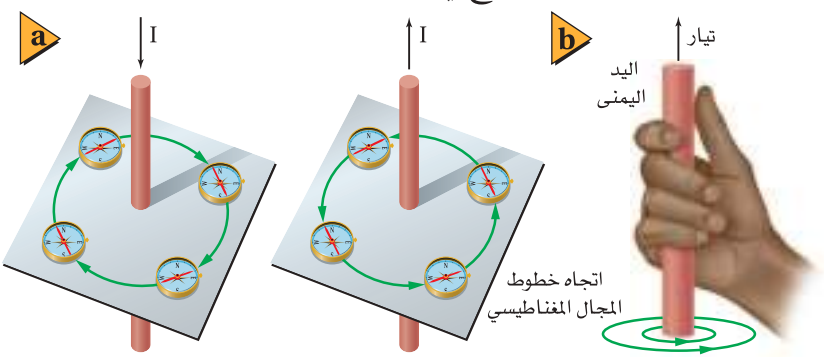


الشكل 4–8 باستخدام أدوات مماثلة لتلك الموضّحة في الشكل (a) تمكن أورستد من توضيح العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية، وذلك بتمرير تيار كهربائي في السلك (b).

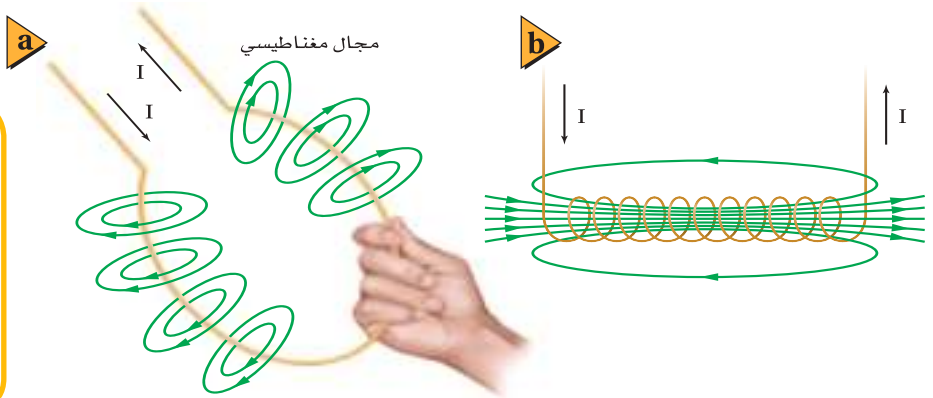
المجال المغناطيسي الناشئ غير تيار يمر في سلك طويل ومستقيم إذا انحرفت إبرة البوصلة عند وضعها بالقرب من سلك يحمل تيارًا وجب أن يكون ذلك ناتجًا عن مجال مغناطيسي متولد بوساطة التيار الكهربائي. ويمكنك بسهولة ملاحظة المجال المغناطيسي حول سلك يحمل تيارًا عن طريق إنفاذ سلك رأسيًّا خلال قطعة كرتون أفقية، ورشّ برادة حديد عليها. فعند مرور التيار في السلك ستلاحظ أن برادة الحديد تترتب وتشكل نمطًا في صورة دوائر متحدة المركز حول السلك، كما هو موضّح في **الشكل 4–9**.

الشكل 4–9 يظهر المجال المغناطيسي حول سلك يمر فيه تيار كهربائي ويخترق قرصًا كرتونيًا في صورة دوائر متحدة المركز من برادة الحديد حول السلك.

تشير الخطوط الدائرية إلى أن خطوط المجال المغناطيسي حول السلك الطويل (لا نهائي) الذي يحمل تيارًا كهربائيًّا تشكل حلقات مغلقة بالطريقة نفسها التي تشكل فيها خطوط المجال المغناطيسي حلقات مغلقة حول المغانط الدائمة. وتتناسب شدة المجال المغناطيسي المتولد حول سلك مستقيم وطويل طرديًّا مع مقدار التيار المار بالسلك، وعكسيًّا مع البعد عن السلك. وتبين البوصلة اتجاه خطوط المجال. وإذا عكس اتجاه التيار ستعكس إبرة البوصلة اتجاهها أيضًا، كما هو موضّح في **الشكل 4–10a**.



الشكل 4–10 ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار خلال سلك موصل مستقيم عندما ينعكس اتجاه التيار المار به (a). ويحدّد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن سلك مستقيم يحمل تيارًا باستخدام قاعدة قبضة اليد اليمنى (b).



التجربة العملية :

كيف يولد التيار الكهربائي مجالاً مغناطيسياً قوياً؟

تعدّ **قاعدة قبضة اليد اليمنى** طريقة يمكن أن تستخدمها في تحديد اتجاه المجال المغناطيسي بالنسبة إلى اتجاه التيار الاصطلاحي. تخيل أنك تمسك بيدك اليمنى قطعة من سلك مستقيم معزول. اجعل إبهامك في اتجاه التيار الاصطلاحي. ستشير أصابعك التي تدور حول السلك إلى اتجاه المجال المغناطيسي، كما هو موضّح في **الشكل 4–10b**.

المجال المغناطيسي لملف دائري يولّد التيار الكهربائي المار بملف دائري مجالاً مغناطيسيًّا حول جميع أجزاء الملف. وعند تطبيق قاعدة اليد اليمنى على أي جزء من أجزاء الملف، كما هو موضّح في **الشكل 4–11a** ستجد أن اتجاه المجال المغناطيسي داخله يكون دائمًا في الاتجاه نفسه، حيث يكون إلى أعلى أو خارجًا من الصفحة. أما اتجاه المجال المغناطيسي خارج الملف فيكون دائمًا إلى أسفل، أي داخلاً إلى الصفحة.

المجال المغناطيسي لملف حلزوني عند لف السلك عدة لفات لتكوين ملف حلزوني ثم سريان التيار خلال الملف، كما هو موضّح في **الشكل 4–11b**، يكون اتجاه المجال حول جميع اللفات في الاتجاه نفسه. ويسمى الملف الطويل المكوّن من عدة لفات **الملف الحلزوني (المحث)**، ويضاف المجال المغناطيسي الناتج عن كل لفة إلى المجالات الناتجة من اللفات الأخرى لتولد مجالًا مغناطيسيًّا كليًّا أكبر. وعندما يسري تيار في ملف يصبح لهذا الملف مجال مغناطيسي يشبه المجال الناتج عن مغناطيس دائم. ويسمى المغناطيس الذي ينشأ عند سريان تيار كهربائي خلال ملف **المغناطيس الكهربائي**. وشدة المجال المغناطيسي الناتج تتناسب طرديًّا مع مقدار التيار المار به، ويكون المجال المغناطيسي الناتج عن كل لفة متساويًا، ولأن هذه المجالات تكون في الاتجاه نفسه، فإن زيادة عدد اللفات يزيد من شدة المجال المغناطيسي، ويمكن زيادة قوة المغناطيس الكهربائي أيضًا عن طريق وضع قضيب حديدي (قلب) داخل الملف، فيعمل القلب على زيادة المجال المغناطيسي؛ تعدّ **قاعدة قبضة اليد اليمنى** طريقة يمكن أن تستخدمها لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيس كهربائي. تخيل أنك تمسك بيدك اليمنى ملفًّا معزولًا. إذا دوّرت أصابعك حول اللفات في اتجاه سريان التيار الاصطلاحي، كما هو موضّح في **الشكل 4–12**، فسيشير إبهامك نحو القطب الشمالي للمغناطيس الكهربائي.

■ **الشكل 4–11** يمكن تمثيل المجال المغناطيسي حول حلقة سلكية تحمل تيارًا باستخدام قاعدة قبضة اليد اليمنى (**a**). يولد التيار المار بالملف الحلزوني مجالاً مغناطيسيًا بحيث يضاف مجال كل لفة إلى اللفات الأخرى (**b**).

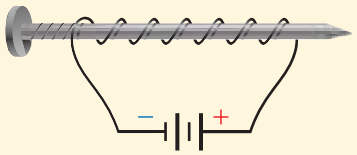
تطبيق الفيزياء

المغانط الكهربائية تستخدم المغانط الكهربائية غالبًا في روافع نقل الحديد والفولاذ في مواقع الصناعات. والمغناطيس الذي يعمل بفرق جهد مقداره 230 V وتيار 156 A يمكن أن يرفع كتلة مقدارها 11300 kg

■ **الشكل 4–12** يمكن استخدام قاعدة قبضة اليد اليمنى لتحديد قطبية المغناطيس الكهربائي.

مسائل تدريبية

4. يسري تيار كهربائي في سلك مستقيم طويل من الشمال إلى الجنوب. أجب عما يأتي:.
   a. عند وضع بوصلة فوق السلك لوحظ أن قطبها الشمالي اتجه شرقًا. ما اتجاه التيار في السلك؟
   b. إلى أي اتجاه تشير إبرة البوصلة إذا وضعت أسفل السلك؟
5. عمل طالب مغناطيسًا بلف سلك حول مسمار، ثم وصل طرفي السلك ببطارية، كما هو موضّح في **الشكل 13–4**. أي من طرفي المسمار (المدبب أم المسطح) سيكون قطبًا شماليًّا؟
6. إذا كان لديك بكرة سلك، وقضيب زجاجي، وقضيب حديدي، وآخر من الألومنيوم فأي قضيب تستخدم لعمل مغناطيس كهربائي يجذب قطع فولاذية؟ وضّح إجابتك.



الشكل 13–4

الصورة المجهرية للمواد المغناطيسية
A Microscopic Picture of Magnetic Materials

تعلّمت أنه عند وضع قطعة حديد أو كوبالت أو نيكل بالقرب من مغناطيس، فإن العنصر سيصبح مغناطيسًا أيضًا، وسيكون له قطبان شمالي، وجنوبي، إلا أن هذه المغنطة ستكون مؤقتة. ويعتمد توليد هذه القطبية المؤقتة على اتجاه المجال الخارجي؛ وعند إبعاد المجال الخارجي يفقد العنصر مغناطيسيته. تتصرف العناصر الثلاثة (الحديد، والنيكل، والكوبالت) كمغانط كهربائية بطرائق عديدة، فلها خاصية تسمى الفرومغناطيسية.

المناطق المغناطيسية فسر أمبير منشأ مغناطيسية المغناطيس بأن كل إلكترون في الذرة يشبه مغناطيسًا كهربائيًّا صغيرًا. وعندما تترتب مجموعة المجالات المغناطيسية الخاصة بإلكترونات الذرات المتجاورة في الاتجاه نفسه تشكل هذه المجموعة **المنطقة المغناطيسية**. وعلى الرغم من أن هذه المجموعة قد تحوي 10^{20} ذرة مفردة، إلا أن المناطق المغناطيسية تبقى صغيرة جدًّا ومحدودة (غالبًا من 10 إلى 1000 ميكرون)، ولذلك فإنه حتى العينة الصغيرة من الحديد تحتوي على عدد هائل من المناطق المغناطيسية.

عندما لا تكون قطعة الحديد داخل مجال مغناطيسي فإن المناطق المغناطيسية تكون في اتجاهات عشوائية، وتلغي مجالاتها المغناطيسية بعضها بعضًا. أما عندما توضع قطعة الحديد داخل مجال مغناطيسي فإن هذه المناطق المغناطيسية تترتب بفعل المجال الخارجي لتصبح متفقة معه في الاتجاه، كما هو موضّح في **الشكل 14–4**. وفي حالة المغناطيس المؤقت تعود المناطق إلى عشوائيتها بعد إزالة المجال المغناطيسي الخارجي. وللحصول على مغناطيس دائم يتم خلط الحديد مع مواد أخرى لإنتاج سبائك تحافظ على المناطق المغناطيسية مرتبة بعد إزالة تاثير المجال المغناطيسي الخارجي.

تجربة

المجالات المغناطيسية ثلاثية الأبعاد

اربط مسمارًا من منتصفه بخيط بحيث يصبح معلقًا بصورة أفقية. ضع قطعة صغيرة من الشريط اللاصق حول الخيط في موضع التفافه حول المسمار حتى لا يفلت الخيط.

أدخل المسمار داخل ملف وشغل مصدر القدرة الموصول بالملف، ثم افصل مصدر القدرة، واخرج المسمار من داخل الملف، ثم أمسك الخيط لتعليق المسمار.

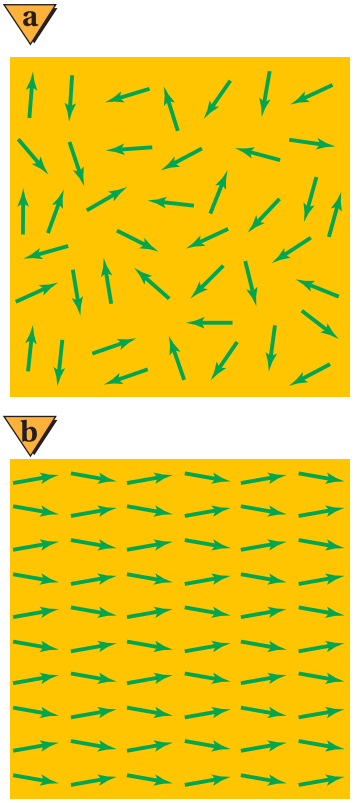
1. **توقع** ما سلوك المسمار مع وجود مغناطيس دائم؟
2. **اختبر** توقعك.

التحليل والاستنتاج

3. **وضّح** ما دليلك على أن المسمار أصبح ممغنطًا؟
4. ارسم شكلاً ثلاثي الأبعاد يوضّح المجال المغناطيسي حول المسمار.

وسيطة التسجيل تتكون رؤوس التسجيل في المسجلات الصوتية وأجهزة الفيديو القديمة من مغانط كهربائية. وهذه المسجلات تولد نبضات وإشارات كهربائية تنتج تيارات كهربائية في رأس التسجيل فتعمل على توليد مجالات مغناطيسية تمثل الصوت والصورة المراد تسجيلهما. وعندما يمر شريط التسجيل المغناطيسي الذي يحتوي على قطع صغيرة جدًّا من مواد مغناطيسية فوق رأس التسجيل؛ تترتب المناطق المغناطيسية لهذه القطع بوساطة المجالات المغناطيسية لرأس التسجيل. وتعتمد اتجاهات ترتيب واصطفاف المناطق المغناطيسية على اتجاه التيار المار برأس التسجيل، وبذلك تصبح تلك المناطق المغناطيسية تسجيلاً مغناطيسيًّا للصوت والصورة المسجلين. وتسمح المادة المغناطيسية الموجودة على الشريط البلاستيكي للمناطق المغناطيسية بالمحافظة على ترتيبها، إلى أن يتم تطبيق مجال مغناطيسي قوي بما يكفي لتغييرها مرة أخرى. وعند تشغيل الشريط وإعادة قراءته تنتج إشارة بوساطة التيارات المتولدة عند مرور رأس التسجيل فوق الجسيمات المغناطيسية على الشريط، وترسل هذه الإشارة إلى مضخم وإلى زوج من مكبرات الصوت أو سماعات الأذن.

التاريخ المغناطيسي للأرض تسجل الصخور التي تحتوي على الحديد تاريخ اختلاف اتجاهات المجال المغناطيسي الأرضي؛ فصخور قاع البحر نتجت عن اندفاع صخور منصهرة من شقوق في قاع المحيط، وعندما بردت تمغنطت في اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي في ذلك الزمن، ونتيجة للتوسع في قاع البحر فإن الصخور الأبعد عن الشقوق تعدّ أقدم من الصخور القريبة من الشقوق، وقد تفاجأ العلماء الأوائل الذين فحصوا صخور قاع البحر عندما وجدوا أن اتجاه المغنطة في الصخور المختلفة متغير ومتنوع، وخلصوا من خلال بياناتهم إلى أن القطبين المغناطيسيين للأرض قد تبادلا موقعيهما عدة مرات على مر العصور في تاريخ الأرض، وأصل المجال المغناطيسي للأرض ومنشأه غير مفهوم بصورة جيدة حتى الآن، كما تعدّ كيفية انعكاس اتجاه هذا المجال لغزًا حتى يومنا هذا.



■ **الشكل 14–4** قطعة الحديد (a) تصبح مغناطيسًا فقط عندما تترتب مناطقها المغناطيسية في اتجاه واحد (b).

1–4 مراجعة

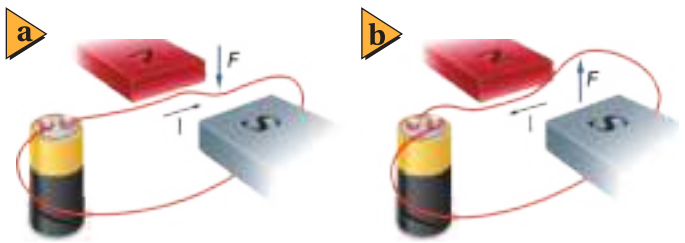
7. **المجالات المغناطيسية** هل المجال المغناطيسي حقيقي أم مجرد وسيلة من النمذجة العلمية؟
8. **القوى المغناطيسية** اذكر بعض القوى المغناطيسية الموجودة حولك، وكيف يمكنك عرض تأثيرات هذه القوى؟
9. **اتجاه المجال المغناطيسي** صف قاعدة قبضة اليد اليمنى المستخدمة لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يمر فيه تيار كهربائي.
10. **المغانط الكهربائية** قطعة زجاج رقيقة وشفافة وضعت فوق مغناطيس كهربائي نشط، ورش فوقها برادة الحديد فترتبت بنمط معين. إذا أعيدت التجربة بعد عكس قطبية مصدر الجهد. ما الاختلافات التي ستلاحظها ؟ وضّح إجابتك.
11. **التفكير الناقد** تخيل لعبة بداخلها قضيبان فلزيان متوازيان، وضعا بصورة أفقية أحدهما فوق الآخر، وكان القضيب العلوي حر الحركة إلى أعلى وإلى أسفل. أجب عما يلي:
   a. القضيب العلوي يطفو فوق السفلي، أما إذا عكس اتجاه القضيب العلوي فإنه سيسقط نحو القضيب السفلي. وضّح لماذا قد يسلك القضيبان هذا السلوك؟
   b. افترض أن القضيب العلوي قد فقد واستبدل به قضيب آخر. وفي هذه الحالة يسقط القضيب العلوي نحو القضيب السفلي مهما كان اتجاهه. فما نوع القضيب الذي استعمل؟

4–2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية
Forces Caused by Magnetic Fields

حاول أمبير توليد تيار كهربائي من مجال مغناطيسي، وافترض وجود قوة تؤثر في السلك الذي يحمل تيارًا عند وضعه في المجال المغناطيسي.

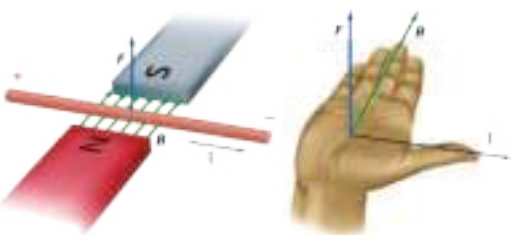
القوى المؤثرة في التيارات الكهربائية المارة في مجالات مغناطيسية Forces on Currents in Magnetic Fields

يوضح **الشكل 15–4** القوة المؤثرة في سلك يحمل تيارًا موضوع في مجال مغناطيسي، وعندما يسري تيار كهربائي في السلك تتولد قوة تؤثر فيه، ويكون اتجاه تلك القوة نحو الأسفل، كما هو موضّح في **الشكل 15a–4**، أو نحو الأعلى، كما في **الشكل 15b–4**، وذلك يعتمد على اتجاه التيار الذي يسري في السلك. اكتشف مايكل فاراداي أن القوة المؤثرة في السلك تكون عمودية على اتجاه كل من التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي.



الشكل 15–4 تتأثر الأسلاك التي تحمل تيارات كهربائية بقوى عند وضعها في مجالات مغناطيسية. وفي هذه الحالة يمكن أن تكون القوة نحو الأسفل (a)، أو نحو الأعلى (b)، وهذا يعتمد على اتجاه التيار الكهربائي

تحديد اتجاه القوة لم يكن وصف فاراداي لاتجاه القوة المؤثرة في السلك الذي يسري فيه تيار وصفًا كافيًا؛ لأن القوة قد تكون إلى أعلى أو إلى أسفل. ويمكن تحديد اتجاه القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار وموضوع في مجال مغناطيسي باستخدام **قاعدة اليد اليمنى**، الموضّحة في **الشكل 16–4**، حيث يمثل الرمز **B** المجال المغناطيسي، ويحدّد اتجاهه بوساطة مجموعة أسهم. ولاستخدام قاعدة اليد اليمنى اجعل أصابع يدك اليمنى في اتجاه المجال المغناطيسي، واجعل إبهامك يشير نحو اتجاه التيار الاصطلاحي في السلك، فسيكون اتجاه القوة المؤثرة في السلك عموديًّا على باطن الكف نحو الخارج. ولرسم الأسهم المتجهة إلى داخل الورقة أو خارجها يستخدم الرمز (×) للإشارة إلى أن السهم داخلاً في الورقة، والرمز (•) للإشارة إلى أن السهم خارجاً من الورقة.



الشكل 16–4 يمكن استعمال قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة عند معرفة اتجاه كل من التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي.

الفيزياء في حياتك

يعتمد مبدأ عمل سماعات الرأس على المغناطيسية، فعند مرور تيار كهربائي في ملف من سلك رفيع يقع في مجال مغناطيسي، يبدأ هذا الملف في التحرك للداخل والخارج، مما يؤدي إلى تحريك غشاء رقيق مولدًا اضطرابات في الهواء ومكوناً الصوت الأصلي.

تساؤلات جوهرية:

- ما الارتباط بين الحث المغناطيسي واتجاه القوى المؤثرة في سلك يحمل تيارًا كهربائيًا موضوع في مجال مغناطيسي؟
- ما العوامل التي تعتمد عليها القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في الجسيمات المشحونة المتحركة فيه؟
- كيف تصمم محركًا كهربائيًا؟

المفردات:

- قاعدة اليد اليمنى
- الجلفانومتر
- المحرك الكهربائي
- الملف ذو القلب الحديدي

القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في سلك يمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يحمل تيارًا عند وضعه عموديًّا على مجال مغناطيسي؛ حيث دلت التجارب على أن مقدار القوة المؤثرة في السلكFتتناسب طرديًّا مع كل من مقدار المجال المغناطيسي B، ومقدار التيار I، وطول السلك L الموضوع داخل المجال المغناطيسي. وتكون العلاقة بين هذه المتغيرات الأربعة على النحو الآتي:

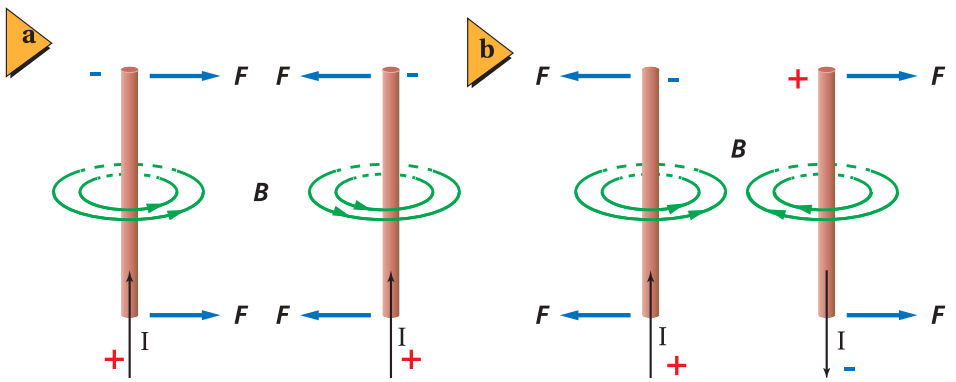
القوة المؤثرة في سلك يحمل تيارًا وموضوع في مجال مغناطيسي متعامداً معه تساوي حاصل ضرب شدة المجال المغناطيسي في مقدار التيار وطول السلك.

القوة المؤثرة في سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا وموضوع في مجال مغناطيسي $F = ILB$

يُقاس مقدار المجال المغناطيسي B بوحدة تسلا، T. حيث واحد تسلا يكافئ 1 N /A.m.

لاحظ أنه إذا كان المجال المغناطيسي غير متعامد مع السلك فسيظهر العامل $\sin\theta$ في المعادلة السابقة لتصبح كما يأتي: $F=ILB\sin\theta$. فإذا أصبح السلك موازيًا للمجال المغناطيسي تصبح θ = صفرًا، وستؤول القوة إلى الصفر. أما عندما تكون الزاوية $\theta=90^\circ$فستصبح المعادلة مرة أخرى على الصورة الآتية: $F=ILB$.

استطاع أمبير أن يبين أن الأسلاك التي تحمل تيارات كهربائية تؤثر بعضها في بعض، ويوضّح **الشكل 4–17a** اتجاه المجال المغناطيسي حول كل سلك يسري فيه تيار، حيث يحدّد هذا الاتجاه بوساطة قاعدة قبضة اليد اليمنى. وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى على كل سلك يمكن أن تتبين لماذا تجذب الأسلاك بعضها بعضًا. ويبين **الشكل 4–17b** الحالة المعاكسة عندما يكون التياران في اتجاهين متعاكسين فإن قوة تنافر تنشأ بين السلكين.



الشكل 4–17 يتجاذب الموصلان عندما يسري التياران فيهما في الاتجاه نفسه (a)، ويتنافران عندما يسري التياران فيهما في اتجاهين متعاكسين (b).

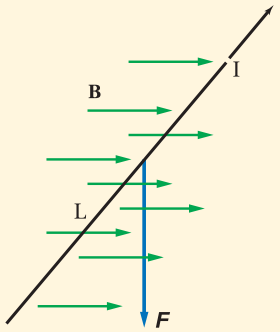
مكبرات الصوت Loudspeakers

تعدّ مكبرات الصوت إحدى التطبيقات العملية على القوة المؤثرة في سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا يمر في مجال مغناطيسي. تعمل السماعة على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية باستخدام ملف من سلك رفيع مثبت فوق مخروط ورقي، وهذا الملف موضوع في مجال مغناطيسي. يرسل المضخم الذي يشغّل السماعة تيارًا كهربائيًّا خلال الملف، ويتغير اتجاه هذا التيار بين 20 و 20000 مرة في الثانية، وذلك وفقًا لحدة الصوت الذي يمثلها. وعندها يتأثر الملف الخفيف بقوة تدفعه نحو الداخل أو الخارج؛ لأنه موجود في مجال مغناطيسي، وذلك اعتمادًا على اتجاه التيار المرسل من المضخم. وحركة الملف هذه تجعل المخروط الورقي يهتز محدثًا موجات صوتية في الهواء، و من الجدير بالذكر أن سماعات الإذن تعمل بالكيفية نفسها.

مثـــــال 1

حساب شدة المجال المغناطيسي سلك مستقيم يحمل تيارًا كهربائيًّا مقداره 5.0 A وموضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم، فإذا كانت القوة المؤثرة في جزء طوله 0.10 m من السلك تساوي 0.20 N احسب شدة المجال المغناطيسي B؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للسلك، مبينا اتجاه التيار الكهربائي بوساطة سهم، وارسم خطوط المجال المغناطيسي B والقوة المؤثرة في السلك F.
- حدّد اتجاه القوة المؤثرة في السلك باستخدام قاعدة اليد اليمنى. واعلم أن السلك والمجال والقوة جميعها متعامدة بعضها على بعض.

المعلوم		المجهول
$L = 0.10\ m$	$I = 5.0\ A$	$B = ?$
	$F = 0.20\ N$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

إن المجال المغناطيسي B منتظم، ولأن B، I متعامدان فإن:

$$F = ILB$$

$$B = \frac{F}{IL}$$

بالتعويض عن $F = 0.20\ N$ ، $I = 5.0\ A$، $L = 0.10\ m$

$$= \frac{0.20\ N}{(5.0\ A)(0.10\ m)}$$

$$= 0.40\ N/A.m$$

$$= 0.40\ T$$

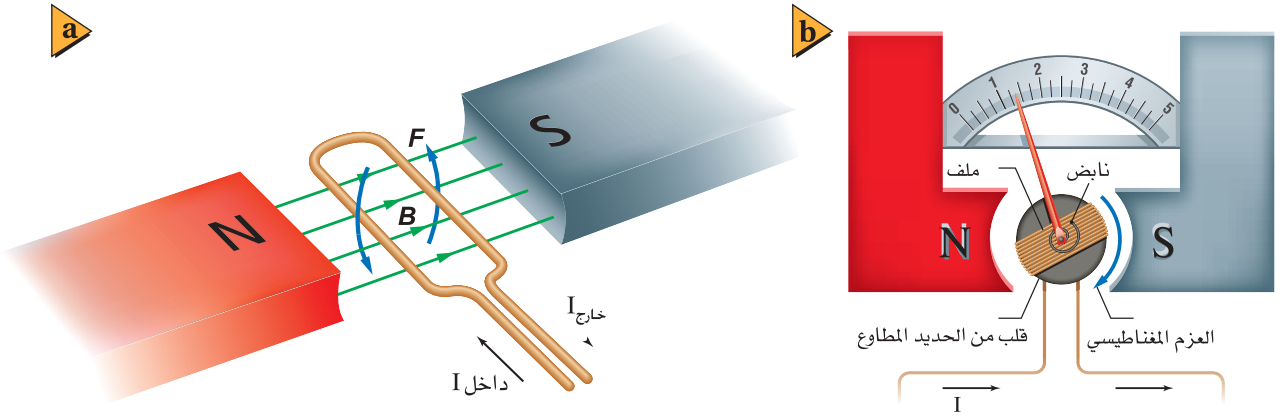
B تساوي 0.40 T عموديًّا على كل من I، F

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** نعم، المجال مقيس بوحدة تسلا T، وهي الوحدة الصحيحة للمجال المغناطيسي.
- **هل الجواب منطقي؟** نعم، مقدار التيار والطول يجعلان مقدار المجال المغناطيسي كبيرًا، وهذا منطقي.

مسائل تدريبية

12. سلك طوله 75 cm يحمل تيارًا مقداره 6.0 A موضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم، فتأثر بقوة مقدارها 0.60 N ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر؟
13. سلك نحاسي طوله 40.0 cm ووزنه 0.35 N فإذا كان السلك في وضع أفقي ويحمل تيارًا مقداره 6.0 A، فاحسب مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن يؤثر فيه رأسيًّا بحيث يكون كافيًا لموازنة قوة الجاذبية المؤثرة في السلك (وزن السلك).
14. احسب مقدار التيار الذي يجب أن يسري في سلك طوله 10.0 cm وموضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.49 T ليتأثر بقوة مقدارها 0.38 N



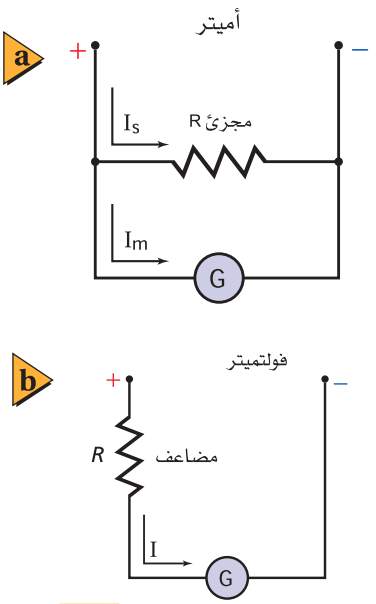
■ **الشكل 18–4** إذا وضعت ملف يمر فيه تيار في مجال مغناطيسي فسوف يدور (**a**). يدور ملف الجلفانومتر بالتناسب مع مقدار التيار (**b**).

الجلفانومترات Galvanometers

الجلفانو متر يمكن استخدام القوة المؤثرة في ملف مستطيل الشكل يوضع في مجال مغناطيسي لقياس التيار. فإذا وضع ملف صغير يحمل تيارًا كهربائيًّا في مجال مغناطيسي قوي لمغناطيس دائم، كما في **الشكل 18a–4** فإنه يمكن استخدامه لقياس تيارات كهربائية صغيرة جدًّا. حيث يدخل التيار المار خلال الملف من أحد طرفيه، ويخرج من طرفه الآخر. وبتطبيق القاعدة الثالثة لليد اليمنى على جانبي الملف ستلاحظ أن أحد جانبيه سيتأثر بقوة في اتجاه الأعلى، بينما يتأثر الجانب الآخر بقوة في اتجاه الأسفل. لذا ستعمل محصلة العزم على تدوير الملف؛ حيث يتناسب العزم المؤثر في الملف طرديًّا مع مقدار التيار. وهذا هو المبدأ المستخدم في الجلفانومتر. و**الجلفانومتر** جهاز يستخدم للكشف عن التيارات الكهربائية الصغيرة جدًّا وقياسها، ويمكن تحويله إلى أميتر أو فولتمتر.

يؤثر النابض الصغير في الجلفانومتر بعزم في اتجاه معاكس لاتجاه العزم الناتج عن سريان التيار في الملف، وهكذا فإن مقدار دورانه يتناسب طرديًّا مع التيار. يُدرّج الجلفانومتر ويعاير بمعرفة مقدار الدوران عند مرور تيار معلوم فيه، كما هو موضّح في **الشكل 18b–4**. ويمكن بعد ذلك استخدام الجلفانومتر لقياس تيارات غير معلومة.

■ **الشكل 19–4** تم توصيل الجلفانومتر بهذه الطريقة لاستخدامه كأميتر (**a**)، وتم توصيل الجلفانومتر بهذه الطريقة لاستخدامه كفولتمتر (**b**).



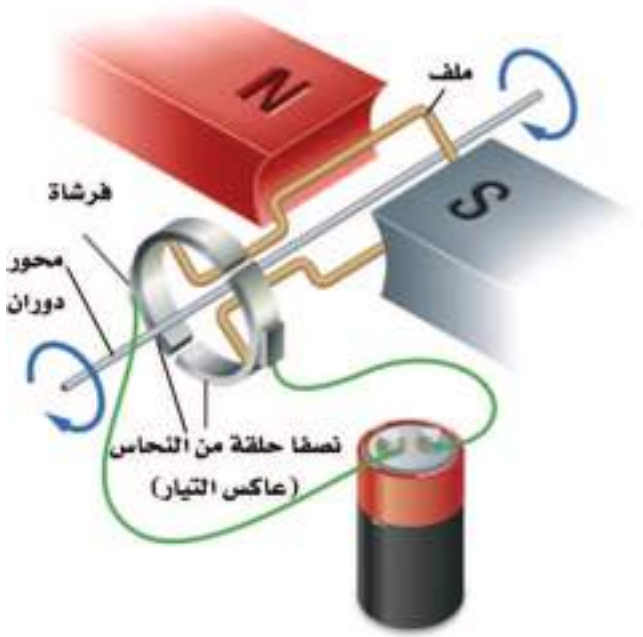
الأميتر تنحرف مؤشرات العديد من الجلفانومترات إلى أقصى تدريج عند مرور تيارات صغيرة مثل $(50 \times 10^{-6}\,A)\,50\,\mu A$، ومقاومة ملف الجلفانومتر الحساس تساوي 1000 Ω تقريبًا. ولقياس تيارات أكبر يمكن تحويل الجلفانومتر إلى أميتر عن طريق توصيل مقاوِم ذي مقاومة أقل من مقاومة الجلفانوميتر ووصلها مع ملفه على التوازي، كما في **الشكل 19a–4**. في هذه الحالة يمر معظم التيار I_s خلال المقاوِم الذي يسمّى مجزئ التيار؛ لأن مرور التيار يتناسب عكسيًّا مع المقاومة، في حين يمر تيار صغير (بضعة ميكروأمبيرات) I_m خلال الجلفانومتر. ويمكن اختيار مقاومة مجزئ التيار وفق تدريج الانحراف المطلوب.

الفولتمتر يمكن تحويل الجلفانومتر إلى فولتمتر من خلال وصل الجلفانومتر بمقاوِم كبير على التوالي يسمى مجزئ الجهد (المضاعف)، كما في **الشكل 19b–4**. حيث يقيس الجلفانومتر التيار المار خلال المقاوِم الكبير الذي تمت إضافته. ويحسب التيار بالعلاقة $I=V/R$، حيث V تمثل الجهد الكهربائي (الفولتية) خلال الفولتمتر، بينما R تمثل المقاومة الكلية للجلفانومتر وللمقاوِم الذي أضيف. والآن افترض أنك تريد جعل مؤشر الفولتمتر يتحرك إلى أقصى تدريج عند تطبيق فرق جهد مقداره 10 V بين طرفية، فستختار مقاومة بحيث تحرف مؤشر الجلفانومتر إلى أقصى تدريج عند تطبيق 10 V ومرور تيار خلال الجلفانومتر والمقاوِم الذي أضيف.

المحركات الكهربائية تبين لك أن الملف المستخدم في الجلفانومتر لا يمكن أن يدور أكثر من 180° حيث تدفع القوى الجانب الأيمن من الملف إلى أعلى، بينما تدفع الجانب الأيسر إلى أسفل، حتى يصبح الملف في وضع رأسي. ولن يتمكن الملف من الاستمرار في الدوران؛ لأن القوى تبقى إلى أعلى وإلى أسفل، أي موازية لمستوى الملف، فلا تعود قادرة على إحداث أي دوران فيه.

كيف يمكنك السماح للملف بمواصلة دورانه؟ يجب أن ينعكس اتجاه التيار المار في الملف عندما يصبح في وضع رأسي. وهذا الانعكاس يسمح للملف بمواصلة دورانه، كما هو موضّح في **الشكل 20–4**. ولعكس اتجاه التيار يجب المحافظة على استمرار التوصيل الكهربائي بين نقاط التلامس باستخدام شريحتين فلزيتين يسميان الفرشاتين، بالإضافة إلى جعل الحلقة النحاسية تتكون من نصفين متساويين، وتسمى الحلقة عندئذ عاكس التيار. وتصنع الفرشاتان في العادة من الجرافيت، وتثبتان بطريقة ما بحيث تلامسان عاكس التيار لتسمحا للتيار بالمرور خلال الملف. عند دوران الملف يدور عاكس التيار أيضًا، ويترتب نصفا عاكس التيار بحيث تتغير الفرشاة الملامسة لكل نصف منهما عندما يصل الملف إلى وضعه الرأسي. ويؤدي تغير تلامس الفرشاتين إلى عكس اتجاه التيار المار بالملف، مما يؤدي إلى عكس اتجاه القوة المؤثر في جانبي الملف، فيواصل دورانه. ويتكرر ذلك كل نصف دورة، مما يجعل الملف يستمر في دورانه في المجال المغناطيسي. والناتج هو **المحرك الكهربائي**، وهو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية دورانية.

المحرك ذي القلب الحديد على الرغم من أن **الشكل 20–4** محدد بلفة واحدة، فإن المحرك الكهربائي يتكون من لفات عديدة تثبت على محور دوران. والقوة الكلية المؤثرة في **الملف ذي القلب الحديدي** تتناسب طرديًّا مع nILB، حيث تمثل n عدد لفات الملف، وتمثل B المجال المغناطيسي، وتمثل I التيار الكهربائي، بينما تمثل L طول السلك في كل لفة تتحرك في المجال المغناطيسي. ويتم إنتاج المجال المغناطيسي إما بوساطة مغناطيس دائم، أو مغناطيس كهربائي. ويتم التحكم في العزم المؤثر في الملف، ونتيجة لذلك يتم التحكم في سرعة المحرك بوساطة تغيير قيمة التيار المار بالمحرك.



