

التيار الكهربائي



تم تحميل هذا الملف من موقع المناهج الإماراتية

موقع المناهج ← المناهج الإماراتية ← الصف التاسع المتقدم ← رياضيات ← الفصل الثالث ← ملفات متنوعة ← الملف

تاريخ إضافة الملف على موقع المناهج: 23:16:45 2026-05-23

ملفات اكتب للمعلم اكتب للطالب ا اختبارات الكترونية ا اختبارات ا حلول ا عروض بوربوينت ا أوراق عمل
منهج انجليزي ا ملخصات وتقارير ا مذكرات وبنوك ا الامتحان النهائي ا للمدرس

المزيد من مادة
رياضيات:

التواصل الاجتماعي بحسب الصف التاسع المتقدم



صفحة المناهج
الإماراتية على
فيسبوك

الرياضيات

اللغة الانجليزية

اللغة العربية

التربية الاسلامية

المواد على تلغرام

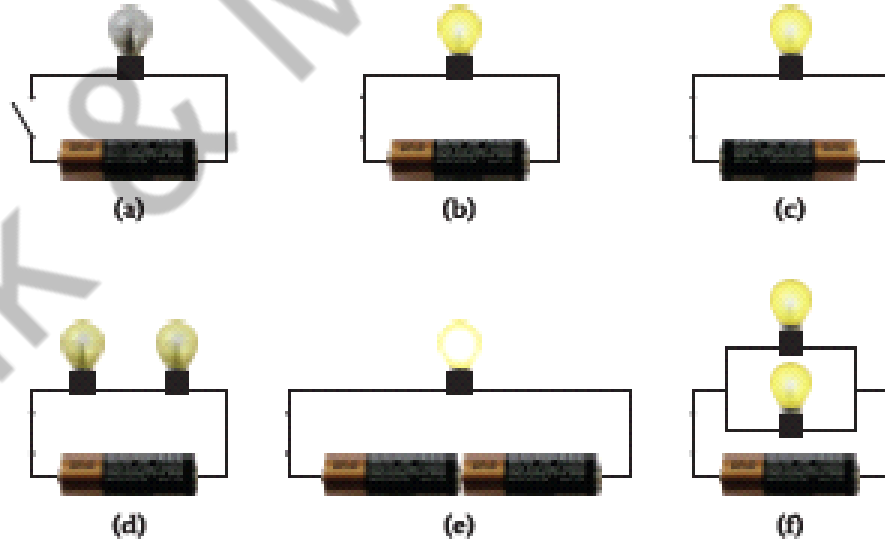
المزيد من الملفات بحسب الصف التاسع المتقدم والمادة رياضيات في الفصل الثالث

هيكل الرياضيات	1
ملزمة الهيكل الوزاري 2026	2
حل أوراق عمل الوحدة التاسعة الدوال والمعادلات الجذرية والنسبية منهج بريدج	3
أوراق عمل الوحدة التاسعة الدوال والمعادلات الجذرية والنسبية منهج بريدج	4
تمارين متنوعة محلولة لدرس عكس المشتقة والدوال الأصلية 2026	5

فيما سبق، ركزت دراستنا للكهرباء على الكهرباء الساكنة التي تتناول خصائص الشحنات الكهربائية الثابتة ومجالاتها. تعرفنا على الدوائر الكهربائية أثناء مناقشة المكثفات في الوحدة 24، لكنها تناولت الحالات التي تتضمن مكثفات كاملة الشحن فقط؛ حيث تكون الشحنة في وضع السكون. لو كانت الكهرباء في شكل الكهرباء الساكنة فقط، لما كانت مهتمة بهذا الشكل بالنسبة إلى المجتمع الحديث. حيث يرجع تأثير الكهرباء المغير للعالم إلى خصائص الشحنات المتحركة أو التيار الكهربائي. تعتمد جميع الأجهزة الكهربائية في تشغيلها على أحد أنواع التيار.

لنستهل الدرس بتناول بعض التجارب البسيطة للغاية. حينها كنت صغيراً، من المرجح جداً أنك كنت تمتلك بعض الألعاب التي تعمل بالبطاريات، ومن المحتمل كذلك أن بعضها كان يحتوي على مصابيح صغيرة. ففكر في دائرة بسيطة جداً تتكون من بطارية ومفتاح ومصباح (انظر الشكل 5.2). إذا كان المفتاح مفتوحاً، كما في الشكل 5.2a، فلن يضيء المصباح. إذا كان المفتاح مغلقاً، كما في الشكل 5.2b، فسيضيء المصباح. كلنا نعرف سبب حدوث هذا - وهو تدفق التيار عبر الدائرة المغلقة. في الوحدة 24، عرفنا أن البطارية توفر فرق الجهد للدائرة. وفي هذه الوحدة، سنتناول المقصود بتدفق التيار، والأساس الفيزيائي للتيار، ومدى ارتباطه بفرق الجهد الناتج عن البطارية. سنعرف أن المصباح يقوم بدور المقاوم في الدائرة، وسنتعرف على كيفية عمل المقاومات.

لنبدأ بالتفكير في التجربة البسيطة التي تم إجراؤها في الشكل 5.2c. حيث يكون اتجاه البطارية عكس اتجاهها في الشكل 5.2b. يضيء المصباح بالشكل نفسه، على الرغم من انعكاس إشارة فرق الجهد الناتج عن البطارية. (يقع طرف البطارية الموجب عند الطرف ذي اللون النحاسي). في الشكل 5.2d، ثمة مصباحان في الدائرة، يقع أحدهما خلف الآخر. (سيركز القسم 5.5 على هذا الترتيب



الشكل 5.2 تجارب باستخدام البطاريات والمصابيح الضوئية.

للمقاومات الذي يمثل توصيلاً على التوالي). يضيء المصباحان بكثافة أقل بدرجة ملحوظة من إضاءة المصباح الواحد في الشكل 5.2c. لذا قد يكون التيار المتدفق في الدائرة أقل مما سبق. من ناحية أخرى، تؤدي البطاريتان المتصلتان على التوالي، كما في الشكل 5.2e، إلى مضاعفة فرق الجهد في الدائرة، ما يؤدي إلى إضاءة المصباح بشكل أكثر سطوعاً على نحو ملحوظ. في النهاية، إذا استُخدمت أسلاك منفصلة لتوصيل مصباحين ببطارية واحدة، كما في الشكل 5.2f، فسيضيء المصباحان بالشدة نفسها تقريباً كما في الشكل 5.2b أو الشكل 5.2c. يُطلق على هذه الطريقة المستخدمة في توصيل المقاومات في الدائرة اسم التوصيل على التوازي وهذا ما سنتعرف عليه في القسم 5.6. من الناحية الكمية، يمثل **التيار الكهربائي**، i ، الشحنة الكلية المارة عبر نقطة محددة في زمن محدد، مقسومة على هذا الزمن. ومن ثمَّ لا تمثل حركة الإلكترونات العشوائية في الموصل تياراً. على الرغم من حقيقة أنَّ كميات كبيرة من الشحنة تتجاوز نقطة محددة، وذلك بسبب عدم وجود شحنة متدفقة. إذا تجاوز صافي الشحنة dq نقطة ما خلال زمن dt ، فسيكون التيار عند هذه النقطة، بحسب التعريف،

$$(5.1) \quad i = \frac{dq}{dt}$$

مقدار الشحنة الكلية المارة عبر نقطة محددة خلال زمن t يساوي تكامل التيار بالنسبة إلى الزمن.

$$(5.2) \quad q = \int dq = \int_0^t i dt'$$

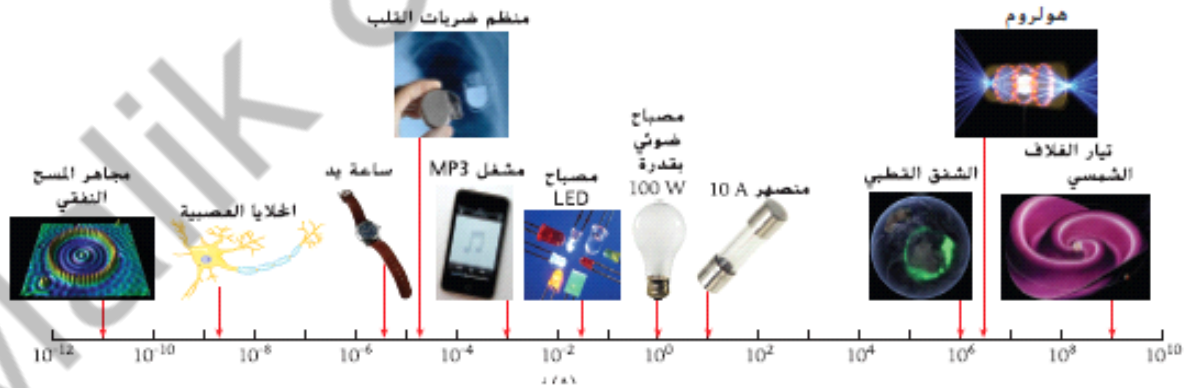
يتم حفظ الشحنة الكلية، ما يستلزم ضمناً عدم فقدان الشحنة المتدفقة في الموصل مطلقاً. وبناءً عليه، يتساوى مقدار الشحنة المتدفقة داخل أحد طرفي الموصل مع المقدار الخارج من الطرف الآخر. يُطلق على وحدة التيار، عدد الكولوم في الثانية، اسم **أمبير** (ويختصر إلى **A**، أو **amp** في بعض الأحيان). نسبة إلى عالم الفيزياء الفرنسي أندريه أمبير (1775 – 1836).