الشكل 20–4 يسمح عاكس التيار (نصفا حلقة من النحاس) في المحرك الكهربائي، بتغيير اتجاه التيار المار في الملف، وبذلك تتمكن الملفات في المحرك من الدوران 360°

القوة المؤثرة في جسيم مشحون
The Force on a Single Charged Particle

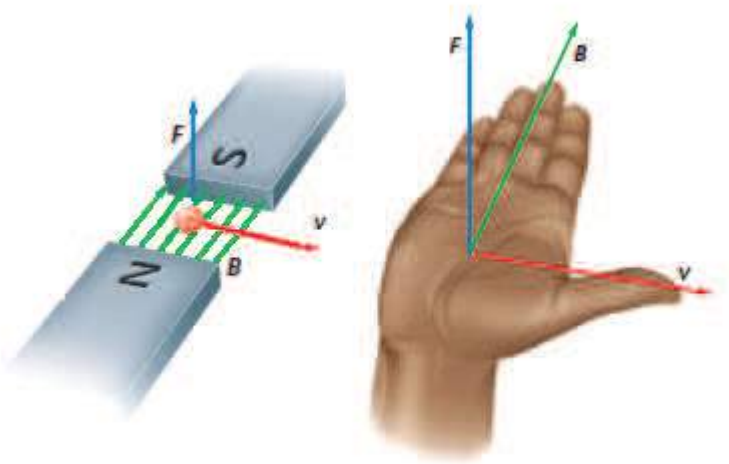
تعتمد القوة الناتجة عن المجال المغناطيسي المؤثرة في الإلكترون على كل من سرعة الإلكترون، وشدة المجال المغناطيسي، والزاوية المحصورة بين اتجاه السرعة واتجاه المجال المغناطيس.

افترض أن إلكترونًا مفردًا يتحرك داخل سلك طوله L، وأن حركة هذا الالكترون عمودية على اتجاه مجال مغناطيسي. ولأن التيار I يساوي الشحنة المارة بالسلك لكل وحدة زمن، فإن $I=q/t$. وفي هذه الحالة تمثل q شحنة الإلكترون، وt الزمن الذي يحتاج إليه الإلكترون لقطع المسافة L. وحيث إن الزمن الذي يستغرقه جسيم ما لقطع مسافة مقدارها L بسرعة تساوي v يحسب من معادلة الحركة $d=vt$ أو $t=L/v$، حيث تعد d هي نفسها L، وبتعويض قيمة $t=L/v$ في معادلة التيار $I=q/t$، نجد أن $I=qv/L$ وبتعويضها في العلاقة F= I L B يمكن حساب القوة المؤثرة في الإلكترون المتحرك عموديًّا على المجال المغناطيسي B عن طريق:

القوة المؤثرة في جسيم مشحون متحرك داخل مجال مغناطيسي عمودياً تساوي حاصل ضرب شدة المجال المغناطيسي في كل من سرعة الجسيم وشحنته.

القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في جسيم مشحون متحرك $F=qvB$

شحنة الجسيم مقيسة بوحدة الكولوم C، والسرعة مقيسة بالمتر لكل ثانية m/s، وشدة المجال المغناطيسي مقيسة بوحدة التسلا T. واتجاه القوة يكون دائمًا عموديًّا على كل من اتجاه سرعة الجسيم واتجاه المجال المغناطيسي. والاتجاه الذي يحدد باستخدام قاعدة اليد اليمنى الموضحة في **الشكل 21–4** يكون خاصًّا بالجسيمات ذات الشحنة الموجبة. أما اتجاه القوة المؤثرة في الشحنات السالبة فيكون معاكسًا للاتجاه الناتج.

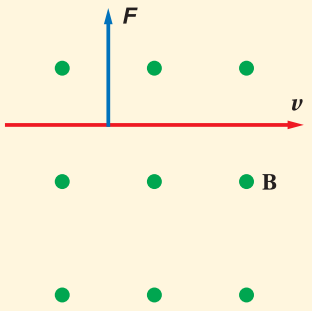


الشكل 21–4 يمكن استعمال قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة عند معرفة اتجاه كل من السرعة والمجال المغناطيسي

مثـــــال 2

القوة المؤثرة على جسيم مشحون في مجال مغناطيسي تتحرك حزمة إلكترونات بسرعة $3.0\times10^{6}\ m/s$ عموديًّا على مجال مغناطيسي منتظم مقداره $4.0\times10^{-2}\ T$، احسب مقدار القوة المؤثرة في كل إلكترون.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم حزمة الإلكترونات واتجاه حركتها، وخطوط المجال المغناطيسي B والقوة المؤثرة في حزمة الإلكترونات F. تذكر أن اتجاه القوة سيكون معاكسًا للاتجاه الناتج بوساطة قاعدة اليد اليمنى؛ لأن الإلكترون له شحنة سالبة.

المعلوم	المجهول
$v=3.0\times10^{6}\ m/s$	$F=?$
$B=4.0\times10^{-2}T$	
$q=-1.60\times10^{-19}C$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

$F = qvB$

بالتعويض عن $v=3.0\times10^{6}\ m/s, B=4.0\times10^{-2}, q=-1.60\times10^{-19}\ C$

$=(-1.60\times10^{-19}\ C)(3.0\times10^{6}\ m/s)(4.0\times10^{-2}\ T)$

$=-1.9\times10^{-14}N$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $T = N.s/(C.\ m)$ و $A = C/s$ و $T = N/(A.\ m)$

وعليه فإن $N=(T.\ C.\ m/s)$ وهي وحدة القوة.

- **هل الاتجاه صحيح؟** استخدم قاعدة اليد اليمنى للتأكد من أن اتجاهات القوى صحيحة. وتذكر أن القوة المؤثرة في الإلكترون تكون معاكسة للقوة الناتجة بوساطة قاعدة اليد اليمنى.
- **هل الجواب منطقي؟** القوى المؤثرة في البروتونات والإلكترونات دائمًا تشكل جزءًا صغيرًا من النيوتن.

مسائل تدريبية

15. دخلت حزمة من الجسيمات الثلاثية التأين (يحمل كل منها ثلاث شحنات أساسية موجبة) عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته $4.0\times10^{-2}\ T$ بسرعة $9.0\times10^{6}\ m/s$ احسب مقدار القوة المؤثرة في كل أيون.
16. تتحرك ذرات هليوم ثنائية التأين (جسيمات ألفا) بسرعة $4.0\times10^{4}\ m/s$ عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره $5.0\times10^{-2}\ T$ احسب مقدار القوة المؤثرة في كل جسيم.

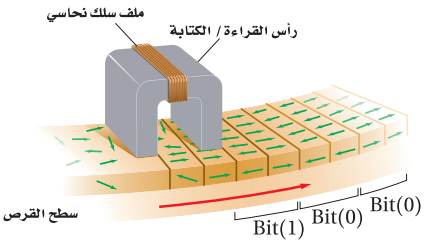
تخزين المعلومات عن طريق الوسائط المغناطيسية
Storing Information with Magnetic Media

يتم تخزين البيانات وأوامر برمجيات أجهزة الحاسوب رقميًّا في صورة وحدات صغيرة (bits)، وكل وحدة (bit) حددت إما بـ 0 أو بـ 1 فكيف تُخزّن هذه الوحدات؟ يكون سطح قرص التخزين في الحاسوب مغطًّى بجسيمات مغناطيسية موزّعة بصورة متساوية على شريحة. ويتغير اتجاه المناطق المغناطيسية للجسيمات تبعًا للتغير في المجال المغناطيسي.

تخزين المعلومات في أثناء التسجيل على القرص يُرسل تيار كهربائي إلى رأس القراءة/الكتابة والذي يعدّ مغناطيسًا كهربائيًّا مكونًا من سلك ملفوف على قلب حديدي، حيث يولّد التيار المار بالملف مجالاً مغناطيسيًّا في القلب الحديدي.

عندما يمر رأس القراءة/ الكتابة فوق قرص التخزين الدوّار، كما هو موضّح في **الشكل 22–4**، تترتب ذرات المناطق المغناطيسية الموجودة على الشريحة المغناطيسية في صورة حزم. وتعتمد اتجاهات المناطق المغناطيسية على اتجاه التيار. وتمثل شيفرة كل حزمتين وحدة صغيرة (bit) واحدة من المعلومات. وتمثل الحزمتان المغنطتان اللتان تشير أقطابهما إلى الاتجاه نفسه الرمز 0، أما الحزمتان المغنطتان اللتان تشير أقطابهما إلى اتجاهين متعاكسين فتمثلان الرمز 1، وينعكس تيار التسجيل دائمًا عندما يبدأ رأس القراءة/ الكتابة بتسجيل وحدة المعلومة اللاحقة.

استرجاع المعلومات تعمل الحزم المغنطة الموجودة على القرص على توليد تيار في الملف بطريقة الحث عندما يدور القرص تحت الرأس. وتغيرات اتجاه التيار المتولد بالحث تستشعر بوساطة الحاسوب في صورة أصفار 0's أو آحاد 1's.



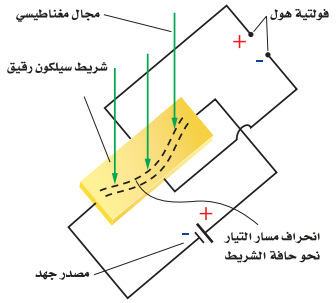
الشكل 22–4 تكتب المعلومات على قرص الحاسوب بوساطة تغيير المجال المغناطيسي في رأس القراءة/الكتابة في أثناء مرور الوسيطة تحته. وهذا يجعل الجسيمات المغناطيسية في الوسيطة تترتب بنمط يمثل المعلومات المخزّنة.

4–2 مراجعة

17. **القوى المغناطيسية** تخيل أن سلكًا يمتد شرق – غرب متعامدًا مع المجال المغناطيسي الأرضي ويسري فيه تيار كهربائي نحو الشرق، فما اتجاه القوة المؤثرة في السلك؟
18. **الانحراف** تقترب حزمة إلكترونات في أنبوب أشعة المهبط من المغانط التي تحرفها. فإذا كان القطب الشمالي في أعلى الأنبوب والقطب الجنوبي في أسفلها، وكنت تنظر إلى الأنبوب من جهة الشاشة الفوسفورية، ففي أي اتجاه تنحرف الإلكترونات؟
19. **الجلفانومترات** قارن بين مخطط الجلفانومتر الموضّح في **الشكل 18–4** ومخطط المحرك الموضّح في **الشكل 20–4**. ما أوجه التشابه والاختلاف بين الجلفانومتر والمحرك؟
20. **المحركات الكهربائية** عندما يتعامد مستوى ملف المحرك مع المجال المغناطيسي لا تنتج القوى عزمًا على الملف، فهل هذا يعني أن الملف لا يدور؟ وضّح إجابتك.
21. **المقاومة الكهربائية** يحتاج جلفانومتر إلى 180 μA لكي ينحرف مؤشره إلى أقصى تدريج. ما مقدار المقاومة الكلية (مقاومة الجلفانومتر ومقاومة المجزئ) اللازمة للحصول على فولتمتر أقصى تدريج يقيسه 5.0 V؟
22. **التفكير الناقد** كيف يمكنك معرفة أن القوى بين سلكين متوازيين يمر فيهما تياران ناتجان عن الجذب المغناطيسي بينهما وليسا ناتجين عن الكهرباء السكونية؟ *مساعدة: فكر في نوع الشحنات عندما تكون القوة تجاذب. ثم فكر في القوى عندما يكون هناك ثلاثة أسلاك متوازية تحمل تيارات في الاتجاه نفسه.*

تأثير هول The Hall Effect

بعض الأشياء البسيطة ومنها انحراف الجسيمات المشحونة بوساطة المجالات المغناطيسية قادت إلى ثورة في كيفية قياس حركة الأشياء، ومنها دواليب الدراجة الهوائية، وحركة عمود الكرنك في السيارة؛ فجميعها تبدأ عند مرور تيار كهربائي خلال موصل عريض ومسطح بوجود مجال مغناطيسي.



المجال المغناطيسي يؤدي إلى مزيد من انحراف الإلكترونات نحو حافة الشريط الرقيق. وهذا يولد ما يسمى فولتية هول.

تكون خطوط القوى للمجال المغناطيسي متعامدة مع سطح الشريط العريض، وهذا يجعل تدفق الإلكترونات مركزًا عند جانب واحد من الشريط. وبسبب توافر الإكترونات على أحد الطرفين أكثر من الطرف الآخر تنتج فولتية بين طرفي عرض الشريط تسمى فولتية هول، ويعتمد مقدار فولتية هول على شدة المجال المغناطيسي.

اكتشف العالم إدوين هول هذا التأثير عام 1879م. وفي الآونة الأخيرة فقط اكتشفت الأهمية العلمية والصناعية لهذه الظاهرة؛ لأن فولتية هول في الأشرطة الفلزية التقليدية كانت صغيرة. أما الآن فالطبقات الرقيقة جدًّا من السليكون شبه الموصل تنتج فولتية هول كبيرة ولا يستهان بها.

يمكن استخدام تأثير هول للكشف عن موصلية أنواع مختلفة من المواد. حيث تعطي إشارة فولتية تأثير هول دلالة على إشارة الشحنة المتحركة، وتزودنا مقدار الفولتية بمعلومات عن مقدار كثافة الشحنة وسرعتها.

مجس مفيد لقد طوّر المهندسون مجسًّا يعمل وفق تأثير هول. وتحتوي هذه الأجهزة الصغيرة البلاستيكية والسوداء على طبقة رقيقة من السليكون مع أسلاك موصولة بها، كما في الرسم التخطيطي. وترتبط أسلاك فولتية هول بمضخم صغير بحيث يمكن لأجهزة أخرى أن تكتشفها وتستشعرها. فإذا تحرك مغناطيس دائم بالقرب من جهاز الاستشعار الذي يعمل وفق تأثير هول فإن الفولتية الخارجة من المضخم ستزداد، ولذلك يمكن استخدام جهاز الاستشعار هذا للكشف عن مدى قرب المغناطيس.

يستخدم المجس الذي يعمل وفق تأثير هول في مقياس سرعة الدراجة الهوائية لتحديد سرعتها

تطبيقات يومية يستخدم مقياس السرعة في الدراجة الهوائية مغناطيسًا دائمًا يربط بالدولاب الأمامي. وفي كل دورة للدولاب يقترب المغناطيس من جهاز الاستشعار. وتحصى النبضات الناتجة، كما يتم حساب زمنها. وتستخدم أجهزة استشعار هول أيضًا في توقيت إنتاج الشرارة في محركات السيارات؛ فعندما يتحرك المغناطيس المثبت على عمود الكرنك بالقرب من جهاز الاستشعار تنتج نبضة جهد، فيطلق نظام الإشعال فورًا شرارة الاشتعال.

التوسع في البحث

1. **حلل** لماذا تكون أقطاب فولتية هول متقابلة؟ وماذا يحدث لو لم تكن كذلك؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن لمجال مغناطيسي قوي يؤثر في شريط فلزي موصل أن يغير من مقاومة ذلك الشريط بسبب تأثير هول؟

الفصل 4 دليل الدراسة

4–1 المغانط: الدائمة والمؤقتة Magnets Permanent and Temporary

المفردات

- المستقطب
- المجال المغناطيسي
- التدفق المغناطيسي
- قاعدة قبضة اليد اليمنى
- الملف الحلزوني
- المغناطيس الكهربائي
- قاعدة اليد اليمنى
- المنطقة المغناطيسية

الفكرة الرئيسة: ينتج المجال المغناطيسي عن المغانط والتيار الكهربائي

- الأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر، والأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب.
- تخرج المجالات المغناطيسية من القطب الشمالي للمغناطيس وتدخل في قطبه الجنوبي.
- تشكل خطوط المجال المغناطيسي دائمًا حلقات مقفلة.
- يوجد مجال مغناطيسي حول أي سلك يسري فيه تيار كهربائي.
- للملف الحلزوني الذي يحمل تيارًا كهربائيًا مجال مغناطيسي، وهذا المجال يشبه المجال المغناطيسي الذي للمغناطيس الدائم.

4–2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية Forces Caused by Magnetic Fields

المفردات

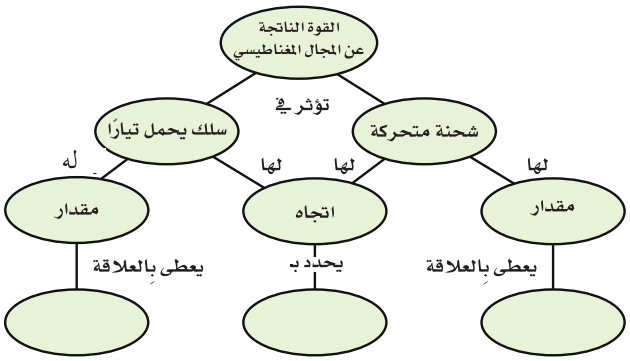
- الجلفانومتر
- المحرك الكهربائي
- ملف ذو قلب حديدي

الفكرة الرئيسة: تعتمد الكثير من الأدوات بما في ذلك سماعات الأذن والمحركات الكهربائية في مبدأ عملها على قوى تنتج عن المجالات المغناطيسية

- تقاس شدة المجال المغناطيسي بوحدة التسلا.
- عند وضع سلك يحمل تيارًا في مجال مغناطيسي فإنه يتأثر بقوة عمودية على اتجاه كل من المجال والسلك.
- القوة المؤثرة في سلك يحمل تيارًا وضع في مجال مغناطيسي تتناسب طرديًّا مع كل من مقدار التيار المتدفق، وطول السلك، وشدة المجال المغناطيسي. $F=\mathrm{ILB}$
- يستخدم الجلفانومتر في الكشف عن التيارات الصغيرة وقياسها، ويحتوي على ملف موضوع في مجال مغناطيس؛ وعند مرور تيار كهربائي في الملف يتأثر الملف بقوة تعمل على انحرافه.
- يمكن تحويل الجلفانومتر إلى أميتر بتوصيل ملفه مع مقاوم يسمى مجزئ التيار على التوازي.
- يمكن تحويل الجلفانومتر إلى فولتمتر بتوصيل ملفه مع مقاوم يسمى المضاعف على التوالي.
- يعمل مكبر الصوت أو السماعة عن طريق تغيير التيار المار في الملف الموضوع في مجال مغناطيسي. والملف متصل بمخروط ورقي يتحرك عندما يتحرك الملف. وعندما يتغير التيار يهتز المخروط محدثًا صوتًا.
- يحتوي المحرك الكهربائي على ملف موضوع في مجال مغناطيسي، وعندما يمر تيار كهربائي في الملف يدور بتأثير القوة المؤثرة فيه، ولإكمال دورة كاملة 360° يستخدم عاكس يغير اتجاه التيار في الملف كل نصف دورة في أثناء دورانه.
- تعتمد القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في جسيم مشحون على ثلاثة عوامل: سرعة الجسيم، وشحنته، ومقدار المجال المغناطيسي. ويكون اتجاه القوة متعامدًا مع كل من اتجاه المجال وسرعة الجسيم. $F = qv\mathrm{B}$

خريطة المفاهيم

23. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: قاعدة اليد اليمنى، $F=qvB$ و $F=ILB$.



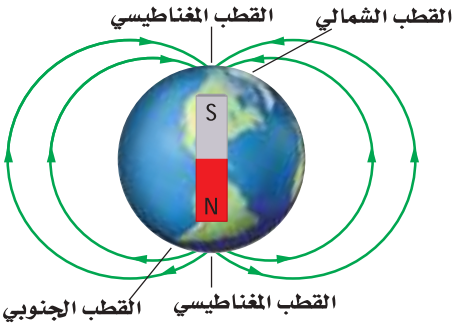
إتقان المفاهيم

24. صف كيف يختلف المغناطيس الدائم عن المغناطيس المؤقت.
25. سمِّ العناصر المغناطيسية الثلاثة الأكثر شيوعا.
26. ارسم المجال المغناطيسي بين قطبين مغناطيسيين متشابهين وبين قطبين مغناطيسيين مختلفين مبينًا اتجاهات المجال.
27. إذا كسرت مغناطيسًا إلى جزأين فهل تحصل على قطبين منفصلين شمالي وجنوبي؟ وضّح إجابتك.
28. صف كيفية استخدام قاعدة قبضة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يحمل تيارًا كهربائيا.
29. إذا ثني سلك يحمل تيارًا ليصبح في صورة حلقة فلماذا يكون المجال المغناطيسي داخل الحلقة أكبر من خارجها؟
30. لماذا يضعف المغناطيس عند طرقه أو تسخينه؟
31. صف كيفية استخدام قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يحمل تيارًا، وضع في مجال مغناطيسي.
32. مر تيار كهربائي كبير في سلك فجأة، ومع ذلك لم يتأثر بأي قوة، فهل يمكنك أن تستنتج أنه لا يوجد مجال مغناطيسي في موقع السلك؟ وضّح إجابتك.

تطبيق المفاهيم

33. هل القوة المغناطيسية التي تؤثر بها الأرض في الإبرة المغناطيسية للبوصلة أقل أو تساوي أو أكبر من القوة التي تؤثر بها إبرة البوصلة في الأرض؟ وضّح إجابتك.
34. **البوصلة** افترض أنك تهت في غابة، لكنك كنت تحمل بوصلة، ولسوء الحظ كان اللون الأحمر المحدد للقطب الشمالي غير واضح، وكان معك مصباح يدوي وبطارية وسلك. كيف يمكنك تحديد القطب الشمالي للبوصلة؟
35. سلك موضوع على طول طاولة المختبر، يسري فيه تيار. صف طريقتين على الأقل يمكنك بهما تحديد اتجاه التيار المار به.
36. في أي اتجاه بالنسبة للمجال المغناطيسي يمكنك إمرار تيار كهربائي في سلك بحيث تكون القوة المؤثرة فيه صغيرة جدًّا أو صفرًا؟
37. سلكان متوازيان يحملان تيارين متساويين.
    a. إذا كان التياران متعاكسين فأين يكون المجال المغناطيسي الناتج عن السلكين أكبر من المجال الناتج عن أي منهما منفردًا؟
    b. أين يكون المجال المغناطيسي الناتج عن السلكين مساويًا ضعفي المجال الناتج عن سلك منفرد؟
    c. إذا كان التياران في الاتجاه نفسه فأين يكون المجال الكلي صفرًا؟
38. كيف يتغير أقصى تدريج للفولتمتر إذا زادت قيمة المقاومة؟
39. يمكن للمجال المغناطيسي أن يؤثر بقوة في جسيم مشحون، فهل يمكن للمجال أن يغير الطاقة الحركية للجسيم؟ وضّح إجابتك.

40. انظر خطوط المجال المغناطيسي الأرضي الموضحة في **الشكل 4–23**. أين يكون المجال المغناطيسي أكبر، عند القطبين أم عند خط الاستواء؟ وضّح إجابتك.

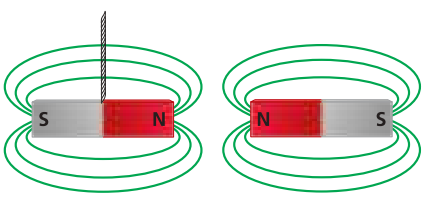


الشكل 4–23

إتقان حل المسائل

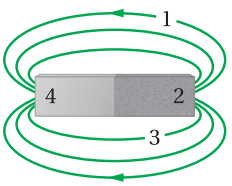
4–1 المغانط: الدائمة والمؤقتة

41. عند تقريب المغناطيس الموضّح في **الشكل 4–24** من المغناطيس المعلق ماذا يحدث للمغناطيس المعلق بالخيط؟



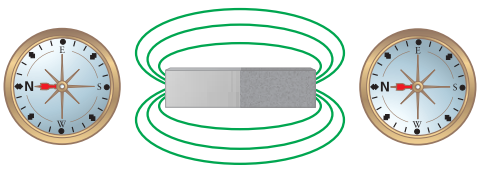
الشكل 4–24

42. ارجع إلى **الشكل 4–25** للإجابة عن الأسئلة الآتية:
   a. أين يقع القطبان؟
   b. أين يقع القطب الشمالي؟
   c. أين يقع القطب الجنوبي؟



الشكل 4–25

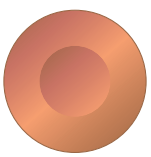
43. يمثل **الشكل 4–26** استجابة البوصلة في موقعين مختلفين بالقرب من مغناطيس. أين يقع القطب الجنوبي للمغناطيس؟



الشكل 4–26

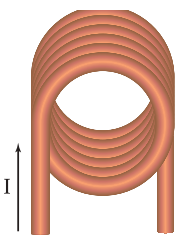
44. سلك طوله 1.50 m يحمل تيارًا مقداره 10.0 A، وضع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم، فكانت القوة المؤثرة فيه 0.60 N ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر؟

45. إذا كان التيار الاصطلاحي في **الشكل 4–27** خارجًا من مستوى الورقة فارسم الشكل في دفترك، ثم ارسم المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في السلك.



الشكل 4–27

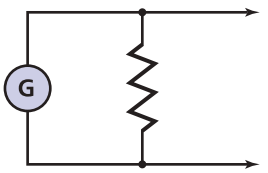
46. يبين **الشكل 4–28** طرف مغناطيس كهربائي يسري خلاله تيار كهربائي. ما اتجاه المجال المغناطيسي عند كل من:
   a. داخل الحلقات؟
   b. خارج الحلقات؟



الشكل 4–28

4–2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية

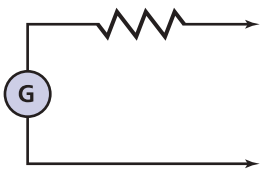
47. يستخدم المخطط الموضّح في **الشكل 4–29** لتحويل الجلفانومتر إلى نوع من الأجهزة. ما نوع هذا الجهاز؟



الشكل 4–29

48. ماذا تسمّى المقاومة في **الشكل 4–29**؟

49. يستخدم المخطط الموضّح في **الشكل 4–30** لتحويل الجلفانومتر إلى نوع من الأجهزة. ما نوع هذا الجهاز؟



الشكل 4–30

50. ماذا تسمّى المقاومة في **الشكل 4–30**؟

51. سلك طوله 0.50 m، يحمل تيارًا مقداره 8.0 A، وضع عموديًّا على مجال مغناطيسي منتظم، فكانت القوة المؤثرة فيه 0.40 N، احسب مقدار المجال المغناطيسي المؤثر.

52. سلك طوله 35 cm، يحمل تيارًا مقداره 4.5 A، فإذا كان السلك موضوعًا في مجال مغناطيسي مقداره 0.53 T وموازيًا له، فاحسب مقدار القوة المؤثرة في السلك.

53. إذا كانت القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي مقداره 0.80 T على سلك يسري فيه تيار 7.5 A متعامد معه تساوي 3.6 N، فما مقدار طول السلك؟

54. سلك لنقل القدرة الكهربائية يسري فيه تيار مقداره 225 A من الشرق إلى الغرب، وهو موازٍ لسطح الأرض.
   a. ما القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي الأرضي في كل متر منه؟ استعمل $B_{\text{الأرضي}} = 5.0 \times 10^{-5}\ \text{T}$
   b. ما اتجاه هذه القوة؟
   c. تُرى، هل تعدّ هذه القوة مهمة في تصميم البرج الحامل للسلك؟ وضّح إجابتك.

55. **الجلفانومتر** ينحرف مؤشر الجلفانومتر إلى أقصى تدريج عندما يمر فيه تيار مقداره 50.0 μA
   a. احسب مقدار المقاومة الكلية للجلفانومتر ليصبح أقصى تدريج له يساوي 10 V عند انحرافه بالكامل.
   b. إذا كانت مقاومة الجلفانومتر 1.0 kΩ، فاحسب مقدار المقاومة الموصولة على التوالي.

56. استخدم الجلفانومتر في المسألة السابقة لصنع أميتر أقصى تدريج له يساوي 10 mA، فما مقدار:
   a. فرق الجهد خلال الجلفانومتر إذا مر به تيار 50 μA، علمًا بأن مقاومة الجلفانومتر تساوي 1.0 kΩ؟
   b. المقاومة المكافئة للأميتر الناتج إذا كان التيار الذي يقيسه 10 mA؟
   c. المقاومة الموصولة بالجلفانومتر على التوازي للحصول على المقاومة المكافئة الناتجة في الفرع b؟

57. **الجسيم دون الذري** يتحرك ميون (جسيم له شحنة مماثلة لشحنة الإلكترون) بسرعة $4.21\times10^{7}\ \text{m/s}$ عموديًّا على مجال مغناطيسي، فتأثر بقوة $5.00 \times 10^{-12}\ \text{N}$، ما مقدار:
   a. المجال المغناطيسي؟
   b. التسارع الذي يكتسبه الجسيم إذا كانت كتلته $1.88\times10^{-28}\ \text{kg}$؟

58. حلقة سلكية تحمل تيارًا كهربائيًّا، ومغمورة في مجال مغناطيسي منتظم قوي داخل غرفة. افترض أنك أدرت الحلقة بحيث لم يعد هناك أي ميل للحلقة ناتج عن المجال المغناطيسي، فما اتجاه المجال المغناطيسي بالنسبة لمستوى الحلقة؟

59. أثرت قوة 5.78×10^{-16} N في جسيم مجهول الشحنة، ومتحرك بسرعة 5.65×10^{4} m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 3.20×10^{-2} T، ما عدد الشحنات الأساسية التي يحملها الجسيم؟

مراجعة عامة

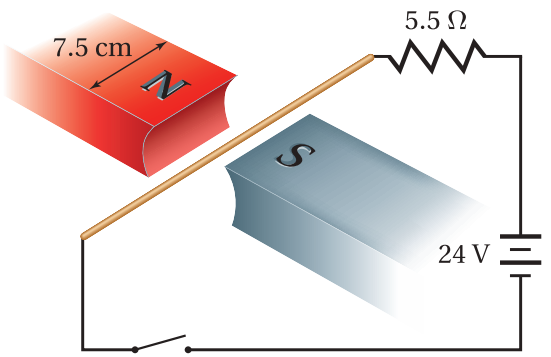
60. سلك نحاسي مهمل المقاومة، وضع في الحيز بين مغناطيسين، كما في **الشكل 31–4**. فإذا كان وجود المجال المغناطيسي مقتصرًا على هذا الحيز، وكان مقداره 1.9 T، فأوجد مقدار القوة المؤثرة في السلك واتجاهها في كل من الحالات التالية:

a. عندما يكون المفتاح مفتوحًا.

b. عند إغلاق المفتاح.

c. عند إغلاق المفتاح وعكس البطارية.

d. عند إغلاق المفتاح وتبديل السلك بقطعة مختلفة مقاومتها 5.5 Ω



الشكل 31–4

61. لديك جلفانومتران، أقصى تدريج لأحدهما 50.0 μA وللآخر 500.0 μA وللفيهما المقاومة نفسها 855 Ω، والمطلوب تحويلهما إلى أميترين، على أن يكون أقصى تدريج لكل منهما يساوي 100.0 mA، اجب عما يلي:

a. ما مقدار مقاومة مجزئ التيار للجلفانومتر الأول؟

b. ما مقدار مقاومة مجزئ التيار للجلفانومتر الثاني؟

c. حدّد أيهما أفضل للقياس الحقيقي؟ وضّح إجابتك.

62. **الجسيم دون الذري** يتحرك جسيم بيتا (إلكترون له سرعة كبيرة) عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.60 T بسرعة 2.5×10^{7} m/s، ما مقدار القوة المؤثرة في الجسيم؟

63. يتحرك إلكترون بسرعة 8.1×10^{5} m/s نحو الجنوب في مجال مغناطيسي مقداره 16 T نحو الغرب. ما مقدار القوة المؤثرة في الإلكترون واتجاهها؟

64. **مكبر الصوت** إذا كان المجال المغناطيسي في سماعة عدد لفات ملفها 250 لفة يساوي 0.15 T، وقطر الملف 2.5 cm، فاحسب مقدار القوة المؤثرة في الملف إذا كانت مقاومته 8 Ω، وفرق الجهد بين طرفيه 15 V

65. سلك طوله 25 cm يحمل تيارًا مقداره 15 A وضع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.85 T فإذا كانت القوة المؤثرة في السلك تعطى بوساطة العلاقة $F=ILB\sin\theta$، فاحسب القوة المؤثرة في السلك عندما يصنع مع المجال المغناطيسي الزوايا الآتية:

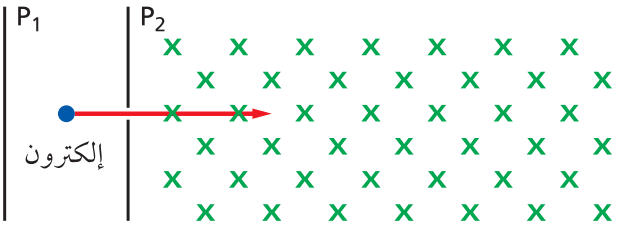
a. 90°　　**b.** 45°　　**c.** 0°

66. تحرك إلكترون من السكون خلال فرق جهد مقداره 20000 V بين الصفيحتين P_1، P_2، كما هو موضح في **الشكل 32–4**. ثم خرج من فتحة صغيرة، ودخل مجالاً مغناطيسيًّا منتظمًا مقداره B إلى داخل الصفحة:

a. حدّد اتجاه المجال الكهربائي بين الصفيحتين (من P_1 إلى P_2 أو العكس).

b. احسب سرعة الإلكترون عند P_2 من خلال المعلومات المعطاة.

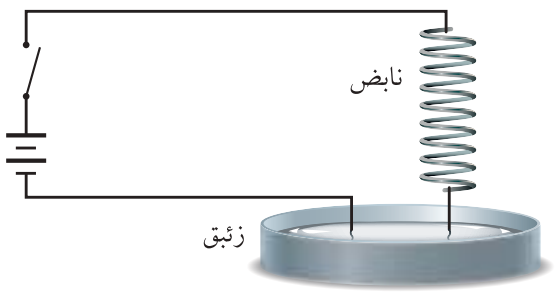
c. صف حركة الإلكترون داخل المجال المغناطيسي.



الشكل 32–4

التفكير الناقد

67. **تطبيق المفاهيم** إذا مر تيار خلال نابض رأسي خفيف، كما هو موضّح في **الشكل 33–4**. وكانت نهاية النابض موضوعة داخل كأس مملوءة بالزئبق، فماذا يحدث؟ ولماذا؟



الشكل 33–4

الكتابة في الفيزياء

68. ابحث في المغانط الفائقة التوصيل، واكتب ملخصًا من صفحة واحدة للاستخدامات المحتملة لهذه المغانط. وتأكد من وصف أي عقبات تقف في طريق التطبيقات العملية لهذه المغانط.

مراجعة تراكمية

69. احسب الشغل الذي يتطلبه نقل شحنة مقدارها 6.40×10^{-3} C خلال فرق جهد مقداره 2500 V

70. إذا تغير التيار المتدفق خلال دائرة جهدها 120 V من 1.3 A إلى 2.3 A، احسب التغير في القدرة.

71. وصلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها 55 Ω على التوازي، ثم وصلت المقاومات السابقة على التوالي بمقاومتين تتصلان على التوالي، مقدار كل منهما 55 Ω، ما مقدار المقاومة المكافئة للمجموعة؟

تقويم الفصل 4

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. سلك مستقيم يحمل تيارًا مقداره 7.2 A، موضوع في مجال مغناطيسي منتظم 8.9×10^{-3} T وعمودي عليه. ما طول جزء السلك الموجود في المجال الذي يتأثر بقوة مقدارها 2.1 N؟

Ⓐ 2.6×10^{-3} m Ⓒ 1.3×10^{-1}m

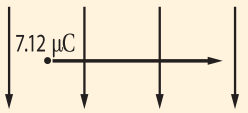
Ⓑ 3.1×10^{-2}m Ⓓ 3.3×10^{1}m

2. افترض أن جزءًا طوله 19 cm من سلك يحمل تيارًا متعامدًا مع مجال مغناطيسي مقداره 4.1 T، ويتأثر بقوة مقدارها 7.6 mN، ما مقدار التيار المار في السلك؟

Ⓐ 3.4×10^{-7}A Ⓒ 1.0×10^{-2} A

Ⓑ 9.8×10^{-3} A Ⓓ 9.8 A

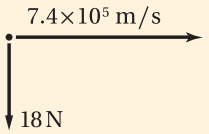
3. شحنة مقدارها 7.12 μC تتحرك بسرعة الضوء في مجال مغناطيس مقداره 4.02 mT، ما مقدار القوة المؤثرة في الشحنة؟



Ⓐ 8.59 N Ⓒ 8.59×10^{12} N

Ⓑ 2.90×10^{1} N Ⓓ 1.00×10^{16} N

4. إذا تحرك إلكترون بسرعة 7.4×10^{5} m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي، وتأثر بقوة مقدارها 18 N فما شدة المجال المغناطيسي المؤثر؟



Ⓐ 6.5×10^{-15} T Ⓒ 1.3×10^{7} T

Ⓑ 2.4×10^{-5} T Ⓓ 1.5×10^{14} T

5. أي العوامل الآتية لا يؤثر في مقدار المجال المغناطيسي لملف حلزوني؟

Ⓐ عدد اللفات Ⓒ مساحة مقطع سلك الملف

Ⓑ مقدار التيار Ⓓ نوع قلب الملف

6. أي العبارات الآتية المتعلقة بالأقطاب المغناطيسية المفردة غير صحيحة:

Ⓐ القطب المغناطيسي المفرد قطب افتراضي شمالي منفرد.

Ⓑ استخدمها علماء البحث في تطبيقات التشخيص الطبي الداخلي.

Ⓒ القطب المغناطيسي المفرد قطب افتراضي جنوبي منفرد.

Ⓓ غير موجودة .

7. مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.25 T يتجه عموديًّا إلى داخل الصفحة، دخل فيه بروتون بسرعة أفقية مقدارها 4.0×10^{6} m/s، ما مقدار القوة المؤثرة في البروتون واتجاهها لحظة دخوله المجال المغناطيسي؟

Ⓐ 1.6×10^{-13}N إلى اليسار

Ⓑ 1.6×10^{-13}N إلى أسفل

Ⓒ 1.0×10^{6} N إلى أعلى

Ⓓ 1.0×10^{6} N إلى اليمين

الأسئلة الممتدة

8. وصل سلك ببطارية جهدها 5.8 V في دائرة تحتوي على مقاومة مقدارها 18 Ω فإذا كان 14 cm من السلك داخل مجال مغناطيسي مقداره 0.85 T، وكان مقدار القوة المؤثرة في السلك تساوي 22 mN فما مقدار الزاوية بين السلك والمجال المغناطيسي المؤثر. إذا علمت أن العلاقة الخاصة بالقوة المؤثرة في السلك هي $F=ILB\sin\theta$

✓ إرشاد

قراءة التوجيهات

لا يهم كم مرة قدمت اختبارًا خاصًّا أو امتحانًا. أما الأهم فهو أن تقرأ التوجيهات أو التعليمات التي تزود بها في بداية كل جزء؛ فهي لا تستغرق سوى لحظات، إلا أنها تحول دون ارتكاب أخطاء بسيطة قد تجعلك تقدم اختبارًا بصورة سيئة.

الفصل 5

الحث الكهرومغناطيسي
Electromagnetic Induction

الفكرة العامة

يمكن للمجال المغناطيسي المتغيّر أن ينتج تيارًا كهربائيًا في الموصلات.

5-1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية

الفكرة الرئيسة: يولّد المجال المغناطيسي المتغير قوة دافعة كهربائية حثية في الموصل، وهذا يؤدي إلى توليد تيار كهربائي عندما يكون الموصل في دائرة كهربائية.