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$$

تكون قيمة بعض التيارات النموذجية 1 A للمصباح، و 200 A لبائى التشغيل في السيارة، و $1 \text{ mA} = 1 \times 10^{-3} \text{ A}$ لتشغيل مشغل **MP3**، و 1 nA للتيارات في توصيلات الخلايا العصبية والعظلية في الدماغ و $10,000 \text{ A} = 10^4 \text{ A}$ في صاعقة البرق (لمدة قصيرة). تتكون أصغر التيارات التي يمكن قياسها من الإلكترونات الفردية التي تسبح داخل مجاهر المسح التفتي وهي في حدود 10 pA . أما أكبر تيار في النظام الشمسي، فهو الرياح الشمسية التي تقع في مدى **GA**. يوضح الشكل 5.3 أمثلة أخرى من مجموعة كبيرة من التيارات. يجب أن نتذكر قاعدة السلامة البسيطة هذه التي تتعلق برتبة مقادير التيارات: 10^{-10} – 10^2 . ما يعني أنه يمكن الشعور بالتيار المتدفق داخل جسم الإنسان بمقدار 1 mA (عادة في صورة وخز)،

هولروم

الهولروم هي أداة للاندماج النووي بواسطة الانضغاط الكتلي.



الشكل 5.3 أمثلة لتيارات كهربائية تتراوح بين 1 pA و 10 GA .

-116
119كتاب الطالب
مثال 5.1

1

يحل مسائل تتعلق بالتيار الكهربائي وتدفق الشحنة الكلية عبر موصل.

مثال 5.1 الإرحال الأيوني

ثمة ثلاثة طرق لتناول الدواء المضاد للالتهابات. الطريقة غير المؤلمة، وهي عن طريق الفم - مجرد ابتلاع الدواء. ومع ذلك، تؤدي هذه الطريقة إلى سريان كمية صغيرة من الدواء في النسيج المتضرر، حوالي $1 \mu\text{g}$. الطريقة الثانية، هي حقن الدواء موضعياً باستخدام إبرة الحقن. هذا مؤلم، إلا أنه يوصل حوالي 10 mg من الدواء إلى داخل النسيج المتضرر - أكثر أربع مرات مما توصله طريقة تناول الدواء عن طريق الفم. ومع ذلك، منذ التسعينيات، تم اكتشاف طريقة ثالثة، تتميز بأنها غير مؤلمة كذلك ويمكن أن توصل حوالي $100 \mu\text{g}$ من الدواء في الموضع المطلوب. تستخدم هذه الطريقة، والتي يُطلق عليها اسم 'الإرحال الأيوني'، تيارات كهربائية (ضعيفة للغاية) يتم إرسالها عبر نسيج المريض (الشكل 5.4). يتكون جهاز الإرحال الأيوني من بطارية وفلطين (بالإضافة إلى دائرة إلكترونية أخرى تتيح للممرضة التحكم في شدة التيار المستخدم). يتم وضع الدواء المضاد للالتهاب، عادة الديكساميثازون، في الجزء السفلي من القطب المشحون بشحنة سالبة. يتدفق التيار عبر جلد المريض ويوصل الدواء إلى النسيج بمقدار عمق يصل إلى 1.7 cm .

المسألة

تريد إحدى الممرضات إعطاء $80 \mu\text{g}$ من الديكساميثازون في كعب لاعب كرة القدم المصاب. إذا استخدمت جهاز الإرحال الأيوني الذي يستخدم تياراً بمقدار 0.14 mA ، كما هو موضح في الشكل 5.4، فما المدة التي يستغرقها إعطاء جرعة واحدة؟ افترض أن الأداة لها معدل حقن مقداره $650 \mu\text{g}/\text{C}$ وأن التيار يتدفق بمعدل ثابت.

-119
120
141كتاب الطالب
تمارين - س 5.30
(a,b) 5.31

2

يطبق المعادلة ($J = i/A$) لحساب التيار أو كثافة التيار أو مساحة المقطع العرضي لموصل يمر خلاله تيار كهربائي عمودي على مساحة مقطعه العرضي.
يحدد أن المقاومة النوعية يمكن تعريفها بدلالة مقدار المجال الكهربائي المؤثر E ومقدار كثافة التيار J ، حيث $\rho = E/J$ ، ويحدد وحدتها بوصفها (Ωm) .

• 5.30 سلك نحاسي قطره $d_{Cu} = 0.0500 \text{ cm}$ وطوله 3.00 m وله كثافة حامل شحنة تبلغ $8.50 \cdot 10^{28}$ إلكترون لكل متر³. كما هو مبين في الشكل، تم توصيل

5.30• سلك نحاسي قطره $d_{Cu} = 0.0500 \text{ cm}$ وطوله 3.00 m . وله كثافة حامل شحنة تبلغ $8.50 \cdot 10^{28}$ إلكترون لكل متر³. كما هو مبين في الشكل. تم توصيل السلك النحاسي بسلك من الألمنيوم له الطول نفسه وقطره $d_{Al} = 0.0100 \text{ cm}$ وله كثافة حامل شحنة تبلغ 6.02×10^{28} إلكترون لكل متر³. يتدفق تيار قدره 0.400 A في السلك النحاسي.

(a) ما نسبة كثافتي التيارين في السلكين. J_{Cu}/J_{Al} ؟

5.31• يتدفق تيار شدته 0.123 mA في سلك من النضة تبلغ مساحة مقطعه العرضي 0.923 mm^2 .
(a) أوجد كثافة الإلكترونات داخل السلك. مفترضًا وجود إلكترون توصيل واحد في كل ذرة فضة.

(b) أوجد كثافة التيار في السلك. مفترضًا أن التيار منتظم.



الشكل 5.5 المقطع العرضي من موصل (سلك)، يقطعه المستوى العمودي ويكون مساحة المقطع عرضي A .

فكر في تيار متدفق في موصل ما. بالنسبة إلى المستوى العمودي على الموصل، يمثل التيار المتدفق لكل وحدة مساحة عبر الموصل عند هذه النقطة (مساحة المقطع العرضي A في الشكل 5.5) كثافة التيار، $\vec{J}$ يُعرف اتجاه $\vec{J}$ بأنه اتجاه السرعة المتجهة للشحنات الموجبة (أو الاتجاه المضاد للشحنات السالبة) المارة عبر المستوى. التيار المتدفق عبر المستوى يساوي

$$i = \int \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad (5.3)$$

حيث يمثل $d\vec{A}$ عنصر المساحة التفاضلية للمستوى المتعامد، كما هو موضح في الشكل 5.5. بما أن التيار منتظم وعمودي على المستوى، إذا $\vec{J} = J\vec{A}$ ، ويمكن التعبير عن كثافة التيار كما يلي

$$J = \frac{i}{A} \quad (5.4)$$

في الموصل الذي لا يسري فيه تيار، تتحرك الإلكترونات التوصيل بشكل عشوائي. حينما يتدفق التيار عبر الموصل، تواصل الإلكترونات حركتها العشوائية إلا أنها تتمتع أيضًا بما يسمى **سرعة الانسحاق**، $\vec{v}_d$ في الاتجاه المقابل لاتجاه المجال الكهربائي الدافع للتيار. يُقدر مقدار سرعة الحركة العشوائية بحوالي 10^6 m/s ، في حين يُقدر مقدار سرعة الانسحاق بحوالي 10^{-4} m/s أو أقل. بسبب سرعة الانسحاق البطيئة هذه، قد تتساقط عن سبب إضاءة المصباح على الفور بمجرد تشغيل المفتاح. تمثل الإجابة في أن المفتاح ينشئ مجالًا كهربائيًا في كل أجزاء الدائرة على الفور (بسرعة مقدارها $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ تقريبًا)، ما يؤدي إلى حركة قورية للإلكترونات الحرة في الدائرة بأكملها (كما في ذلك داخل المصباح).

ترتبط كثافة التيار بسرعة انسحاق الإلكترونات المتحركة. فكر في موصل ذي مساحة مقطع عرضي A وتم تطبيق المجال الكهربائي $\vec{E}$ عليه. افترض أن الموصل يحتوي على n من الإلكترونات التوصيل لكل وحدة حجم. وأن كل الإلكترونات لها سرعة انسحاق متساوية، وأن كثافة التيار منتظمة. ستنتساق الإلكترونات المشحونة بشحنة سالبة في الاتجاه المضاد لاتجاه المجال الكهربائي. في العترة الزمنية dt ، يتحرك كل إلكترون مسافة صافية مقدارها $v_d dt$. ومن ثم، حجم الإلكترونات المارة عبر المقطع العرضي للموصل في الزمن dt يساوي $Av_d dt$ ، وعدد الإلكترونات في هذا الحجم يساوي $nAv_d dt$. كل إلكترون مشحون بشحنة $-e$ ، إذا الشحنة dq المتدفقة عبر المساحة في الزمن dt تساوي

$$dq = -nev_d A dt \quad (5.5)$$

إذا، التيار يساوي

$$i = \frac{dq}{dt} = -nev_d A \quad (5.6)$$

كثافة التيار الناتجة تساوي

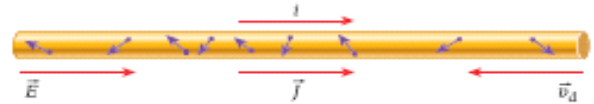
$$J = \frac{i}{A} = -nev_d \quad (5.7)$$

تم اشتقاق المعادلة 5.7 في بُعد مكاني واحد، حسيبًا يتناسب مع السلك. ومع ذلك، يمكن تعميمها بسهولة على الاتجاهات العشوائية في المساحة ثلاثية الأبعاد:

$$\vec{J} = -(ne)\vec{v}_d$$

يمكنك ملاحظة أن متجه سرعة الانسحاق موازي لمتجه كثافة التيار ومضاد له في الاتجاه، كما وضعنا سابقًا.

يوضح الشكل 5.6 رسمًا تخطيطيًا لأحد الأسلاك التي يسري فيها التيار. حاملات التيار الفيزيائية عبارة عن إلكترونات مشحونة بشحنة سالبة. في الشكل 5.6، تتحرك هذه الإلكترونات ناحية اليسار بسرعة انسحاق $\vec{v}_d$ ومع ذلك، يتجه كل من المجال الكهربائي وكثافة التيار واتجاه التيار جميعًا ناحية اليمين وفقًا لمبدأ أن هذه الكميات تشير إلى شحنات موجبة. قد تجد هذا المبدأ محيرًا بعض الشيء، لكن يتحتم عليك تذكره.

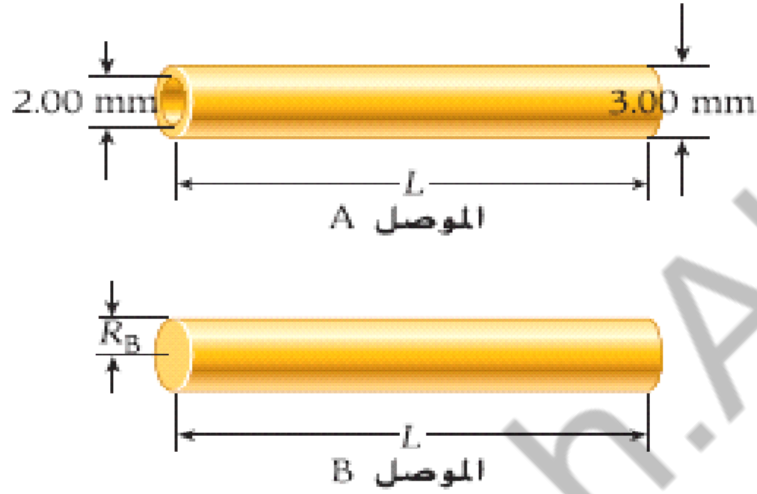


الشكل 5.6 تتحرك الإلكترونات في السلك من اليمين إلى اليسار، مسببة تيارًا في الاتجاه من اليسار إلى اليمين.

141-142	تمارين - القسم 5.3 س 5.32-5.33-5.36-5.37	3 يطبق المعادلة ($R = \rho L/A$) في حل المسائل لحساب كمية مجهولة عند معرفة الكميات الأخرى.
---------	---	--

5.32 ما مقاومة سلك نحاسي طوله $l = 10.9 \text{ m}$ وقطره $d = 1.30 \text{ mm}$ ؟
تبلغ المقاومة النوعية للنحاس $1.72 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$.

5.33 موصلان مصنوعان من المادة نفسها ومتساويان في الطول L . الموصل **A** عبارة عن أنبوب مجوف قطره الداخلي 2.00 mm وقطره الخارجي 3.00 mm . الموصل **B** عبارة عن سلك مصمت نصف قطره R_B . ما قيمة R_B اللازم توافرها للموصلين لتكون لهما المقاومة نفسها المقاسة بين طرفيهما؟



5.36 رفاقة مستطيلة من السيليكون النقي، مقاومتها النوعية $\rho = 2300 \Omega \text{ m}$ وأبعادها 2.00 cm و 3.00 cm و 0.0100 cm. أوجد أقصى مقاومة لهذه الرفاقة المستطيلة بين أي وجهين.

5.37. سلك نحاسي طوله 1.00 m ونصف قطره 0.500 mm تم تمديده ليصبح طوله 2.00 m. ما التغير الحادث في المقاومة في صورة كسر، $\Delta R/R$ ، الناتج عن تمديد السلك؟ ما النسبة $\Delta R/R$ لسلك مصنوع من الألمنيوم له الأبعاد الأولية نفسها؟

122	كتاب الطالب	يعرف الموصلية (σ) بأنها مقلوب المقاومة النوعية ($\sigma = 1/\rho$) ويحدد وحدتها بأنها $(\Omega m)^{-1}$	4
126	كتاب الطالب	يعرف القوة الدافعة الكهربائية (emf) بأنها فرق الجهد (الفولتية) الذي توفره بطارية أو جهاز (جهاز emf). يعرف هبوط الجهد وحدد أن انخفاض الجهد يحدث عبر الأجهزة الموصولة في الدائرة (مثل المقاومات) عند سريان التيار في الدائرة.	5
140 141	أسئلة الاختيار من متعدد 5.6-5.6-5.3-5.2 أسئلة مفاهيمية 5.21-5.17	يحدد ويصف ترتيب المقاومات على التوالي وعلى التوازي. يحسب المقاومة المكافئة للمقاومات الموصولة على التوالي وعلى التوازي.	6

5.2 تقوم بتوصيل مقاومين على التوازي. المقاوم **A** له مقاومة كبيرة جدًا والمقاوم **B** له مقاومة صغيرة جدًا. ستكون المقاومة المكافئة لهذه المجموعة

- أكبر بقليل من مقاومة المقاوم **A**.
- أقل بقليل من مقاومة المقاوم **A**.
- أكبر بقليل من مقاومة المقاوم **B**.
- أقل بقليل من مقاومة المقاوم **B**.

5.3 سلكان أسطوانيان، 1 و 2 مصنوعان من المادة نفسها، ولهما المقاومة نفسها. إذا كان طول السلك 2 ضعف طول السلك 1، فما نسبة مساحة المقطع العرضي لكل منهما، A_1 و A_2 ؟

a) $A_1/A_2 = 2$

c) $A_1/A_2 = 0.5$

b) $A_1/A_2 = 4$

d) $A_1/A_2 = 0.25$

5.6 أي من ترتيبات المصابيح الضوئية الثلاثة المتطابقة الموضحة في الشكل يسحب مقدار التيار الأكبر من البطارية؟

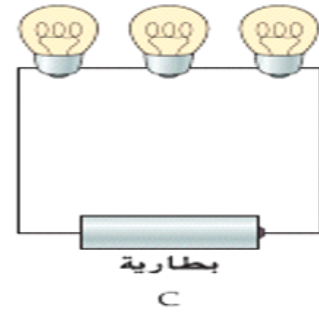
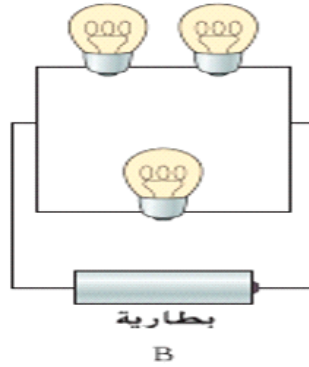
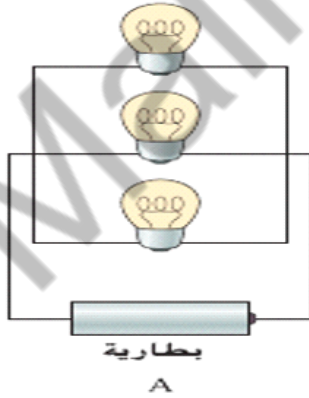
A (a)

B (b)

C (c)

(d) يسحب الثلاثة تيارًا متساويًا.

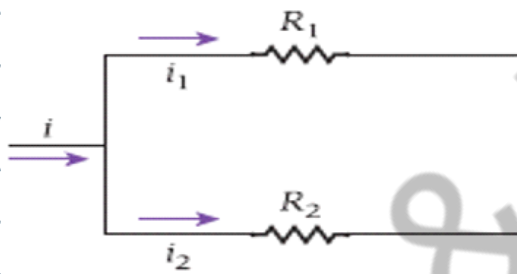
(e) يتعادل A و C في سحب أكبر تيار.



5.17 تم توصيل مصباحين ضوئيين متطابقين ببطارية ما. هل ستكون إضاءة المصباحين أكثر سطوعاً إذا تم توصيلهما على التوالي أم على التوازي؟

5.18 تم توصيل مقاومين لهما مقاومتان R_1 و R_2 على التوازي. وضح أنه بصرف النظر عن القيم الفعلية لكل من R_1 و R_2 ، ستكون المقاومة المكافئة أقل من المقاومة الأصغر منهما دائماً.

5.19 أثبت أنه في المقاومات المتصلة على التوالي، دائمًا ما تكون المقاومة الأكبر هي الأكثر تبديدًا للقدرة. في حين أنه في المقاومات المتصلة على التوازي، دائمًا ما تكون المقاومة الأصغر هي الأكثر تبديدًا للقدرة.



5.20 بالنسبة إلى التوصيلات المبينة في الشكل، حدد التيار i_1 بدلالة التيار الكلي i و R_1 و R_2 .

5.21 تم توصيل عدد لا نهائي من المقاومات على التوازي. إذا كانت $R_1 = 10 \Omega$ و $R_2 = 10^2 \Omega$ و $R_3 = 10^3 \Omega$ وهكذا، فأثبت أن $R_{eq} = 9 \Omega$.