5-2 تغيّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية

الفكرة الرئيسة: تقوم المجالات المغناطيسية الناتجة عن التيارات الحثية بتشغيل المولدات والمحركات والمحولات.

يتوقع بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بالتيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية (الحث الكهرومغناطيسي، قاعدة اليد اليمنى، القوة الدافعة الكهربائية، المولد الكهربائي، متوسط القدرة).
- توضيح كيف يعمل التغير في المجال المغناطيسي على توليد تيار كهربائي.
- حل مسائل تتضمن حركة الأسلاك في مجال مغناطيسي.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بتغيّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية (قانون لنز، التيار الدوامي، الحث الذاتي، المحول الكهربائي، الملف الابتدائي، الملف الثانوي، الحث المتبادل، المحول الرافع، المحول الخافض).
- تطبيق قانون لنز.
- توضيح القوة الدافعة الكهربائية العكسية، وكيف تؤثر في عمل المولدات والمحركات.
- توضيح الحث الذاتي وتأثيره في الدوائر الكهربائية.
- حل مسائل تتعلق بالمحولات، تتضمن الجهد والتيار ونسب عدد اللفات.
- تصميم تجارب وبناء نماذج تتعلق بالحث الكهرومغناطيسي.
- استكشاف الاستخدامات العملية في الصناعة للأجهزة التي تعمل على الحث الكهرومغناطيسي.
- توظيف المفاهيم والمعادلات والعلاقات في تطبيقات تتعلق بالحث الكهرومغناطيسي.
- إدراك دور الحث الكهرومغناطيسي في الحياة اليومية.

فكّر ◄

كيف تعمل المولدات الموجودة في السد على تحويل طاقة الوضع والطاقة الحركية للماء إلى طاقة كهربائية؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

ماذا يحدث في المجال المغناطيسي المتغير؟

سؤال التجربة كيف يؤثر المجال المغناطيسي المتغير في ملف سلكي موضوع فيه؟

الخطوات

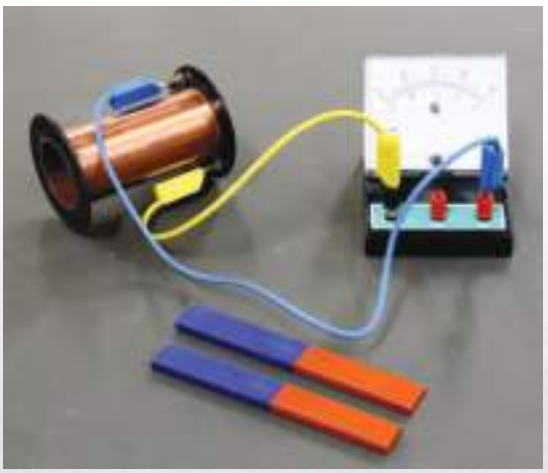
1. ضع قضيبين مغناطيسيين على بعد 8 cm من بعضهما بعضاً.
2. صل جلفانومترًا حساسًا بطرفي السلك النحاسي للملف.
3. حرك الملف ببطء بين المغناطيسين، ولاحظ قراءة الجلفانومتر.
4. غيّر زاوية حركة الملف، وسرعة حركته. ماذا تلاحظ؟ دوِّن ملاحظتك.

التحليل

ما الذي يسبب انحراف مؤشر الجلفانومتر؟

ما الحالة التي عندها قراءة الجلفانومتر أكبر ما يمكن؟

التفكير الناقد عندما يتحرك الملف السلكي بين المغناطيسين، ما الذي يحدث في السلك؟



5–1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية

Electric Current From Changing Magnetic Field

الفيزياء في حياتك

تقوم المولدات الكهربائية الاحتياطية بالتشغيل التلقائي عند انقطاع التيار من الشبكات الكهربائية، حيث يمكن الاستفادة من ذلك في الشقق السكنية والفنادق والمطاعم والمستشفيات والمؤسسات التجارية المتصلة بالشبكة الكهربائية.

تساؤلات جوهرية:

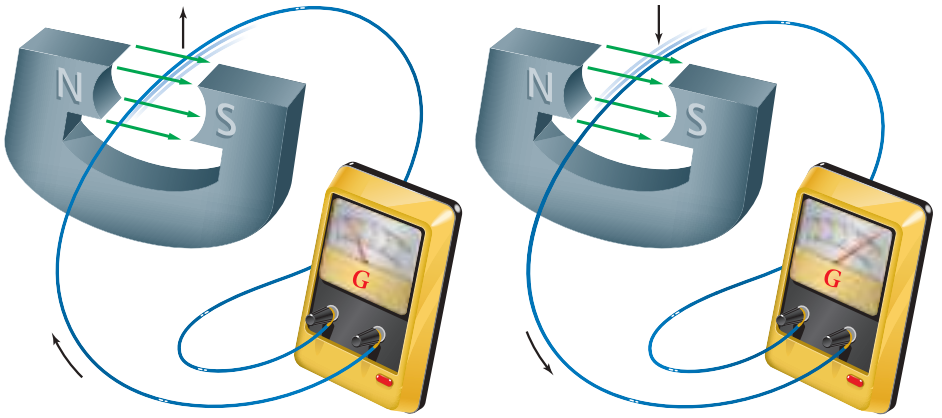
- ما القوة الدافعة الكهربائية الحثية (EMF)؟
- كيف يعمل التغيّر في المجال المغناطيسي على توليد التيار الكهربائي؟
- كيف ينتج المولد طاقة كهربائية؟
- ما العلاقة بين القيم القصوى للتيار الفعّال والجهد الفعّال والقيم القصوى لهذه الكميات في دائرة تيار متناوب؟

المفردات:

- الحث الكهرومغناطيسي
- المولد الكهربائي
- القوة الدافعة الكهربائية
- متوسط القدرة

تعرّفت في الفصل السابق كيف اكتشف أورستد أن التيار الكهربائي يولّد مجالاً مغناطيسيًّا. ووجد العالم مايكل فاراداي أن العكس يجب أن يكون صحيحًا أيضًا؛ فالمجال المغناطيسي يولد تيارًا كهربائيًّا. وفي عام 1822م سجَّل فاراداي هدفًا في دفتر ملاحظاته، وهو تحويل المغناطيسية إلى كهرباء.

جرّب فاراداي عدة تركيبات للمجال المغناطيسي مع الأسلاك فلم ينجح. وبعد عشر سنوات تقريبًا من التجارب غير الناجحة وجد فاراداي أنه يمكن توليد تيار كهربائي عن طريق تحريك سلك داخل مجال مغناطيسي. وفي السنة نفسها وجد جوزيف هنري أن تغيُّر المجال المغناطيسي يمكن أن يولد تيارًا كهربائيًّا. أخذ هنري هذه الفكرة ثم طوَّرها عالم آخر، ووسع هذا التطبيق على أدوات تعليمية، لجعلها أكثر حساسية أو أكثر فاعلية. ولم تكن رؤية هنري لهذه الأدوات اكتشافًا جديدًا، إلا أنه جعل هذه الأدوات أكثر فاعلية، كأدوات تعليمية مساعدة. ولم يقرر هنري نشر اكتشافاته.



الشكل 1–5 عند تحريك سلك في مجال مغناطيسي يتولد فيه تيار كهربائي في أثناء حركته. ويعتمد اتجاه هذا التيار على اتجاه حركة السلك داخل المجال. وتشير الأسهم إلى اتجاه التيار الاصطلاحي المتولد.

الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction

يوضّح **الشكل 1–5** إحدى تجارب فاراداي التي وضع فيها جزءًا من سلك طرفاه متصلين بجلفانومتر داخل مجال مغناطيسي. حيث لاحظ عدم تولد تيار كهربائي في السلك عندما كان السلك ساكنًا، أو متحركًا بموازاة المجال المغناطيسي ، بينما تولد التيار الكهربائي في اتجاه معين، عند تحريك السلك إلى أعلى داخل المجال المغناطيسي، وكذلك يتولد تيار كهربائي في السلك في الاتجاه المعاكس عند تحريكه إلى أسفل. إن تولد هذا التيار الكهربائي يحدث فقط عندما يقطّع السلك خطوط المجال المغناطيسي في أثناء حركته.

وجد فاراداي أنه لتوليد التيار الكهربائي فإما أن يتحرك السلك في المجال المغناطيسي، أو يتحرك المجال المغناطيسي في منطقة السلك، أي أن الحركة النسبية بين السلك والمجال المغناطيسي هي التي تولد تيارًا كهربائيًّا. وتسمى عملية توليد التيار الكهربائي في دائرة كهربائية مغلقة بهذه الطريقة **الحث الكهرومغناطيسي**.

التجربة العملية :

ما الذي يسبب التأرجح؟

القوة الدافعة الكهربائية Electromotive Force(EMF)

تعلمت من خلال دراستك للدوائر الكهربائية أن مصادر الطاقة الكهربائية كالبطارية مثلًا تستخدم في توليد تيار مستمر. وفرق الجهد المبذول من البطارية يسمى **القوة الدافعة الكهربائية** أو EMF. ومع ذلك فإن القوة الدافعة الكهربائية في الواقع ليست قوة. إنما هي فرق جهد وتقاس بوحدة الفولت.

توليد القوة الدافعة الكهربائية ما الذي يولّد فرق الجهد الذي يسبب التيار الكهربائي الحثي في تجربة فاراداي؟ عندما تُحرك سلكًا داخل مجال مغناطيسي فإنك تؤثر بقوة في الشحنات داخل السلك، فتحركها في اتجاه القوة، أي أنه قد بُذل شغل على تلك الشحنات، فزاد مقدار طاقة وضعها الكهربائية أو جهدها. ويسمى فرق جهدها هذا القوةَ الدافعة الكهربائية الحثية، والتي تعتمد على كل من المجال المغناطيسي B، وطول السلك في المجال المغناطيسي L، والمركبة العمودية لسرعة السلك داخل المجال $v (\sin \theta)$.

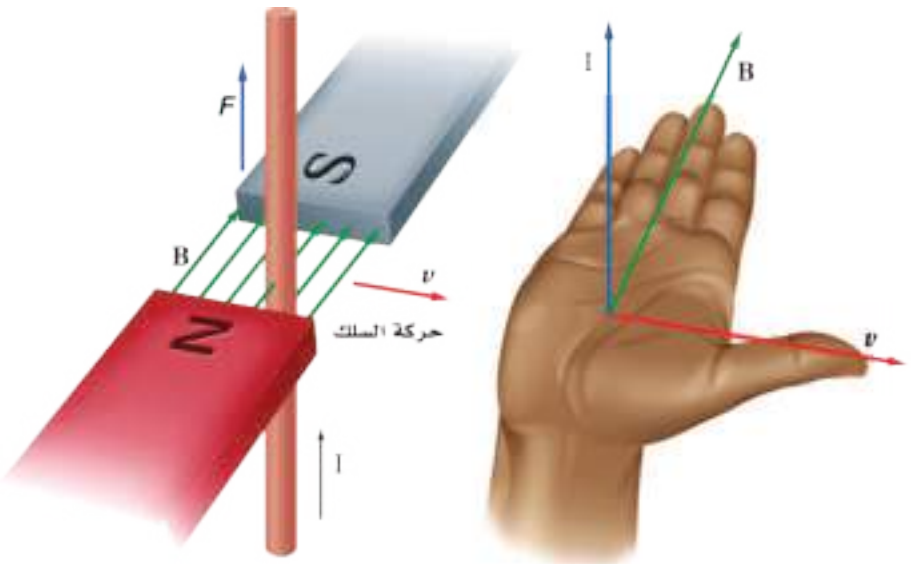
القوة الدافعة الكهربائية الحثية تساوي حاصل ضرب مقدار المجال المغناطيسي في كل من طول السلك المتأثر بالمجال، ومركبة سرعة السلك العمودية على المجال المغناطيسي.

القوة الدافعة الكهربائية الحثية $EMF = BLv (\sin \theta)$

إذا تحرك السلك داخل المجال المغناطيسي بحيث يصنع زاوية مع المجال المغناطيسي، فإن مركبة السرعة العمودية على المجال المغناطيسي هي فقط التي تولد القوة الدافعة الكهربائية الحثية. أما إذا تحرك السلك بسرعة عمودية على المجال المغناطيسي فإن المعادلة السابقة ستصبح كما يأتي: $EMF = BL\nu$ لأن $\sin 90^\circ = 1$. والتحقق من الوحدات المستخدمة يساعدك في معادلة EMF على الحصول على الحسابات الجبرية الدقيقة في المسائل المتعلقة بها. إن وحدة قياس EMF هي الفولت V. وقد عرّفت الكمية B في الفصل السابق على أنها $B = F/IL$، لذلك تكون وحدات B هي N/A.m. ولأن السرعة تقاس بوحدة m/s فباستخدام تحليل الوحدات نستنتج أن: $(N/A.m)(m)(m/s)=N.m/A.s = J/C = V$.

تذكر مما تعلمته سابقًا أن $J=N.m$، $A=C/s$ و $V=J/C$.

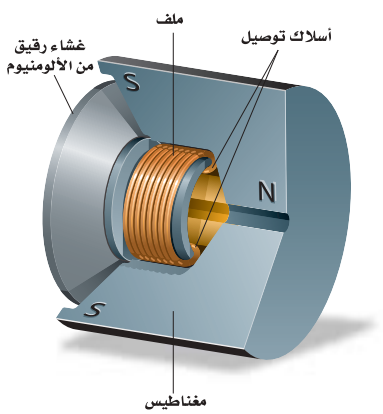
اتجاة التيار الحثي المتولد كيف يمكنك تحديد اتجاه التيار الكهربائي المتولد؟ لتحديد القوة المؤثرة في الشحنات داخل السلك نستخدم **قاعدة اليد اليمنى**. ابسط يدك اليمنى بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه حركة السلك، وتشير الأصابع إلى اتجاه المجال المغناطيسي، وعندئذ سيشير العمودي على باطن الكف نحو الخارج إلى اتجاه التيار الاصطلاحي، كما هو موضّح في **الشكل 2–5**.



الشكل 2–5 يمكن استخدام قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه القوى المؤثرة في الشحنات التي في الموصل الذي يتحرك داخل مجال مغناطيسي.

الشكل 3–5 يبين الرسم حركة ملف الميكروفون، حيث يتصل غشاء رقيق من الألومنيوم بملف موضوع داخل مجال مغناطيسي. وعندما يهتز الغشاء بفعل موجات الصوت يتحرك الملف في المجال المغناطيسي مولّدًا تيارًا كهربائيًّا يتناسب مع موجات الصوت.

تطبيق على القوة الدافعة الكهربائية الحثية يعدّ الميكروفون تطبيقًا بسيطًا على القوة الدافعة الكهربائية الحثية. فالميكروفون يشبه السماعة من حيث التركيب؛ حيث يحتوي الميكروفون الموضّح في **الشكل 3–5** على غشاء رقيق يتصل بملف حر الحركة داخل مجال مغناطيسي، وتعمل الموجات الصوتية على اهتزاز الغشاء الرقيق الذي سيحرك الملف داخل المجال المغناطيسي، وتولد حركة الملف هذه بدورها القوة الدافعة الكهربائية الحثية بين طرفي الملف. وتتغير القوة الدافعة الكهربائية الحثية وفق تغير ترددات الصوت؛ إذ تتحول موجات الصوت في هذه العملية إلى نبضات (إشارات) كهربائية، ويكون فرق الجهد المتولد صغيرًا، من رتبة 10^{-3} V، إلا أنه يمكن زيادة فرق الجهد هذا أو تضخيمه باستخدام أدوات إلكترونية.



مثـــــال 1

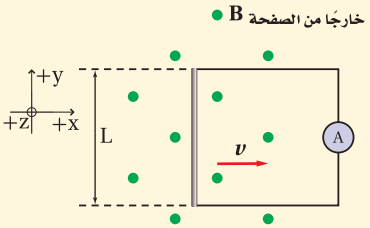
توليد قوة دافعة كهربائية حثية سلك مستقيم طوله 0.20 m يتحرك بسرعة منتظمة مقدارها 7.0 m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته 8×10^{-2} T، أجب عما يأتي:

a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟

b. إذا كان السلك جزءًا من دائرة مقاومتها 0.50 Ω فما مقدار واتجاه التيار المار بالسلك؟

c. إذا استخدم سلك مصنوع من فلز آخر مقاومته 0.78 Ω فما مقدار واتجاه التيار الجديد المتولد؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- أنشئ نظام محاور.
- ارسم خطًّا مستقيمًا يمثل سلكًا طوله L، وصل معه أميتر لقياس التيار.
- اختر اتجاهًا للمجال المغناطيسي بحيث يكون عموديًّا على طول السلك.
- اختر اتجاهًا للسرعة بحيث يكون عموديًّا على كل من طول السلك والمجال المغناطيسي.

المعلوم	المجهول
$v = 7.0$ m/s	$EMF = ?$
L = 0.20 m	I = ?
$B = 8.0\times10^{-2}$ T	
$R_1 = 0.50\ \Omega$	
$R_2 = 0.78\ \Omega$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. بالتعويض عن

$B = 8.0\times10^{-2}$T ،L = 0.20 m ،$v = 7.0$ m/s ،$\sin 90^0 = 1$

$$\begin{aligned}EMF &= BLv\sin\theta\\ &= (8.0\times10^{-2}\ \text{T})\,(0.20\ \text{m})\,(7.0\ \text{m/s})\\ &= 0.11\ \text{T.m}^2/\text{s}\\ &= 0.11\ \text{V}\end{aligned}$$

b.

بالتعويض عن $V = EMF$

بالتعويض عن $EMF = 0.11$ V ، $R_1 = 0.50\ \Omega$

$$\begin{aligned}I &= \frac{V}{R}\\ &= \frac{EMF}{R}\\ &= \frac{0.11\text{V}}{0.50\ \Omega}\\ &= 0.22\ \text{A}\end{aligned}$$

باستخدام قاعدة اليد اليمنى يكون التيار في عكس اتجاه عقارب الساعة

c. بالتعويض عن

$R_2 = 0.78\ \Omega$ ،$EMF = 0.11$ V

$$\begin{aligned}I &= \frac{EMF}{R}\\ &= \frac{0.11\ \text{V}}{0.78\ \Omega}\\ &= 0.14\ \text{A}\end{aligned}$$

اتجاه التيار عكس عقارب الساعة

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يعدّ الفولت الوحدة الصحيحة للمقدار EMF، ويقاس التيار بوحدة الأمبير.
- **هل الاتجاه صحيح؟** يحدد الاتجاه وفق قاعدة اليد اليمنى؛ حيث تكون v في اتجاه الإبهام، وB في اتجاه الأصابع و I في اتجاه العمودي على باطن الكف، واتجاه التيار هو اتجاه القوة نفسه.
- **هل الجواب منطقي؟** الإجابات قريبة من 10^{-1} وهذا يتفق مع القيم المعطاة والعمليات الحسابية.

مسائل تدريبية

1. سلك مستقيم طوله 0.5 m يتحرك إلى أعلى بسرعة 20 cm /s داخل مجال مغناطيسي أفقي مقداره 0.4 T، اجب عما يأتي :
   a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟
   b. إذا كان السلك جزءًا من دائرة مقاومتها 6.0 Ω فما مقدار التيار المار في الدائرة؟
2. سلك مستقيم طوله 25 m مثبت على طائرة تتحرك بسرعة 125 m /s عموديًّا على المجال المغناطيسي الأرضي $B=5.0\times10^{-5}$ T، ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟
3. مغناطيس دائم على شكل حذوة فرس موضوع بصورة بحيث تكون خطوط المجال المغناطيس رأسية. مرر طالب سلكًا مستقيمًا بين قطبيه، وسحبه نحوه خلال المجال المغناطيسي، فتولد فيه تيار من اليمين إلى اليسار. حدّد القطب الشمالي للمغناطيس.

المولدات الكهربائية Electric Generators

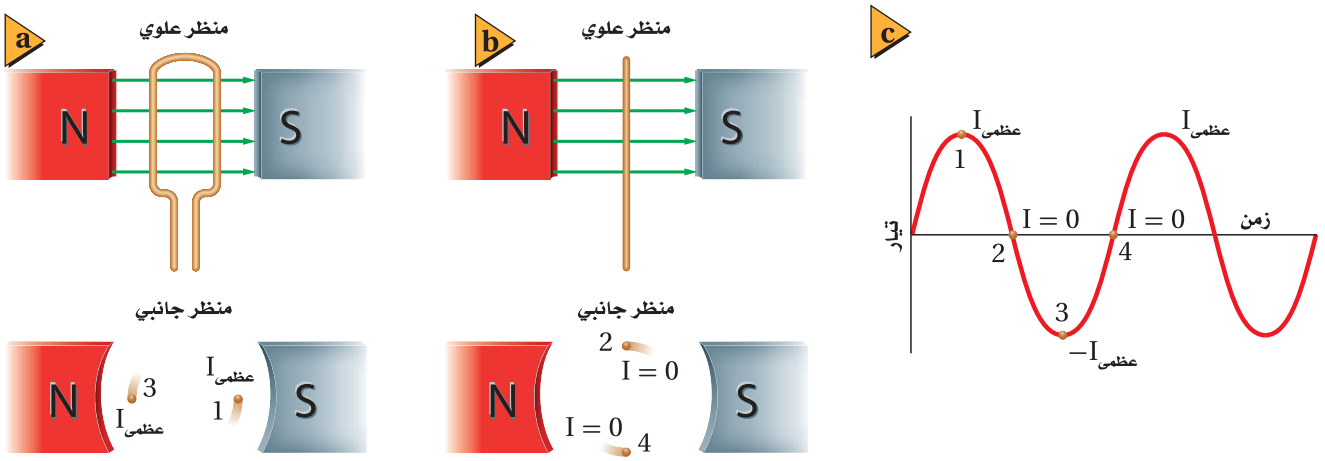
يحوّل **المولد الكهربائي (الدينامو)** الذي اخترعه مايكل فاراداي الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. ويتركب المولد الكهربائي من عدد من الملفات الموضوعة داخل مجال مغناطيسي قوي، وتلف حول قلب من الحديد؛ لتركيز خطوط المجال المغناطيسي وزيادة فاعلية المولد.

يثبت الملف ذو القلب الحديدي الخاص بالمولد بحيث يكون حر الحركة داخل المجال المغناطيسي، وخلال دورانه تقطّع لفاته خطوط المجال المغناطيسي، فتتولد قوة دافعة كهربائية حثية، وتعتمد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة على طول السلك الذي يدور في المجال. وبزيادة عدد لفات الملف يزداد طول السلك، فتزداد القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة.

لاحظ أنه قد يكون جزء فقط من طول السلك موجودًا داخل المجال المغناطيسي. لذا فإن حركة ذلك الجزء فقط هي التي تولد القوة الدافعة الكهربائية الحثية.

التيار الناتج من مولد كهربائي عند وصل المولد الكهربائي بدائرة مغلقة، تُنتج القوة الدافعة الكهربائية الحثية تيارًا كهربائيًّا. ويوضح **الشكل 4–5** مولدًا كهربائيًّا يتكون من لفة واحدة على شكل مستطيل من دون قلب حديد. حيث يمكن تحديد اتجاه التيار الحثي باستخدام قاعدة اليد اليمنى. ومع دوران اللفة يتغير مقدار التيار الكهربائي واتجاهه.

الشكل 4–5 يتولد تيار كهربائي في ملف في أثناء دورانها في مجال مغناطيسي.



الشكل 5–5 صورة للمقطع العرضي لحلقة سلكية دوّارة تبين موقع الحلقة عندما يتولد أقصى تيار (**a**). عندما تكون الحلقة في وضع رأسي يكون التيار صفرًا (**b**). يتغير التيار مع الزمن عند دوران الحلقة (**c**). ويمكن توضيح تغير EMF مع الزمن من خلال رسم بياني مماثل.

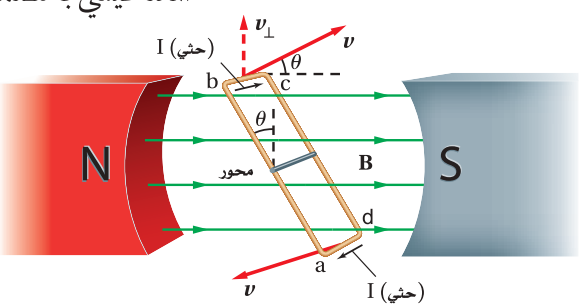
أنعكاس التيار نحصل على أكبر قيمة للتيار عندما تكون حركة الملف عمودية على اتجاه المجال المغناطيسي، وتتم هذه العملية عندما يصبح الملف في وضع أفقي بعد أن كان عمودياً، كما هو موضّح في **الشكل 5a–5**. وفي هذا الوضع تكون مركبة سرعة الملف العمودية على المجال المغناطيسي أكبر ما يمكن. ومع استمرار دوران الملف من الوضع الأفقي إلى الوضع الرأسي، كما هو موضّح في **الشكل 5b–5**، تزداد الزاوية التي يصنعها مع خطوط المجال المغناطيسي، فيقطع عددًا أقل من خطوط المجال المغناطيسي لكل وحدة زمن، لذا يقل التيار الكهربائي المتولد. وعندما يصبح الملف في وضع رأسي، تتحرك قطع السلك بصورة موازية لخطوط المجال، مما يؤدي إلى تناقص التيار الكهربائي المتولد حتى يصبح صفرًا. ومع استمرار دوران الملف، فإن الجزء الذي كان يتحرك في اتجاه الأعلى، سيتحرك في اتجاه الأسفل، فينعكس اتجاه التيار المتولد في الملف، وهذا التغير في الاتجاه يحدث كلما دار الملف زاوية مقدارها 180°، فيتغير التيار باستمرار من صفر إلى قيمة عظمى كل نصف دورة، ثم ينعكس اتجاهه. ويوضّح **الشكل 5c–5** منحنى العلاقة بين التيار والزمن.

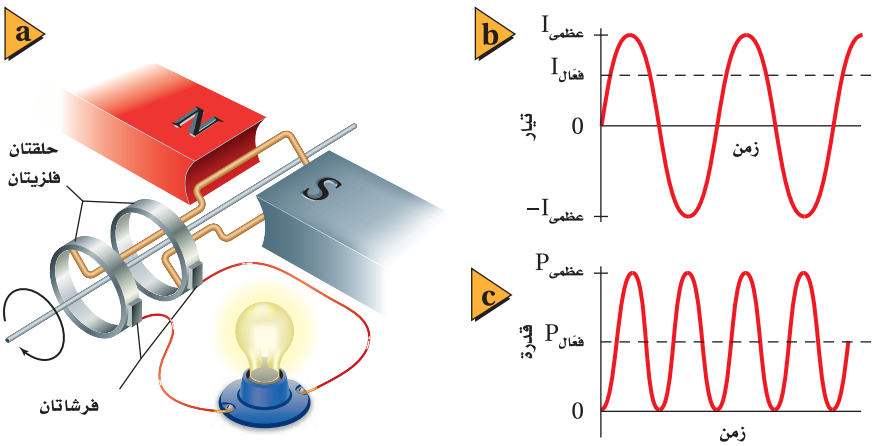
اين يتولد تيار حثي؟ هل تساهم أجزاء الملف كاملة في توليد قوة دافعة كهربائية حثية؟ انظر **الشكل 6–5**. لأن الجوانب الأربعة للملف موجودة داخل المجال المغناطيسي يتولد تيار حثي في الضلعين ad وbc، في حين لا يتولد تيار في الضلعين ab و cd. ويمكن تفسير ذلك بتطبيق قاعدة اليد اليمنى على الأضلاع الأربع كما يأتي: يكون اتجاه التيار الحثي في الضلعين cd وab في اتجاه عمودي على طوليهما، لذا لا يكون هناك تيار على طول هذين الضلعين. لكن يتولد تيار في كل من bc، ad في اتجاه طوليهما أي من b إلى c، ومن d إلى a، وهذا يجعل التيار الحثي يسري في الدائرة.

الشكل 6–5 القطعتان bc، ad هما فقط القطعتان اللتان لهما تيار حثي يتدفق خلالهما. ويمكن ملاحظة ذلك باستخدام قاعدة اليد اليمنى.

ولأن الملف يدور حركة دائرية فسوف يتغير مقدار الزاوية النسبية بين أي نقطة والمجال المغناطيسي باستمرار. لذلك تستخدم العلاقة $EMF = BL\nu \sin\theta$ لحساب القوة الدافعة الكهربائية؛ حيث تمثل L طول الضلع، فيكون أقصى جهد (EMF عظمى) عندما يتحرك الموصل عموديًّا على المجال المغناطيسي، أي تكون $\theta = 90°$.

يقوم مبدأ عمل بعض المولدات الكهربائية على تحويل الطاقة الميكانيكية للماء خلف السد إلى طاقة كهربائية يستثمر جزء منها في إدارة التوربينات، التي تعمل بدورها على تدوير الملفات داخل مجال مغناطيسي، فتتولد قوة دافعة كهربائية.





■ **الشكل 7–5** ينقل مولد التيار المتناوب التيار إلى دائرة خارجية عن طريق فرشاتين تلامسان الحلقتين (a). التيار المتناوب الناتج يتغير مع الزمن (b)، تكون القدرة الناتجة دائمًا موجبة، كما تكون (c) أيضًا دالة جيبية.

مولدات التيار المتناوب Alternating–Current Generators

يعمل مصدر الطاقة على تدوير ملف المولد داخل المجال المغناطيسي بعدد محدد من الدورات في الثانية. ومعظم الأدوات والأجهزة الكهربائية في الدول العربية تعمل بوساطة تيار تردده 60 Hz، حيث ينعكس اتجاه التيار 60 مرة في الثانية الواحدة. ويبين **الشكل 5–7a** كيف ينتقل التيار المتناوب AC المتولد في الملف إلى بقية أجزاء الدائرة. ويسمح ترتيب مجموعة الفرشاتين والحلقتين الفلزيتين الزلقتين للملف بالدوران بحرية، مع الاستمرار في السماح بعبور التيار الكهربائي إلى الدائرة الخارجية. ويتغير هذا التيار المتناوب بين صفر وقيمة عظمى في أثناء دوران ملف المولد، كما هو موضّح في **الشكل 5–7b**.

متوسط القدرة القدرة الناتجة بوساطة مولد كهربائي تساوي حاصل ضرب التيار الكهربائي في الجهد. ولأن كلًّا من التيار والجهد متغير فستكون القدرة المرافقة للتيار المتناوب متغيرة أيضًا. يوضّح **الشكل 5–7c** التمثيل البياني للقدرة الناتجة بوساطة مولد تيار متناوب AC. لاحظ أن القدرة تكون دائمًا موجبة؛ لأن كلًّا من I، و V يكونان إما موجبين أو سالبين معًا. و**متوسط القدرة** P_{AC} يمثل نصف القدرة العظمى، لذا فإن:

$$P_{AC} = \frac{1}{2} P_{AC\ عظمى}$$

التيار الفعّال والجهد الفعّال يوصف التيار المتناوب والجهد المتناوب غالبًا بدلالة التيار الفعّال والجهد الفعّال، بدلاً من الإشارة إلى القيم العظمى لهما، والتي تساوي جذر متوسط مربع القيمة العظمى للتيار(أو الجهد). وحيث أن: $P=I^2R$. فيمكنك التعبير عن التيار الفعّال $I_{فعال}$ بدلالة متوسط القدرة: P_{AC} كما يأتي: $P_{AC}=I^2_{فعال}R$. ولإيجاد التيار الفعّال $I_{فعال}$ بدلالة القيمة العظمى للتيار $I_{عظمى}$، ابدأ بعلاقة القدرة $P_{AC}=\frac{1}{2}P_{AC\ عظمى}$، ثمّ عوّض في I^2R وحل المعادلة لإيجاد $I_{عظمى}$.

التيار الفعّال $I_{فعال} = \frac{\sqrt{2}}{2} I_{عظمى}$

التيار الفعّال يساوي $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مضروبًا في القيمة العظمى للتيار.

وبالطريقة نفسها يمكن استعمال المعادلة الآتية للتعبير عن الجهد الفعّال:

الجهد الفعّال $V_{فعال} = (\frac{\sqrt{2}}{2}) V_{عظمى} = 0.707\ V_{عظمى}$

الجهد الفعّال يساوي $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مضروبًا في القيمة العظمى للجهد.

مسائل تدريبية

4. مولد تيار متناوب يولّد جهدًا ذا قيمة عظمى مقدارها 170 V، أجب عما يلي:
   a. ما مقدار الجهد الفعّال؟
   b. إذا وصل مصباح قدرته 60 W بمولد، وكانت القيمة العظمى للتيار 0.70 A فما مقدار التيار الفعّال في المصباح؟
5. إذا كان متوسط القدرة المستنفدة في مصباح كهربائي 75 W فما مقدار القيمة العظمى للقدرة؟

ويعرّف التيار الفعّال بأنه قيمة التيار المستمر الذي يولّد كمية الحرارة نفسها التي يولدها التيار المتناوب لو مرّ كل منهما على حدة في المقاومة نفسها وفي الزمن نفسه.

لقد عرفت في هذا البند كيف يمكن لحركة الأسلاك داخل المجالات المغناطيسية أن تحث وتولد تيارًا كهربائيًّا خلال هذه الأسلاك. وبالمقابل فإنه يمكن توليد تيار حثي يسري خلال الموصل بوساطة تغير المجال المغناطيسي حول موصل كما أشار فارادي. في البند التالي ستكتشف أثر تغير المجالات المغناطيسية، وتطبيقات على الحث بوساطة تغيير المجالات المغناطيسية.

1–5 مراجعة

6. **المولد الكهربائي** هل يمكنك عمل مولد كهربائي بوضع مغناطيس دائم على محور قابل للدوران مع الإبقاء على الملف ساكنًا؟ وضّح إجابتك.
7. **مولد الدراجة الهوائية** يعمل مولد الكهرباء في الدراجة الهوائية على إضاءة المصباح. ما مصدر طاقة المصباح عندما يقود راكب الدراجة دراجته على طريق أفقية مستوية؟
8. **الميكروفون** ارجع إلى الميكروفون الموضّح في **الشكل 3–5**. ما اتجاه التيار في الملف عندما يُدفع الغشاء الرقيق إلى الداخل؟
9. **التردد** ما التغيرات اللازم إجراؤها على مولد كهربائي لزيادة التردد ؟
10. **الجهد الناتج** وضّح لماذا يزداد الجهد الناتج عن مولّد عند زيادة المجال المغناطيسي؟ وما الذي يتأثر أيضًا بزيادة مقدار المجال المغناطيسي؟
11. **المولد الكهربائي** وضح مبدأ العمل الأساسي للمولد الكهربائي.
12. **التفكير الناقد** سأل طالب: لماذا يستنفد التيار المتناوب قدرة؟ حيث أن الطاقة التي تتحول إلى المصباح عندما يكون التيار موجبًا تلغى عندما يكون التيار سالبًا، ويكون الناتج صفرًا. وضح لماذا يكون هذا الاستدلال غير صحيح.

5–2 تغيّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية
Changing Magnetic Fields Induce *EMF*

ينتج التيار في المولد عندما يدور الملف داخل المجال المغناطيسي. وأثر توليد التيار يُنتِج قوة تؤثر في الأسلاك المكونة للملف، فما اتجاه القوة المؤثرة في الأسلاك المكونة للملف؟

قانون لنز Lenz's Law

تخيل جزءًا من سلك أحد الحلقات يتحرك عمودياً خلال مجال مغناطيسي، كما هو موضح في **الشكل 5–8a**. ستتولد في السلك قوة دافعة كهربائية حثية تساوي $BL\upsilon$. إذا كان المجال المغناطيسي خارجًا من الصفحة واتجاه السرعة نحو اليمين فستكون القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة نحو أسفل الصفحة ؛ وذلك وفقًا قاعدة اليد اليمنى، لذا سيتولد تيار نحو أسفل الصفحة، كما هو موّضح في **الشكل 5–8b**.

ممانعة الحركة تعلمت مما درسته إن السلك الذي يحمل تيارًا وموضوعًا داخل مجال مغناطيسي سيتأثر بقوة، وهذه القوة تكون ناتجة عن التفاعل بين المجال المغناطيسي الموجود والمجال المغناطيسي المتولد حول التيارات الكهربائية جميعها. ولتحديد اتجاه هذه القوة نستخدم القاعدة الثالثة لليد اليمنى. فإذا كان التيار I متجهًا نحو أسفل الصفحة، والمجال المغناطيسي B متجهًا نحو الخارج فعندئذ تكون القوة الناتجة باتجاه اليسار، كما موضّح في **الشكل 5–6c**، وهذا يعني أن اتجاه القوة المؤثرة في السلك ستكون معاكسة لاتجاه حركة السلك الأصلية υ، ولذلك تعمل هذه القوة على إبطاء دوران ملف المولد. ولقد ظهرت أول طريقة لتحديد اتجاه هذه القوة في عام 1834م بوساطة العالم لنز، ثم سميت قانون لنز. وينص **قانون لنز** على أن اتجاه التيار الحثي يعاكس التغير في المجال المغناطيسي الذي يسبب ذلك التيار الحثي. لاحظ أن التغير في المجال – وليس المجال نفسه – هو الذي يعاكس التأثيرات المغناطيسية الحثية.

ممانعة التغيّر **الشكل 5–9** يبين كيفية عمل قانون لنز؛ فعند تقريب القطب الشمالي للمغناطيس من الطرف الأيسر للملف، تتولد قوة تمانع اقتراب القطب الشمالي للمغناطيس، لذلك يجب أن يصبح الطرف الأيسر للملف قطبًا شماليًّا أيضًا، أي أنه يجب أن تخرج خطوط المجال المغناطيسي من الطرف الأيسر للملف. وباستخدام قاعدة اليد اليمنى ستجد أنه إذا كان قانون لنز صحيحًا، فإنه يجب أن يكون التيار الحثي في اتجاه معاكس لحركة عقارب الساعة عند النظر إلى الملف من جهة الطرف الذي اقترب منه المغناطيس، وقد دلت التجارب على صحة ذلك. وإذا عكس المغناطيس بحيث يقترب القطب الجنوبي للمغناطيس إلى الملف مرور التيار الحثي في اتجاه حركة عقارب الساعة.

الفيزياء في حياتك

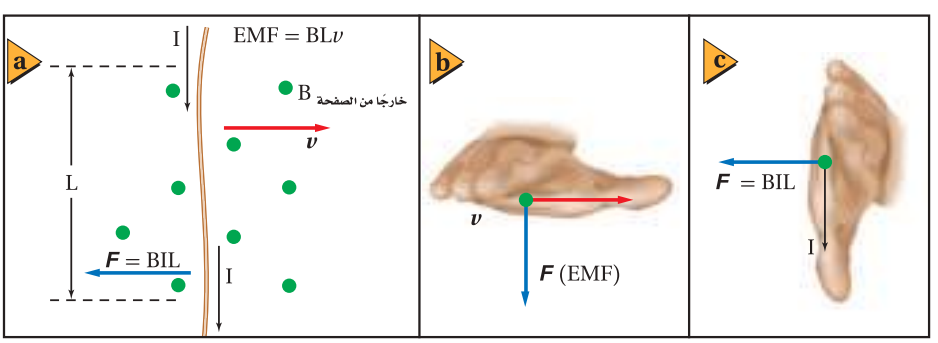
تَستخدم أجهزة الكشف عن المعادن المجالات الكهرومغناطيسية للكشف عن وجود أي معادن مخفية عند مداخل المطارات والمدارس العامة والمحاكم وغيرها من الأماكن الخاضعة للحراسة، كما تستخدم للبحث عن الألغام الأرضية والتحف الأثرية والثمينة المتنوعة، وفي الصناعة والبناء للكشف عن المعادن الخفيّة وغير المرغوب فيها.