تُوصف الأجهزة أحياناً من حيث **التوصيل**، G . ويعرف كما يلي

$$G = \frac{i}{\Delta V} = \frac{1}{R}$$

للتوصيل وحدة مشتقة في النظام الدولي وهي السيمنز (S). نسبة إلى المخترع ورجل الصناعة الألماني إيرنست فيرنر فون سيمنز (1816 - 1892).

$$1 \text{ S} = \frac{1 \text{ A}}{1 \text{ V}} = \frac{1}{1 \Omega}$$

في بعض الموصلات، تعتمد المقاومة النوعية على الاتجاه الذي يتدفق فيه التيار. تفترض هذه الوحدة أن المقاومة النوعية لمادة منتظمة بالنسبة إلى جميع الاتجاهات التيار. تعتمد مقاومة الجهاز على المادة المصنوع منها وكذلك تصميمه الهندسي. وكما ذكرنا سابقاً، تُحدد المقاومة النوعية لمادة مدى معاومتها لتدفق التيار. يتم تعريف المقاومة النوعية بدلالة مقدار المجال الكهربائي المستخدم، E ، ومقدار كثافة التيار الناتج، J .

$$(5.10) \quad \rho = \frac{E}{J}$$

وحدات المقاومة النوعية هي

$$[\rho] = \frac{[E]}{[J]} = \frac{\text{V/m}}{\text{A/m}^2} = \frac{\text{V m}}{\text{A}} = \Omega \text{ m}$$

يظهر الجدول 5.1 المقاومة النوعية لبعض الموصلات عند درجة حرارة 20°C . وكما ترى، تبلغ القيم النموذجية للمقاومة النوعية للموصلات الفلزية المستخدمة في الأسلاك حوالي $10^{-8} \Omega \text{ m}$. على سبيل المثال، تبلغ المقاومة النوعية للنحاس $2 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ تقريباً. تتميز العديد من السبائك الفلزية المدرجة في الجدول 5.1 بخصائصها المفيدة. على سبيل المثال، غالباً ما يستخدم السلك المصنوع من النيكرم (80% من النيكل و20% من الكروم) كعنصر تسخين في الأجهزة الكهربائية مثل المحبسة الكهربائية. عند تحميم الخبز في المرة التالية، التي نظرة داخل المحبسة. من المحتمل أن تكون العناصر المتوهجة هي أسلاك النيكرم. تبلغ المقاومة النوعية للنيكرم ($108 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$) حوالي 50 ضعف المقاومة النوعية للنحاس. ومن ثم، حينما يسري التيار في أسلاك النيكرم في المحبص، تبدد الأسلاك القدرة وتزداد سخونتها إلى أن تتوهج بلون أحمر باهت، في حين تظل أسلاك النحاس داخل السلك الكهربائي الموصلة بين المحبسة والجدار باردة.

في بعض الأحيان، تصنف المواد بدلالة قدرتها على **التوصيل** (الموصلية)، σ . بدلاً من مقاومتها النوعية، ρ ، تعرف الموصلية بأنها

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

وحدة المقاومة النوعية هي $(\Omega \text{ m})^{-1}$.

يمكن إيجاد مقاومة الموصل من مقاومته النوعية وتصميمه الهندسي. بالنسبة إلى الموصل المتجانس الذي طوله L وله مساحة مقطع عرضي ثابت A ، يمكن استخدام المعادلة $\Delta V = - \int \vec{E} \cdot d\vec{s}$ لربط المجال الكهربائي، E ، بفرق الجهد الكهربائي، ΔV ، عبر الموصل:

$$E = \frac{\Delta V}{L}$$

لاحظ أنه على النقيض من الكهرباء الساكنة، عندما يكون سطح أي موصل متساوي الجهد ولا يحتوي على مجال كهربائي بداخله ولا يتدفق عبره أي تيار. فإن الموصل في هذه الحالة له $\Delta V \neq 0$ و $\vec{E} \neq 0$ ، ما ينتج عنه تدفق التيار. مقدار كثافة التيار يساوي التيار مقسوماً على مساحة المقطع العرضي.

$$J = \frac{i}{A}$$

من تعريف المقاومة النوعية (المعادلة 5.10) واستخدام $J = i/A$ وقانون أوم (المعادلة 5.8). نحصل على

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{\Delta V/L}{i/A} = \frac{\Delta V}{i} \frac{A}{L} = \frac{iR}{i} \frac{A}{L} = R \frac{A}{L}$$

الجدول 5.1		المقاومة النوعية ومعامل درجة الحرارة للمقاومة النوعية لبعض الموصلات المختارة
المادة	المقاومة النوعية، ρ ، عند 20°C ($10^{-8} \Omega \text{ m}$)	معامل درجة الحرارة، α (10^{-3} K^{-1})
الحضة	1.62	3.8
النحاس	1.72	3.9
الذهب	2.44	3.4
الألمنيوم	2.82	3.9
النحاس الأصفر	3.9	2
التنجستن	5.51	4.5
النيكل	7	5.9
الحديد	9.7	5
الغولاد	11	5
التنتالوم	13	3.1
الرصاص	22	4.3
الكوبالتاتان	49	0.01
الغولاد المطاوم للصدأ	70	1
الزئبق	95.8	0.89
النيكرم	108	0.4

تعتمد قيم الغولاد والمطاط للمقاومة للصدأ بدرجة كبيرة على نوع الغولاد.

(لاحظ أنَّ البطارية عبارة عن مصدر قوة دافعة كهربائية ثابتة، فهي لا توفر تيارًا ثابتًا للدائرة). تعرض البطاريات القابلة للشحن تصنيفًا بوحدة mAh (مللي أمبير ساعة) الذي يوفر معلومات عن الشحنة الكلية التي يمكن للبطارية توفيرها عندما تكون مشحونة بالكامل. وحدة mAh هي وحدة أخرى للشحنة،

$$1 \text{ mAh} = (10^{-3} \text{ A})(3600 \text{ s}) = 3.6 \text{ As} = 3.6 \text{ C}$$

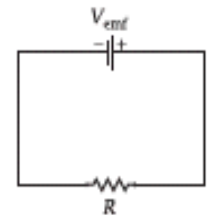
يمكن أن تكون المكونات الكهربائية في دائرة ما عبارة عن مصادر لإنتاج القوة الدافعة الكهربائية، أو المكثفات، أو المقاومات، أو أي جهاز كهربائي آخر. تتصل هذه المكونات عن طريق أسلاك موصلة. ويجب أن يكون مكون واحد منها على الأقل مصدرًا لإنتاج القوة الدافعة الكهربائية لأثر فرق الجهد الذي ينتجه جهاز القوة الدافعة الكهربائية هو ما يدفع التيار عبر الدائرة. يمكنك تخيل جهاز القوة الدافعة الكهربائية على أنه مضخة في خط أنابيب مياه؛ حيث إنَّه من دون المضخة، ستبقى المياه راكدة داخل الأنابيب ولن تتحرك. وبمجرد أن يتم تشغيل المضخة، تتحرك المياه عبر الأنابيب بتدفق مستمر. تبدأ الدائرة الكهربائية وتنتهي عند جهاز القوة الدافعة الكهربائية. بما أنَّ جهاز القوة الدافعة الكهربائية يحافظ على فرق جهد ثابت، V_{emf} ، بين طرفيه، ينتقل التيار الاصطلاحي الموجب من الجهاز من الجهد الأعلى لطرفه الموجب وينتج إلى الجهد الأقل لطرفه السالب. يتم تعيين هذا الجهد الأقل عادةً إلى صفر.

فكّر في دائرة بسيطة مثل الموضحة في الشكل 5.10. حيث يوفر مصدر القوة الدافعة الكهربائية فرق جهد، V_{emf} ، عبر مقاوم له مقاومة R . لاحظ مبدأ مهمًا للرسوم التخطيطية للدائرة؛ دائمًا ما يُرمز إلى المقاوم بخط متعرج. ويُفترض أنَّ كل المقاومة، R ، مُركّزة في هذا الموضع. يتم تمثيل الأسلاك التي تصل العناصر المختلفة للدائرة بخطوط مستقيمة، وهي تعني أنه ليست لها أي مقاومة. بالطبع، للأسلاك المادية بعض المقاومة، ولكن يُفترض أن يتم تجاهلها لغرض الرسم التخطيطي. بالنسبة إلى دائرة ما مثل الموضحة في الشكل 5.10، يوفر جهاز القوة الدافعة الكهربائية فرق الجهد الذي يُكوّن التيار المتدفق عبر المقاوم. ولذلك، في هذه الحالة، يمكن كتابة قانون أوم (المعادلة 5.9) بدلالة القوة الدافعة الكهربائية الخارجية بالصيغة

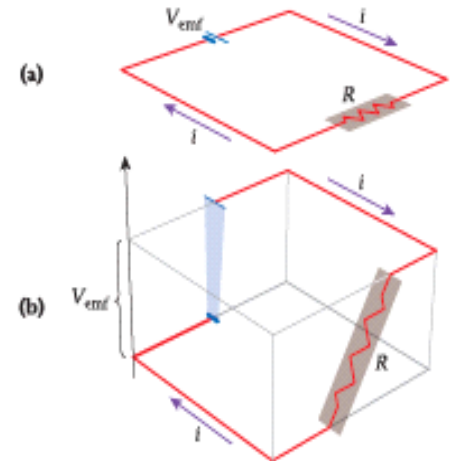
$$(5.14) \quad V_{\text{emf}} = iR$$

لاحظ أنه، بخلاف قانون نيوتن للجاذبية أو قانون حفظ الطاقة، فإنَّ قانون أوم ليس قانونًا خاصًا بالطبيعة. حتى إنَّه لا ينطبق على كل المقاومات. بالنسبة إلى الكثير من المقاومات، وتسمى *المقاومات الأومية*، يتناسب التيار طرديًا مع فرق الجهد عبر المقاوم على مدى واسع من درجات الحرارة ومدى واسع من فروق الجهد المطبقة. بالنسبة إلى المقاومات الأخرى، وهي *المقاومات غير الأومية*، لا يتناسب التيار طرديًا مع فرق الجهد على الإطلاق. تشمل المقاومات غير الأومية على أنواع كثيرة من الترانزستورات، وهذا يعني أنَّ قانون أوم لا ينطبق على العديد من الأجهزة الكهربائية الحديثة. وستتناول أحد هذه الأجهزة بنظرة عميقة، وهو الصمام الثنائي. في القسم 5.8، وعلى الرغم من ذلك، فإنَّ قانون أوم ينطبق على مجموعة كبيرة من المواد والأجهزة (مثل الأسلاك التقليدية)، ومن ثمَّ فهو يستحق الانتباه إلى نتائجه. نتعامل ما تبقى من هذه الوحدة (باستثناء القسم 5.8) مع المقاومات بوصفها أجهزة أومية؛ أي الأجهزة التي ينطبق عليها قانون أوم.