تساؤلات جوهرية :

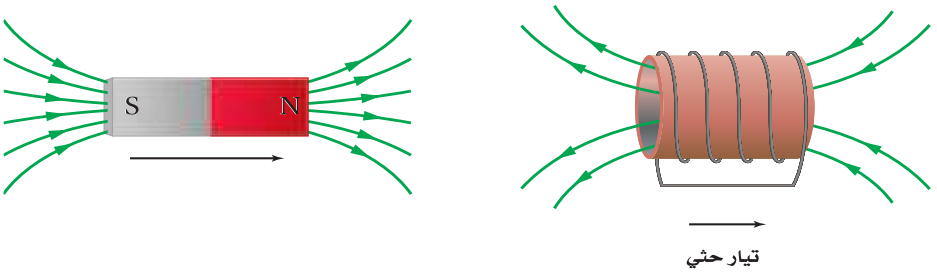
- ما قانون لنز؟
- كيف تؤثر القوة الدافعة الكهربائية الحثية في عمل المولدات والمحركات؟
- ما الحث الذاتي وكيف يؤثر في الدوائر الكهربائية؟
- كيف يؤثر معدل عدد اللفات في المحول على فرق الجهد والتيار الكهربائية؟

المفردات :

- قانون لنز
- الحث الذاتي
- الملف الابتدائي
- الحث المتبادل
- المحول الخافض
- التيار الدوامي
- المحول الكهربائي
- الملف الثانوي
- المحول الرافع



الشكل 5–8 سلك طوله L يتحريك في مجال مغناطيسي B يحث على توليد قوة دافعة كهربائية فيه، إذا كان السلك جزءًا من دائرة فسيتولد تيار حثي مقداره I. وهذا التيار يتفاعل مع المجال المغناطيسي وتنتج قوة مقدارها F. لاحظ أن القوة الناتجة تمانع حركة السلك υ.



الشكل 9–5 يؤدي اقتراب القطب الشمالي للمغناطيس من الملف إلى تدفق تيار حثي في الملف. ويمكن توقع اتجاه هذا التيار المتولد بوساطة قانون لنز.

إذا كان التيار الناتج عن المولد الكهربائي صغيرًا فستكون القوة المعاكسة المؤثرة في ملف المولد صغيرة، لذا سيدور الملف بسهولة. أما إذا كان التيار الناتج من المولد كبيرًا فستكون القوة المؤثرة في التيار كبيرة، لذا يكون تدوير الملف أصعب. والمولد الذي يولّد تيارًا كبيرًا ينتج مقدارًا كبيرًا من الطاقة الكهربائية، و عندئذ تتطلب قوة الممانعة المؤثرة في الملف تزويده بطاقة ميكانيكية كبيرة لإنتاج طاقة كهربائية، وهذا يتفق مع قانون حفظ الطاقة.

المحركات وقانون لنز ينطبق قانون لنز أيضًا على المحركات؛ فعندما يتحرك سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا داخل مجال مغناطيسي تتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية عكسيه، ويكون اتجاه التيار الحثي الناتج عنها معاكسًا لاتجاه التيار الأصلي. وعند لحظة دوران المحرك يتولد تيار كبير بسبب المقاومة الصغيرة لأسلاك المحرك، وبدوران المحرك تعمل حركة أسلاك الملف عبر المجال المغناطيسي على توليد قوة دافعة كهربائية حثية عكسية في الأسلاك تعاكس التيار. وبناءً على ذلك يقل التيار الكلي في المحرك. وإذا أثر على المحرك حمل ميكانيكي كأن يقوم ببذل شغل لرفع ثقل، فإن سرعة دوران المحرك سوف تنقص. مما يؤدي إلى تقليل القوة الدافعة الكهربائية الحثية العكسية، فيسمح بمرور تيار أكبر خلال ملف المحرك. لاحظ أن هذا يتفق مع قانون حفظ الطاقة. فإذا زاد التيار تزداد القدرة المعطاة للمحرك، وهذه القدرة يزود بها الحمل على شكل قدرة ميكانيكية، وإذا أوقف الحمل الميكانيكي المحرك عن الدوران قد يصبح التيار كبيرًا إلى درجة تسخن معها أسلاك المحرك كثيرًا.

وعندما يتغير التيار المسحوب بتغير سرعة المحرك الكهربائي يتغير هبوط الجهد في مقاومة أسلاك المحرك أيضًا. وهذا هو سبب ملاحظتك لضعف إضاءة مصابيح المنزل، وبعض الأجهزة الأخرى عند بدء تشغيل أداة أو جهاز كهربائي له محرك كبير، مثل أجهزة التكييف، والمنشار الكهربائي وغيرها.

عند قطع التيار الكهربائي عن المحرك بوساطة مفتاح الدائرة الكهربائية، يعمل التغير المفاجئ في المجال المغناطيسي على توليد قوة دافعة كهربائية حثية عكسية، وهذه الفولتية العكسية قد تكون كبيرة بدرجة كافية لإحداث شرارة خلال المفتاح الكهربائي.

تطبيق على قانون لنز يستخدم الميزان الحساس قانون لنز لإيقاف التأرجح عند وضع جسم في كفته. كما هو موضح في **الشكل 10–5** حيث توجد قطعة فلزية متصلة بذراع الميزان موضوعة بين قطبي مغناطيس حذاء الفرس.

الشكل 10–5 تستخدم الموازين الحساسة التيارات الدوامية المخامدة للتحكم في تأرجح مؤشر الميزان (a). فعندما تتحرك صفيحة الفلز المثبتة في نهاية المؤشر داخل المجال المغناطيسي يتولد فيها تيار كهربائي. هذا التيار بدوره يولد مجالاً مغناطيسيًا يمانع الحركة المسببة له، لذا تصبح حركة المؤشر متخامدة (b).

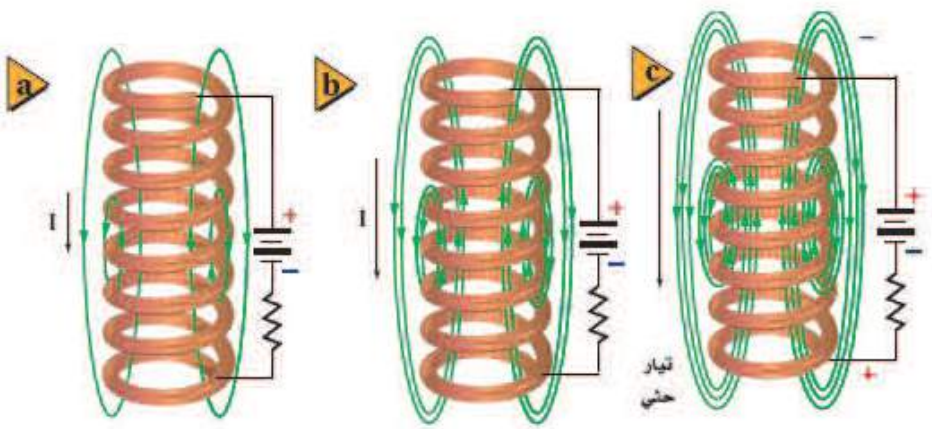
فعندما يتأرجح ذراع الميزان تتحرك قطعة الفلز داخل المجال المغناطيسي، فتتولد تيارات تسمى **تيارات دوامية** خلال الفلز، فتنتج تلك التيارات مجالاً مغناطيسيًّا يؤثر في عكس الحركة المسببة لتلك التيارات، مما يسبب تباطؤ حركة القطعة الفلزية. وبالرغم من أن القوة تعاكس حركة قطعة الفلز في الاتجاهين إلا أنها لا تؤثر إذا كانت القطعة ساكنة، لذلك فإنها لا تعمل على تغيير قراءة الكتلة في الميزان، ويسمى هذا التأثير "التيار الدوامي المخامد". وعادة يتركب قلب المحرك أو المحوّل من صفائح حديدية رقيقة معزول بعضها عن بعض للتقليل من دوران التيارات الدوامية.

الرفع المغناطيسي تتولد التيارات الدوامية عندما تتحرك قطعة فلزية داخل مجال مغناطيسي، والعكس صحيح أيضًا، حيث تتولد تيارات حثية إذا وضعت حلقة فلزية داخل مجال مغناطيسي متغير. ووفقًا لقانون لنز فإن التيار المتولد يعاكس التغير في المجال المغناطيسي. ويولد مجالاً مغناطيسيًّا معاكسًا، بحيث يجعل حلقة الألومنيوم غير المقطوعة ترتفع، كما هو موضّح في **الشكل 11–5**، يمر تيار متناوب في الملف، فيتولد مجال مغناطيسي متغير باستمرار. والتغير في المجال المغناطيسي يولد قوة دافعة كهربائية حثية في الحلقات، تولد تيارًا ينتج مجالاً مغناطيسيًّا معاكسًا للتغير في المجال المغناطيسي المتولد. وهذا التفاعل بين هذين المجالين يؤدي إلى دفع الحلقة بعيدًا عن الملف؛ تمامًا كما يبتعد القطبان الشماليان لمغناطيسين أحدهما عن الآخر. أما الحلقة السفلى التي قطّعت خطوط المجال المغناطيسي فيتولد فيها قوة دافعة كهربائية، لكن دون أن ينتج تيار لعدم اكتمال المسار، ولذلك لا يتولد مجال مغناطيسي معاكس بوساطة هذه الحلقة، وإذا كانت هذه الحلقات مكوّنة من مواد غير موصلة مثل النايلون فلن تتولد فيها قوة دافعة كهربائية حثية.

الشكل 11–5 يتولد تيار حثي في الحلقة الفلزية الكاملة بينما لا يتولد في الحلقة المقطوعة.

الحث الذاتي Self–Inductance

القوة الدافعة الكهربائية الحثية تتولد قوة دافعة كهربائية عندما يقطع السلك خطوط المجال المغناطيسي. فالتيار المار في السلك الموضّح في **الشكل 12–5** يتزايد ابتداء من **الشكل 12a–5** حتى **الشكل 12c–5**. حيث يولد التيار مجالاً مغناطيسيًّا يعبر عنه بوساطة خطوط المجال المغناطيسي. وعند تزايد كل من التيار والمجال المغناطيسي تنشأ خطوط مجال مغناطيسية جديدة. وبزيادة عدد الخطوط تقطع أسلاك الملف خطوطا أكثر، وتولد قوة دافعة كهربائية لتقاوم تغيرات التيار. وهذه القوة الدافعة الكهربائية ستجعل جهد الطرف العلوي أكثر سالبية من أسفله. وتسمى هذه القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك الذي يحمل تيارًا متغيرًا **الحث الذاتي**.



الشكل 12–5 بزيادة التيار في الملف من (a) إلى (c) يزداد المجال المغناطيسي المتولد بوساطة التيار أيضًا. هذه الزيادة في المجال المغناطيسي تولد قوة دافعة كهربائية بحيث تعاكس التيار.

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية مع المعدل الزمني الذي تتقاطع فيه خطوط المجال المغناطيسي مع الأسلاك. وكلما كان التغير في التيار أسرع كانت القوة الدافعة الكهربائية المعاكسة أكبر. وإذا بلغ التيار قيمة ثابتة يصبح المجال المغناطيسي ثابتًا، وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية صفرًا. وإذا قل التيار تتولد قوة دافعة كهربائية تعمل على منع النقصان في المجال المغناطيسي والتيار. وبسبب الحث الذاتي يجب أن يبذل شغل لزيادة مرور التيار في الملف. فتختزن طاقة في المجال المغناطيسي، وهذا يشبه عملية تخزين الطاقة في المجال الكهربائي بين لوحي مكثف كهربائي مشحون.

المحولات Transformers

تستخدم **المحولات** لرفع أو خفض الجهد الكهربائي المتناوب AC. واستخدام المحولات شائع جدًّا؛ لأن الكثير من الأجهزة تحتاج إلى جهد أقل أو أكبر لتعمل. وفي الواقع معظم الأجهزة الكهربائية في المنزل – ومنها أنظمة التلفاز والطابعات وأجهزة الإتصال – تحتوي على محولات تكون إما داخل صندوق الجهاز أو خارجه.

كيف تعمل المحولات؟ يولّد الحث الذاتي للملف قوة دافعة كهربائية عندما يتغير التيار المار بملف مفرد. وللمحول الكهربائي ملفان معزولان كهربائيًّا أحدهما عن الآخر، وملفوفان حول القلب الحديدي نفسه. ويسمى أحد الملفين **الملف الابتدائي**، ويسمى الآخر **الملف الثانوي**. وعند وَصْل الملف الابتدائي بمصدر جهد متناوب يولّد تغيّر التيار مجالاً مغناطيسيًّا متغيرًا، ويُنقل هذا التغير في المجال عبر القلب الحديدي إلى الملف الثانوي، فتتولّد فيه قوة دافعة كهربائية متغيرة. ويسمى هذا التأثير **الحث المتبادل**.

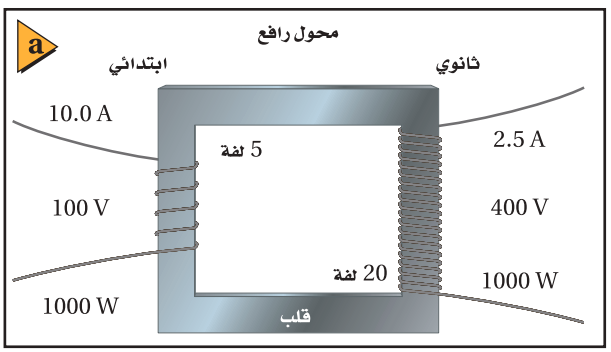
تسمى القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف الثانوي الجهد الثانوي، والذي يتناسب مع الجهد الابتدائي، ويعتمد الجهد الثانوي أيضًا على النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي وعدد لفات الملف الابتدائي، كما هو موضّح بوساطة العلاقة الآتية:

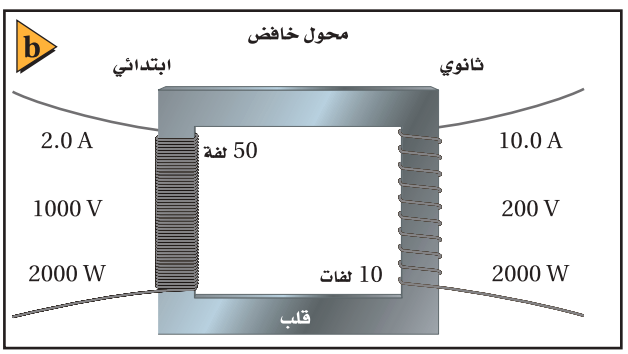
$$\frac{\text{الجهد الثانوي}}{\text{الجهد الإبتدائي}} = \frac{\text{عدد لفات الملف الثانوي}}{\text{عدد لفات الملف الإبتدائي}}$$

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$$

إذا كان الجهد الثانوي أكبر من الجهد الابتدائي فيسمّى المحول عندئذ **محول رافع**، كما هو موضّح في **الشكل 13a–5**. وإذا كان الجهد الناتج عن المحول أقل من الجهد الداخل إليه سمّي المحول **محولًا خافضًا**، كما هو موضّح في **الشكل 13b–5**.

الشكل 13–5 في المحول، النسبة بين الجهد الداخل والجهد الناتج تعتمد على النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثاني. ويمكن أن يكون الجهد الناتج أكبر من الجهد الداخل (a)، أو أقل من الجهد الداخل (b).





تجربة

المحرك والمولد

تختلف المحركات والمولدات بصورة رئيسة في طريقة تحويل الطاقة الكهربائية إلى مكيانيكية مقارنة بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى كهربائية.

1. ركّب دائرة توالي تحتوي على محرك DC ومصباح كهربائي صغير وأميتر.
2. دوّر المقبض اليدوي للمحرك أو عمود دورانه؛ لإضاءة المصباح الكهربائي.

التحليل والاستنتاج

3. ماذا يحدث عندما تغير سرعة دوران المقبض اليدوي للمحرك؟
4. **توقع** ماذا يحدث إذا استبدلت المصباح الكهربائي في دائرة التوالي بمحرك آخر؟

في المحول المثالي تكون القدرة الواصلة إلى الملف الابتدائي مساوية للقدرة المأخوذة من الملف الثانوي. فالمحول المثالي لا يضيع أو يبدد أي جزء من القدرة، ويمكن تمثيله بالمعادلة الآتية:

$$P_p = P_s$$

$$V_p I_p = V_s I_s$$

وبترتيب المعادلة، ستجد أن التيار في الدائرة الابتدائية يعتمد على مقدار التيار المطلوب في الدائرة الثانوية. وعند ربط هذه العلاقة بالمعادلة السابقة التي تربط الجهد بعدد اللفات نحصل على:

معادلة المحول

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

النسبة بين التيار في الملف الثانوي والتيار في الملف الابتدائي تساوي النسبة بين جهد الملف الابتدائي وجهد الملف الثانوي، وتساوي النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثانوي أيضًا.

الشكل 14–5 إذا وصل الجهد الداخل بالملف الذي عن اليسار حيث عدد اللفات أكبر، عمل المحول بوصفه محولًا خافضًا للجهد، وإذا وصل الجهد الداخل بالملف الذي عن اليمين فسيعمل المحول بوصفه محولًا رافعًا للجهد.

كما تعرفت سابقًا فإن المحول الرافع يزيد الجهد. ولأن المحول لا يمكنه زيادة القدرة الناتجة، لذا يجب أن يكون هناك انخفاض في التيار المار خلال الملف الثانوي. ويحدث الشيء نفسه في المحول الخافض؛ إذ يكون التيار المار في الملف الثانوي أكبر من التيار المار في الملف الابتدائي؛ فانخفاض الجهد يقابله زيادة التيار، كما هو موضّح أدناه من خلال جدول (الرياضيات في الفيزياء).

يمكن فهم ذلك بطريقة أخرى، وذلك بأن تعتبر أن كفاءة المحول تساوي 100%، كما يتم افتراضه عادةً في الصناعة. وبناءً عليه يمكن – في معظم الحالات – افتراض أن القدرة الناتجة تساوي القدرة الداخلة. ويوضّح **الشكل 13–5** أنواع المحولات. ويمكن للمحول نفسه أن يكون رافعًا أو خافضًا للجهد، وهذا يعتمد على طريقة توصيله، كما هو موضّح في **الشكل 14–5**.

التجربة العملية:

ما العلاقة بين جهدي ملفي المحول؟

الرياضيات في الفيزياء

عدم المساواة ادرس التعابير الآتية لتساعدك على فهم العلاقات بين الجهد، والتيار، وعدد اللفات في المحول الرافع والمحول الخافض.

المحول الرافع	المحول الخافض
$V_s > V_p$	$V_s < V_p$
$I_s < I_p$	$I_s > I_p$
$N_s > N_p$	$N_s < N_p$

مثـــــال 2

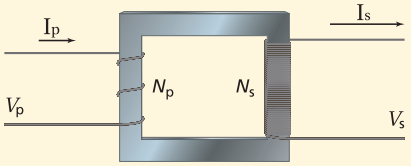
المحولات الرافعة محول مثالي رافع عدد لفات ملفه الابتدائي 200 لفة، وعدد لفات ملفه الثانوي 3000 لفة. إذا وصل ملفه الابتدائي بجهد متناوب فعّال مقداره 90.0 V، أجب عما يلي:

a. ما مقدار الجهد في دائرة الملف الثانوي؟

b. إذا كان التيار في دائرة الملف الثانوي 2.0 A فما مقدار التيار في دائرة الملف الابتدائي؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم قلبًا حديديًّا مع لفات من السلك.
- حدّد المتغيرات I وV وN



المعلوم		المجهول
$V_p = 90.0\ V$	$N_p = 200$	$V_s = ?$
$I_s = 2.0\ A$	$N_s = 3000$	$I_p = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. حل المسألة لـ V_s.

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$V_s = \frac{N_s V_p}{N_p}$$

بالتعويض عن $V_p = 90.0\ V$، $N_p = 200$ ، $N_s = 3000$

$$= \frac{3000 \times (90.0\ V)}{200} = 1350\ V$$

b. تكون القدرة المعطاة للملف الابتدائي مساوية للقدرة المعطاة للملف الثانوي

$$P_p = P_s$$

بالتعويض عن $P_p = V_p I_p$، $P_s = V_s I_s$

$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$I_p = \frac{V_s I_s}{V_p}$$

بالتعويض عن $V_s = 1350\ V$، $I_s = 2.0\ A$، $P_p = 90.0\ V$

$$= \frac{(1350\ V)(2.0\ A)}{(90.0\ V)} = 3.0 \times 10^{1} A$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يجب أن يكون الجهد مقيسًا بوحدة الفولت والتيار بوحدة الأمبير.
- **هل الجواب منطقي؟** النسبة الكبيرة لعدد اللفات في المحول الرافع ينتج عنه جهد ثانوي كبير؛ ولذلك سيكون التيار في الملف الثانوي قليلاً. وتتفق الإجابات مع هذا.

مسائل تدريبية

في المسائل الآتية التيارات والجهود المشار إليها هي التيارات والجهود الفعّالة.

13. محول مثالي خافض عدد لفات ملفه الابتدائي 7500 لفة، وعدد لفات ملفه الثانوي 125 لفة، فإذا كان الجهد في دائرة الملف الابتدائي 7.2 kV، فما مقدار الجهد في دائرة الملف الثانوي؟ وإذا كان التيار في دائرة الملف الثانوي 36 A، فاحسب مقدار التيار في دائرة الملف الابتدائي.

14. يتكون الملف الابتدائي في محول مثالي رافع من 300 لفة، ويتكون الملف الثانوي من 90000 لفة، فإذا كانت القوة الدافعة الكهربائية للمولد المتصل بالملف الابتدائي تساوي 60.0 V، فاحسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية الناتجة عن الملف الثانوي. وإذا كان التيار في دائرة الملف الثانوي يساوي 0.50 A، فما مقدار التيار في دائرة الملف الابتدائي؟

مسألة تحدٍ

يتصل الملف الابتدائي لمحول توزيع T_1 بمصدر جهد متناوب مقداره 3.0 kV، ويتصل الملف الثانوي له بالملف الابتدائي لمحول آخر T_2 باستخدام وصلات نحاسية، ويتصل الملف الثانوي للمحول T_2 بدائرة حمل (مقاومة) تستخدم قدرة مقدارها 10.0 kW فإذا كانت نسب عدد لفات المحول T_1 هي 1 :5 وكان فرق جهد الحمل للمحول T_2 يساوي 120 V، وكانت كفاءة المحولات 100%، 97.0% على الترتيب. اجب عما يأتي:

1. احسب تيار الحمل.
2. ما مقدار القدرة المستهلكة في المحول T_2؟
3. ما مقدار التيار الثانوي للمحول T_1؟
4. ما مقدار التيار الذي يزوده المصدر المتناوب AC للمحول T_1؟

الاستعمالات اليومية للمحولات تكون عملية نقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة اقتصاديةً إذا استخدمت تيارات صغيرة وفروق جهد كبيرة جدًّا. ولذلك تستخدم المحولات الرافعة عند مصادر القدرة للحصول على جهود كهربائية تصل إلى 480000 V، وتقلل هذه الجهود الكبيرة التيارات المستخدمة في نقل الطاقة عبر الأسلاك، مما يقلل من الطاقة الضائعة في المقاومات الكهربائية للأسلاك، وعندما تصل الطاقة إلى المستهلك تستخدم محولات خافضة، كتلك الموضّحة في **الشكل 15–5**؛ لتزود المستهلك بجهود منخفضة إلى درجة ملائمة تناسب الأجهزة الكهربائية المنزلية.

تضبط المحولات الموجودة في الأجهزة المنزلية الجهود الكهربائية إلى مستويات قابلة للاستعمال، فإذا أردت شحن هاتفك الخلوي أو تشغيل أداة كهربائية، فعليك توصيل الشاحن (المحول) في مخرج الكهرباء المثبت بالجدار. وفي هذه الحالة يقل الجهد من 220 V إلى جهد يتراوح بين 3.0 V و 20 V.

الشكل 15–5 تستخدم المحولات الخافضة للتقليل من الجهود الكهربائية الكبيرة في خطوط نقل القدرة إلى مستويات تناسب المستهلكين في أماكن الاستخدام.

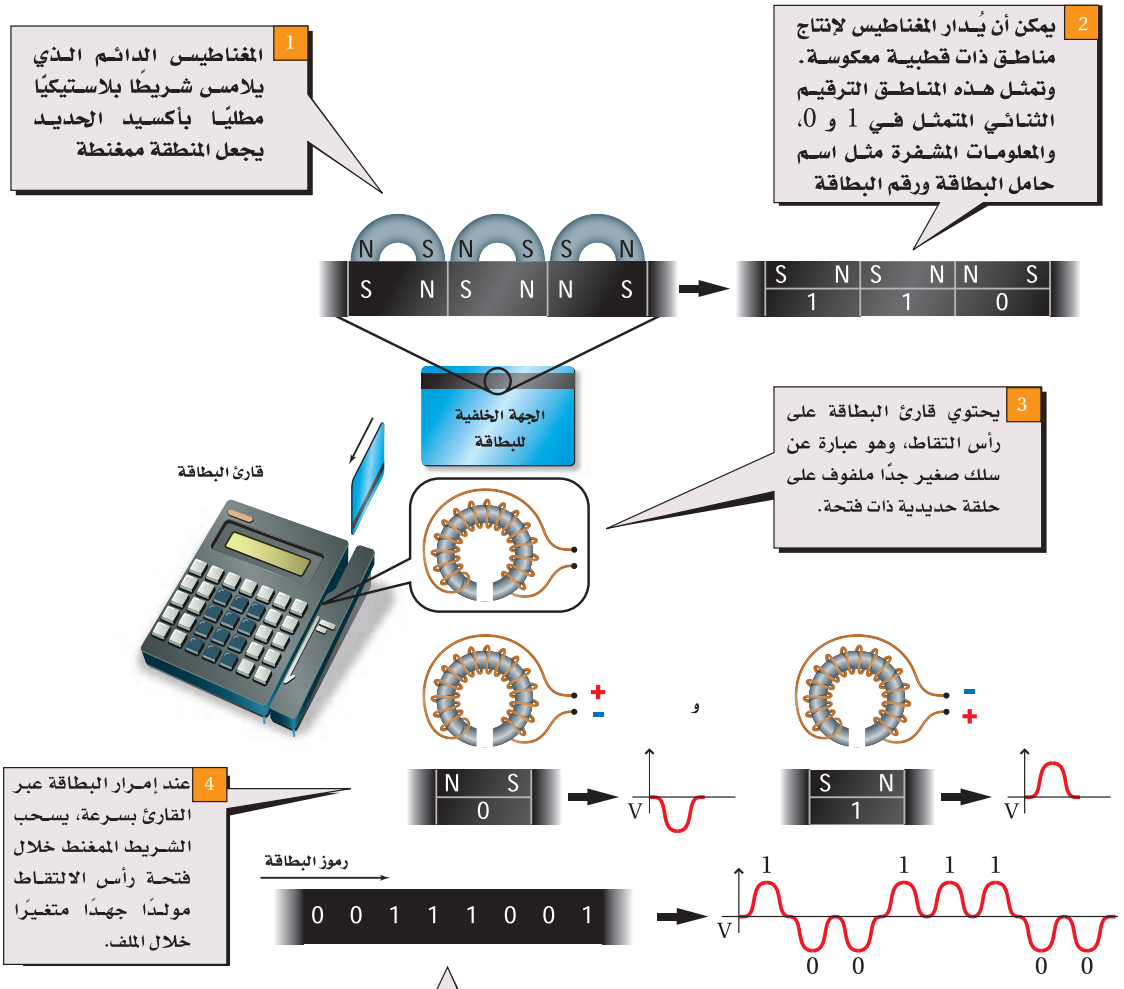
5–2 مراجعة

15. **السلك الملفوف والمغانط** ملف سلكي معلق من نهايتيه بحيث يمكنه التأرجح بسهولة. إذا قرّبت مغناطيسًا إلى الملف بصورة مفاجئة فسيتأرجح الملف. بأي طريقة يتأرجح الملف بالنسبة للمغناطيس؟ ولماذا؟
16. **المحركات** إذا نزعت قابس مكنسة كهربائية أثناء تشغيلها عن مخرج التيار في الحائط، فستلاحظ حدوث شرارة كهربائية، في حين لا تشاهدها عند إطفاء المصباح الكهربائي. لماذا؟
17. **المحولات والتيار** وضح لماذا يعمل المحول الكهربائي على تيار متناوب فقط؟
18. **المحوّلات** كثيرًا ما يكون السلك المستخدم في ملفات المحول المكون من عدد قليل من اللفات سميكًا (مقاومته قليلة)، بينما يكون سلك الملف المكون من عدد كبير من اللفات رفيعًا. لماذا؟
19. **المحولات الرافعة** بالرجوع إلى المحول الرافع الموضّح في **الشكل 13–5**، وضّح ما يحدث لتيار الملف الابتدائي إذا أصبحت دائرة الملف الثانوي دائرة قصر.
20. **التفكير الناقد** هل تصلح المغانط الدائمة لصنع قلب محول جيد؟ وضّح إجابتك.

كيف تعمل

قارئ بطاقات الائتمان؟
How a credit_card reader works?

أحدثت بطاقات الائتمان ثورة اقتصادية في العالم عن طريق جعل عملية تحويل النقود سريعة وسهلة. قارئ بطاقات الائتمان الذي يأخذ البيانات من شريط مغناطيسي موجود على ظهر البطاقة يعدّ من أهم الروابط في العملية الإلكترونية لتحويل النقود.



التفكير الناقد

1. **لاحظ** لماذا تتحول الأرقام الثنائية في الخطوة 5 من الشريط المغناطيسي إلى جهد في صورة موجة؟
2. **حلل** ماذا سيحدث إذا لم يكن لحلقة الحديد الصغيرة فتحة؟

5–1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية
Electric Current from Changing Magnetic Fields

المفردات
- الحث الكهرمغناطيسي
- القوة الدافعة الكهربائية
- المولد الكهربائي
- متوسط القدرة

الفكرة الرئيسة: يولد المجال المغناطيسي المتغير قوة دافعه كهربائيه حثية في الموصل، وهذا يؤدي إلى توليد تيار كهربائي عندما يكون الموصل في دائرة كهربائية.

- اكتشف مايكل فاراداي أنه إذا تحرك سلك داخل مجال مغناطيسي فسوف يتدفق تيار كهربائي خلاله.
- يعتمد التيار المتولد على الزاوية المحصورة بين متجه سرعة السلك، واتجاه المجال المغناطيسي، وتكون أعظم قيمة للتيار عندما يتحرك السلك عموديًّا على المجال.
- القوة الدافعة الكهربائية EMF هي فرق الجهد الناتج بين طرفي السلك المتحرك داخل المجال المغناطيسي. وتقاس بوحدة الفولت.
- تعطى القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في سلك مستقيم يتحرك داخل مجال مغناطيسي منتظم بالعلاقة.

$$EMF = BLv \sin\theta$$

- يمكن استعمال التيار والجهد الفعّالان لوصف التيار المتناوب والجهد المتناوب.

$$I_{\text{فعّال}} = 0.707\, I_{\text{عظمى}}$$

$$V_{\text{فعّال}} = 0.707\, V_{\text{عظمى}}$$

- يعد كل من المولد الكهربائي، والمحرك الكهربائي جهازين متشابهين ونواتجهما متعاكسة؛ إذ يحول المولد الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، في حين يحول المحرك الكهربائي الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية.

5–2 تغيّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية
Changing Magnetic Fields Induce *EMF*

المفردات
- قانون لنز
- التيار الدوامي
- الحث الذاتي
- المحوّل الكهربائي
- الملف الابتدائي
- الملف الثانوي
- الحث المتبادل
- المحول الرافع
- المحول الخافض

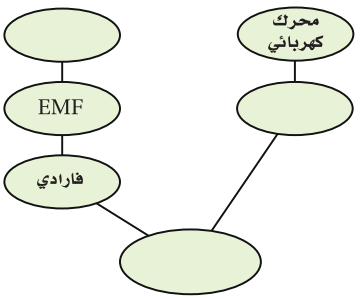
الفكرة الرئيسية: تقوم المجالات المغناطيسي الناتجة عن التيارات الحثية بتشغيل المولدات والمحركات والمحولات.

- ينص قانون لنز على أن اتجاه التيار الحثي المتولد في موصل يعاكس التغير في اتجاه المجال المغناطيسي الذي يسببه.
- تتولد القوة الدافعة الكهربائية الحثية العكسية بوساطة حركة سلك يحمل تيارًا داخل مجال مغناطيسي، وهذه القوة تقاوم تغيرات التيار.
- الحث الذاتي هو خاصية للسلك الذي يحمل تيارًا متغيرًا، وكلما كان تغير التيار في السلك أسرع، زادت القوة الدافعة الكهربائية الحثية التي تقاوم هذا التغير.
- يحتوي المحول على ملفين ملفوفين على القلب نفسه. يولد مرور التيار المتناوب AC في الملف الابتدائي قوة دافعة كهربائية متناوبة EMF في الملف الثانوي. والجهود الناتجة بين طرفي الملف الثانوي قد تزداد أو تقل.

$$\frac{I_S}{I_P} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

خريطة المفاهيم

21. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: المولد الكهربائي، القوة الدافعة الكهربائية الحثية العكسية، قانون لنز.



إتقان المفاهيم

22. ما الجزء المتحرك في المولد الكهربائي؟

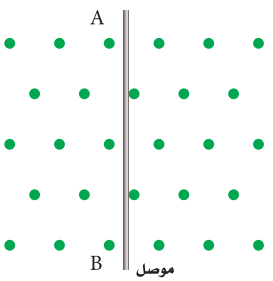
23. لماذا يستخدم الحديد في الملف الكهربائي؟

للإجابة عن الأسئلة 24–26 ارجع إلى الشكل 16–5

24. يتحرك موصل منفرد داخل مجال مغناطيسي، ويولد جهدًا كهربائيًّا. في أي اتجاه يتحرك الموصل بالنسبة للمجال المغناطيسي دون أن يتولد جهد؟

25. ما قطبية النقطة A إذا تحرك الموصل نحو يمين الصفحة؟

26. ما أثر زيادة الطول الكلي للموصل داخل المولد الكهربائي؟



الشكل 16–5

27. لديك ملف وقضيب مغناطيسي. صف كيف يمكنك استخدامهما في توليد تيار كهربائي؟

28. اكتب الأجزاء الرئيسة لمولد التيار المتناوب AC.

29. لماذا تكون القيمة الفعالة للتيار المتناوب أقل من القيمة العظمى له؟

30. **الكهرومائية** يدير الماء الذي كان محجوزا خلف السد التوربينات التي تدوّر المولدات. أعدّ قائمة بجميع أشكال الطاقة وتحولاتها منذ أن كان الماء محجوزا إلى أن نتجت الكهرباء.

31. اكتب نص قانون لنز.

32. ما الذي يسبب تولد القوة الدافعة الكهربائية العكسية في المحرك الكهربائي؟

33. لماذا لا تحدث شرارة كهربائية عندما تغلق مفتاحًا كهربائيًّا لتمرير تيار إلى محث، في حين تحدث الشرارة عند فتح ذلك المفتاح الكهربائي؟

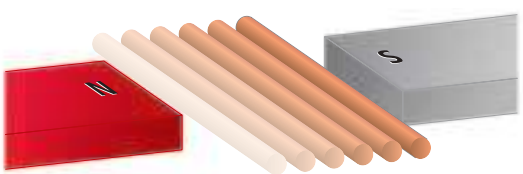
تطبيق المفاهيم

34. استخدم الوحدات لإثبات أن الفولت (V) هو وحدة قياس للمقدار $BL\nu$.

35. عندما يتحرك سلك داخل مجال مغناطيسي، فهل مقاومة الدائرة المغلقة تؤثر في التيار فقط ، أم في القوة الدافعة الكهربائية فقط، أم في كلاهما، أم أن أيًّا منهما لا يتأثر؟

36. **الدراجة الهوائية** عندما يُبطئ أحمد سرعة دراجته الهوائية، ماذا يحدث للقوة الدافعة الكهربائية المتولدة من مولد دراجته؟ استخدم مصطلح الملف ذي القلب الحديدي خلال التوضيح.

37. يتحرك سلك بصورة أفقية بين قطبي مغناطيس، كما هو موضح في **الشكل 17–5**. ما اتجاه التيار الحثي فيه؟

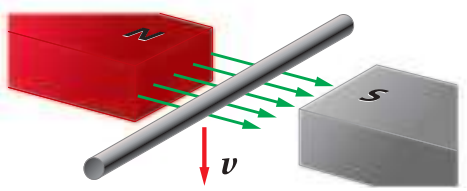


الشكل 17–5

38. إذا حركت سلكًا نحاسيًّا إلى أسفل خلال مجال مغناطيسي B كما في **الشكل 18–5**: اجب عما يأتي:

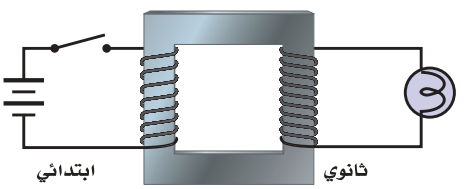
a. هل يسري التيار الحثي المتولد في قطعة السلك نحو اليسار أم نحو اليمين؟

b. عندما تحرك السلك داخل المجال المغناطيسي سيتولد فيه تيار، وعندها تكون القطعة عبارة عن سلك يسري فيه تيار كهربائي وموضوع داخل مجال مغناطيسي، ويجب أن تؤثر فيه قوة مغناطيسية. ما اتجاه القوة التي ستؤثر في السلك نتيجة للتيار الحثي؟



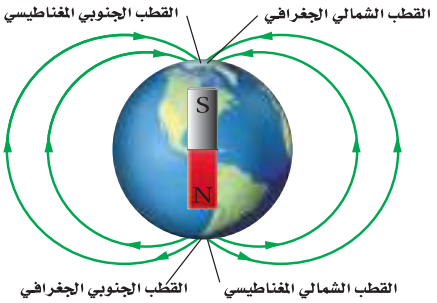
الشكل 18–5

39. وصل محول مع بطارية بوساطة مفتاح كهربائي، ووصلت دائرة الملف الثانوي مع مصباح كهربائي، كما في **الشكل 19–5**. هل يضيء المصباح ما دام المفتاح مغلقًا، أم عند لحظة الإغلاق فقط، أم عند لحظة فتح المفتاح فقط؟ وضح إجابتك.