التيار، i ، الذي يتدفق عبر المقاوم في الشكل 5.10 يتدفق أيضًا عبر مصدر القوة الدافعة الكهربائية والأسلاك التي توصل المكونات. ولأنَّه من المفترض أن يكون للأسلاك مقاومة صفرية (كما هو مذكور أعلاه)، فإنَّه وفقًا لقانون أوم، يجب أن يحدث التغيير في جهد التيار في المقاوم. ويشار إلى هذا التغيير باسم **انخفاض الجهد** عبر المقاوم. ومن ثمَّ، يمكن تمثيل الدائرة الموضحة في الشكل 5.10 بطريقة مختلفة توضح موضع انخفاض الجهد وتوضح جهد كل جزء من الدائرة. يوضح الشكل 5.11a الدائرة في الشكل 5.10. يوضح الشكل 5.11b الدائرة نفسها ولكن مع بُعد رأسي يمثل قيمة الجهد الكهربائي في نقاط مختلفة في الدائرة. يوفر مصدر القوة الدافعة الكهربائية فرق الجهد، ويحدث انخفاض الجهد بالكامل عبر مقاوم واحد. (تذكّر، أنَّ المتفق عليه هو أنَّ الخطوط التي تصل عناصر الدائرة في الرسم التخطيطي للدائرة تمثل الأسلاك من دون مقاومة. ومن ثمَّ، فإنَّ أسلاك التوصيل ممثلة في الشكل 5.11b بخطوط أفقية، لتشير إلى أنَّ السلك بالكامل له قيمة الجهد ذاتها تمامًا). ينطبق قانون أوم على انخفاض الجهد عبر المقاوم، ويمكن حساب التيار في الدائرة باستخدام المعادلة 5.9.



الشكل 5.10 دائرة بسيطة تحتوي على مصدر قوة دافعة كهربائية ومقاوم.



الشكل 5.11 (a) تمثيل تقليدي لدائرة بسيطة بها مقاوم ومصدر قوة دافعة كهربائية. (b) تمثيل ثلاثي الأبعاد للدائرة نفسها، مبينًا الجهد عند كل نقطة في الدائرة. تم توضيح التيار في الدائرة في طريقتي العرض.

Malik & Moh. Alaa

142

نمارين - القسم 5.4

7

يحل مسائل تتضمن بطاريات حقيقية أو مثالية ومقاومات موصولة على التوالي.

5.40 تم استخدام فرق جهد 12.0 V على سلك مساحة مقطعه العرضي 4.50 mm^2 وطوله 1000 km . يبلغ التيار المتدفق عبر السلك $3.20 \times 10^{-3} \text{ A}$.

(a) ما مقاومة السلك؟

(b) ما نوع هذا السلك؟

5.41 يتم الترويج لنوع من بطاريات السيارة 12.0 V على أنها توفر "600 amps" في الأجواء الباردة". بافتراض أنَّ هذا التيار هو الذي توفره البطارية عندما تكون أطرافها قصيرة، أي متصلة بمقاومة لا تذكر، حدد المقاومة الداخلية للبطارية. (مهم: لا تجرب مثل هذا التوصيل لأنه قد يكون قاتلاً)!

5.42 سلك نحاسي نصف قطره $r = 0.0250 \text{ cm}$ وطوله 3.00 m . ومقاومته $\rho = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ ويحمل تياراً شدته 0.400 A . تبلغ كثافة حامل الشحنة للسلك 8.50×10^{28} إلكترون لكل متر³.

(a) ما المقاومة، R ، للسلك؟

(b) ما فرق الجهد الكهربائي، ΔV ، عبر السلك؟

(a) ما المجال الكهربائي، E ، داخل السلك؟

5.43. سلك نحاسي معيار 34 ($A = 0.0201 \text{ mm}^2$). تم استخدام فرق جهد ثابت قدره 0.100 V على طوله الذي يبلغ 1.00 m في درجة حرارة الغرفة (20.0°C). ثم تم تبريده إلى درجة حرارة النيتروجين السائل ($77 \text{ K} = -196^\circ\text{C}$).

- (a) حدد النسبة المئوية للتغير في مقاومة السلك أثناء انخفاض درجة الحرارة.
- (b) حدد النسبة المئوية للتغير في التيار المتدفق في السلك.
- (c) قارن بين سرعتي انسياب الإلكترونات عند درجتَي الحرارة.

142

تمارين - القسم 5.5 و 5.6

8 يحل مسائل تتضمن مقاومات موصولة على التوالي وعلى التوازي في دائرة.

5.44 تم توصيل مقاوم مجهول المقاومة ومقاوم تبلغ مقاومته 35.0Ω بجهاز قوة دافعة كهربائية 120 V بطريقة تسمح بتدفق تيار شدته 11.0 A . ما قيمة المقاومة المجهولة؟

5.45 بطارية لها فرق جهد قدره 14.50 V في حالة عدم توصيلها بدائرة كهربائية. عندما تم توصيل مقاوم مقاومته 17.91Ω بطرفي البطارية، هبط فرق الجهد إلى 12.68 V . ما قيمة المقاومة الداخلية للبطارية؟

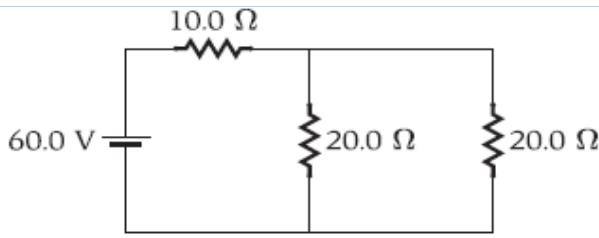
5.46 عندما يتم توصيل بطارية بمقاوم مقاومته 100Ω ، تكون شدة التيار 4.00 A . عندما يتم توصيل البطارية نفسها بمقاوم مقاومته 400Ω ، تكون شدة التيار 1.01 A . أوجد القوة الدافعة الكهربائية التي وفرتها البطارية والمقاومة الداخلية للبطارية.

5.47• تم توصيل مصباح ضوئي بمصدر قوة دافعة كهربائية. يوجد انخفاض جهد بمقدار 6.20 V عبر المصباح الضوئي ويتدفق تيار شدته 4.10 A خلال المصباح الضوئي.

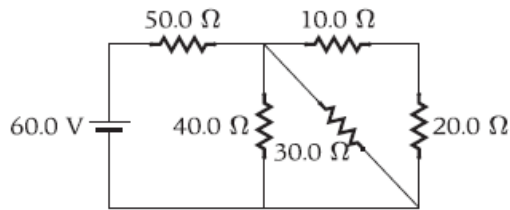
(a) ما مقاومة المصباح الضوئي؟

(b) تم توصيل مصباح ضوئي ثانٍ مطابق للأول على التوالي بالمصباح الأول. أصبح انخفاض الجهد عبر المصباحين 6.29 V . وشدة التيار المتدفق خلال المصباحين 2.90 A . احسب مقاومة كل مصباح.

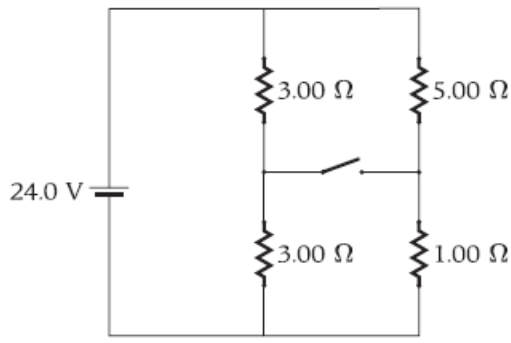
(c) لماذا تختلف إجابتا الجزأين (a) و (b)؟



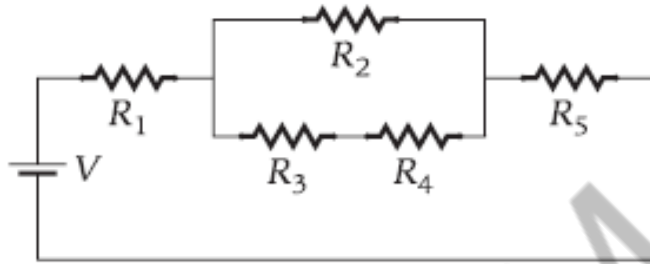
5.48 ما التيار المتدفق في المقاوم الذي تبلغ مقاومته 10.0Ω في الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل؟



5.49 ما قيمة المقاومة المكافئة للمقاومات الخمس في الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل؟

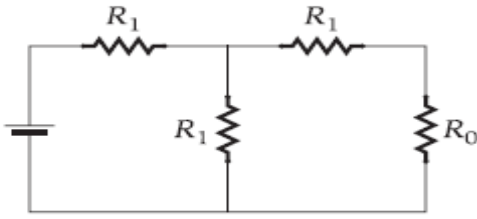


5.50 ما التيار في الدائرة الموضحة في الشكل عندما يكون المفتاح (a) مفتوحًا والمفتاح (b) مغلقًا؟



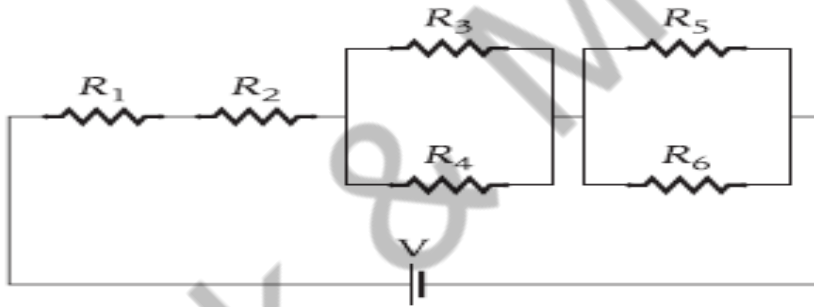
5.51 بالنسبة إلى الدائرة الموضحة في الشكل، $R_1 = 6.00 \Omega$ و $R_2 = 6.00 \Omega$ و $R_3 = 2.00 \Omega$ و $R_4 = 4.00 \Omega$ و $R_5 = 3.00 \Omega$ و فرق الجهد يبلغ 12.0 V .

- (a) ما المقاومة المكافئة للدائرة؟
 (b) ما التيار المتدفق خلال R_5 ؟
 (c) ما انخفاض الجهد عبر R_3 ؟



5.52 تم توصيل أربع مقاومات كما هو مبين في الشكل. ما قيمة R_1 في صورة مضاعفات R_0 التي ستجعل المقاومة المكافئة للدائرة تساوي R_0 ؟

5.53 تتكون دائرة كهربائية من مصدر قوة دافعة كهربائية يبلغ جهده $V = 20.0 \text{ V}$ وست مقاومات، كما هو مبين في الشكل. تم توصيل المقاومين $R_1 = 5.00 \Omega$ و $R_2 = 10.00 \Omega$ على التوالي. وتوصيل المقاومين $R_3 = 5.00 \Omega$ و $R_4 = 5.00 \Omega$ على التوازي معًا وعلى التوالي مع R_1 و R_2 . وتوصيل المقاومين $R_5 = 2.00 \Omega$ و $R_6 = 2.00 \Omega$ على التوازي معًا وأيضًا على التوالي مع R_1 و R_2 .

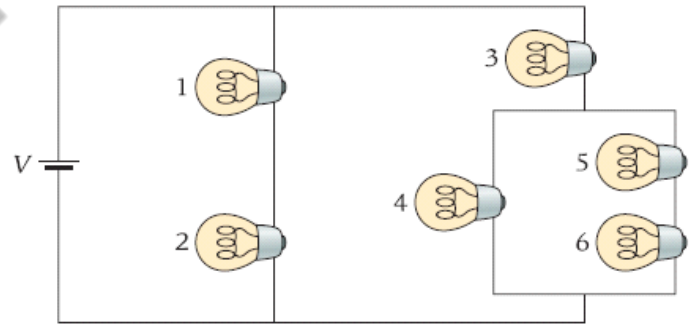


(c) ما انخفاض الجهد عبر كل مقاوم؟
(b) ما التيار المتدفق خلال كل مقاوم؟

5.54• عندما يوضع جهاز ذو قوة دافعة كهربائية 40.0 V بين طرفي مقاومين متصلين على التوالي، يتدفق تيار قدره 10.0 A خلال كل مقاوم. عندما يوضع جهاز القوة الدافعة الكهربائية نفسه بين طرفي المقاومين نفسيهما على التوازي، يبلغ التيار المتدفق خلال جهاز القوة الدافعة الكهربائية 50.0 A . ما مقدار المقاومة الأكبر منهما؟

141	أسئلة مفاهيمية 5.26	هيكل اختيار	يحل مسائل تتضمن القدرة الكهربائية.	9
143	تمارين - القسم 5.7 (59,61)			

5.26 رتب سطوع المصابيح الضوئية الستة المتطابقة في الدائرة الموضحة في الشكل. يمكن معالجة كل مصباح ضوئي كمقاوم متطابق له مقاومة R .



5.55 تتسبب نبضة فولتية في ارتفاع الجهد الحطبي في منزل ما سريعاً من 110 V إلى 150 V . ما النسبة المئوية للزيادة في خرج القدرة لمصباح متوهج يعمل بفتيل التنفسين وتبلغ قدرته 100 W أثناء تلك النبضة. مع افتراض أنَّ مقاومة المصباح تظل ثابتة؟

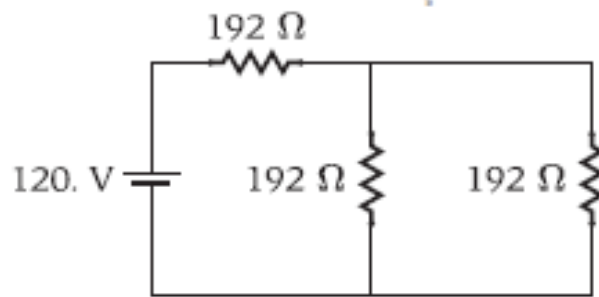
5.56 أنتجت سحابة رعدية مشابهة للسحابة الموضحة في المثال 24.3 صاعقة برق ضربت برج لاسلكي. إذا نقلت صاعقة البرق شحنة قدرها 5.00 C في غضون 0.100 ms وبقي الجهد ثابتاً عند 70.0 MV . أوجد (a) متوسط التيار (b) ومتوسط القدرة (c) وإجمالي الطاقة (d) ومقاومة الهواء الضعالة أثناء ضرب البرق للبرج.

5.57 يستهلك مجفف شعر 1600 W من القدرة ويعمل بجهد 110 V .
(افترض أن التيار مستمر. في الواقع، تمثل هذه القيم جذر متوسط المربع لكميات
التيار المتردد، ولكن الحساب لن يتأثر.)

(a) هل سيقوم مجفف الشعر بفصل قاطع التيار المضمّن لقطع الدائرة في حال تجاوز
التيار 15.0 A ؟

(b) ما مقاومة مجفف الشعر أثناء تشغيله؟

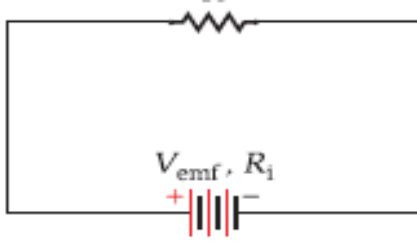
5.58 كم من المال يلزم صاحب بيت سدايه لشركة الكهرباء إذا قام بتشغيل مصباح
ضوئي متوهج بقدرة 100.00 W وتركه مُضاءً لمدة عام كامل؟ (افترض أن تكلفة
الكهرباء تساوي 0.12000 AED/kWh وأنّ المصباح قد ظل مُضاءً هذه المدة).
يمكن أن ينتج مصباح فلوري صغير بقدرة 26.000 W كمية الضوء نفسها. كم
ستكون التكلفة على صاحب المنزل إذا ترك مصباحاً كهذا مُضاءً لمدة عام؟



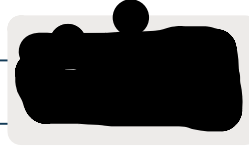
5.59 تم توصيل ثلاث مقاومات ببطارية كما هو مبين في الشكل.
(a) ما القدرة المبذّدة في المقاومات الثلاثة؟

(b) حدد انخفاض الجهد عبر كل مقاوم.

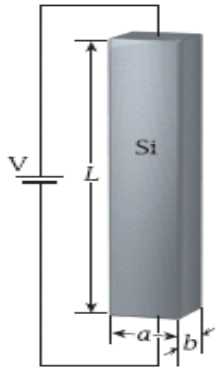
5.60 افترض أنّ بطارية AAA قادرة على تزويد 625 mAh قبل هبوط جهدها عن 1.50 V. ما المدة التي ستكون البطارية قادرة خلالها على تزويد مصباح بقوة 5.00 W بالطاقة قبل انخفاض جهدها عن 1.50 V؟



5.61• أثبت أن القدرة الموزدة إلى الدائرة المبينة في الشكل بواسطة بطارية
مقاومتها الداخلية R_i تبلغ أقصى قيمة لها عندما تكون مقاومة المقاوم R في الدائرة
متساوية مع R_i . حدد القدرة الموزدة إلى R للتدريب.
احسب الطاقة المبذولة بواسطة بطارية 12.0 V
مقاومتها الداخلية 2.00Ω عندما تكون $R = 1.00 \Omega$
و $R = 3.00 \Omega$ و $R = 2.00 \Omega$.



5.62• يمكن لسخان ماء يحتوي على ملف
متصل بأطراف مصدر قدرة 15.0 V تسخين
 250 mL من الماء من درجة حرارة الغرفة إلى
درجة الغليان في غضون 45.0 s . ما مقاومة الملف؟



• 5.63 تم تزويد فرق الجهد $V = 0.500 \text{ V}$ عبر كتلة من السيليكون مقاوميتها النوعية $8.70 \cdot 10^{-4} \Omega \text{ m}$ كما هو مبين بالشكل. أبعاد كتلة السيليكون هي: العرض $a = 2.00 \text{ mm}$ والطول $L = 15.0 \text{ cm}$. ومقاومة كتلة السيليكون تساوي 50.0Ω . وكثافة حاملات الشحنة تبلغ $1.23 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$. افترض أنّ كثافة التيار منتظمة داخل الكتلة وأنّ التيار يتدفق داخل السيليكون طبقاً لقانون أوم. يبلغ الطول الإجمالي للسلك نحاسي موجود في الدائرة 75.0 cm وقطره 0.500 mm وتبلغ المقاومة النوعية النحاس $1.69 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$.