الشكل 19–5

40. **المجال المغناطيسي الأرضي** اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي في النصف الشمالي يكون بإتجاه الشمال الجغرافي، كما هو موضح في **الشكل 20–5**. إذا تحرك سلك أفقي (يمتد من الشرق إلى الغرب) من الشمال إلى الجنوب، فما اتجاه التيار المتولد؟



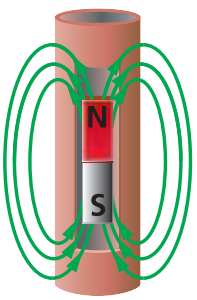
الشكل 20–5

41. أسقط مدرس الفيزياء مغناطيسًا خلال أنبوب نحاسي، كما في **الشكل 21–5**، فتحرك المغناطيس ببطء شديد، فاعتقد الطلبة في الصف أنه يجب أن تكون هناك قوة معاكسة لقوة الجاذبية. اجب عما يأتي:

a. ما اتجاه التيار الحثي المتولد في الأنبوب بوساطة سقوط المغناطيس إذا كان القطب الجنوبي للمغناطيس هو القطب المتجه نحو الأسفل؟

b. ينتج التيار الحثي مجالاً مغناطيسيًّا. ما اتجاه هذا المجال؟

c. كيف يعمل المجال المغناطيسي على تقليل تسارع المغناطيس الساقط؟



الشكل 21–5

42. **المولدات** لماذا يكون دوران المولد أكثر صعوبة عندما يكون متصلًا بدائرة كهربائية تزوده بالتيار، مقارنة بدورانه عندما لا يكون متصلاً بدائرة ما؟

43. وضح لماذا يكون التيار الابتدائي عند تشغيل المحرك كبيرًا. وضح أيضًا كيف يمكن تطبيق قانون لنز في اللحظة $t>0$؟

44. اشرح كيفية حدوث الحث المتبادل في المحول؟

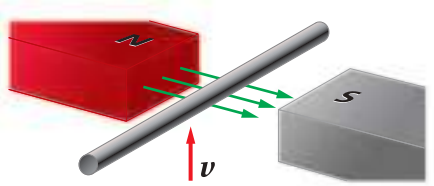
إتقان حل المسائل

5–1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية

45. يتحرك سلك طوله 20.0 m بسرعة 4.0 m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي. فإذا تولدت قوة دافعة كهربائية حثية خلاله مقدارها 40 V فاحسب مقدار المجال المغناطيسي.

46. **الطائرات** تطير طائرة بسرعة 9.50×10^{2} km/h وتمر فوق منطقة مقدار المجال المغناطيسي الأرضي فيها يساوي 4.5×10^{-5} T، والمجال المغناطيسي في تلك المنطقة رأسيًا تقريبًا. ما مقدار فرق الجهد بين طرفي جناحيها إذا كانت المسافة بين الطرفين 75 m؟

47. يتحرك سلك مستقيم طوله 0.75 m إلى أعلى بسرعة 16 m/s في مجال مغناطيسي أفقي مقداره 0.30 T، كما هو موضّح في **الشكل 22–5**. أجب عما يأتي:
   a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟
   b. إذا كان السلك جزءًا من دائرة كهربائية مقاومتها 11 Ω فاحسب مقدار التيار المار فيها.



الشكل 22–5

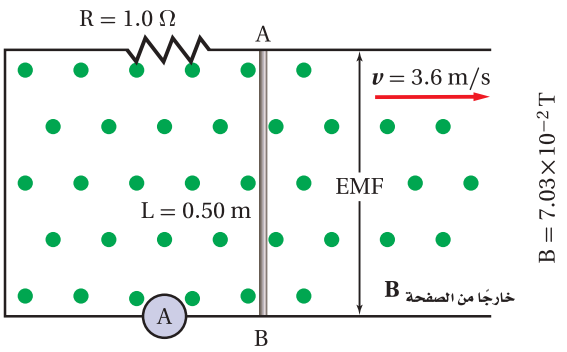
48. مولد كهربائي متناوب يولد فولتية عظمى مقدارها 150 V، ويزود دائرة خارجية بتيار قيمته العظمى 30.0 A، احسب:
   a. الجهد الفعّال للمولد.
   b. التيار الفعّال الذي يزود به المولد الدائرة الخارجية.
   c. القدرة الفعّالة المستهلكة في الدائرة.

49. **الفرن الكهربائي** يتصل فرن كهربائي بمصدر تيار متناوب AC جهده الفعّال 240 V، اجب عما يأتي
   a. احسب القيمة العظمى للجهد خلال أحد أجزاء الفرن عند تشغيله.
   b. إذا كانت مقاومة عنصر التشغيل 11 Ω، فما مقدار التيار الفعّال؟

50. يتحرك سلك طوله 40.0 cm عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.32 T بسرعة 1.3 m/s، فإذا اتصل السلك بدائرة مقاومتها 10.0 Ω، فاحسب مقدار التيار المار فيها.

51. تحرك سلك طوله 2.5 m أفقيًّا بسرعة 2.4 m/s داخل مجال مغناطيسي مقداره 0.045 T في اتجاه يصنع زاوية مقدارها 60° فوق الأفقي. احسب:
   a. المركبة الرأسية للمجال المغناطيسي.
   b. القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك.

52. ارجع إلى المثال 1 و**الشكل 23–5** لإيجاد ما يأتي:
   a. الجهد الحثي المتولد في الموصل.
   b. مقدار التيار I.
   c. اتجاه التيار الكهربائي في الحلقة.
   d. قطبية النقطة A بالنسبة للنقطة B.



الشكل 23–5

5–2 تغيّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية

53. محول مثالي رافع يتكون ملفه الابتدائي من 80 لفة، ويتكون ملفه الثانوي من 120 لفة، إذا زوّدت دائرة الملف الابتدائي بفرق جهد متناوب مقداره 120 V، اجب عما يأتي:

a. ما مقدار فرق الجهد في الملف الثانوي؟

b. إذا كان تيار الملف الثانوي 2.0 A فما مقدار تيار الملف الابتدائي؟

c. ما مقدار القدرة الداخلة والقدرة الناتجة عن المحول؟

54. **الحواسيب الشخصية** محول مثالي في حاسوب شخصي يحتاج إلى جهد فعّال مقداره 9.0 V من خط 120 V، اجب عما يأتي:

a. ما عدد لفات الملف الثانوي إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي 475 لفة؟

b. إذا كان التيار المار في الحاسوب يساوي 125 mA، فما مقدار التيار المار في دائرة الملف الابتدائي للمحول؟

55. **مجففات الشعر** صنع مجفف شعر ليعمل على تيار مقداره 10 A وفرق جهد 120 V في بلد ما. إذا أريد استخدام هذا الجهاز في بلد آخر مصدر الجهد فيه 240 V، فاحسب:

a. النسبة التي يجب أن تكون بين عدد اللفات في ملفه الابتدائي إلى عدد اللفات في ملفه الثانوي.

b. مقدار التيار الذي يعمل عليه في البلد الجديد.

56. محول مثالي قدرته 150 W يعمل على جهد 9 V لينتج تيارًا 5.0 A، أجب عما يأتي:

a. هل المحول رافع أم خافض؟

b. ما النسبة بين جهد الملف الثانوي إلى جهد الملف الابتدائي؟

مراجعة عامة

57. عدد لفات الملف الابتدائي في محول مثالي رافع 500 لفة وعدد لفات الملف الثانوي 15000 لفة. إذا وصلت دائرة الملف الابتدائي بمولد تيار متناوب قوته الدافعة الكهربائية تساوي 120 V، أجب عما يأتي:

a. احسب القوة الدافعة الكهربائية في دائرة الملف الثانوي.

b. إذا كان تيار دائرة الملف الثانوي يساوي 3.0 A، فاحسب تيار دائرة الملف الابتدائي.

c. ما مقدار القدرة المسحوبة بوساطة دائرة الملف الابتدائي؟ وما مقدار القدرة التي تزودها دائرة الملف الثانوي؟

58. ما مقدار السرعة التي يجب أن يتحرك بها موصل طوله 50 cm عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.2 T لكي تتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية مقدارها 1.0 V؟

59. دائرة إنارة منزلية تعمل على جهد فعّال مقداره 120 V، ما أكبر قيمة متوقعة للجهد في هذه الدائرة؟

60. **المنصهر الكهربائي** يعمل قاطع الدائرة المغناطيسي على فتح دائرته إذا بلغ التيار اللحظي فيها 21.25 A، ما مقدار أكبر تيار فعّال يمكن أن يمر بالدائرة؟

61. إذا كان فرق الجهد الكهربائي الداخل إلى محطة كهربائية يساوي 240000 V، فما النسبة بين عدد اللفات في المحول المستخدم إذا كان الجهد الخارج من المحطة يساوي 440 V؟

62. يتكون الملف الابتدائي في محول مثالي خافض من 100 لفة، ويتكون الملف الثانوي من 10 لفات. إذا وصلت بالمحول مقاومة حمل قدرتها 2.0 kW، فما مقدار التيار الفعّال الابتدائي؟ افترض أن مقدار الجهد في الملف الثانوي يساوي 60.0 V

63. سلك طوله 4.0 m يقطع خطوط مجال مغناطيسي شدته 2.0 T عموديًا، بسرعة 8.0 m/s

a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟

b. إذا كان السلك جزءًا من دائرة مقاومتها 6.4 Ω، فما مقدار التيار المار فيه؟

64. القيمة العظمى للجهد المتناوب، والذي يطبق على مقاوِم مقداره 144 Ω تساوي 1.00×10^{2} V، ما مقدار القدرة التي يمكن أن يعطيها المقاوِم الكهربائي؟

التفكير الناقد

65. **تطبيق المفاهيم** افترض أن هناك معارضاً لقانون لنز، يفيد أن القوة تعمل على زيادة التغير في المجال المغناطيسي. لذلك عندما تحتاج إلى طاقة أكبر يلزمنا قوة أقل لتشغيل المولد. فما قانون الحفظ الذي ينتهك بوساطة هذا القانون الجديد؟ وضّح إجابتك.

66. **حلل** لا تصل كفاءة المحولات العملية إلى 100% اكتب تعبيرًا يمثل كفاءة المحول بدلالة القدرة. إذا استخدم محول خافض كفاءته 92.5%، وعمل على خفض الجهد في المنزل من 125 V إلى 28.0 V، وكان التيار المار في دائرة الملف الثانوي يساوي 25.0 A، فما مقدار التيار المار في دائرة الملف الابتدائي؟

67. **حلل واستنتج** محول كهربائي كفاءته 95 % يزود ثمانية منازل. وكل منزل يشغل فرنًا كهربائيًا يسحب تيارًا مقداره 35 A بفرق جهد مقداره 240 V ما مقدار القدرة التي تزود بها الأفران الثمانية؟ وما مقدار القدرة المستنفدة في المحول في صورة حرارة؟

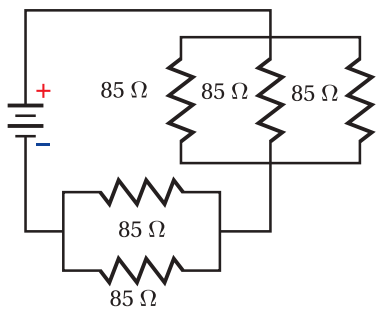
الكتابة في الفيزياء

68. صمّمت الأجهزة الشائعة مثل المثقب الكهربائي بصورة مثالية بحيث يحتوي على محرك شامل. ارجع إلى مكتبتك وبعض المصادر الأخرى لتوضح كيف يمكن لهذا النوع من الأجهزة استخدام تيار متناوب أو تيار مستمر.

مراجعة تراكمية

69. ما مقدار الشحنة على مكثف سعته 22 μF عندما يكون فرق الجهد بين لوحيه 48 V؟

70. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات الموضحة في الشكل 24–5.



الشكل 24–5

تقويم الفصل 5

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أي تحليل للوحدات يعدّ صحيحًا لحساب القوة الدافعة الكهربائية؟

Ⓐ (N.A.m)(J)

Ⓑ (N. A/m)(m)(m/s)

Ⓒ J.C

Ⓓ (N.m.A/s)(1/m)(m/s)

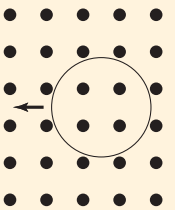
2. تولدت قوة دافعة كهربائية حثية مقدارها 4.20 V في سلك طوله 427 mm، يتحرك بسرعة 18.6 cm /s، ما مقدار المجال المغناطيسي الذي حث على توليد هذه القوة الدافعة الكهربائية؟

Ⓐ 5.29×10^{-4}T Ⓒ 0.334 T

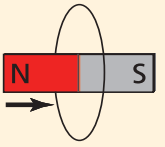
Ⓑ 1.89×10^{-2} T Ⓓ 52.9 T

3. في أي الأشكال الآتية لايتولد تيار حثي في السلك؟

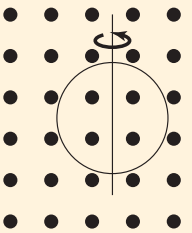
Ⓐ



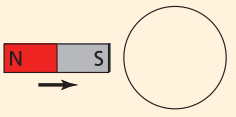
Ⓑ



Ⓒ



Ⓓ



4. يتحرك سلك طوله 15 cm بسرعة 0.12 m /s عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 1.4 T احسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة فيه.

Ⓐ 0 V Ⓒ 0.025 V

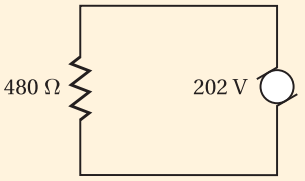
Ⓑ 0.018 V Ⓓ 2.5 V

5. يستخدم محول مصدرًا للجهد مقداره 91 V لتشغيل جهاز يعمل بجهد مقداره 13 V فإذا كان عدد لفات ملفه الابتدائي 130 لفة، والجهاز يعمل على تيار مقداره 1.9 A، فما مقدار التيار المعطى للملف الابتدائي؟

Ⓐ 0.27 A Ⓒ 4.8 A

Ⓑ 0.70 A Ⓓ 13.3 A

6. مولد تيار متناوب يعطى جهدًا مقداره 202 V كقيمة عظمى لسخان كهربائي مقاومته 480 Ω، ما مقدار التيار الفعّال في السخان؟



Ⓐ 0.298 A Ⓒ 2.38 A

Ⓑ 1.68 A Ⓓ 3.37 A

الأسئلة الممتدة

7. قارن بين القدرة المستهلكة في الأسلاك عند نقل قدرة مقدارها 800 W بفرق جهد مقداره 160 V في سلك، والقدرة الضائعة عند نقل القدرة نفسها بفرق جهد مقداره 960 V افترض أن مقاومة السلك 2 Ω، ما الاستنتاج الذي يمكن التوصل إليه؟

✓ إرشاد

استقص

استفسر من معلمك عن نوع الأسئلة المتوقعة في الاختبار، واطلب إليه أيضًا تزويدك باختبارات تدريبية حتى تصبح مواد الاختبار مألوفة لك.

الفصل 6

الكهرومغناطيسية
Electromagnetism

الفكرة العامة

تنتج الموجات الكهرومغناطيسية من الاهتزازات الناتجة عن المجالين الكهربائي والمغناطيسي معًا.

6-1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة

الفكرة الرئيسة : يمكن أن يستخدم إنحراف الجسيمات المتحركة في المجالين الكهربائي والمغناطيسي لتحديد خصائص هذه الجسيمات.

6-2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء

الفكرة الرئيسة :تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ وتتفاعل مع المادة.

يتوقع بعد الإنتهاء من دراسة هذا الفصل أن أكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المرتبطة بتفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة (النظير، مطياف الكتلة،).
- حل مسائل تتضمن التفاعل بين الجسيمات المشحونة والمجالات الكهربائية والمغناطيسية في مطياف الكتلة.
- توضيح كيف يعمل مطياف الكتلة على فصل الأيونات ذات الكتل المختلفة.
- توضيح المفاهيم المرتبطة بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء (موجة كهرومغناطيسية، العوازل الكهربائية، الهوائي، الطيف كهرومغناطيسي، الإشعاع كهرومغناطيسي، الكهرباء الإجهادية، المستقبل).
- وصف كيف تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء.
- حل مسائل تتضمن خصائص الموجات الكهرومغناطيسية.
- وصف العوامل المؤثرة في قدرة الهوائي على التقاط موجة كهرومغناطيسية بطول موجي محدد.
- حل مسائل تتضمن انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في المواد العازلة للكهرباء.
- تصميم تجارب وبناء نماذج تتعلق بالكهرومغناطيسية.
- استكشاف الاستخدامات العملية في الصناعة للأجهزة التي تعمل على الكهرومغناطيسية.
- توظيف المفاهيم والمعادلات والعلاقات في تطبيقات تتعلق بالكهرومغناطيسية.
- إدراك دور الكهرومغناطيسية في الحياة اليومية.

فكّر ◄

حصلت أطباق القطع المكافئ على اسمها من شكل السطح العاكس الذي يكون على صورة قطع مكافئ. لماذا تكون أطباق القطع المكافئ اللاقطة مناسبة جدًّا لاستقبال إشارات التلفاز الضعيفة؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

من أين تبث محطات الإذاعة؟

سؤال التجربة كم تبعد أجهزة الإرسال التي تبث إشارات محطة الإذاعة التي يمكنك الاستماع إليها على موجات AM؟

الخطوات

1. مدى تردد موجات الراديو AM يكون بين 540 kHz و1690 kHz، اعمل جدولاً للبيانات يتضمن أعمدة لكل من التردد (kHz)، واسم محطة إذاعة، وشدة الإشارة، والموقع، والبعد (km).
2. شغّل المذياع، واضبطه على التردد 540 kHz، واضبط علو الصوت عند مستوى معتدل.
3. **جمع البيانات وتنظيمها** عدّل التردد ببطء إلى أن تسمع محطة إذاعة تبث بوضوح. أصغ إلى البث فترة قصيرة لتسمع إشارتها واسمها، إذا ذكرت المحطة الإذاعية ذلك. ودوّن في جدول البيانات كلًّا من: تردد المحطة، وشدة الإشارة (قوية، متوسطة، ضعيفة) واسم المحطة.
4. كرّر الخطوة 3 حتى تصل إلى أعلى تردد في حزمة الـ AM لموجات الراديو؛ 1960 kHz.
5. حدّد المكان الذي تبث منه كل محطة إشاراتها، ودوّن اسم المدينة التي تبث منها كل محطة في جدول البيانات.
6. **القياس باستعمال الوحدات الدولية SI** باستخدام الخرائط، حدّد مواقع المدن التي تبث منها محطات الإذاعة، وقدّر بُعد هذه المدن عنك، ودوّن ذلك في جدول البيانات.

التحليل

ما بُعد أبعد محطة راديو عنك يمكنك التقاط موجاتها؟ وهل يؤثر بُعد محطة الإرسال في قوة إشارة المحطة؟

التفكير الناقد يؤثر تغيير موقع الهوائي غالبًا في قوة إشارة المحطة. ما دلالة ذلك على طبيعة موجات الراديو؟

6–1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة

Interactions of Electric and Magnetic Fields and Matter

الفيزياء في حياتك

توجد المياه على سطح كوكب المريخ في صورة جليد غالبًا، ويمثل الغطائين الجليديين في القطب الشمالي والجنوبي للكوكب معظم الجليد الموجود على السطح، كما كشفت الدراسات الطيفية بأشعة جاما عن وجود الجليد تحت سطح تربة المريخ.

تساؤلات جوهرية:

- كيف تمكن العلماء من حساب كتلة نظائر العنصر باستخدام النسبة $\frac{e}{m}$؟
- كيف يمكن تحديد سرعة الجسيمات المتحركة في المجالين الكهربائية والمغناطيسي، وكيف نجد النسبة $\frac{e}{m}$ لهذه الجسيمات؟
- كيف يمكن استخدام مطياف الكتلة لفصل نظائر العنصر؟

المفردات:

- النظير
- مطياف الكتلة

لعلك استخدمت أو سمعت ببعض الرموز والمصطلحات، مثل موجات الراديو القصيرة، وموجات الميكروويف، وإشارات التلفاز UHF و VHF، رغم أنك قد لا تعرف المعنى الدقيق لها؛ فكل منها يستخدم لوصف أحد أنواع الموجات الكهرومغناطيسية التي تبث عبر الهواء، وتصلك من خلال المذياع أو التلفاز أو أشكال الاتصالات الأخرى لتزودك بالمعلومات. وجميع هذه الموجات تتكون من مجالات كهربائية، ومغناطيسية تنتشر في الفضاء.

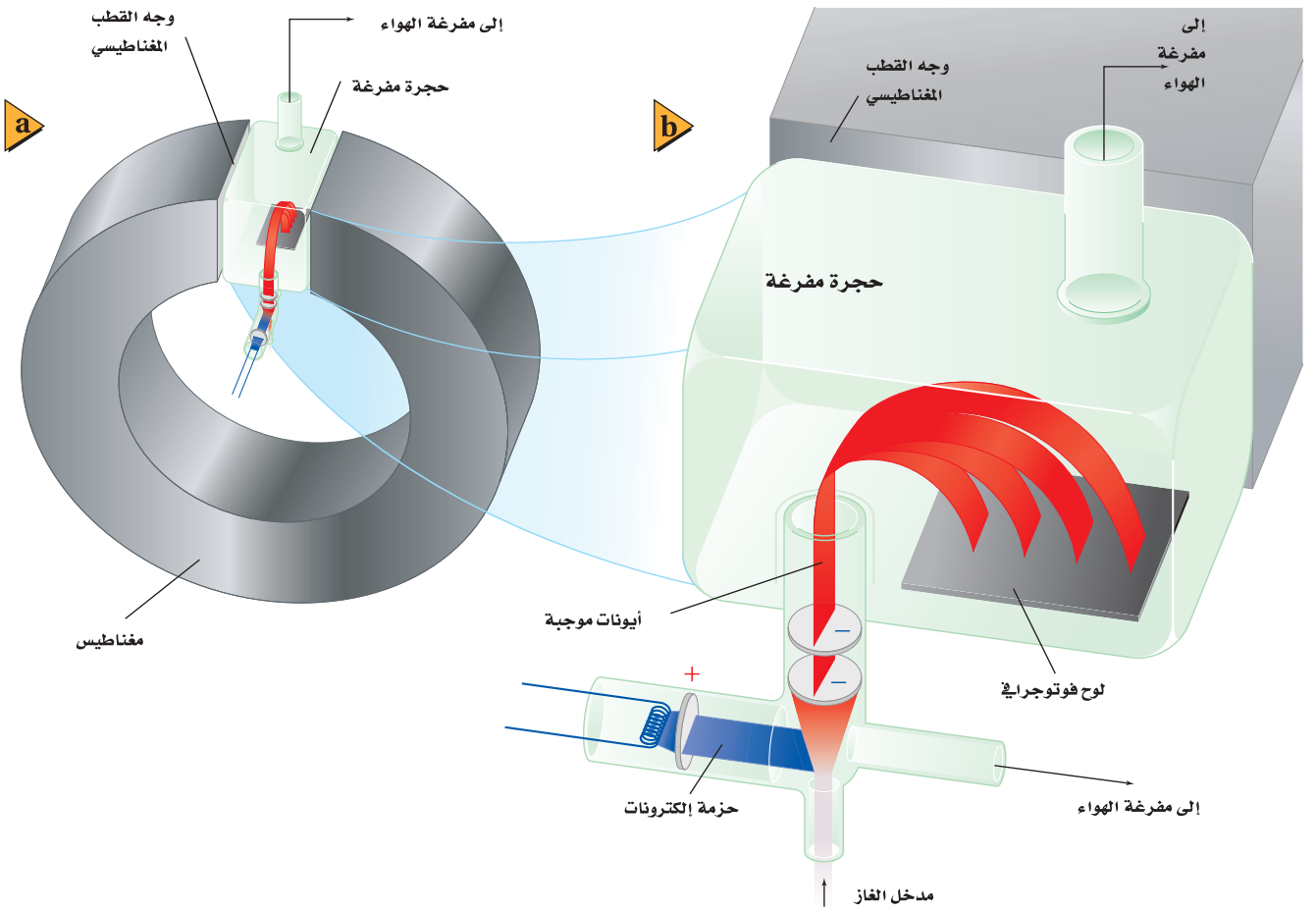
ومفتاح فهم سلوك هذه الموجات هو فهم طبيعة الإلكترون. لماذا؟ لأن الموجات الكهرومغناطيسية تنتج عن مسارعة الإلكترونات، وتنتج شحنة الإلكترونات مجالات كهربائية، وتنتج حركتها مجالات مغناطيسية. وفوق ذلك تبث هذه الموجات وتلتقط بوساطة الهوائيات. والهوائي يعدّ أداة مصنوعة من مادة تحتوي على إلكترونات أيضًا.

مطياف الكتلة Mass Spectrometer

مطياف الكتلة جهاز يستخدم لدراسة النظائر، وقياس النسبة بين شحنة الايون الموجب وكتلته q /m بدقة. والنظائر تمثل اشكالاً مختلفة للذرة نفسها لها الخصائص الكيميائية نفسها لكنها مختلفة الكتل، ويمكن حساب كتلة كل نظير بوساطة النسبة q/m .

وتسمى المادة التي تكون قيد الفحص والاستقصاء مصدرَ الأيون، وتستخدم لإنتاج الأيونات الموجبة. ويجب أن يكون مصدر الأيون هذا إما غازًا أو مادة يمكن تسخينها لتشكّل بخارًا. وتتشكل الأيونات الموجبة عند اصطدام الإلكترونات المسرّعة بالغاز أو بذرات البخار. حيث تؤدي تلك التصادمات إلى انتزاع الإلكترونات من الذرات لتتشكّل الأيونات الموجبة. وينتج فرق الجهد V بين الأقطاب مجالاً كهربائيًّا يستعمل لمسارعة الأيونات. ويوضّح **الشكل 1–6** أحد أنواع أجهزة مطياف الكتلة.

الشكل 1–6 يستخدم مطياف الكتلة لتحليل نظائر العنصر؛ حيث يعمل المغناطيس داخل المطياف على انحراف الأيونات الموجبة في الحجرة المفرغة وفق كتلها (**a**). وتسجّل العملية في الحجرة المفرغة على لوح فوتوجرافي أو على كاشف مصنّع من مادة في حالتها الصلبة (**b**).



تمر الأيونات أولاً داخل مجالات كهربائية لإكسابها سرعة محددة ثم مجالات مغناطيسية تؤدي إلى انحراف مسارها. وهناك تسلك مسارًا دائريًّا. ويمكن استخدام أنصاف أقطار المسارات لتحديد نسبة شحنة الأيونات إلى كتلتها.

النسبة بين الشحنة والكتلة ويمكن حساب نصف القطر r لمسار الأيون بوساطة القانون الثاني لنيوتن في الحركة.

$$Bqv = \frac{mv^2}{r}$$

وبحل المعادلة السابقة بالنسبة لـ r نجد أن:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

يمكن حساب سرعة الأيون غير المنحرف من علاقة الطاقة الحركية للأيونات المتسارعة من السكون خلال فرق جهد معلوم V.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = qV$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

وتعويض قيمة v في المعادلة $r=mv/qB$ يعطي نصف قطر المسار الدائري .

$$r = \frac{mv}{qB}$$

$$= \frac{\mathrm{m}}{q\mathrm{B}}\sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

$$= \frac{1}{\mathrm{B}}\sqrt{\frac{2Vm}{q}}$$

بتبسيط المعادلة عن طريق ضرب كلا طرفيها في المقدار B نحصل على:

$$Br = \sqrt{\frac{2mV}{q}}$$

ويمكن استخدام هذه المعادلة لحساب نسبة شحنة الأيون إلى كتلته.

نسبة شحنة الأيون إلى كتلته في مطياف الكتلة

$$\frac{q}{\mathrm{m}} = \frac{2V}{\mathrm{B}^2\mathrm{r}^2}$$

نسبة شحنة أيون إلى كتلته في مطياف الكتلة تساوي ضعفي فرق الجهد مقسومًا على حاصل ضرب مربع مقدار المجال المغناطيسي في مربع نصف قطر المسار الدائري للأيون.

وكما هو موضّح في **الشكل 1–6** ففي أحد أنواع مطياف الكتلة تصطدم الأيونات بصفائح أفلام فوتوجرافية تاركة نقطة. ويمكن قياس قطر المسار المنحنى الذي يسلكه الأيون في الحجرة المفرّغة بسهولة؛ لأنه يمثل المسافة بين تلك النقطة على الفيلم والشق الموجود في القطب. ولذلك يكون نصف قطر المسار r هو نصف هذه المسافة المقيسة.

تجربة

عمل نموذج لمطياف الكتلة

هيئ مستوى مائلاً بوضع كرة من الصلصال تحت أحد طرفي مسطرة فيها أخدود. ثم ضع كرة فولاذية قطرها 6 mm في منتصف المنحدر واتركها.

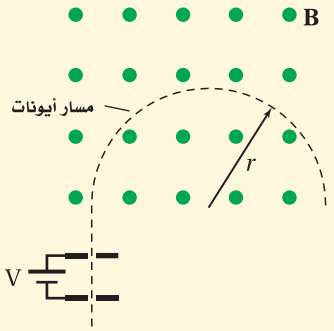
1. **لاحظ** الكرة في أثناء تدحرجها إلى أسفل المنحدر وعلى طول سطح الطاولة.
2. **جرّب** ضع مغناطيسًا قويًا بالقرب من المسار الذي تسلكه الكرة على سطح الطاولة. اجعل المغناطيس قريبًا من المسار بحيث تنحرف الكرة في مسار منحنٍ على ألا تصطدم بالمغناطيس. كرر الخطوة 1 وفق الحاجة.
3. **توقع** ماذا يحدث لمسار الكرة إذا تركت لتتدحرج من مكان أعلى أو من مكان أقل ارتفاعًا من السابق على المنحدر؟
4. اختبر توقعك.

التحليل والاستنتاج

5. **وضّح** ما إذا كانت النتائج الملاحظة تتفق مع الملاحظات الخاصة بالجسيمات المشحونة عند حركتها داخل المجال المغناطيسي.

مثـــــال 1

كتلة ذرة النيون ينتج مشغل مطياف الكتلة حزمة ذرات نيون ثنائية التأين (+2). حيث تُسرّع هذه الحزمة أولا بوساطة فرق جهد مقداره 34 V، ثم يتم إدخالها في مجال مغناطيسي مقداره 0.050 T، فتنحرف في مسار دائري نصف قطره 53 mm أوجد كتلة ذرة النيون إلى أقرب عدد صحيح من كتلة البروتون.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مسارًا دائريًّا للأيونات، وحدّد عليه نصف القطر.
- ارسم فرق الجهد بين القطبين وحدّده.

المعلوم

$m_{\text{بروتون}} = 1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg}$ $\quad V = 34\ \text{V}$

$q = 2(1.60 \times 10^{-19}\ \text{C})$ $\quad \text{B} = 0.050\ \text{T}$

$q = 3.2 \times 10^{-19}\ \text{C}$ $\quad r = 0.053\ \text{m}$

المجهول

$m_{\text{نيون}} = ?$

$m_{\text{بروتون}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة نسبة شحنة الأيون إلى كتلته في مطياف الكتلة.

$$\frac{q}{m_{\text{نيون}}} = \frac{2V}{\text{B}^2\text{r}^2}$$

$$m_{\text{نيون}} = \frac{q\text{B}^2\text{r}^2}{2V}$$

بالتعويض عن

$q = 3.20 \times 10^{-19}\ \text{C}$ ، $V = 34\ \text{V}$ ، $r = 0.053\ \text{m}$

$\text{B} = 0.050\ \text{T}$

$$m_{\text{نيون}} = \frac{(3.2 \times 10^{-19}\ \text{C})(0.050\text{T})^2\,(0.053\ \text{m})^2}{2(34\ \text{V})}$$

$$m_{\text{نيون}} = 3.3 \times 10^{-26}\ \text{kg}$$

بقسمة كتلة النيون على كتلة البروتون نجد عدد البروتونات.

$$\text{N}_{\text{بروتون}} = \frac{m_{\text{نيون}}}{m_{\text{بروتون}}} = \frac{3.3 \times 10^{-26}\ \text{kg}}{1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg/بروتون}} \cong 20\ \text{بروتون}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الكتلة إما بالجرام أو الكيلوجرام، وعدد البروتونات ليس له وحدة.
- **هل الجواب منطقي؟** النيون له نظيران بكتل تساوي تقريبًا 20 و 22 ضعف كتلة البروتون.

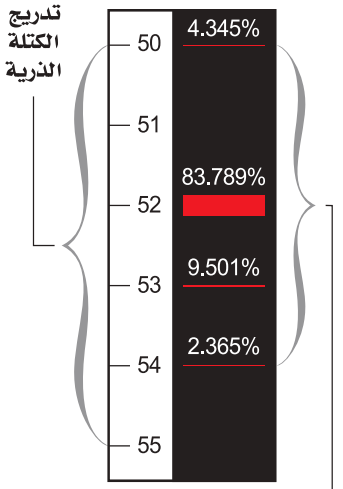
مسائل تدريبية

1. تمر حزمة من ذرات أكسجين أحادية التأين (+1) خلال مطياف الكتلة. فإذا كانت: $\text{B} = 7.2 \times 10^{-2}\ \text{T}$، $r = 0.085\ \text{m}$ ، $q = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}$، $V = 110\ \text{V}$، فأوجد كتلة ذرة الأكسجين.
2. تمر حزمة من ذرات ليثيوم أحادية التأين (+1) خلال مجال مغناطيسي مقداره $1.5 \times 10^{-3}\ \text{T}$ متعامد مع مجال كهربائي مقداره $6.0 \times 10^{2}\ \text{N/C}$ ولا تنحرف. أوجد سرعة ذرات الليثيوم التي تمر خلال المجالين.

تحليل النظائر يوضّح الشكل 2–6 المسافات التقريبية بين العلامات التي تتركها عينة كروم متأينة (Cr^{+}) على الفيلم. وعلى الرغم أن جميع أيونات الكروم التي اصطدمت بالفيلم لها الشحنة نفسها؛ حيث تعتمد شحنتها على عدد الإلكترونات التي فقدت من الذرات المتعادلة التي استخدمت مصدرًا للأيونات إلا أن العلامات الأربع الحمراء تشير إلى أن عينة الكروم تحتوي على أربعة نظائر. ويدل عرض العلامة على توافر وجود الأيون. لاحظ أن النظير 52 هو النظير الأكثر وجوداً، وأن مجموع نسب النظائر يساوي 100%، وكما تتذكر من الكيمياء فإن كتلة كل عنصر من العناصر المدرجة في الجدول الدوري يمثل متوسط كتل جميع النظائر المستقرة لذلك العنصر.

الربط مع الكيمياء

وتذكر أن الأيونات تتكون عند استخدام إلكترونات متسارعة في ضرب إلكترونات الذرات المتعادلة وتحريرها. وعند تحرير أول إلكترون نحصل على ذرة أحادية التأين (+1). وهناك حاجة إلى طاقة أكبر لتحرير الإلكترون الثاني من الذرة للحصول على ذرة ثنائية التأين (+2). ويمكن توفير هذه الطاقة الإضافية عن طريق مسارعة الإلكترونات إلى درجة كبيرة بتعريضها لمجال كهربائي كبير، أي أن الإلكترونات المتسارعة ذات الطاقة العالية يمكنها إنتاج أيونات أحادية وأيونات ثنائية. بهذه الطريقة يعمل مشغل مطياف الكتلة على اختيار شحنة الأيون الذي يجب دراسته.



الشكل 2–6 يستخدم مطياف الكتلة على نطاق واسع لتحديد نسب نظائر العنصر. ويبين التمثيل أعلاه نتائج تحليل العلامات الظاهرة على الفيلم بنظائر الكروم.

تطبيقات أخرى لمطياف الكتلة استخدامات أخرى متعددة؛ فمثلاً يمكن استخدام مطياف الكتلة لفصل عينة من اليورانيوم إلى النظائر المكونة لها. كما يستخدم أحيانًا لالتقاط وتحديد أثر كميات الجزيئات من عينة ما، وهذا التطبيق يستخدم على نطاق واسع في علوم البيئة والعلوم الجنائية. ويكون الجهاز حساسًا جدًّا، بحيث يكون الباحثون قادرين على فصل الأيونات ذات الكتل المختلفة، ويتمكنون أيضًا من تحديد وجود جزيء واحد في عينة تحتوي على عشرة مليارات جزيء.

6–1 مراجعة

3. **المجال المغناطيسي** يحسب نصف قطر المسار الدائري للأيون في مطياف الكتلة بوساطة العلاقة: $r=(1/B)\sqrt{2mV/q}$. استخدم هذه العلاقة لبيان كيف يعمل مطياف الكتلة على فصل الأيونات ذات الكتل المختلفة بعضها عن بعض.
4. **المجال المغناطيسي** باستعمال مطياف الكتلة الحديث، يمكن تحليل الجزيئات التي تعادل كتلتها كتلة مائة بروتون. إذا تم إنتاج أيونات أحادية من هذه الجزيئات باستخدام الجهد المسارع نفسه، فكيف يتغير المجال المغناطيسي للمطياف، بحيث تصطدم الأيونات بالفيلم؟
5. **نصف قطر المسار** يتحرك بروتون بسرعة $4.2\times10^{4}\ m/s$ لحظة مروره داخل مجال مغناطيسي مقداره 1.20 T احسب نصف قطر مساره الدائري.
6. **الكتلة** تم تسريع حزمة ذرات أكسجين ثنائية التأين (+2) بوساطة فرق جهد مقداره 232 V وعندما عبرت مجالاً مغناطيسيًّا مقداره 75 mT، سلكت مسارًا منحنيًا نصف قطره 8.3 cm أوجد مقدار كتلة ذرة الأكسجين.
7. **التفكير الناقد** كيف استنتج العالم بور أن شحنة ذرة الهيدروجين مفردة موجبة (+1)؟

6–2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء
Electric and Magnetic Fields in Space

الفيزياء في حياتك

تستخدم موجات الميكروويف في الرادارات وفي أفران الميكروويف وفي البلازما، وفي تقنية الاتصالات، والهاتف المحمول والبلوتوث والبث التلفزيوني..

تساؤلات جوهرية:

- كيف تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء؟
- كيف تختلف السرعة التي تنتشر بها الموجات الكهرومغناطيسية في المواد المختلفة؟
- كيف تنقل الموجات الكهرومغناطيسية المعلومات؟
- ما العوامل المؤثرة في قدرة الهوائي على التقاط موجة كهرومغناطيسية بطول موجي محدد؟

المفردات:

- موجة كهرومغناطيسية
- الهوائي
- الإشعاع الكهرومغناطيسي المُستقبل
- العوازل الكهربائية
- الطيف الكهرومغناطيسي
- الكهرباء الإجهادية

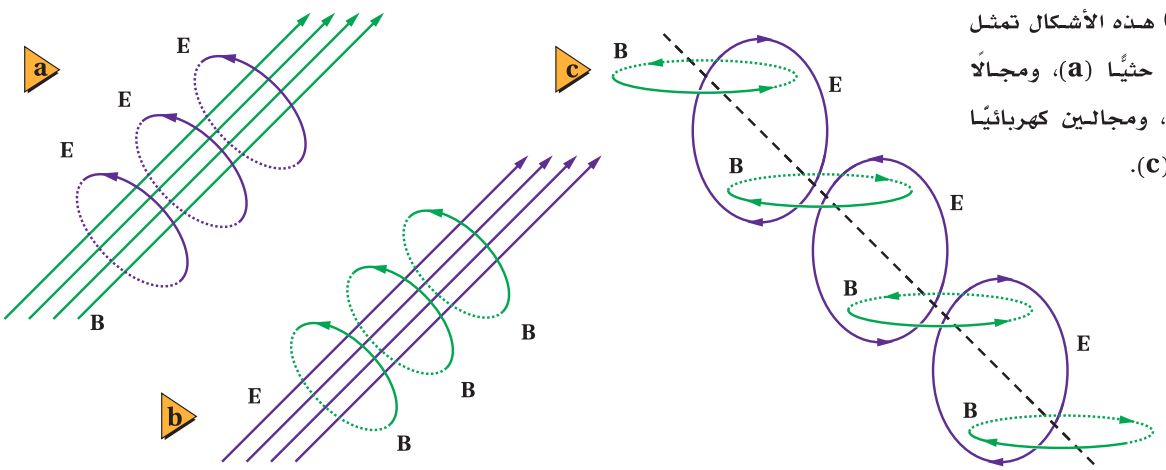
على الرغم من أنك قد لا تدرك الموجات الكهرومغناطيسية إلا أنك تعتمد عليها يوميًّا. فبث الإشارات من محطات الإذاعة والتلفزة، والأقمار الاصطناعية التي تدور حول الأرض، وحتى تلك الموجات الصادرة عن المجرات البعيدة، تعدّ جميعها موجات كهرومغناطيسية. وتستخدم الموجات الكهرومغناطيسية أيضًا في منتجات استهلاكية شائعة مثل أفران الميكروويف، وأجهزة التحكم عن بعد، والهواتف الخلوية وغيرها.

الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves

حدث تقدم كبير في فهم الموجات الكهرومغناطيسية خلال القرن التاسع عشر؛ وأدّت هذه التطورات إلى تطوير أجهزة، وتقنيات جديدة كان لها أثر كبير في المجتمع الحديث.

سلسلة من الإنجازات في عام 1821م بينما كان العالم الدنماركي أورستد يقدم عرضًا لطلابه لاحظ انحراف إبرة البوصلة عند اقترابها من سلك يسري فيه تيار كهربائي. ثم وجد العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية. وتوصل امبير إلى أن التيار المار بموصل يولد مجالاً مغناطيسيًّا، وأن التيار المتغير يولد مجالاً مغناطيسيًّا متغيرًا. ولقد أحدثت هذه الاكتشافات ثورة في الأوساط العلمية، وقادت إلى سيل من البحوث الجديدة.

وبعد مرور إحدى عشرة سنة على هذه التجارب، اكتشف كل من العالمين مايكل فارادي وجوزيف هنري كل على حدة، الحث الكهرومغناطيسي؛ والحث الكهرومغناطيسي هو إنتاج مجال كهربائي بسبب مجال مغناطيسي متغير. ومن المثير للاهتمام أن المجالات الكهربائية الحثية تتولد حتى لو لم يكن هناك أسلاك. كما هو موضّح في **الشكل 3a–6**. لذا فإن المجال المغناطيسي المتغير يولد مجالاً كهربائيًّا متغيرًا مماثلاً. لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي الحثي تشكل حلقات مغلقة، كما هو موضّح في **الشكل 3a–6**؛ وذلك لأنه لا توجد شحنات عند النقاط التي تبدأ منها خطوط المجال، أو عند النقاط التي تنتهي فيها، خلافًا للمجال الكهروسكوني.



الشكل 3–6 هذه الأشكال تمثل مجالًا كهربائيًا حثيًا (a)، ومجالًا مغناطيسيًا (b)، ومجالين كهربائيًا ومغناطيسيًا معًا (c).

افـترض الفيزيائـي الأسـكتلندي جيمـس ماكسـويل في عـام 1860م، أن عكـس الحـث صحيح أيضًا؛ فالتغير في المجال الكهربائي يولد مجالاً مغناطيسـيًّا متغيّرًا. وهذا موضّح في **الشكل 3b–6**. واقترح ماكسويل أيضًا أن الشحنات الكهربائية ليست ضرورية؛ فالمجال الكهربائـي المتغـير وحده يمكن أن يولد مجالاً مغناطيسـيًّا، وبعد ذلك توقع ماكسـويل أن كلًّا مـن الشـحنات المتسـارعة، والمجالات المغناطيسـية المتغـيرة، تولد مجـالات كهربائية ومغناطيسية تتحرك معًا في الفضاء.

ويسمى المجالان المغناطيسي والكهربائي المنتشران معًا في الفضاء **الموجات الكهرومغناطيسية**، أو موجة EM. واتجاهات المجالات التي تكوّن موجة كهرومغناطيسية موضّحة في **الشكل 5c–6**. وفي عـام 1887م أثبـت الفيزيائي الألماني هنريش هيرتز عمليًّا صحة نظرية ماكسـويل. كما أدت نظرية ماكسويل إلى وضع تصور كامل للكهرباء والمغناطيسية.

خصـائص الموجـات الكهرومغناطيسـية وجد مؤخـرًا أن سرعة الموجة الكهرومغناطيسـية تسـاوي تقريبًـا $3.00\times10^{8}\ m/s$، ويرمز لها الآن بالرمز c، وهـي سرعة الضوء. والضوء نوع من الموجات الكهرومغناطيسـية. وتنتقل سـائر أنواع الموجات الكهرومغناطيسـية في الفضـاء بسرعـة c. ويرتبـط كل من طـول الموجة الكهرومغناطيسـية وترددهـا وسرعتها بالعلاقة الآتية:

العلاقة بين الطول الموجي والتردد لموجة $\lambda = \frac{v}{f}$

الطول الموجي للموجة يساوي مقدار سرعتها مقسومة على ترددها.

في هذه المعادلة يقاس الطول الموجي λ بوحدة m، وتقاس السرعة v بوحدة m/s، ويقاس الـتردد f بوحـدة Hz. لاحـظ أن السرعة v لأي موجة كهرمغناطيسـية تنتقـل في الهواء أو الفـراغ تسـاوي سرعة الضوء c، ولذلك فـإن العلاقة الخاصة بالموجة الكهرومغناطيسـية تصبح كما يأتي:

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

حيث $c=3.00\times10^{8}\ m/s$

لاحظ أن حاصل ضرب الطول الموجي – لأي موجة كهرومغناطيسية – في التردد يكون مقدارًا ثابتًا يساوي c. ولذلك عندما يزداد الطول الموجي يقل التردد، والعكس صحيح. أي أن الموجـة الكهرومغناطيسـية ذات الطـول الموجـي الكبير لها تردد قليـل، بينما الموجة الكهرومغناطيسية ذات الطول الموجي الصغير لها تردد كبير.

مسائل تدريبية

8. ما مقدار طول موجة كهرومغناطيسية في الهواء إذا كان ترددها $3.2\times10^{19}\ Hz$؟
9. ما تردد موجة كهرومغناطيسية طولها الموجي $2.2\times10^{-2}\ m$؟

انتشار الموجات الكهرومغناطيسية خلال مادة يمكن أن تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية خلال المادة أيضًا؛ فسقوط أشعة الشمس على كأس زجاجية بها ماء مثال على انتقال موجات الضوء خلال ثلاث مواد مختلفة؛ الهواء والزجاج والماء. وهي مواد غير موصلة للكهرباء، وتسمى **العوازل الكهربائية**. وتكون سرعة الموجة الكهرومغناطيسية خلال العازل دائمًا أقل من سرعتها خلال الفراغ، ويمكن حسابها بالعلاقة الآتية:

$$v = \frac{c}{\sqrt{k}}$$

في هذه المعادلة تقاس سرعة الموجة v بوحدة m /s، وتقاس سرعة الضوء c بوحدة m /s، وقيمتها تساوي 3.00×10^{8} m /s، أما ثابت العزل الكهربائي النسبي K فليس له وحدات. وفي الفراغ فإن K=1.00000 وسرعة الموجة تساوي c. أما في الهواء فإن K=1.00054، ولذلك تنتقل الموجة الكهرومغناطيسية في الهواء بسرعة أقل قليلًا من c.

التجربة العملية:

ما المواد التي تحجب الموجات الكهرومغناطيسية (موجات الراديو)؟

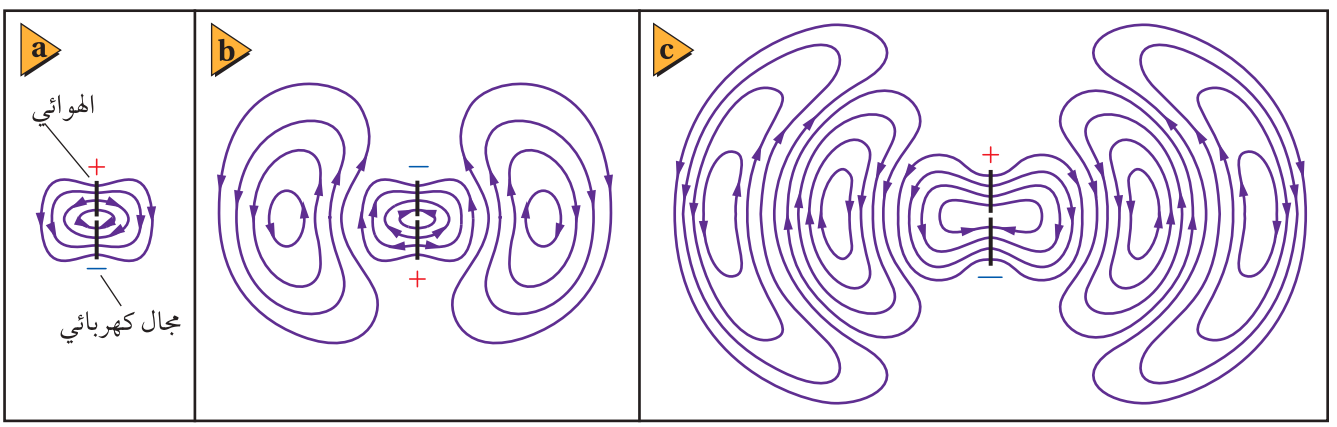
مسائل تدريبية

10. ما مقدار سرعة الموجة الكهرومغناطيسية المنتقلة في الهواء؟ استخدم c = 299792458 m /s في حساباتك.

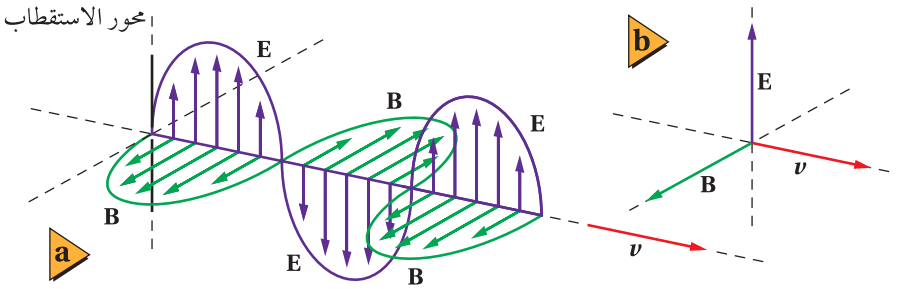
11. إذا كان ثابت العزل الكهربائي للماء 1.77 فما مقدار سرعة انتقال الضوء في الماء؟

12. إذا كانت سرعة الضوء خلال مادة يساوي 2.43×10^{8} m /s فما مقدار ثابت العزل الكهربائي للمادة؟

انتشار الموجات الكهرومغناطيسية عبر الفضاء تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية من مصدرها كما هو موضح في **الشكل 4–6**. **والهوائي** سلك يتصل بمصدر تيار متناوب مصمّم لبث واستقبال الموجات الكهرومغناطيسية. يولد المصدر المتناوب فرقًا متغيرًا في الجهد خلال الهوائي الذي يهتز بتردد مساوٍ لتردد مصدر الجهد، وهذا الفرق في الجهد المتناوب يولّد مجالاً كهربائيًّا متغيرًا مماثلاً؛ منتشرًا ومبتعدًا عن الهوائي. والمجال الكهربائي المتغير يولد أيضًا مجالاً مغناطيسيًّا متغيرًا متعامدًا مع الصفحة. وعلى الرغم من أن المجال المغناطيسي غير ظاهر في **الشكل 4–6** إلا أنه ينتشر مبتعدًا عن الهوائي. وينشأ عن ترابط المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية معًا موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الفضاء بسرعة الضوء.



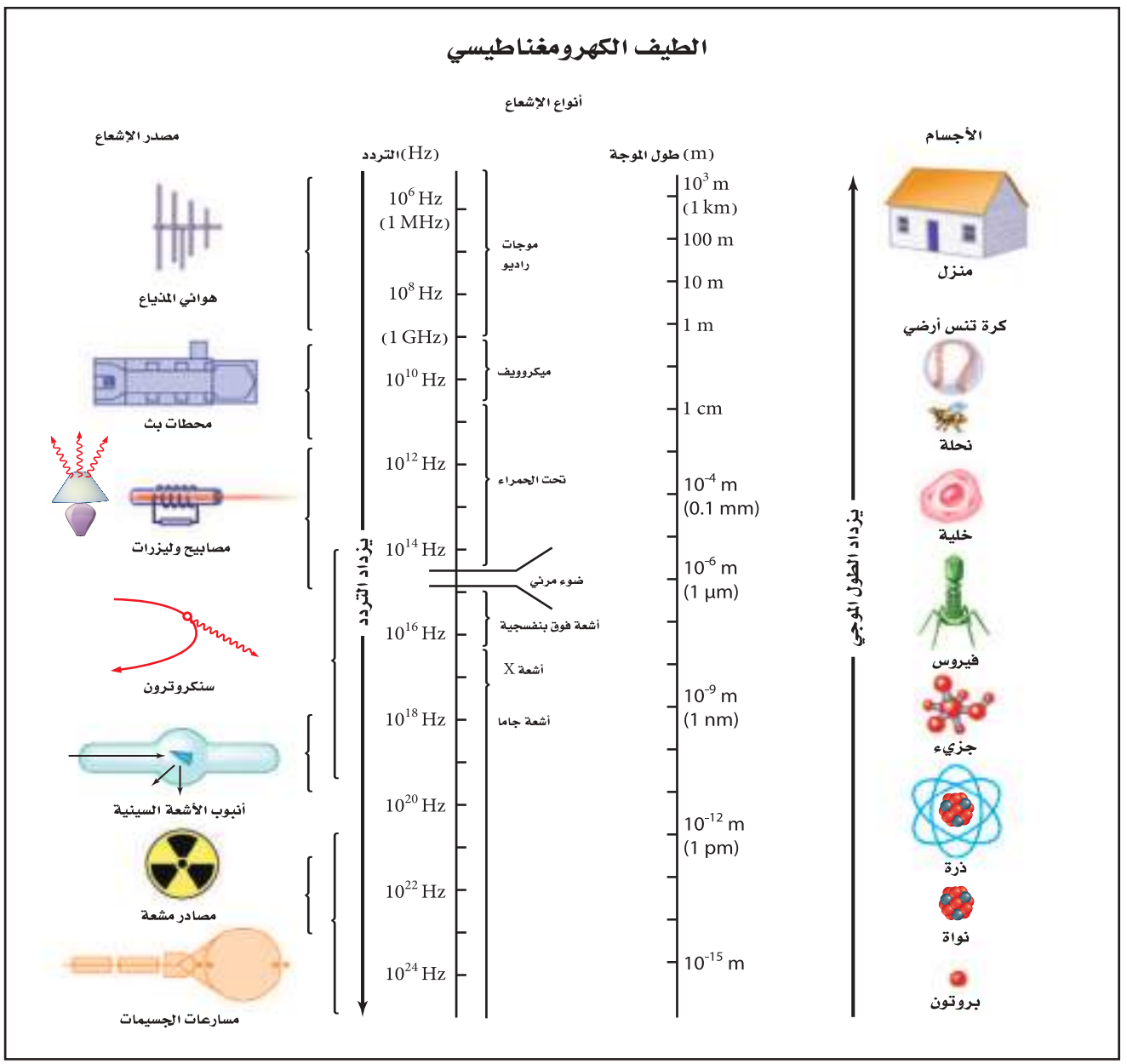
■ **الشكل 4–6** يولّد مصدر التيار المتناوب الموصول بالهوائي فرق جهد متغيرًا في الهوائي، وهذا التغير في فرق الجهد يولد مجالًا كهربائيًا متغيرًا (**a**). يولد المجال الكهربائي المتغير مجالاً مغناطيسيًا متغيرًا. والمجال المغناطيسي المتولد بدوره يولد مجالاً كهربائيًا. وتستمر هذه العملية فتنتشر الموجة الكهرومغناطيسية مبتعدة عن الهوائي. (**b**) و (**c**).



الشكل 5–6 أجزاء من المجالين الكهربائي والمغناطيسي المتولدين بوساطة الهوائي قد تبدو في لحظة ما كما هو موضّح (a). لاحظ أن المجالين الكهربائي والمغناطيسي متعامدان، وعموديان على اتجاه سرعة الموجة v (b).

ولو أمكن رؤية الموجات الكهرومغناطيسية فستظهر على شكل مجالات متغيرة، كما في **الشكل 5–6**. حيث يتذبذب المجال الكهربائي إلى أعلى وإلى أسفل، بينما يتذبذب المجال المغناطيسي بزوايا قائمة مع المجال الكهربائي. وكلا المجالين متعامدين على اتجاه حركة الموجة. لاحظ أن الموجة الكهرومغناطيسية الناتجة بوساطة الهوائي تكون مستقطبة؛ وذلك لأن المجال الكهربائي يكون موازيًا لموصل الهوائي.

الشكل 6–6 يزوّدنا المخطط أدناه بأمثلة لأنواع مختلفة من الأشعة الكهرومغناطيسية وأطوالها الموجية.



مسألة تحدٍ

يشكّل الضوء المرئي جزءًا بسيطًا فقط من الطيف الكهرومغناطيسي. وأطوال الموجات لبعض ألوان الضوء المرئي موضحة في **الجدول 1–6**.

1. أي ألوان الضوء له أكبر طول موجي؟
2. أي الألوان ينتقل أسرع في الفراغ؟
3. الموجات ذات الطول الموجي الأكبر تحيد حول الأجسام التي تعترض مساراتها أكثر من الموجات ذات الطول الموجي الأقصر. أي الألوان سيحيد بدرجة أكبر، وأيها سيحيد بدرجة أقل؟
4. احسب مدى التردد لكل لون من ألوان الضوء المعطاة في **الجدول 1–6**.

الجدول 1–6

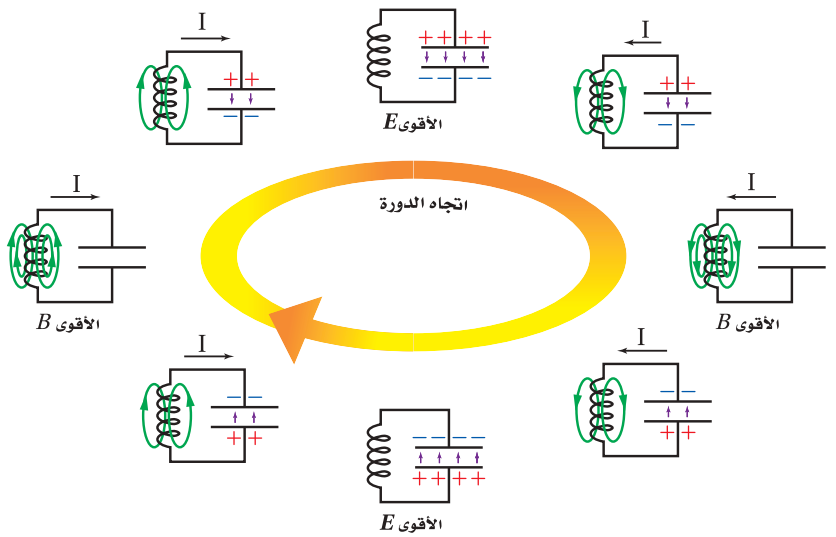
أطوال موجات الضوء المرئي

اللون	الطول الموجي (nm)
نيلي–بنفسجي	390 حتى 455
أزرق	455 حتى 492
أخضر	492 حتى 577
أصفر	577 حتى 597
برتقالي	597 حتى 622
أحمر	622 حتى 700

توليد الموجات الكهرومغناطيسية
Producing Electromagnetic Waves

الموجات من مصدر متناوب يمكن لمصدر متناوب متصل بالهوائي أن يرسل موجات كهرومغناطيسية، ويكون تردد الموجة مساويًا لتردد دوران مولد التيار المتناوب، ويُحدد بـ 1 kHz تقريبًا. ومدى الترددات والأطوال الموجية التي تشكل جميع أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي موضّحة في **الشكل 6–6**، وتسمى **الطيف الكهرومغناطيسي**.

الموجات الناتجة من ملف ومكثف كهربائي الطريقة الشائعة لتوليد موجات كهرومغناطيسية ذات ترددات كبيرة هي استخدام ملف ومكثف كهربائي يتصلان معًا على التوالي. فإذا شحن المكثف بوساطة بطارية فسوف يُنتج فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه مجالاً كهربائيًّا. وعند فصل البطارية يفقد المكثف شحنته المخزّنة عن طريق تدفق الإلكترونات خلال الملف، مولدة فيه مجالاً مغناطيسيًّا. وعندما يفقد المكثف كامل شحنته ينهار المجال المغناطيسي للملف، فتتولد قوة دافعة كهربائية حثية عكسية، ويعاد شحن المكثف بحيث يصبح اللوح الموجب سالبًا واللوح السالب موجبًا، وتتكرر العملية. وعند توصيل هوائي بالمكثف تُبث مجالات المكثف في الفضاء. ويوضّح **الشكل 7–6** دورة اهتزازية كاملة.



الشكل 7–6 يوضح الشكل دورة اهتزازية كاملة لدائرة مكثف كهربائي وملف. ويحدد حجم كل من المكثف والملف عدد الاهتزازات كل ثانية للدائرة والتي تساوي تردد الموجة الناتجة.

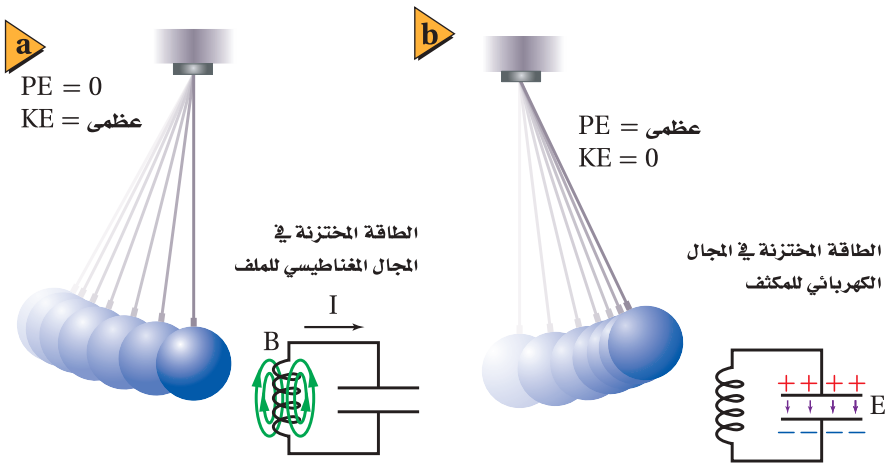
تطبيق الفيزياء

الترددات تحدّد الوزارة المعنية في كل دولة موجة حاملة بترددات محددة لكل محطة من محطات الإذاعة أو التلفاز التي تبث من أراضيها. تبث المحطة عن طريق تغيير موجاتها الحاملة. وعند التقاط الموجة بوساطة المذياع أو التلفاز تنتزع الموجة الحاملة بعيدًا، وتتم معالجة المعلومات التي تحملها الموجة، بحيث يمكنك السماع أو المشاهدة.

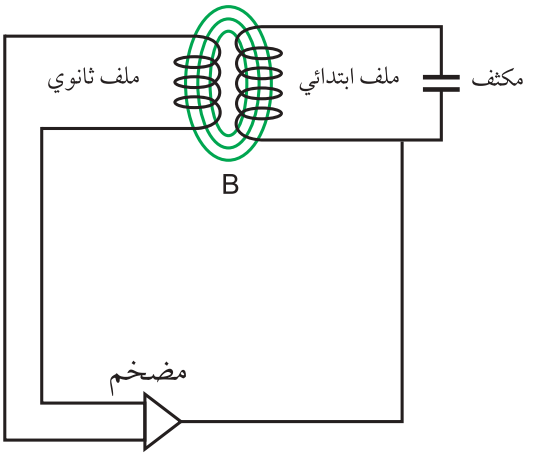
التشابه مع تأرجح البندول يمكن مقارنة العملية التي تحدث في دائرة الملف والمكثف بدورة اهتزاز بندول متأرجح، كما هو موضّح في **الشكل 8–6**. افترض أن الإلكترونات في الملف والمكثف تمثل بكرة البندول. سيكون لكرة البندول المتحركة أكبر سرعة متجهة عند أخفض نقطة في مسارها؛ حيث تكون طاقتها الحركية KE أكبر ما يمكن، أما طاقة وضعها PE الناتجة عن الجاذبية فتساوي صفرًا. وهذه النقطة في حركة البندول الموضّحة في **الشكل 8a–6** تماثل تمامًا القيمة العظمى للتيار المار في الملف عندما تبلغ شحنة المكثف صفرًا. وعندما تصل كرة البندول إلى قمة مسار تأرجحها تصبح كل من إزاحتها الرأسية وطاقة وضعها PE قيمًا عظمى، في حين تكون طاقتها الحركية صفرًا؛ لأن سرعتها المتجهة صفراً. وهذه النقطة في الحركة الموضّحة في **الشكل 8b–6** تشبه الحالة التي يكون فيها للمكثف أكبر شحنة، في حين يكون التيار في الملف صفرًا.

الطاقة في دائرة المكثف والملف كما درست في الفقرة السابقة تكون طاقة الوضع PE لبندول أكبر ما يمكن عندما تكون إزاحته الرأسية أكبر ما يمكن. وتكون طاقته الحركية KE أكبر ما يمكن عندما تصبح سرعته المتجهة أكبر ما يمكن. ويكون مجموع KE و PE –الطاقة الكلية– ثابتًا خلال حركة البندول. في دائرة الملف والمكثف، يحتوي كل من المجال المغناطيسي المتولد بوساطة الملف والمجال الكهربائي المتولد في المكثف على طاقة. وعندما يكون التيار في قيمته العظمى تكون الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي في قيمتها العظمى ايضاً، وعندما يصبح التيار صفرًا يكون المجال الكهربائي في المكثف قيمة عظمى، وتصبح الطاقة جميعها ممثلة في المجال الكهربائي. وتكون الطاقة الكلية للدائرة (مجموع طاقتي المجالين الكهربائي المغناطيسي والطاقة الحرارية الضائعة في الأسلاك، والطاقة المحمولة بعيدًا بوساطة الموجات الكهرومغناطيسية المتولدة) تساوي مقدارًا ثابتًا. والطاقة التي تحمل أو تشع على شكل موجات كهرومغناطيسية تسمى **الإشعاع الكهرومغناطيسي**.

كما يتوقف البندول المتأرجح في نهاية المطاف إذا ترك وحده، فإن الاهتزازات الناتجة عن دائرة الملف والمكثف تتخامد بعد فترة بسبب مقاومة الدائرة وسواها. ويمكن المحافظة على الاهتزازات في النظامين عن طريق إضافة مصدر طاقة؛ فالتأثير بدفعة خفيفة في أوقات مناسبة سيحافظ على تأرجح البندول واستمراره في الاهتزاز. ويحدث أكبر اتساع للتأرجح عندما يتطابق تردد الدفعات مع تردد الحركة التأرجحية، وهذا هو شرط الرنين



الشكل 8–6 حركة البندول مماثلة لفعل الإلكترونات في دائرة الملف والمكثف. فحركة كرة البندول مماثلة لسريان التيار في الدائرة (a). النقطة التي تتوقف عندها حركة البندول في النهاية مماثلة لحالة انعدام التيار في الدائرة (b).



الشكل 9–6 في المحول تكون الاهتزازة المكبرة الناتجة عن الملف الثانوي في حالة رنين مع دائرة الملف والمكثف، وتحافظ على استمرار حدوث الاهتزازات.

وبالمثل إذا زودت دائرة الملف والمكثف بنبضات جهد بترددات مناسبة فإنها تحافظ على استمرار حدوث الاهتزازات في الدائرة. وهناك طريقة لعمل ذلك تتمثل في إضافة ملف آخر إلى الدائرة لتشكيل محول. ففي المحول الموضّح في **الشكل 9–6** يزداد التيار المتناوب الحثي الناتج في الملف الثانوي بوساطة مضخم، ويعاد إلى الملف والمكثف. في هذا النوع من الدوائر يمكن توليد ترددات تصل إلى 400 MHz تقريبًا.

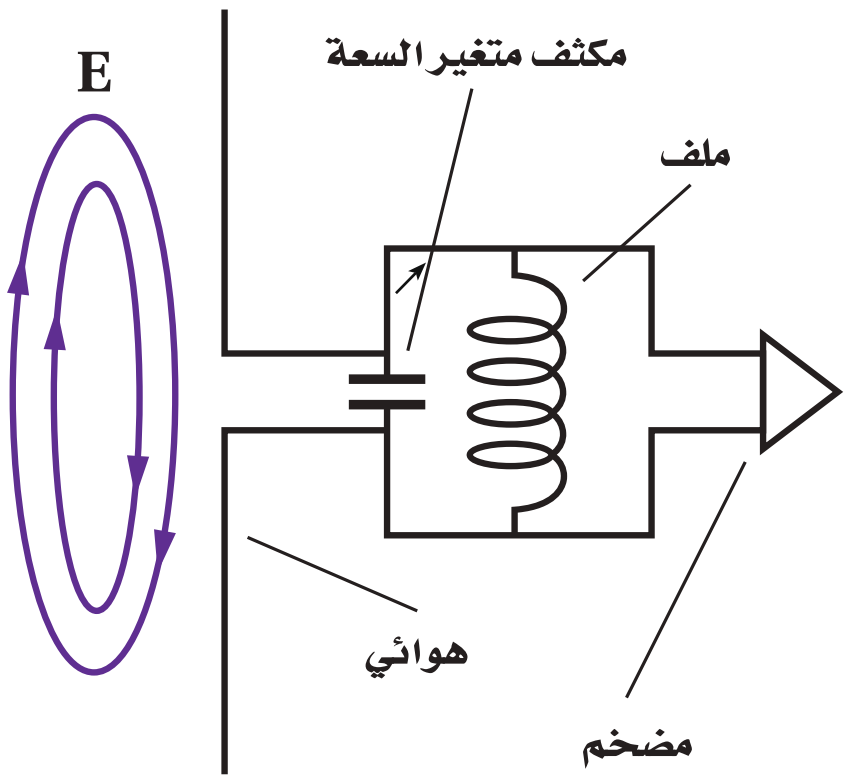
استقبال الموجات الكهرومغناطيسية
Reception of Electromagnetic Waves

الآن وبعد أن عرفت كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية وبثها، فكيف تتوقع طريقة استقبالها؟ إن التقاط هذه الموجات يتطلب هوائيًّا. كما هو موضح في **الشكل 10–6**، حيث أن المجالات الكهربائية للموجة تسارع الإلكترونات في المادة المكونة للهوائي، ويكون التسارع أكبر ما يمكن عندما يوجه الهوائي في اتجاه استقطاب الموجة نفسه. وهذا يحدث عندما يكون الهوائي موازيًا لاتجاه المجالات الكهربائية للموجة. حيث يتذبذب فرق الجهد الذي يعبر الهوائي بتردد الموجة الكهرومغناطيسية نفسه. عندما يكون الهوائي ذو طرفين يصبح الجهد قيمة عظمى له، عندما يكون طول الهوائي مساويًا لنصف الطول الموجي للموجة التي نريد التقاطها، أما عندما يكون ذو طرف واحد فتتولد قوة دافعة كهربائية عظمى عندما يكون طول الهوائي مساوياً لربع الطول الموجي للموجة. ولهذا السبب يكون الهوائي المصمم لالتقاط موجات الراديو وموجات التلفاز أطول كثيرًا من الهوائي المصمم لالتقاط موجات الميكروويف.

الهوائي المكون من سلك عندما يتمكن هوائي مكون من سلك واحد من الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية، فإن استخدام عدة أسلاك يكون أكثر فعالية. فغالبًا يتكون هوائي التلفاز من سلكين أو أكثر تفصل بينهما مسافة تعادل ربع الطول الموجي للموجة. وتشكل المجالات الكهربائية الناتجة عن أسلاك منفردة أنماط تداخل بنائي تعمل على تقوية شدة الإشارة.

الهوائي المكون من طبق من المهم أن تعرف أن جميع الموجات الكهرومغناطيسية – وليس موجات الضوء المرئية فقط – لها خصائص الانعكاس والانكسار والحيود، ولذلك يجب ألا نستغرب أن الأطباق اللاقطة كتلك الموضحة في بداية هذا الفصل تعمل على عكس الموجات الكهرومغناطيسية القصيرة جدًّا، تمامًا كما تعكس مرايا القطع المكافئ موجات الضوء المرئي، وتكون مساحة سطح الطبق اللاقط كبيرة؛ وذلك لجمع الموجات وتركيزها، وهذه المساحة تجعله قادرًا على التقاط موجات الراديو الضعيفة. ويعمل الطبق اللاقط على عكس الموجات التي يستقبلها، وتركيزها على جهاز يسمى اللاقط يثبت بوساطة ثلاثة قوائم فوق الطبق، ويحتوي اللاقط على هوائي قصير ثنائي القطب، ويعمل على إرسال إشارات إلى **المستقبل** الذي يتكون من جهاز هوائي يحوي دائرة ملف ومكثف، وكاشف لفك شفرة الإشارة وتحليلها، بالإضافة إلى مضخم.

اختيار الموجات كما تعلم، هناك العديد من محطات الإذاعة والتلفاز التي تبث الموجات الكهرومغناطيسية المختلفة في الوقت نفسه. فإذا أردنا أن نستقبل المعلومات التي تبث من محطة ما، فإنه يجب اختيار الموجات الخاصة بهذه المحطة، ولاختيار موجات ذات تردد معين (ورفض باقي الموجات) يستخدم الموالف، وهو عبارة عن دائرة مكثف وملف متصل بالهوائي. وتعدل السعة الكهربائية للمكثف حتى يصبح تردد اهتزازات الدائرة مساويًا لتردد الموجة المطلوبة. وعندما يحدث ذلك تعمل الموجات ذات التردد المطلوب اهتزازات محددة للإلكترونات في الدائرة.



الشكل 10–6 المجالات الكهربائية المتغيرة لإشارة المحطة الإذاعية تعمل على مسارعة الإلكترونات الموجودة في الهوائي. ثم تحلل المعلومات المحمولة على الإشارة وتضخمها ثم تستخدم لتشغيل سماعة أو مكبر صوت.

الطاقة من الموجات تحمل الموجات الطاقة بالإضافة إلى حملها للمعلومات؛ فترددات موجات الميكروويف والأشعة تحت الحمراء تجعل الموجات تعمل على مسارعة الإلكترونات في الجزيئات؛ حيث تتحول طاقة الموجات إلى طاقة حرارية في الجزيئات. وهذه هي طريقة عمل فرن الميكروويف في تسخين الطعام.

ويمكن لموجات الضوء أيضًا نقل الطاقة إلى الإلكترونات؛ ففي الأفلام الفوتوجرافية تستخدم هذه الحقيقة؛ حيث تعمل الطاقة في موجات الضوء على إحداث تفاعلات كيميائية داخل الفيلم، فتكون النتيجة تسجيلًا دائمًا للضوء القادم من الجسم، والساقط على الفيلم. وفي الترددات الكبيرة – ومنها الأشعة فوق البنفسجية UV – تسبب الإشعاعات حدوث العديد من التفاعلات الكيميائية، ومنها تلك التي تحدث في الخلايا الحية وتسبب حروق الشمس وسمرة الجلد، واحياناً الأمراض الخطيرة.

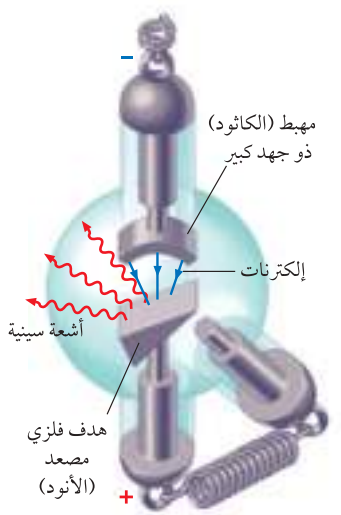
الربط مع الأحياء

الموجات الناتجة بوساطة الكهرباء الإجهادية لا تعدّ الملفات والمكثفات الطريقة الوحيدة لتوليد الجهود المتذبذبة. فبلورات الكوارتز تتشوه عند تطبيق جهد كهربائي عبرها، وتعرف هذه الخاصية باسم **الكهرباء الإجهادية**. فعند تطبيق جهد متناوب على مقطع عرضي من بلورة كوارتز تنتج اهتزازات مستمرة. ، تمامًا كما في اهتزاز قطعة فلزية عند ثنيها وتركها تهتز؛ حيث يمكن فصل بلورة الكوارتز وتطبيق جهد معين عليها، فتتشوه وتبدأ في الاهتزازة بترددات محدّدة، وتكون العلاقة بين سمك البلورة وتردد الاهتزازة خطية عكسية، وخاصية الكهرباء الإجهادية تولد أيضًا قوة دافعة كهربائية عندما تتشوه البلورة. ولأن هذه القوة الدافعة الكهربائية تنتج بتردد مساوٍ لتردد البلورة نفسه، فإنه يمكن تضخيمها وإعادتها إلى البلورة؛ للمحافظة على استمرار الاهتزاز. وتستخدم بلورات الكوارتز عادة في الساعات؛ لأن ترددات اهتزازاتها ثابتة تقريبًا.

الأشعة السينية X Rays

كيف تتكون الأشعة السينية؟ أسقط الفيزيائي الألماني وليام رونتجن عام 1895م إلكترونات خلال أنبوب مفرّغ مماثل للأنبوب الموضّح في **الشكل 11–6**. واستخدم فرق جهد كبيرًا جدًّا خلال الأنبوب لإكساب الإلكترونات طاقات حركية كبيرة. وعند اصطدام الإلكترونات بهدف فلزي (الأنود) داخل الأنبوب لاحظ رونتجن توهج شاشة فوسفورية قريبة. استمر التوهج حتى عند وضع قطعة خشب بين الأنبوب والشاشة، فاستنتج رونتجن أن هناك نوعًا من الأشعة ذات النفاذية الكبيرة قد خرجت من الأنبوب.

لأن رونتجن لم يتعرف هذه الإشعاعات الغريبة فقد سماها الأشعة السينية. وبعد أسابيع قليلة لاحظ رونتجن أن الألواح الفوتوجرافية أصبحت معتمة بسبب الأشعة السينية، كما اكتشف أيضًا أن أنسجة الجسم اللينة كانت شفافة بالنسبة للأشعة السينية، في حين لا تنفذ الأشعة السينية من العظام. ولقد عمل صورة بالأشعة السينية لكف زوجته. وفي غضون أشهر استفاد الأطباء من الاستعمالات الطبية القيمة لهذه الظاهرة.



الشكل 11–6 تنبعث الأشعة السينية عند اصطدام إلكترونات ذات طاقة كبيرة بهدف فلزي داخل أنبوب الأشعة السينية. ويمكن تغيير الهدف لإنتاج أشعة سينية بأطوال موجية مختلفة.

ومن المعلوم الآن أن الأشعة السينية هي موجات كهرومغناطيسية ذات تردد كبير. وفي أنبوب الأشعة السينية تُسرّع الإلكترونات أولاً بوساطة فرق جهد كبير قد يصل إلى 20000 V، أو أكثر لإكسابها سرعة كبيرة جدًّا. وعندما تصطدم الإلكترونات بالمادة تتحول طاقتها الحركية الكبيرة إلى موجات كهرومغناطيسية ذات تردد كبير تسمى الأشعة السينية.