(a) ما مقاومة، R_W ، للسلك النحاسي؟

(b) ما اتجاه التيار الكهربائي، I ، ومتمداه داخل الكتلة؟

(c) ما سُمك الكتلة، b ؟

(d) في المتوسط، كم يستغرق مرور إلكترون من أحد طرفي الكتلة إلى الطرف الآخر؟

(e) ما مقدار القدرة، P ، المبذّدة بواسطة الكتلة؟

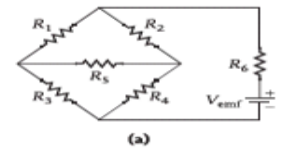
(f) في أي صورة من صور الطاقة تظهر هذه القدرة المبذّدة؟

10	يربط قاعدة كيرشوف للعقدة بقانون حفظ الشحنة الكهربائية ويطبق قاعدة كيرشوف للعقدة في حل المسائل.	كتاب الطالب	146
11	يربط قاعدة كيرشوف للحلقة بقانون حفظ الطاقة ويعبر عن قاعدة كيرشوف للحلقة رياضياً ويطبقها في حل المسائل.	كتاب الطالب	147-148

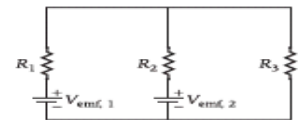
Kirchhoff's Rules

6.1 قانوناً كيرشوف

درست عدة أنواع من دوائر التيار المستمر (DC) التي تحتوي كل منها على جهاز واحد للخواص الدافعة الكهربائية إلى جانب مقاومات متصلة على التوالي أو على التوازي. تحتوي بعض الدوائر التي تبدو معقدة على عدة مقاومات متصلة على التوالي أو على التوازي. ويمكن استبدالها بمقاومة مكافئة. لكن، لم ندرس الدوائر التي تحتوي على مصادر متعددة للخواص الدافعة الكهربائية. بالإضافة إلى ذلك، توجد دوائر أحادية الحلقة ومتعددة الحلقات، بها أجهزة قوة دافعة كهربائية ومقاومات، لا يمكن اختزالها إلى دوائر بسيطة تحتوي على توصيلات على التوالي أو على التوازي. يوضح الشكل 6.2 مثالين على هذه الدوائر. تقدم هذه الوحدة شرحاً لكيفية تحليل هذه الأنواع من الدوائر باستخدام قانوني كيرشوف.



(a)



(b)

قانون كيرشوف للتيار

الوصلة هي مكان في دائرة حيث يوصل ثلاثة أسلاك أو أكثر بعضها ببعض. يُطلق على كل توصيلة بين وصلتين في دائرة فرع. يمكن أن يحتوي الفرع على عدد من عناصر الدوائر المختلفة والأسلاك التي بينها. يمكن أن يكون لكل فرع تيار متدفق، ويكون هذا التيار هو نفسه في جميع أجزاء الفرع. نحدد هذه الختيمة إلى **قانون كيرشوف للتيار**:

مجسوع التيارات الداخلة إلى وصلة معينة يجب أن يساوي مجموع التيارات الخارجة من الوصلة نفسها.

باستخدام إشارة موجب محدّدة (افتراضياً) للتيارات الداخلة إلى الوصلة، وإشارة سالب محدّدة للتيارات الخارجة من الوصلة نفسها، يُعبر عن قانون كيرشوف للتيار رياضياً كما يلي:

$$(6.1) \quad \sum_{k=1}^n I_k = 0, \text{ الوصلة}$$

كيف نعرف التيارات الداخلة إلى وصلة والخارجة من الوصلة نفسها عندما ننشئ رسماً كالموضح في الشكل 6.3؟ لا يمكنك أن تعرف، ببساطة اتجاهها لكل تيار يسري على طول سلك معين. إذا تبين أن أحد الاتجاهات المعينة خطأ، فستحصل على قيمة سالبة لهذا التيار المحدد في الحل النهائي لديك.

قانون كيرشوف للتيار هو نتيجة مباشرة لمبدأ حفظ الشحنة الكهربائية. وليس للوصلات القدرة على تخزين الشحنة. ومن ثمّ، يتطلب حفظ الشحنة خروج جميع الشحنات المتدفقة إلى وصلة ما من هذه الوصلة. وهذا بالضبط ما ينص عليه قانون كيرشوف للتيار.

وفقاً لقانون كيرشوف للتيار، عند كل وصلة في دائرة متعددة الحلقات، يجب أن يتساوى التيار المتدفق إلى الوصلة مع التيار المتدفق خارج الوصلة نفسها. على سبيل المثال، يوضح الشكل 6.3 وصلة مفردة، a ، مع دخول تيار، I_1 ، إلى الوصلة، وخروج تيارين، I_2 و I_3 ، من الوصلة نفسها. وفقاً لقانون كيرشوف للتيار، يُعبر عن هذه الحالة كما يلي:

$$\sum_{k=1}^3 I_k = I_1 - I_2 - I_3 = 0 \Rightarrow I_1 = I_2 + I_3$$

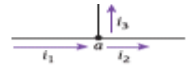
الشكل 6.2 مثالان على دوائر لا يمكن اختزالها إلى مجموعات بسيطة من المقاومات الموصلة على التوالي وعلى التوازي.



الشكل 6.3 وصلة مفردة من دائرة

كيرشوف للتيار. يُعبر عن هذه الحالة كما يلي.

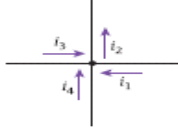
$$\sum_{k=1}^3 i_k = i_1 - i_2 - i_3 = 0 \Rightarrow i_1 = i_2 + i_3$$



الشكل 6.3 وصلة مفردة من دائرة متعددة الحلقات.

مراجعة المفاهيم 6.1

في الوصلة الموضحة في الشكل، ما المعادلة التي تعبر بشكل صحيح عن مجموع قيم التيارات؟



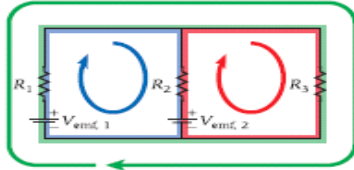
- $i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$
- $i_1 - i_2 + i_3 + i_4 = 0$
- $-i_1 + i_2 + i_3 - i_4 = 0$
- $i_1 - i_2 - i_3 - i_4 = 0$
- $i_1 + i_2 - i_3 - i_4 = 0$

قانون كيرشوف للجهد

الحلقة في دائرة هي مجموعة من العناصر الكهربائية والأسلاك الموصولة، والتي تشكل مسارًا مغلقًا. إذا اتبعت حلقة، فتصل إلى النقطة نفسها التي بدأت منها. على سبيل المثال، في الرسم التخطيطي الموضح في الشكل 6.2b، يمكن تحديد ثلاث حلقات محتملة. تُوضّح هذه الحلقات الثلاث بألوان مختلفة (أحمر وأخضر وأزرق) في الشكل 6.4. تشمل الحلقة الزرقاء المقاومين 1 و 2، ومصدرتي القوة الدافعة الكهربائية 1 و 2، وأسلاك التوصيل الخاصة بهما. وتشمل الحلقة الخضراء المقاومين 1 و 3، ومصدرتي القوة الدافعة الكهربائية 1 و 3، وأسلاك التوصيل الخاصة بهما. وتشمل الحلقة الحمراء المقاومين 2 و 3، ومصدرتي القوة الدافعة الكهربائية 2 و 3، وأسلاك التوصيل الخاصة بهما. لاحظ أن أي سلك محدد أو عنصر دائرة يمكن أن يكون جزءًا من أكثر من حلقة واحدة، وعادة ما يكون ذلك. يمكنك التنقل عبر أي حلقة في دائرة في اتجاه عقارب الساعة أو في عكس اتجاه عقارب الساعة. يوضح الشكل 6.4 مسارات غير كل حلقة من الحلقات في اتجاه عقارب الساعة، كما هو موضح بالأشهر. ولكن الاتجاه الذي يأخذه المسار حول الحلقة بعيد الصلة، طالما أنه يتم اتباع اختيار بصورة متسقة في جميع أجزاء الحلقة.

يجب فروق الجهد الناتجة عن جميع عناصر الدائرة التي تصادفها على طول حلقة معينة، ينتج إجمالي فرق جهد المسار الكامل على طول الحلقة. إذا، ينص **قانون كيرشوف للجهد** على أنه:

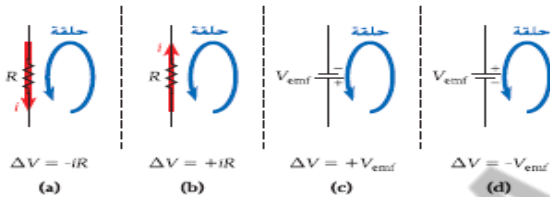
يجب أن يكون المجموع الجبري لفرق الجهد في حلقة (دائرة كهربائية مغلقة) يساوي صفراً.



الشكل 6.4 الحلقات الثلاث المحتملة (الموضحة بالأخضر، والأزرق، في الرسم التخطيطي للدائرة الموضح في الشكل 6.2b).

قانون كيرشوف للجهد هو نتيجة مباشرة للحقيقة التي تنص على أن الجهد الكهربائي أحادي القيمة. ويعني هذا أن طاقة الوضع الكهربائية للإلكترون عند نقطة معينة في الدائرة لها قيمة محددة واحدة. افترض أن هذا القانون كان غير صحيح. فمن ثمّ يمكننا تحليل تغيرات طاقة الوضع الكهربائية للإلكترون أثناء دورانه حول حلقة، والعثور على هذا الإلكترون الذي يصبح لديه طاقة وضع كهربائية مختلفة عند عودته إلى نقطة البداية. ستتغير طاقة الوضع الكهربائية لهذا الإلكترون عند نقطة ما في الدائرة. ويتعارض هذا تناقضًا واضحًا مع قانون حفظ الطاقة. بمعنى آخر، يُعد قانون كيرشوف للجهد بمثابة نتيجة لقانون حفظ الطاقة.