وتسارع الإلكترونات في أنابيب الأشعة السينية يشبه تسارعها في أنبوب الأشعة المهبطية كأنبوب تكوّن الصور في التلفاز. فعندما تصطدم الإلكترونات بالسطح الداخلي لشاشة التلفاز تتوقف فجأة مسببة توهج الفوسفور الملوّن. ويمكن لهذا التوقف المفاجئ للإلكترونات أيضًا توليد أشعة سينية ضارة، ولذلك يحتوي السطح الداخلي لشاشة التلفاز على مادة الرصاص لإيقاف الأشعة السينية وحماية المشاهدين.

6–2 مراجعة

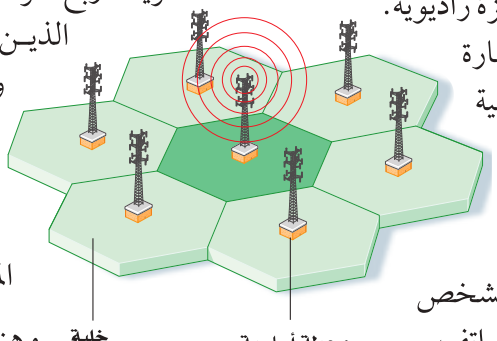
13. **انتشار الموجات** وضح كيف يمكن للموجات الكهرومغناطيسية أن تنتشر في الفضاء.
14. **التردد** ما تردد موجة كهرومغناطيسية طولها الموجي 1.5×10^{-5} m؟
15. **إشارات التلفاز** تحتوي هوائيات التلفاز عادة على قضبان فلزية أفقية. استنادًا إلى هذه المعلومات، ما استنتاجك حول اتجاهات المجالات الكهربائية في إشارات التلفاز؟
16. **تصميم الهوائي** لبعض قنوات التلفاز ترددات أقل من ترددات حزمة FM في المذياع، في حين أن قنوات أخرى لها ترددات أكبر كثيرًا. ما الإشارة التي تحتاج إلى هوائي أطول: القنوات ضمن المجموعة الأولى أم القنوات ضمن المجموعة الثانية؟ علل إجابتك.
17. **ثابت العزل الكهربائي** إذا كانت سرعة الضوء في مادة مجهولة هي 1.98×10^{8} m/s فما مقدار ثابت العزل الكهربائي للمادة المجهولة؟ علمًا بأن سرعة الضوء في الفراغ تساوي 3.00×10^{8} m
18. **التفكير الناقد** تحجب معظم الأشعة فوق البنفسجية UV الناتجة عن الشمس بوساطة طبقة الأوزون في الغلاف الجوي للأرض. اكتشف العلماء في السنوات الأخيرة أن طبقة الأوزون فوق القطب الجنوبي، وفوق المحيط المتجمد الشمالي أصبحت رقيقة. استخدم ما تعلمته عن الموجات الكهرومغناطيسية والطاقة لتوضح لماذا يشعر بعض العلماء بقلق بالغ من ترقق طبقة الأوزون؟

التقنية والمجتمع

الهواتف الخلوية Cellular Phones

هل لديك هاتف خلوي؟ كان الهاتف الخلوي (الجوال) في الماضي القريب نادر الاستعمال وباهظ الثمن، أما الآن فقد أصبح شائعًا ومتوافرًا، ويستخدمه معظم الناس.

شبكات الجوال أخذ الهاتف الخلوي هذا الاسم من طريقة تقسيم الشركات للمدن إلى مناطق صغيرة تسمى الخلايا، ولكل خلية شكل سداسي خلال شبكة سداسية كبيرة. وتكون مساحة الخلايا عادة 26 كيلومترًا مربعًا، وتتغير وفق طبيعة المنطقة، وعدد مالكي الأجهزة الخلوية في المنطقة. ويوجد في كل خلية محطة أساسية تتكون من برج وصناديق أو غرف تحتوي على معدات وأجهزة راديوية. عندما تجرى مكالمة فإنك تُرسل الإشارة من هاتفك إلى المحطة الأساسية الواقعة في خليتك، ثم ترسل هذه الإشارة من المحطة الأساسية المحلية إلى المحطة الأساسية الواقعة في المنطقة التي يكون فيها الشخص الذي اتصلت به. كيف تتواصل الهواتف الخلوية مع المحطات الأساسية؟



تستخدم الهواتف الخلوية موجات راديوية لإرسال المعلومات واستقبالها من المحطات الأساسية وإليها. ويعمل الهاتف الخلوي مرسلًا ومستقبلًا للموجات الراديوية في آن واحد، فيعمل جهاز الإرسال في الهاتف على تحويل الصوت إلى موجة مشفرة على صورة موجة ترددية راديوية، ثم يرسل الموجة الراديوية إلى أقرب محطة أساسية. تستقبل المحطة الأساسية الموجة المشفرة من هاتفك وتحللها وترسلها إلى المحطة الأساسية المطلوبة في صورة موجات راديوية خلال الهواء. وعند استقبال الموجة يعمل الهاتف على التقاط الموجة الراديوية وتحويلها إلى موجة صوتية مسموعة يمكنك فهمها. وباستخدام ترددين مختلفين (تردد للتحدث وتردد للسمع) يمكن لشخصين أن يتحدث أحدهما إلى الآخر في اللحظة نفسها.

ويمكن لأنظمة شركات الهواتف الخلوية من خلال محطاتها الأساسية أن تبث مكالمتك في جميع أنحاء البلاد، حتى إذا كنت أنت والشخص الذي تتحدث معه متحركين. فعندما تتحرك تنتقل من خلية إلى أخرى. وتعمل المحطات الأساسية آليًّا على إرسال الإشارة إلى المحطة الأساسية الصحيحة في النظام.

مخاطر استعمال الهواتف الخلوية لا يخلو استخدام الهاتف الخلوي من بعض المخاطر، فالتحدث بالهاتف في أثناء قيادة السيارة مثلاً خطر، ويسبب حوادث مرورية؛ وقد بينت الدراسات أن عدد الحوادث المرورية التي تحدث مع الأشخاص الذين يستخدمون الهاتف في أثناء القيادة تزيد أربع مرات عن الحوادث التي تحدث مع الأشخاص الذين لا يستخدمون الهاتف في أثناء القيادة. وتضع بعض محطات الوقود ملصقات تحذر من استعمال الهاتف الخلوي؛ وذلك لأن الكهرباء الساكنة الناتجة عن الهاتف الخلوي قد تعمل على إشعال بخار البنزين المتصاعد.

وهناك خطر آخر محتمل أكثر إثارة للجدل، وهو أن الهاتف يبث موجات راديوية، لذا تنبعث منه طاقة كهرومغناطيسية تعرف بالتردد الراديوي. وهناك بعض الأدلة على أن الهواتف الخلوية تبعث من الإشعاع ما يكفي لتسبب مشاكل صحية خطيرة، منها سرطان الدماغ، ومرض الزهايمر. وهناك أدلة تدعم طرفي الجدال كليهما. وإلى الآن لم يعرف أحد يقينًا الآثار الصحية على المدى الطويل التي يسببها استعمال الهواتف الخلوية، إن وجدت.

التفكير الناقد

1. **استخدم التفسير العلمي** من أين اكتسبت الهواتف الخلوية هذا الاسم؟
2. **قارن** فيم تتشابه أجهزة المذياع AM/FM والهواتف الخلوية؟ وفيم تختلف؟
3. **التفكير الناقد** فسّر لماذا تعدّ المرسلات قليلة القدرة، المستخدمة في الهواتف الخلوية، هامة في المحافظة على إبقاء وزن الخلويات خفيفًا؟

6–1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة
Interactions of Electric and Magnetic Fields and Matter

المفردات

- النظير
- مطياف الكتلة

الفكرة الرئيسة يمكن أن يستخدم انحراف الجسيمات المتحركة في المجالين الكهربائي والمغناطيسي لتحديد حصائص هذة الجسميات.

- يمكن أن يكون لذرات العنصر نفسه كتل مختلفة.
- يستخدم مطياف الكتلة المجالين الكهربائي والمغناطيسي لقياس كتل الذرات المتأينة والجزئيات.
- يمكن استخدام مطياف الكتلة أيضًا لتحديد نسبة شحنة أي أيون إلى كتلته.

$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2r^2}$$

6–2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء Electric and Magnetic Fields in Space

المفردات

- موجة كهرومغناطيسية
- عوازل كهربائية
- هوائي
- طيف كهرومغناطيسي
- إشعاع كهرومغناطيسي
- الكهرباء الإجهادية
- مُستقبِل

الفكرة الرئيسة تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ وتتفاعل مع المادة.

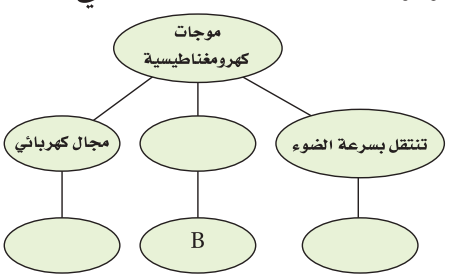
- الموجات الكهرومغناطيسية مقترنة بمجالين كهربائي مغناطيسي متغيرين، ومتحركين معًا في الفضاء.
- الطول الموجي للموجة الكهرومغناطيسية التي تنتشر في الفراغ يساوي سرعة الضوء c مقسومة على ترددها.

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

- سرعة الموجات الكهرومغناطيسية ومنها الضوء في العوازل الكهربائية أقل من سرعتها في الفراغ.
- يستعمل التيار الكهربائي المتغير في هوائي الإرسال لتوليد موجات كهرومغناطيسية.
- ينقل الإشعاع الكهرومغناطيسي الطاقة أو المعلومات خلال الأوساط المادية أو الفراغ.
- الكهرباء الإجهادية خاصية للبلورات تسبب لها انحناء أو تشوهًا وتولد اهتزازات كهربائية عند تطبيق فولتية خلالها.
- تحوّل الهوائيات المستقبلة الموجات الكهرومغناطيسية إلى مجالات كهربائية متغيرة في الموصلات.
- يمكن الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية من خلال القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الهوائي. ويمكن اختيار الترددات المحددة للموجات باستخدام دائرة رنين ملف ومكثف تعرف باسم الموالف.
- يحصل المستقبل على المعلومات من الموجات الكهرومغناطيسية.
- طول معظم الهوائيات الفعالة يعادل نصف الطول الموجي للموجة المراد التقاطها.
- يمكن لموجات الميكروويف، والأشعة تحت الحمراء، مسارعة الإلكترونات خلال الجزيئات، ولذلك يمكنها توليد طاقة حرارية.
- الأشعة السينية موجات كهرومغناطيسية ذات تردد كبير تنبعث باستخدام إلكترونات متسارعة وسريعة.

خريطة المفاهيم

19. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز الآتية: c، E، مجال مغناطيسي .



إتقان المفاهيم

20. ما النظائر؟

21. ما الزاوية بين اتجاه المجال المغناطيسي الحثي واتجاه المجال الكهربائي المتغير دائما؟

22. لماذا يجب استخدام مولد متناوب لتوليد الموجات الكهرومغناطيسية؟ وإذا استخدم مولد مستمر فمتى يمكنه توليد موجات كهرومغناطيسية؟

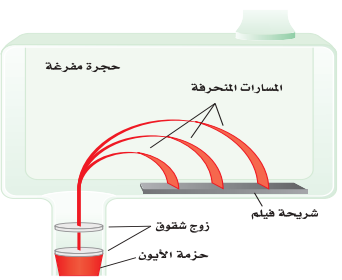
23. يبث سلك هوائي رأسي موجات راديو. ارسم الهوائي وكلا من المجالين الكهربائي والمغناطيسي المتولدين.

24. ماذا يحدث لبلورة الكوارتز عند تطبيق فولتية خلالها؟

25. كيف تعمل دائرة استقبال الهوائي على التقاط موجة كهرومغناطيسية بتردد محدّد ورفض سائر الموجات الأخرى؟

تطبيق المفاهيم

26. يبين **الشكل 12–6** الحجرة المفرغة في مطياف كتلة. إذا اختبرت عينة موجبة الشحنة من غاز النيون المتأين في هذا المطياف، فما اتجاه المجال المغناطيسي اللازم لجعل الأيونات تنحرف بشكل نصف دائري في اتجاه عقارب الساعة؟



الشكل 12–6

27. إذا تغيرت إشارة شحنة الجسيم في المسألة السابقة من الموجبة إلى السالبة فهل يتغير اتجاه أحد المجالين أو كلاهما للحفاظ على الجسيمات دون انحراف؟ وضّح إجابتك.

28. أي من موجات الراديو، وموجات الضوء، والأشعة السينية له قيمة عظمى من الخصائص التالية:

a. الطول الموجي

b. التردد

c. السرعة

29. **موجات التلفاز** إذا كان تردد الموجات التي تبث على إحدى القنوات في التلفاز يساوي 58 MHz، بينما تردد الموجات على قناة أخرى يساوي 180 MHz، فأي القناتين تتطلب هوائيًّا أطول؟

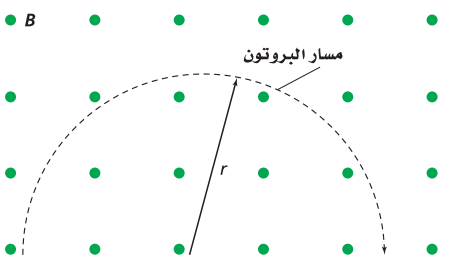
30. افترض أن عين شخص ما أصبحت حساسة لموجات الميكروويف، فهل تتوقع أن تكون عينه أكبر أم أصغر من عينك؟ لماذا؟

إتقان حل المسائل

6–1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة

31. تتحرك إلكترونات بسرعة $3.6\times 10^{4}\ m/s$ خلال مجال كهربائي مقداره $5.8\times 10^{3}\ N/C$، ما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن يتعرض له مسار الإلكترونات حتى لا تنحرف؟

32. يتحرك بروتون في مسار دائري نصف قطره 0.20 m في مجال مغناطيسي مقداره 0.36 T، كما موضّح في **الشكل 13–6**. احسب مقدار سرعته.



الشكل 13–6

33. دخل بروتون مجالاً مغناطيسيًّا مقداره 6.0×10^{-2} T بسرعة 5.4×10^{4} m/s، ما مقدار نصف قطر المسار الدائري الذي يسلكه؟

34. تسارع إلكترون خلال فرق جهد مقداره 4.5kV، ما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن يتحرك فيه الإلكترون لينحرف في مسار دائري نصف قطره 5.0 cm؟

35. تحرك جسيم ألفا كتلته 6.6×10^{-27} kg وشحنته (+2) في مجال مغناطيسي مقداره 2.0 T فسلك مسارًا دائريًّا نصف قطره 0.15 m، احسب مقدار كل من:
   a. سرعة الجسيم.
   b. طاقته الحركية.
   c. فرق الجهد اللازم لإنتاج هذه الطاقة الحركية.

6–2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء

36. **موجات الراديو** انعكست موجات راديو طولها الموجي 2.0 cm عن طبق قطع مكافئ. ما طول الهوائي اللازم للكشف عنها؟

37. **الماسح الضوئي لشريط الشيفرة** يستخدم الماسح الضوئي لشريط الشيفرة مصدر ضوء ليزر طوله الموجي 650 nm أوجد تردد مصدر شعاع الليزر.

38. ما طول الهوائي اللازم لاستقبال إشارة راديو ترددها 101.3 MHz؟

39. موجة كهرومغناطيسية ترددها 100 MHz تبث خلال كابل محوري ثابت العزل الكهربائي له 2.30، ما مقدار سرعة انتشار الموجات؟

40. **الهاتف الخلوي** يعمل جهاز إرسال هاتف خلوي على موجات حاملة ترددها 8.00×10^{8} Hz، ما طول هوائي الهاتف الأمثل ذو الطرف الواحد لالتقاط الإشارة؟

مراجعة عامة

41. **المذياع** محطة إذاعية FM تبث موجاتها بتردد 94.5 MHz، ما مقدار طول الهوائي اللازم للحصول على أفضل استقبال لهذه المحطة؟

42. سرّع جسيم مجهول بوساطة فرق جهد مقداره 1.50×10^{2} V إذا دخل هذا الجسيم مجالاً مغناطيسيًّا مقداره 50.0 mT وسلك مسارًا منحنيًا نصف قطر 9.80 cm، فما مقدار النسبة q/m؟

التفكير الناقد

43. **تطبيق المفاهيم** كتب طارق قصة خيال علمي تسمى (الرجل الخفي)، وفيها يشرب الرجل جرعة دواء فيصبح غير مرئي. ثم يستعيد طبيعته مرة أخرى. وضح لماذا لا يستطيع الرجل غير المرئي الرؤية؟

44. **تصميم تجربة** إذا طلب إليك أن تصمم مطياف كتلة باستخدام المبادئ التي نوقشت في هذا الفصل، لكن باستخدام أداة إلكترونية بدل الفيلم الفوتوجرافي. وتريد فصل الجزيئات الأحادية التأين (+1) ذات الكتل الذرية 175 بروتونًا عن الجزيئات ذات الكتل الذرية 176 بروتونًا، وكانت المسافة الفاصلة بين الخلايا المتجاورة في الكاشف الذي تستخدمه 0.10 mm، ويجب أن تُسرّع الجزيئات بوساطة فرق جهد 5000 V على الأقل؛ حتى يتم الكشف عنها، فما قيم كل من v، B، r التي يجب أن تكون لجهازك؟

الكتابة في الفيزياء

45. اكتب تقريرًا في صفحة أو صفحتين بيّن فيه عمل جهاز التحكم عن بعد لكل من التلفاز والفيديو وجهاز DVD. والذي يعمل بالأشعة تحت الحمراء. اشرح لماذا لا يحدث تداخل بين الأجهزة عند استخدام جهاز التحكم عن بعد متعدد الأغراض. ويجب أن يحوي تقريرك مخططات وأشكال.

46. اكتب تقريراً حول توليد الأمواج الميكروية باستخدام التجويف الرنيني.

مراجعة تراكمية

47. ما مقدار المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين المسافة بينهما 1.2 cm إذا كان فرق الجهد بينهما 45 V؟

48. احسب التكاليف اليومية لتشغيل مكيف مدة 6 ساعات إذا كان يعمل على تيار مقداره 12.0 A وفرق جهد 245 V وكان ثمن الكيلو ساعة 9.0 فلسا؟

49. إذا حُرّك سلك يمتد من الشمال إلى الجنوب نحو الشرق داخل مجال مغناطيسي يتجه إلى أسفل نحو الأرض فما اتجاه التيار الحثي المتولد في السلك؟

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. عندما يتحرك جسيم مشحون في مسار دائري فإن القوة المغناطيسية:

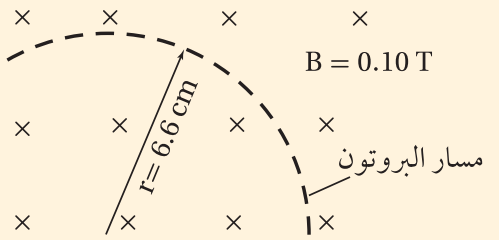
(A) تكون موازية للسرعة المتجهة، وموجهة نحو مركز المسار الدائري

(B) قد تكون متعامدة مع السرعة المتجهة وموجهة بعيدًا عن مركز المسار الدائري.

(C) تكون دائمًا موازية للسرعة المتجهة وموجهة بعيدًا عن مركز المسار الدائري

(D) تكون دائما عمودية على السرعة المتجهة وموجهة نحو مركز المسار الدائري

2. إذا كان نصف قطر مسار حركة بروتون يتحرك داخل مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.10 T يساوي 6.6 cm فما مقدار السرعة المتجهة للبروتون؟



(A) 6.3×10^{5} m/s (C) 6.3×10^{7} m/s

(B) 2.0×10^{6} m /s (D) 2.0×10^{12} m/s

3. إذا كان ثابت العزل الكهربائي للميكا 5.4، فما مقدار سرعة الضوء في الميكا؟

(A) 3.2×10^{3} m /s (C) 5.6×10^{7} m /s

(B) 9.4×10^{4} m /s (D) 1.3×10^{8} m /s

4. تبث محطة راديوية موجاتها بطول موجي 2.87 m، ما مقدار تردد هذه الموجات؟

(A) 9.57×10^{-9} Hz (C) 1.04×10^{8} Hz

(B) 3.48×10^{-1} Hz (D) 3.00×10^{8} Hz

5. في أي الحالات الآتية **لا تتولد** موجة كهرمغناطيسية؟

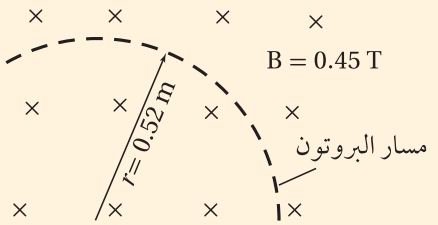
(A) فولتية تيار مستمر DC يطبق على بلورة كوارتز لها خاصية الكهرباء الإجهادية

(B) تيار يمر خلال سلك موضوع داخل أنبوب بلاستيكي.

(C) تيار يمر خلال دائرة ملف ومكثف يعد تجويفًا رنانًا بحجم الجزيء

(D) إلكترونات ذات طاقة كبيرة تصطدم بالهدف الفلزي في أنبوب أشعة سينية

6. تتحرك حزمة بروتونات عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.45 T في مسار دائري نصف قطره 0.52 m، فإذا كانت كتلة كل بروتون تساوي 1.67×10^{-27} kg فما مقدار سرعة البروتونات المكونة للحزمة؟



(A) 1.2 m /s (C) 2.2×10^{7} m /s

(B) 4.7×10^{3} m /s (D) 5.8×10^{8} m /s

الأسئلة الممتدة

7. يتحرك ديوترون (نواة الديتيريوم) كتلته 3.34×10^{-27} kg وشحنته +e في مسار دائري نصف قطره 0.0400 m داخل مجال مغناطيسي مقداره 1.5 T، ما مقدار سرعته ؟

إرشاد

راقب الكلمات البسيطة والصغيرة

ضع خطًّا تحت الكلمات مثل: مطلقًا، دائمًا، على الأقل، لا، ما عدا، عندما تجدها في الأسئلة؛ إذ تؤثر هذه الكلمات الصغيرة في معنى السؤال بصورة كبيرة.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

دليل الرياضيات

I. الرموز symbols

Δ	التغير في الكمية	$a \times b$ ab $a(b)$	a مضروبة في b
$\pm$	زائد أو ناقص الكمية		
$\propto$	يتناسب مع		
$=$	يساوي	$a \div b$ a/b $\frac{a}{b}$	a مقسومة على b
$\approx$	تقريبًا يساوي		
$\cong$	تقريبًا يساوي		
$\leq$	أقل من أو يساوي	$\sqrt{a}$	الجذر التربيعي لـ a
$\geq$	أكبر من أو يساوي	$\lvert a \rvert$	القيمة المطلقة لـ a
$<<$	أقل جدًّا من	$\log_b x$	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\equiv$	يعرف كـ		

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعتبر الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

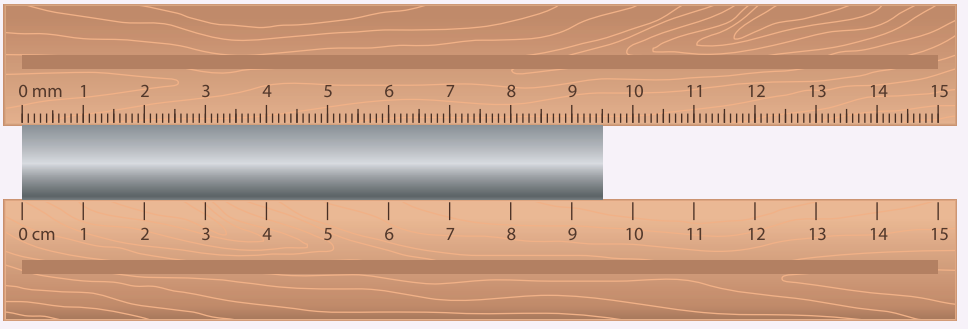
الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتُمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعتبر الدقة مقياسًا للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الأصغر في أداة القياس، بحيث يتم تقدير الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس.

مثال: ما الرقم المقدَّر لكل من مساطر القياس الموضحة في الشكل أدناه والمستخدمة لقياس طول القضيب الفلزي؟

باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدَّر إلى أقرب جزء عشري من السنتمتر. وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

وعند استعمال أداة القياس العليا. فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm، فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm



دليل الرياضيات

كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعتبر أرقامًا معنوية.

استعمال القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

5.0 g يتضمن رقمين معنويين	استعمال القاعدتين 1و2
14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و2
0.0 يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا	استعمال القاعدتين 2و4
300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية	استعمال القواعد 1و2و3
5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)	استعمال القواعد 1و2و4
140 mm يتضمن رقمين معنويين (1و4 فقط)	استعمال القاعدتين 1و4

مسائل تدريبية

1. حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

a. 1405 m	d. 12.007 kg
b. 2.50 km	e. 5.8×10^{6} kg
c. 0.0034 m	f. 3.03×10^{-5} ml

هناك حالتان تُعتبر الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.
2. معاملات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمال القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن أقصى يسار العدد والمراد إسقاطه أقل من 5 يجب إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثَم يبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.
2. عندما يكون الرقم الواقع عن أقصى يسار العدد والمراد إسقاطه أكبر من 5 يجب إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.
3. عندما يكون الرقم الواقع عن أقصى اليسار والمراد إسقاطه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يقرّب الرقم الأخير في العدد بمقدار واحد.
4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير يساوي 5 ومتبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى، فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فرديًّا فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تقربه.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية:

8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76	استعمال القاعدة 1
8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77	استعمال القاعدة 2
8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8	استعمال القاعدة 3
92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4	استعمال القاعدة 4
92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2	استعمال القاعدة 4

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس الآتية:

a. 1405 m (2)　　c. 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2)　　d. 12.007 kg (3)

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفّذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرّب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كليهما يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

$$\begin{array}{r} 1.456\ \text{m} \\ 4.1\ \text{m} \\ +20.3\ \text{m} \\ \hline 25.856\ \text{m} \end{array}$$

وفي النتيجة تكون دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المُضاف الأقل دقة.

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى 25.9m

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرّب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساويًا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

$$(20.1\ \text{m})(3.6\ \text{m}) = 72.36\ \text{m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6 m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعابير الرياضية الآتية مستعملًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

a. $2.33\ \text{km} + 3.4\ \text{km} + 5.012\ \text{km}$

b. $8.3\ \text{g} - 45\ \text{g}$

c. $3.40\ \text{cm} \times 7.125\ \text{cm}$

d. $6.5\ \text{s} \div 54\ \text{m}$

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استعمل قاعدة عملية الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d=19\ m + (25.0\ m/s)(2.50\ s) + \frac{1}{2}\ (-10.0\ m/s^2)(2.50)^2$$

$$= 5.0 \times 10^1\ m$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$m\ (\text{الميل}) = \frac{70.0\ m - 10.0\ m}{29\ s - 11\ s}$$

$$= 3.3\ m/s$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل فعليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

$$F = \sqrt{(24\ N)^2 + (36\ N)^2}$$

$$= \sqrt{576\ N^2 + 1296\ N^2}$$

لا تجر التقريب إلى $580N^2$ و $1300N^2$

$$\sqrt{1872\ N^2}$$

لا تجر التقريب إلى $1800N^2$

$$= 43\ N$$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين

III. الكسور والنسب والمعدلات والتناسب Fractions, Ratios, Rates, and Proportions

الكسور Fractions

يقصد بالكسر جزء من الكل أو جزء من مجموعة. ويعبّر الكسر أيضًا عن النسبة.

ويتكوّن الكسر من البسط وخط القسمة والمقام.

$$\frac{\text{البسط}}{\text{المقام}} = \frac{\text{عدد الأجزاء المختارة}}{\text{عدد الأجزاء الكليّ}}$$

التبسيط من السهل أحيانًا تبسيط التعبير الرياضي قبل عملية تعويض قيم المتغيرات المعلومة، وغالبًا تُختصر المتغيرات من التعبير الرياضي.

مثال: بسّط $\frac{pn}{pw}$

افصل المتغير P في البسط والمقام، وجزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب كسرين.

$$\left(\frac{pn}{pw}\right) = \left(\frac{p}{p}\right)\left(\frac{n}{w}\right)$$

بالتعويض عن $\left(\frac{p}{p}\right) = 1$

$$= (1)\left(\frac{n}{w}\right)$$

$$\frac{n}{w}$$

عمليتا الضرب والقسمة لإجراء عملية ضرب الكسور اضرب القيم الممثلة للبسط، واضرب القيم الممثلة للمقام.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكسر $\frac{s}{a}$ في الكسر $\frac{t}{b}$.

نفّذ عملية ضرب القيم في البسط والقيم في المقام

$$\left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{t}{b}\right) = \frac{st}{ab}$$

ولإجراء عملية قسمة الكسور اضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني. ولإيجاد مقلوب الكسر. اعكس الكسر بحيث يحل كل من البسط والمقام مكان الآخر.

مثال: أوجد عملية القسمة للكسر $\frac{s}{a}$ على الكسر $\frac{t}{b}$.

أوجد حاصل ضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني.

$$\frac{s}{a} \div \frac{t}{b} = \left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{b}{t}\right)$$

اضرب القيم في البسط والقيم في المقام.

$$= \frac{sb}{at}$$

عمليتا الجمع والطرح لإجراء عملية جمع أو طرح كسرين اكتبهما أولاً في صورة كسرين لهما مقام مشترك، أي المقام نفسه. ولإيجاد المقام المشترك أوجد حاصل ضرب مقام كل من الكسرين، ثم اجمع بسطي كل منهما أو اطرحهما واستعمل بعد ذلك المقام المشترك.

مثال: أوجد حاصل جمع $\frac{1}{a}$ و $\frac{2}{b}$.

اضرب كلًّا كسر في كسر يساوي 1.

$$\frac{1}{a} + \frac{2}{b} = \left(\frac{1}{a}\right)\left(\frac{b}{b}\right) + \left(\frac{2}{b}\right)\left(\frac{a}{a}\right)$$

اضرب كلًّا من قيم البسط وكلًّا من قيم المقام.

$$= \frac{b}{ab} + \frac{2a}{ab}$$

اكتب كسرًا مفردًا مقامه المقام المشترك.

$$= \frac{b+2a}{ab}$$

مسائل تدريبية

4. نفّذ العمليات التالية، ثم اكتب الإجابة في أبسط صورة.

a. $\frac{y}{3} + \frac{1}{x}$ c. $(\frac{1}{y})(\frac{3}{x})$

b. $\frac{3}{b} - \frac{a}{2b}$ d. $\frac{1}{2} \div \frac{2a}{5}$

النسب Ratios

تمثل النسب عملية مقارنة بين عددين باستعمال عملية القسمة. ويمكن كتابة النسب بعدة طرائق مختلفة، فالنسبة للعددين 2 ، 3 يمكن كتابتها بأربع طرائق مختلفة: 2 إلى 3 أو 2 على 3 أو 2:3 أو $\frac{2}{3}$

المعدّلات Rates ,

المعدل نسبة تقارن بين كميتين لهما وحدات قياس مختلفة. إن معدل الوحدة هو المعدل الذي يمكن تبسيطه بحيث يساوي المقام الرقم 1.

مثال: اكتب 98km في 2.0 ساعة كمعدل وحدة.

$98km$ في 2.0 ساعة عبارة عن النسبة $\frac{98km}{2.0h}$

جزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب الكسر العددي بكسر الوحدات

بسّط الكسر العددي

$$\frac{98km}{2.0h} = (\frac{98}{2.0})(\frac{km}{h})$$
$$= (49)(\frac{km}{h})$$
$$= 49 \text{ km per h أو } km/h$$

التناسبات Proportions التناسب عبارة عن معادلة تنص على أن النسبتين متساويتان: $\frac{a}{d} = \frac{c}{b}$ ، بشرط أن b ، d لا تساويان صفر. تستعمل التناسبات لحل مسائل النسبة التي تتضمن ثلاثة أرقام ومتغيرًا واحدًا. ويمكنك حل علاقة التناسب لإيجاد قيمة المتغير. ولحل التناسب استعمل الضرب التبادلي.

مثال: حل التناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$ بالنسبة للمتغير a.

بإجراء عملية الضرب التبادلي للتناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$

اكتب المعادلة الناتجة من الضرب التبادلي $ad = bc$

حل المعادلة بالنسبة للمتغير a $a = \frac{bc}{d}$

مسائل تدريبية

5. حل التناسبات التالية:

a. $\frac{2}{3} = \frac{4}{x}$ c. $\frac{s}{16} = \frac{36}{12}$

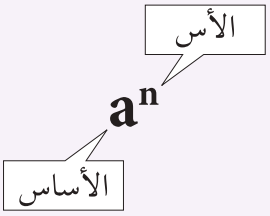
b. $\frac{n}{75} = \frac{13}{15}$ d. $\frac{7.5}{w} = \frac{2.5}{5.0}$

IV. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents, Powers, Roots, and Absolute value

الأسس Exponents

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a كعامل، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي. كما في الحد a^n، فيمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس.

ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيرًا آخر للمتغير.

فمثلا v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعتبر جزءًا من المتغير.

الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3)\dots(a_n)$$

مثال: بسّط الحدود الأسية التالية:

$$10^4 = (10)(10)(10)(10) = 10.000$$

$$2^3 = (2)(2)(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الصفرية التالية:

$$2^0 = 1$$

$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4} \qquad 2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2}$$

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبّر الرمز الجذري $\sqrt{\ }$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية.

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)\,(a)} = a$

$\sqrt{9} = \sqrt{(3)\,(3)} = 3$

$\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)\,(8.0)} = 8.0$ تتضمن الإجابة صفرًا عن اليمين من الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين.

$\sqrt{38.44} = 6.200$ ضع صفرين عن اليمين من إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية.

$\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$ قرّب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين.

إن الجذر التكعيبي للرقم يمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\ }$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي التالية:

$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$

$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$

مسائل تدريبية

6. أوجد ناتج كل جذر، ومن ثم قرّب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ c. $\sqrt{676}$

b. $\sqrt[3]{729}$ d. $\sqrt[3]{46.656}$

7. بسّط الجذور التالية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ b. $\sqrt{9t^6}$

8. اكتب الجذور الآتية على الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ b. $\frac{1}{\sqrt{a}}$

إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات التالية باستخدام الأسس فإن كلًّا من a ، b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$a^m / a^n = a^{m-n}$

القوة مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة استخدم الأساس نفسه وقسّم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة التالية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد ناتج القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

9. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

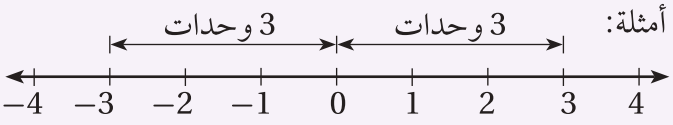
a. $x^2\, t / x^3$ b. $\sqrt{t^3}$ c. $(d^2n)^2$ d. $x^2\sqrt{x}$

10. بسّط $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2qv}{m}}$

القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n على صورة $|n|$، ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

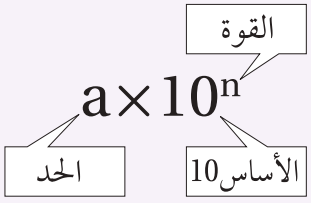


$|3| = 3$

$|-3| = 3$

V. الدلالة العلمية Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a \times 10^n$ مكتوب بدلالته العلمية، حيث $1 \le a \le 10$، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء على الصورة 1.000×10^{3} kg/m^3 وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m^3 سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح؛ فقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستعمال الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كان القوة موجبة).

وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a ، $1 \leq a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4 \text{ e+11} = 2.4 \times 10^{11}$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًّا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 لدلالته العلمية.

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^{n}.

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $7{,}530{,}000 = 7.53 \times 10^{6}$

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبَّر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم التالي في صورته القياسية

$2.389 \times 10^{5} = 2.38900 \times 10^{5} = 238{,}900$

الأرقام الصغيرة: استخدام الأسس السالبة Small Numbers–Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالتها العلمية حدد أولاً قيمة a ، $1 \le a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئًا من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10 . إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تمامًا لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^{n}.

توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 7 – $0.000000285 = 2.85\times10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

مسائل تدريبية

11. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

a. 456,000,000 b. 0.000020

12. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

a. 3.03×10^{-7} b. 9.7×10^{10}

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبّر عنها بدلالتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $(4.0\times10^{-8})\ (1.2\times10^{5}) = (4.0\times1.2)\ (10^{-8}\times10^{5})$

أوجد حاصل ضرب الحدود $= (4.8)\ (10^{-8+5})$

اجمع القوى للأساس 10 $= (4.8)\ (10^{-3})$

أعد صياغة النتيجة بدلالتها العلمية $= 4.8\times10^{-3}$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $\frac{9.60\times10^{7}}{1.60\times10^{3}} = \left(\frac{9.60}{1.60}\right)\times\left(\frac{10^{7}}{10^{3}}\right)$

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10 $= 6.00 \times 10^{7-3}$

$= 6.00 \times 10^{4}$

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدلالتها العلمية هي عملية تحدٍّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام يمكن أن يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10 بينما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

جمّع الحدود $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^5) = (3.2+4.8)\times10^5$

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

أعد كتابة 4.8×10^4 على صورة 0.48×10^5 $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^4) = (3.2\times10^5)+ (0.48\times10^5)$

جمّع الحدود $= (3.2+0.48)\times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

قرّب النتيجة مستعملًا قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية. $= 3.7\times10^5$

مسائل تدريبية

13. احسب نتيجة كل من التعابير التالية، عبّر عن النتيجة بدلالتها العلمية.

a. $(4.0\times10^8)\ (5.2\times10^{-4})$ b. $(2.4\times10^3) + (8.0\times10^4)$

المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، وتسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها.

اتّبع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسين المعقوفين [ ]، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.
2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.
3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.
4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير التالي:

الخطوة 1 ترتيب العمليات $4+3\ (4-1)-2^3 = 4+3\ (3)-2^3$

الخطوة 2 ترتيب العمليات $=4+3\ (3)-8$

الخطوة 3 ترتيب العمليات $=4+9-8$

الخطوة 4 ترتيب العمليات $= 5$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجري عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيرًا رياضيًّا صحيحًا. وعند حل المعادلات طبّق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًّا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$a(b+c) = ab+ac$ $\qquad$ $a(b-c) = ab-ac$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعابير الآتية:

$$3(x+2) = 3x + (3)(2)$$
$$= 3x + 6$$

خصائص الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x-3=7$ مستعملًا خاصية الجمع

$$x-3 = 7$$
$$x-3+3 = 7+3$$
$$x=10$$

مثال: حل المعادلة $t + 2 = -5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$t+2 = -5$$
$$t+2-2 = -5-2$$
$$t = -7$$

خصائص الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في/ على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$ac = bc$$
$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\frac{1}{4}a = 3$$
$$\left(\frac{1}{4}a\right)(4) = 3(4)$$
$$a = 12$$

مثال: حل المعادلة $6\,n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$6\,n = 8$$
$$\frac{18}{6} = \frac{6n}{6}$$
$$n = 3$$

مثال: حل المعادلة $2\,t + 8 = 5\,t - 4$ بالنسبة للمتغير t

$$2\,t + 8 = 5\,t - 4$$
$$8 + 4 = 5\,t - 2\,t$$
$$12 = 3\,t$$
$$4 = t$$

فصل المتغير Isolating aVariable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير- وذلك لحل المعادلة بالنسبة لذلك المتغير- اكتب المعادلة المكافئة بحيث يتضمن كل طرف متغير ذا معامل 1.

الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$PV = nRT$$

قسّم طرفي المعادلة على v
$$\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$$

جمّع $(\frac{V}{V})$
$$P(\frac{V}{V}) = \frac{nRT}{V}$$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$
$$P = \frac{nRT}{V}$$

مسائل تدريبية

14. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $2 + 3\,x = 17$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

d. $a = \frac{b+x}{c}$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

f. $ax + bx + c = d$

خاصية الجذر التربيعي

إذا كان كل من a ، n أعدادًا حقيقية، $n > 0$ و $a^2 = n$ ، فإن $a = \pm \sqrt{n}$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة للمتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm_E m}{r^2}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$$

بالتعويض عن $\frac{r}{r} = 1$

$$mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$$

قسّم طرفي المعادلة كليهما على m .

$$\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$$

بالتعويض عن $\frac{m}{m} = 1$

$$v^2 = \frac{Gm_E}{r}$$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

$$\sqrt{v^2} = \pm\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه لأي متغير ستقوم عليه حل المعادلة بالنسبة له. لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة للسرعة v، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت بحاجة أيضًا للأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح، فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة للمتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيرًا واحدًا مرفوعًا للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعًا للأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بوساطة التمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانيًّا.

إذا كانت $b = 0$ فإن الحد a غير موجود في المعادلة التربيعية. يمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$، حيث $a \neq 0$، تعطى من خلال المعادلة التالية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي من المهم الأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. عادة من الممكن إهمال أحد الحلول لكونه حلاً غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالبًا استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

مسائل تدريبية

15. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $4x^2 - 19 = 17$

b. $12 - 3x^2 = -9$

c. $x^2 - 2x - 24 = 0$

d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضًا مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى من خلال المعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$.

يسقط جسم سقوطًا حرًّا على القمر مسافة 5.02 m خلال 5.00s . أوجد التسارع a على سطح القمر.

يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5m)}{(5.00s)^2}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

$a = \frac{1.64m}{s^2}$ أو $.64\ m/s^2$

احسب وقرّب حتى ثلاثة أرقام معنوية

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1 .

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء جد Δx عندما $v_0 = 67\ m/s$ و $\Delta t = 5.0\ min$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0 \Delta t$.

$$\frac{60\ s}{1\ min} = 1$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67m}{s}\left(\frac{5.0min}{1}\right)\left(\frac{60s}{1\ min}\right)$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$

$$\Delta x = 20100\ m = 2.0 \times 10^4\ m$$

احسب ثم قرّب إلى رقمين معنويين، والعددان 60 s و 1 min متساويان، لذلك لن يؤثرا في حساب الأرقام المعنوية.

مسائل تدريبية

16. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0\times10^2\ m}{16\ m/s}$

17. احسب سرعة قطعة قرميد ساقطة بعد مضي زمن 5.0 s ، استعمل

$v = a\,\Delta t$ و $a = -9.80\ m/s^2$.

18. أوجد حاصل ضرب الحدود: $\left(\frac{1\ m}{100\ cm}\right)\left(\frac{60\ min}{1h}\right)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)\left(\frac{32\ cm}{1s}\right)$

19. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم تسجيل المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدة الكيلومترات لكل ساعة؟

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعتبر تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة.

مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2}\,at^2$ وحدتها m

d_i تقاس بوحدة m

t تقاس بوحدة s

v_i تقاس بوحدة m/s

a تقاس بوحدة m/s^2

بالتعويض عن وحدات كل متغير

$$d_f = m+\left(\frac{m}{s}\right)(s)+\frac{1}{2}\left(\frac{m}{s^2}\right)(s)^2$$

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية

$$= m+(m)\left(\frac{s}{s}\right)+\frac{1}{2}\,(m)\left(\frac{s^2}{s^2}\right)$$

بالتعويض عن $s/s = 1$، $s^2/s^2 = 1$

$$= m+(m)(1)+\frac{1}{2}\,(m)(1)$$

بسّط جميع الحدود للحد m لذلك فإن d_f بوحدة m

$$= m+m+\frac{1}{2}m$$

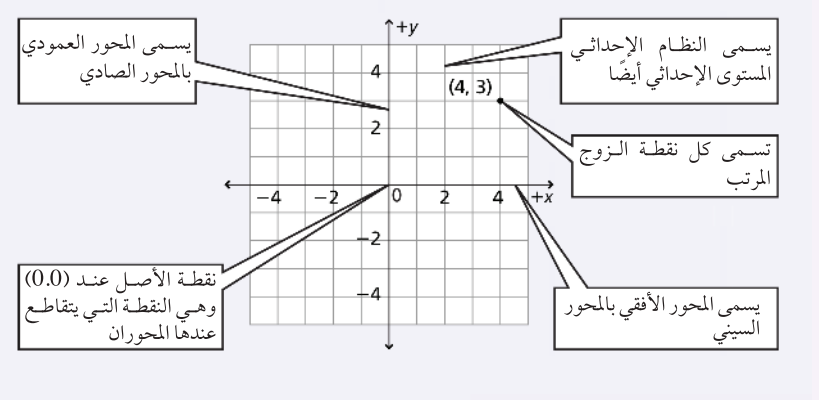
لا يطبّق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة للوحدات، ويطبّق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.

VII. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، و يسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x،y) يسميان أيضًا الزوج المرتب.

تَرد دائماً قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0،0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.

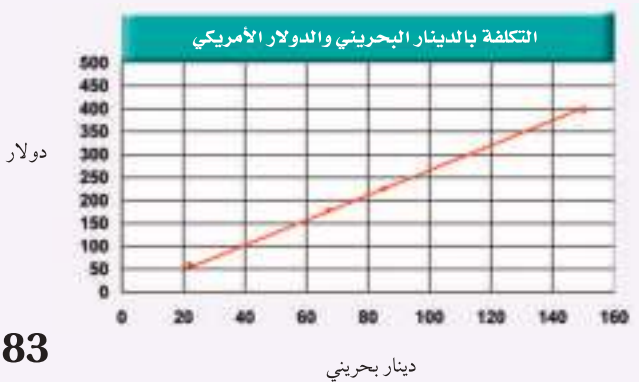


استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًّا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانيًّا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًّا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني.

نوع الخدمة	دينار	دولار
الفندق (الإقامة)	150	398
الوجبات	85	225
الترفيه	67	178
المواصلات	22	58

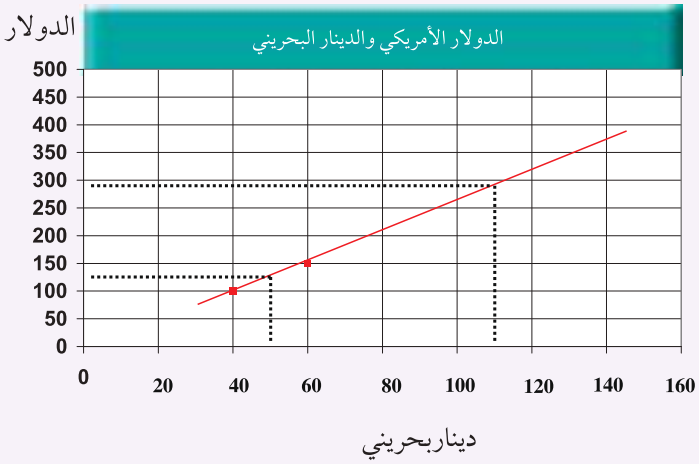


الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 50 دينارًا.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 50 (40 دينارًا، 60 دينارًا)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.



ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (50 دينارًا) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال2: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 دينار.

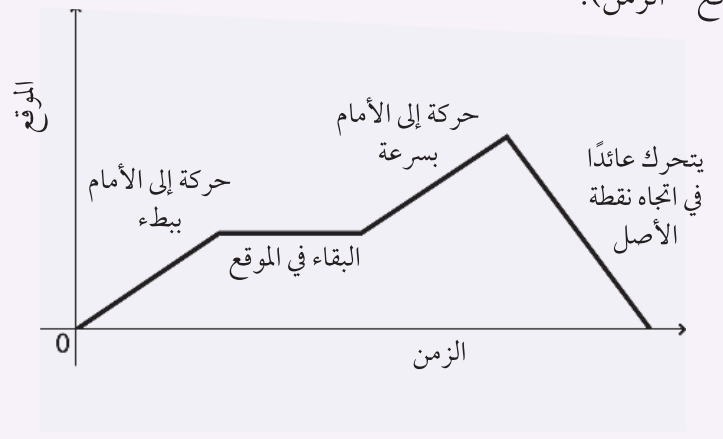
ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 دينار) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال (1)، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graphs

يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين، وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة. تستخدم عادة في الفيزياء.

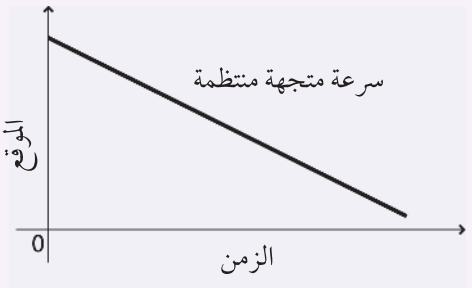
ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

أ – يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).



دليل الرياضيات

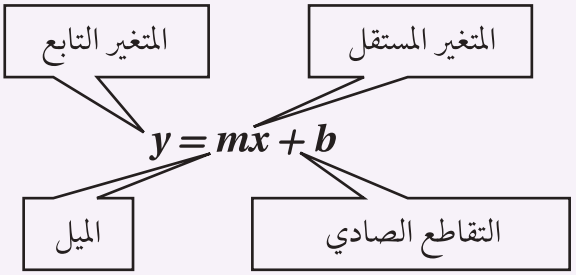
ب – يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع – الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$.

حيث m ، b أعداد حقيقية، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



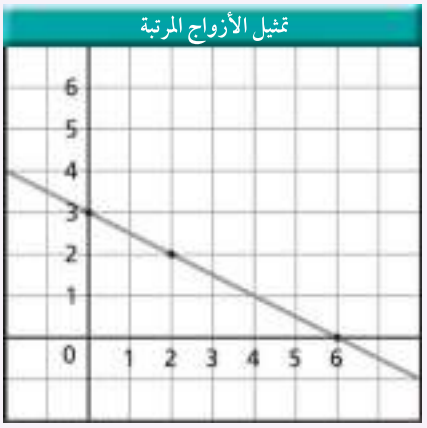
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين $(y \text{ ، } x)$، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

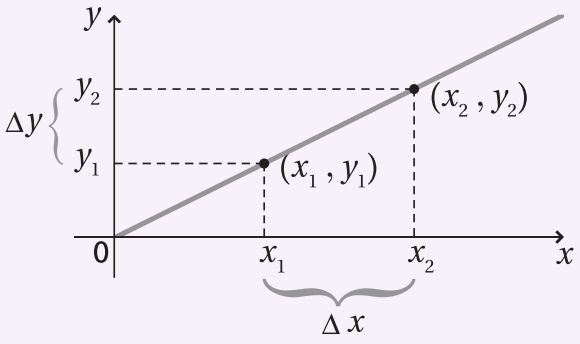
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين $(x_1 ، y_1)$ ، $(x_2 ، y_2)$، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم جد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة قوة الاسترداد للنابض المثالي $\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ قوة استرداد النابض، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير قوة استرداد النابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد قوة استرداد النابض عندما تزداد استطالة النابض.

التغير العكسي Inverse Variation

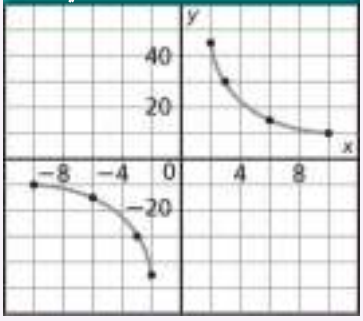
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m\,\frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

التمثيل البياني للتغير العكسي



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما يزداد تردد الموجة فإن الطول الموجي يتناقص، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

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

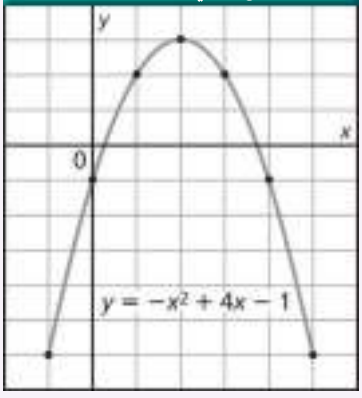
حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$

الأزواج المرتبة	
x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6

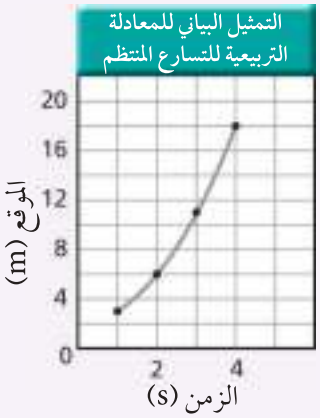
التمثيل البياني للمعادلة التربيعية



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أنه يمثل جسمًا يتحرك بتسارع منتظم.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية للتسارع المنتظم



VIII. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

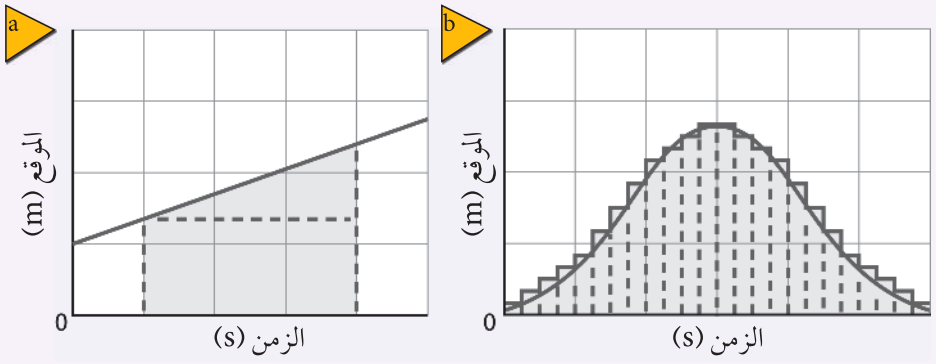
المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P=4a$	$A=a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P=2l+2w$	$A=lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A=(\frac{1}{2})bh$		
المكعب الضلع a			$SA=6a^2$	$V=a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C=2\pi r$	$A=\pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA=2\pi rh+2\pi r^2$	$V=\pi r^2h$
الكرة نصف القطر r			$SA=4\pi r^2$	$V=(\frac{4}{3})\pi r^3$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

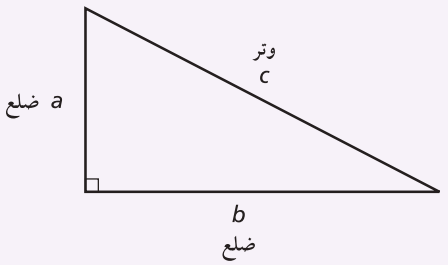
لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق، لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى: مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي
المساحة1 + المساحة 2 + المساحة3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

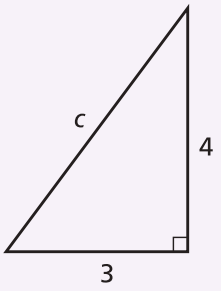
المثلثات القائمة Right Triangles



تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان كل من a، b يمثلان قياس ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$ ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

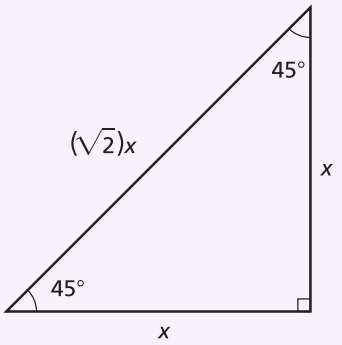
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

مثال: احسب طول الوتر C في المثلث حيث $a = 4\ cm$ و $b = 3\ cm$

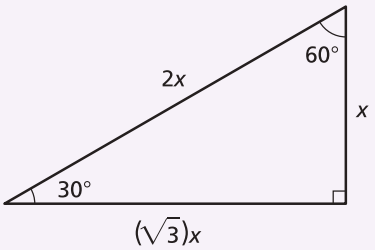


$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$
$$= \sqrt{(4\ cm)^2 + (3\ cm)^2}$$
$$= \sqrt{16\ cm^2 + 9\ cm^2}$$
$$= \sqrt{25\ cm^2}$$
$$= 5\ cm$$

إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية °45، °45، °90 فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروبًا في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية °90، °60، °30 فإن طول الوتر يساوي ضعفي طول الضلع الأقصر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مرة من طول الضلع الأصغر.



النسب المثلثية Trigonometric Ratios

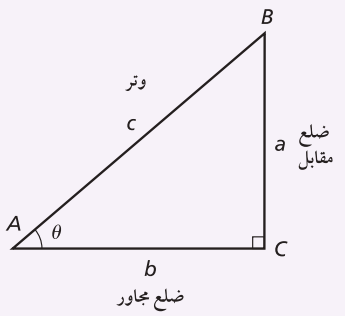
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعًا هي الجيب $\sin\theta$، والجتا $\cos\theta$ والظل $\tan\theta$. ولاختصار هذه النسب تعلم الاختصارات التالية SOH–CAH–TOA. تشير SOH إلى جيب ، مقابل الوتر، وتشير CAH إلى جيب تمام، مجاور الوتر وتشير TOA إلى ظل تمام، مقابل المجاور.

التعابير	مساعدة الذاكرة	الرموز
يشير الـ sin إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر	$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	$\sin\theta = \frac{a}{c}$
يشير الـ cos إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.	$\cos\theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	$\cos\theta = \frac{b}{c}$
يشير الـ tan إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية	$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	$\tan\theta = \frac{a}{b}$

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC. إذا كانت $a = 3\text{ cm}$ ، $b = 4\text{ cm}$ ، $c = 5\text{ cm}$ ، فأوجد كلًّا من $\cos\theta$ و $\sin\theta$

$$\sin\theta = \frac{3\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos\theta = \frac{4\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $\theta = 30.0^\circ$ ، $c = 20.0\text{ cm}$، فأوجد a و b .

$$\sin 30.0^\circ = \frac{a}{20.0\text{ cm}} \qquad \cos 30.0^\circ = \frac{b}{20.0\text{ cm}}$$

$$a = (20.0\text{ cm})(\sin 30.0^\circ) = 10.0\text{ cm}$$

$$b = (20.0\text{ cm})(\cos 30.0^\circ) = 17.3\text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

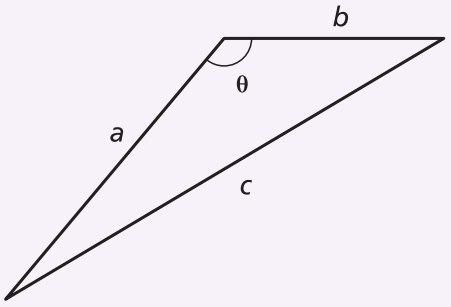
يمنحك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام: يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس. إلا الحد الأخير، تمثل θ الزاوية المقابلة للضلع C. فإذا كان قياس الزاوية $\theta = 90^\circ$ فإن جتا $\theta = 0$ والحد الأخير يساوي صفرًا.

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا (هـ) عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان $a = 10.0\text{ cm}$ ، $b = 12.0\text{ cm}$ ، $\theta = 110.0°$.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

$$= \sqrt{(10.0\text{ cm})^2 + (12.0\text{ cm})^2 - 2(10.0\text{ cm})(12.0\text{ cm})(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= \sqrt{1.00 \times 10^2\text{ cm}^2 + 144\text{ cm}^2 - (60.0\text{ cm}^2)(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= 16.3\text{ cm}$$

قانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاثة نسب، حيث a ،b ،c الأضلاع المقابلة للزوايا A ،B ،C بالترتيب.

استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

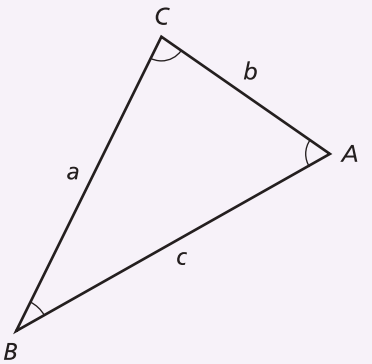
مثال: في المثلث ABC إذا كان $C = 60.0°$ ، $a = 4.0\text{ cm}$ ، $c = 4.6\text{ cm}$، احسب قياس الزاوية A.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin C}{c}$$

$$\sin A = \frac{a\sin C}{c}$$

$$= \frac{(4.0\text{ cm})(\sin 60.0^\circ)}{4.6\text{ cm}}$$

$$= 49^\circ$$



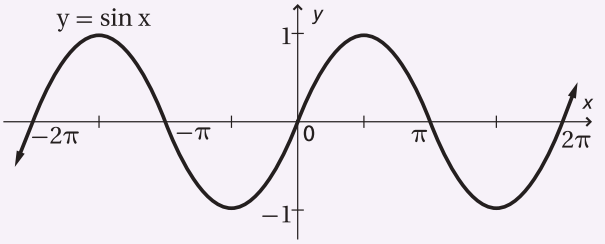
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل Inverses of Sine, Cosine, and Tangent

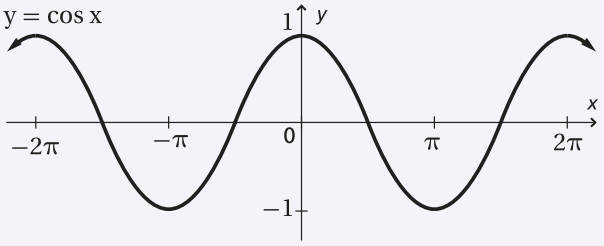
إن معكوس كل من الجيب، جيب التمام، وظل التمام يمنحك القدرة على عكس اقترانات الجيب وجيب التمام وظل التمام، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية، والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

الاقتران المثلثي	المعكوس
$y = \sin x$	$x = \sin^{-1} y$ أو معكوس $x = \sin y$
$y = \cos x$	$x = \cos^{-1} y$ أو معكوس $x = \cos y$
$y = \tan x$	$x = \tan^{-1} y$ أو معكوس $x = \tan y$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كل اقتران الجيب، $y = \sin x$ و اقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. وفترة كل اقتران يمكن أن تكون كل من x ، y أي عدد حقيقي.





اللوغاريتميات Logarithms

افترض أن b و x عددان موجبان، بحيث $b \neq 1$. فإن لوغاريتم x للأساس b يكتب في صورة $(\log_b x)$ ويساوي y، حيث تمثل y الأس الذي يجعل المعادلة $x = b^y$ صحيحة. إن لوغاريتم x للأساس b عدد أسي يرفع للعدد b للحصول على x.

$\log_b x = y$ إذا وفقط إذا $b^y = x$

أمثلة: أوجد ناتج كل من اللوغاريتمات التالية:

لأن $2^{-4} = \frac{1}{16}$ $\log_2 \frac{1}{16} = -4$

لأن $10^3 = 1000$ $\log_{10} 1000 = 3$

عندما تريد إيجاد لوغاريتم عددٍ ما يمكنك استعمال الآلة الحاسبة.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون اللوغاريتمات للعمل بقياسات تمتد إلى مقادير متعددة القيمة أو القوة للعدد 10، ويستعمل الجيوفيزيائيون مقياس ريختر وهو مقياس لوغاريتمي يوفر لهم القدرة على تقدير معدل الزلازل من 5 إلى 7 أو أكبر، وتختلف قوة الزلازل بمقدار 7 أو بقوى أكبر للأساس 10.

اللوغاريتمات الطبيعية Common Logarithms

تسمى اللوغاريتمات للأساس 10 اللوغاريتمات الطبيعية، وتكتب غالبًا بدون الرقم الدليل 10.

$$\log_{10} x = \log x \quad x > 0$$

المقابلات اللوغاريتمية أو معكوس اللوغاريتمات Antilogarithms or Inverse Logarithms

المقابل اللوغاريتمي هو معكوس اللوغاريتم، ويمثل العدد الذي له لوغاريتم.

مثال: حل $\log x = 4$ بالنسبة للمتغير x

$$\log x = 4$$

10^4 هي المقابل اللوغاريتمي للعدد 4 $\quad x = 10^4$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة درجة الصوت L، بوحدة الديسبل، هي $L = 10 \log_{10} R$. حيث R الشدة النسبية للصوت. احسب R لشوكة رنانة تصدر شدة صوت مقدارها 130 ديسيبل.

قسّم طرفي المعادلة على العدد 10 $\quad 130 = 10 \log_{10} R$

استعمل قاعدة اللوغاريتم $\quad 13 = \log_{10} R$

$$R = 10^{13}$$

عندما تعلم قيمة اللوغاريتم لعدد وتريد معرفة العدد نفسه يمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد معكوس اللوغاريتم.

مسائل تدريبية

20. اكتب الصيغة الأسية للمعادلة $\log_3 81 = 4$

21. اكتب الصيغة اللوغاريتمية للمعادلة $10^{-3} = 0.001$

22. إذا كان $\log x = 3.125$، فأوجد قيمة x.

الجداول

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الاسم	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	bascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1 m^3 = 264$ gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5 N/m^2$	$1 mol = 6.022 \times 10^{23}$

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} $Pa.m^3/K$	1.38×10^{-23} $Pa.m^3/K$
ثابت الغاز	R	8.314472 $Pa.m^3/mol.K$	8.31 $Pa.m^3/mol.K$
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} $N.m^2/kg^2$	6.67×10^{-11} $N.m^2/kg^2$

البادئات		
البادئة	الرمز	الدلالة العلمية
femto	f	10^{-15}
baico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
mile	m	10^{-3}
cm	c	10^{-2}
disa	d	10^{-1}
dica	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
terra	T	10^{12}
beta	P	10^{15}

الجداول

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4 C°)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الذوبان (c°)	درجة الغليان (c°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

السعة الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة			
المادة	السعة الحرارية النوعية (J/kg.K)	المادة	السعة الحرارية النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
ذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
حديد	2.66×10^5	6.29×10^6
رصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
زئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
ميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
فضة	1.04×10^5	2.36×10^6
ماء (جليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

المصطلحات

أ

الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic Radiation طاقة محمولة أو منبعثة من الموجات الكهرومغناطيسية.

الأشعة السينية X–Ray موجات كهرومغناطيسية ذات تردد كبير تنبعث بوساطة الإلكترونات المتسارعة.

الأمبير Ampere تدفق الشحنة الكهربائية أو التيار الكهربائي، وهو يساوي واحد كولوم لكل ثانية (1C /s).

الأميتر Ammeter جهاز مقاومته قليلة جدًّا، يوصل على التوالي لقياس التيار الكهربائي المار في أيّ جزء من أجزاء الدائرة.

ت

التدفق المغناطيسي Magnetic Flux عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تمر خلال السطح.

التوصيل على التوازي Parallel Connection نوع من التوصيل يكون فيه عنصر الدائرة والفولتمتر مُصطفّين متوازيين في الدائرة، ويكون فرق الجهد عبر الفولتمتر مساويًا لفرق الجهد عبر عنصر الدائرة، كما يكون هناك أكثر من مسار للتيار في الدائرة الكهربائية.

التوصيل على التوالي Series Connection نوع من التوصيل يكون فيه مسار واحد للتيار فقط في الدائرة الكهربائية.

التيار الاصطلاحي Conventional Current سريان الشحنات الموجبة من منطقة الجهد المرتفع إلى منطقة الجهد المنخفض.

التيار الدوامي Eddy Current تيار يتولد في قطعة فلزية موضوعة في مجال مغناطيسي متغير أو متحركة في مجال مغناطيسي منتظم، وتولد مجالًا مغناطيسيًّا معاكسًا لاتجاه الحركة التي ولّدت التيار.

التيار الفعّال Effective Current قيمة التيار المستمر الذي يولّد كمية الحرارة نفسها التي يولدها التيار المتناوب لو مرّ كل منهما على حدة في المقاومة نفسها في الزمن نفسه.

التيار الكهربائي Electric Current تدفق جسيمات مشحونة.

ج

الجلفانومتر Galvanometer جهاز يستخدم لقياس التيارات الكهربائية الصغيرة جدًّا أوالكشف عنها، ويمكن تحويله إلى أميتر أو فولتمتر.

ح

الحث الذاتي Self– Inductance حث قوة دافعة كهربائية EMF في سلك يتدفق فيه تيار متغير.

الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction عملية توليد التيار الكهربائي في دائرة، وسببه الحركة النسبية بين السلك والمجال المغناطيسي عندما يتحرك السلك خلال المجال المغناطيسي، أو عندما يتحرك المجال المغناطيسي خلال السلك.

الحث المتبادل Mutual –Inductance تأثير التغير في التيار الكهربائي المار بالملف الابتدائي لمحول كهربائي، والذي يحدث تغيرًا في المجال المغناطيسي ينتقل خلال القلب الحديدي إلى الملف الثانوي في المحول ليولد التغير في المجال قوة دافعة كهربائية حثية متغيرة EMF.

المصطلحات

خ

خطوط المجال الكهربائي Electric Field Lines خطوط وهمية تمثل مسار وحدة الشحنات الموجبة، وتشير إلى شدة المجال الكهربائي من خلال المسافات بينها، وهي لا تتقاطع، كما أنها تخرج دائمًا من الشحنات الموجبة وتدخل إلى الشحنات السالبة.

د

دائرة التوازي Parallel Circuit أحد أنواع الدوائر الكهربائية، تحتوي على مسارات متعددة للتيار الكهربائي، بحيث يكون مجموع التيارات في هذه المسارات مساويًا للتيار الرئيس، وإذا فُتحت دائرة أيّ مسار للتيار لا تتأثر تيارات المسارات الأخرى.

دائرة التوالي Series Circuit أحد أنواع الدوائر الكهربائية، يمر في كل جهاز فيها التيار نفسه، ويكون للتيار القيمة نفسها عند كلِّ جزء من أجزائها، وهو يساوي فرق الجهد مقسومًا على المقاومة المكافئة للدائرة.

دائرة القصر Short Circuit تحدث عند تشكّل دائرة كهربائية ذات مقاومة صغيرة جدًّا، ممّا يؤدي إلى تدفق تيار كهربائي كبير جدًّا، قد يسبب حدوث حريق بسهولة؛ نتيجة ارتفاع درجة حرارة الأسلاك.

الدائرة الكهربائية Electric Circuit حلقة مغلقة أو مسار موصل يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية.

الدوائر المُركّبة Combination Series – Parallel Circuit دائرة كهربائية معقدة تتضمن توصيلات على التوالي وعلى التوازي معًا.

س

سطح تساوي الجهد Equipotential موضعان أو أكثر داخل المجال الكهربائي يكون فرق الجهد الكهربائي بينها صفرًا.

السعة الكهربائية Capacitance النسبة بين الشحنة المُخزّنة على جسم وفرق جهده الكهربائي.

ش

الشحنة الأساسية (الأولية) Elementary Charge مقدار الشحنة الكهربائية لإلكترون واحد.

ط

الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum مدى كلي للترددات والأطوال الموجية، يشكّل كل الموجات الكهرومغناطيسية ومنها موجات الراديو والميكروويف والضوء المرئي والأشعة السينية.

المصطلحات

ع

العوازل الكهربائية Dielectrics مواد غير موصلة – منها الزجاج والهواء والماء – تنتقل خلالها الموجات الكهرمغناطيسية بسرعة أقل من سرعتها في الفراغ.

ف

فرق الجهد الكهربائي Electric Potential Difference التغير في طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنة داخل مجال كهربائي.

الفولت Volt وحدة قياس الجهد الكهربائي وتساوي واحد جول لكل كولوم 1 J /1 C.

الفولتمتر Voltmeter جهاز ذو مقاومة كبيرة، يستخدم في قياس الهبوط في الجهد خلال أيّ جزء من أجزاء الدائرة الكهربائية، ويوصل على التوازي مع الجزء المراد قياس فرق الجهد بين طرفيه.

ق

قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ Ground – Fault Interrupter جهاز يحتوي دائرة إلكترونية تستشعر الفروقات البسيطة في التيار الكهربائي الناجمة عن مسار إضافي للتيار، فيعمل القاطع على فتح الدائرة الكهربائية، فيمنع حدوث الصعقات الكهربائية، ويستخدم عادة في تأمين الحماية في الحمام والمطبخ والمنافذ الكهربائية الخارجية.

قاطع الدائرة الكهربائية Circuit Breaker مفتاح آلي يعمل كجهاز حماية في الدائرة الكهربائية؛ حيث يفتح الدائرة ويوقف مرور التيار فيها عندما تصبح قيمته أكبر من القيمة المسموح بها.

قاعدة قبضة اليد اليمنى Curt Right – Hand Rule طريقة مستخدمة لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي نسبة إلى اتجاه التيار الاصطلاحي.

قاعدة اليد اليمنى Right– Hand Rule طريقة مستخدمة في تحديد اتجاه المجال المتولد بوساطة مغناطيس كهربائي بالنسبة إلى اتجاه تدفق الشحنات،وكذلك يمكن استخدامها لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يحمل تيارًا والسلك موجود داخل مجال مغناطيسي.

قانون كولوم Coulomb's Law ينص على أن القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما.

قانون لنز Lenz's Law ينص على أن التيار الحثي المتولد يكون اتجاهه دائمًا بحيث يقاوم المجال المغناطيسي الذي كان سببًا في توليده أو التغير في المجال المغناطيسي الذي ولده.

القوة الدافعة (المحركة) الكهربائية Electromotive Force فرق جهد مقيس بالفولت، معطى للشحنات بوساطة البطارية، ويرمز له بالرمز EMF.

ك

الكهرباء الإجهادية Piezoelectricity خاصية للبلورة تسبب انحناءها أو تشوهها فتولد تذبذبات كهربائية عند تطبيق فرق جهد عليها.

المصطلحات

الكولوم Coulomb وحدة قياس الشحنة الكهربائية حسب النظام الدولي للوحدات SI، وهو يساوي مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون.

الكيلوواط.ساعة Kilowatt.Hour وحدة طاقة تستخدمها شركات الكهرباء لقياس الطاقة الـمُستهلكة؛ 1KWh يساوي 1000W تصل بشكل مستمر لمدة 3600 s (1h).

م

متوسط القدرة Average Power نصف القيمة القصوى للقدرة المرتبطة مع التيار المتناوب.

المجال الكهربائي Electric Field المنطقة المحيطة بأي جسم مشحون وتظهر فيها آثار القوى الكهربائية.

المجالات المغناطيسية Magnetic Field منطقة محيطة بالمغناطيس أو حول سلك أو ملف سلكي يتدفق فيه تيار؛ حيث توجد قوة مغناطيسية.

مجزّئ الجهد Voltage Divider دائرة توال، تستخدم لإنتاج مصدر جهد بالمقدار المطلوب من مصدر ذو جهد كبير، ويستخدم عادة بوصفه مجسًّا حساسًا كمًا في المقاومات الضوئية.

المحرك الكهربائي Electric Motor جهاز يحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية دورانية.

المحول الخافض Step– Down Transformer نوع من المحولات، يكون فيه فرق الجهد الناتج من المحول أقل من فرق الجهد المدخل إليه.

المحول الرافع Step–up Transformer نوع من المحولات، يكون فيه فرق الجهد الناتج من المحول أكبر من فرق الجهد المدخل إليه.

المحوّل الكهربائي Transformer جهاز يمكنه رفع أو خفض فرق الجهد في دوائر AC مع فقدان قليل من الطاقة.

المُستقبِل receiver جهاز يستعمل للحصول على معلومات من الموجات الكهرمغناطيسية، ويتكون من هوائي ودائرة ملف ومكثف وكاشف لفك شفرة الإشارة ومضخم.

المستقطب Polarization الضوء الذي تتذبذب موجاته في مستوى واحد فقط بالنسبة للمغناطيس؛ ويصف خاصية امتلاك جسم ما منطقتين مختلفتين عند نهايتيه، إحداهما تُسمّى الباحثة عن القطب الشمالي أما الأخرى فتسمى الباحثة عن القطب الجنوبي.

مطياف الكتلة Mass Spectrometer جهاز يستخدم المجالين الكهربائي والمغناطيسي في قياس كتلة الذرات المتأينة والجزيئات ويحدّد نسبة شحنة الأيون إلى كتلته.

المغناطيس الكهربائي Electromagnet مغناطيس ناتج عن مرور التيار الكهربائي بملف سلكي.

المقاوم الكهربائي Resistor أداة ذات مقاومة محددة، قد تكون مصنوعة من أسلاك رفيعة وطويلة أو من الجرافيت أو من مادة شبه موصلة، وتستخدم عادة للتحكم في التيار المار في الدوائر الكهربائية أو في أجزاء منها.

المقاومة الكهربائية Resistance خاصية تحدد مقدار التيار المتدفق، وتساوي فرق الجهد مقسومًا على التيار.

المقاومة المكافئة Equivalent Resistance مقاومة مفردة تحل محل مجموعة مقاومات (موصولة على التوالي أو التوازي أو كليهما معًا)، بحيث يكون لهذه المقاومة نفس التيار والجهد الذي لمجموعة المقاومات؛ أي يمر فيها نفس

المصطلحات

التيار المار في مجموعة المقاومات، ويكون لها نفس هبوط الجهد على طرفي مجموعة المقاومات.

الملف الابتدائي Primary Coil أحد ملفي المحول الكهربائي، يولد قوة دافعة كهربائية حثية متناوبة EMF في الملف الثانوي، عند وصله بمصدر فرق جهد متناوب AC.

الملف الثانوي Secondary Coil أحد ملفي المحول الكهربائي، تتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية متناوبة بوساطة مرور تيار AC بالملف الابتدائي.

الملف ذو القلب الحديدي Armature ملف سلكي لمحرك كهربائي، مصنوع من عدة لفات حول محور أو أسطوانة حديدية.

الملف الحلزوني Solenoid ملف سلكي طويل يتكون من عدة لفات، ويضاف المجال الناتج عن كل لفة إلى مجال اللفة الأخرى بحيث يولّد مجالًا مغناطيسيًّا كليًّا قويًّا.

المنصهر الكهربائي Fuse قطعة صغيرة من فلز تعمل بوصفها جهاز حماية في الدائرة الكهربائية؛ حيث تنصهر، فيتوقف مرور التيار إذا مرّ في الدائرة تيار كهربائي كبير قد يُشكّل خطرًا عليها.

المنطقة المغناطيسية Domain مجموعة صغيرة جدًّا في حدود μ (10–1000) تتشكل عندما تترتب خطوط المجال المغناطيسي للإلكترونات في مجموعة الذرات المتجاورة في الاتجاه نفسه.

الموجة الكهرمغناطيسية Electromagnetic Wave موجة ناتجة عن التغير المزدوج في المجالين الكهربائي والمغناطيسي، وتنتقل في الفضاء.

الموصل فائق التوصيل Superconductor مادة مقاومتها صفر، وتوصل الكهرباء دون فقدان أو ضياع في الطاقة.

المولد الكهربائي Electric Generator جهاز يحوّل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، ويتكون من عدد من الملفات الموضوعة في مجال مغناطيسي قوي.

ن

النظير Isotope كل شكل من الأشكال المختلفة للذرة نفسها، له كتلة مختلفة والخصائص الكيميائية نفسها.

هـ

الهوائي Antenna سلك مصمّم لإرسال أو استقبال الموجات الكهرمغناطيسية.

التعليم
مستقبل البحرين

مطبعة أوال
awalpress