يتطلب تطبيق قانون كيرشوف للجهد افتراضات لتحديد انخفاض الجهد عبر كل عنصر في الدائرة. يتوقف هذا على الاتجاه المفترض للتيار واتجاه التحليل. بالنسبة إلى مصادر القوة الدافعة الكهربائية، تُعد الافتراضات واضحة: حيث تشير إشارات السالب والموجب (بالإضافة إلى الخطوط القصيرة والطويلة) إلى جانب مصدر القوة الدافعة الكهربائية الأعلى جهداً. ويكون انخفاض جهد مصدر القوة الدافعة الكهربائية في الاتجاه الذي يبدأ من السالب إلى الموجب أو من خط قصير إلى خط طويل. كما ذكرنا سابقاً، يتم تعيين اتجاهات التيار واختيار مسار حول حلقة معينة في اتجاه عقارب الساعة أو في عكس اتجاه عقارب الساعة عشوائياً. سيعطي أي اتجاه المعلومات نفسها، طالما يتم اتباعه بصورة متسقة حول الحلقة. تُخصص الافتراضات المستخدمة لتحليل عناصر الدائرة في حلقة معينة في الجدول 6.1 والشكل 6.5. حيث يكون مقدار التيار عبر عنصر الدائرة هو i (تطبيق التسميات الواردة في العمود الموجود أقصى يسار الجدول 6.1 مع أجزاء من الشكل 6.5).



الشكل 6.5 افتراضات الإشارات الخاصة بتغيرات الجهد أثناء تحليل الحلقات.

العنصر	الاتجاه	تغير الجهد
R	اتجاه التيار نفسه	$-iR$
R	عكس اتجاه التيار	$+iR$
V_{emf}	اتجاه القوة الدافعة الكهربائية نفسها	$+V_{emf}$
V_{emf}	عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية	$-V_{emf}$

الوحدة 6 دوائر التيار المستمر

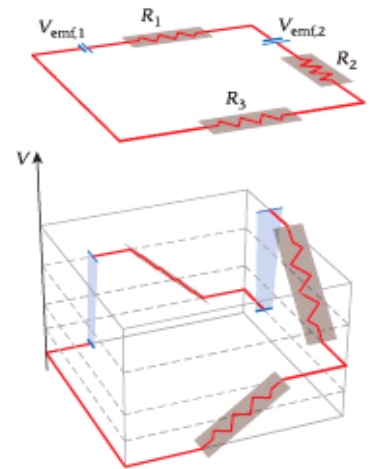
148

إذا تحركنا حول حلقة في دائرة في اتجاه التيار نفسه، فإن تغيرات الجهد عبر المقاومات ستكون سالبة. إذا تحركنا حول حلقة في عكس اتجاه التيار، فإن تغيرات الجهد عبر المقاومات ستكون موجبة. إذا تحركنا حول حلقة بالطريقة التي مرورنا بها بمصدر قوة دافعة كهربائية من الطرف السالب إلى الطرف الموجب، فسيسهم هذا المكون في وجود فرق جهد موجب. إذا مررنا بمصدر قوة دافعة كهربائية من الطرف الموجب إلى الطرف السالب، فسيسهم هذا المكون في وجود فرق جهد سالب. باستخدام هذه الافتراضات، يُكتب قانون كيرشوف للجهد بالصيغة التالية

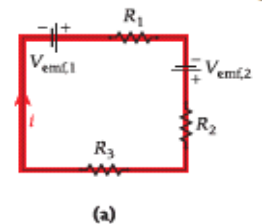
$$(6.2) \quad \sum_{j=1}^m V_{emf,j} - \sum_{k=1}^n i_k R_k = 0 \quad \text{الحلقة المغلقة}$$

لتوضيح قانون كيرشوف للجهد، يوضح الشكل 6.6 حلقة بمصدرين للقوة الدافعة الكهربائية وثلاثة مقاومات. مع استخدام العرض ثلاثي الأبعاد حيث تمثل قيمة الجهد الكهربائي V في البعد الرأسي. تتمثل النقطة الأكثر أهمية التي بصورها الشكل 6.6 في أن الدورة الواحدة الكاملة حول الحلقة تنتهي دائمًا بقيمة الجهد نفسها الموجودة عند نقطة البداية. وهذا بالضبط ما ينص عليه قانون كيرشوف للجهد (المعادلة 6.2).

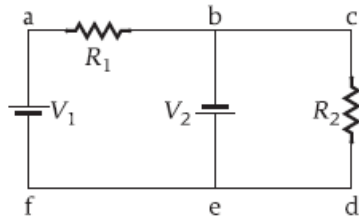
يوضح الشكل 6.7a الدائرة الموضحة في الشكل 6.6 بوصفها حلقة أحادية معزولة. وحيث لا تحتوي هذه الحلقة على وصلات، ولها فرع واحد فقط (وهي حلقة كاملة)، يتدفق التيار i نفسه في جميع أجزاء الحلقة. في الشكل 6.7b، توصل هذه الحلقة بأجزاء أخرى من دائرة أكثر اتساعاً عند أربع وصلات (مسماة كما يلي: a و b و c و d). تحتوي هذه الحلقة الآن على أربعة فروع. يمكن أن يكون لكل منها تيار مختلف يتدفق خلالها. كما هو موضح بواسطة الأسهم المختلفة الألوان في الشكل. يوضح هذا الأمر أنه: في كلا جزأي الشكل، ينطبق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة الموضحة. تُعد القيم النسبية للجهد الكهربائي بين أي عنصرين للدائرة في الشكل 6.7b هي نفسها القيم الموضحة في الشكل 6.6. بغض النظر عن التيارات التي تدفقها بقية أجزاء الدائرة عبر الفروع المختلفة للحلقة.



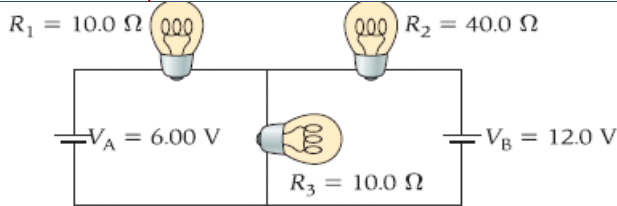
الشكل 6.6 حلقة تحتوي على عدة مصادر للقوة الدافعة الكهربائية والعديد من المقاومات.



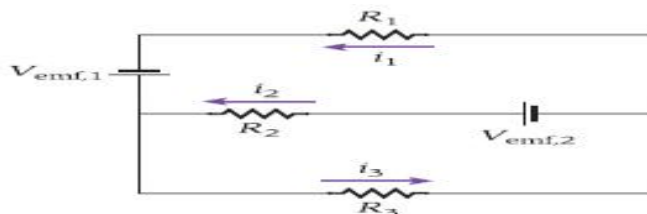
6.2 دوائر كهربائية أحادية الحلقة Single-Loop Circuits



6.32 في الدائرة الموضحة في الشكل.
 $V_1 = 1.50 \text{ V}$ و $V_2 = 2.50 \text{ V}$.
 $R_1 = 4.00 \Omega$ و $R_2 = 5.00 \Omega$.
 ما مقدار التيار i_1 المتدفق عبر المقاوم R_1 ؟



6.33 الدائرة الموضحة في الشكل تتكون من بطاريتين جهدهما V_A و V_B وثلاثة مصابيح ضوئية مقاومتها R_1 و R_2 و R_3 . احسب مقدار التيارات i_1 و i_2 و i_3 المتدفقة عبر المصابيح الثلاثة. حدد الاتجاهات الصحيحة لتدفق التيار عبر الدائرة الموضحة في الرسم التخطيطي. احسب القدرة P_A و P_B التي تولدها البطارية A والبطارية B.



6.34 في الدائرة الموضحة في الشكل.
 $R_1 = 5.00 \Omega$ و $R_2 = 10.0 \Omega$ و $R_3 = 15.0 \Omega$.
 $V_{emf,1} = 15.0 \text{ V}$ و $V_{emf,2} = 10.0 \text{ V}$.
 باستخدام قانون كيرشوف للتيار وقانون كيرشوف للجهد، حدد مقدار التيارات i_1 و i_2 و i_3 المتدفقة عبر R_1 و R_2 و R_3 على التوالي في الاتجاه المشار إليه في الشكل.

الحل 1

ينص قانون أوم على أن $V = iR$. إذا يمكننا إيجاد التيار في الدائرة:

$$i = \frac{V_{emf}}{R} = \frac{150. \text{ V}}{100. \times 10^3 \Omega} = 1.50 \times 10^{-3} \text{ A} = 1.50 \text{ mA}$$

المسألة 2

ما قيمة التيار في الدائرة عند توصيل الفولتميتر بين طرفي المقاوم؟

الحل 2

نوضح المقاومة المكافئة للمقاوم والفولتميتر الموصول على التوازي بواسطة

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}$$

بإيجاد المقاومة المكافئة وبالتعويض بالقيم العددية، نحصل على

$$R_{eq} = \frac{RR_V}{R + R_V} = \frac{(100. \times 10^3 \Omega)(10.0 \times 10^6 \Omega)}{100. \times 10^3 \Omega + 10.0 \times 10^6 \Omega} = 9.90 \times 10^4 \Omega = 99.0 \text{ k}\Omega$$

إذا، التيار يساوي

$$i = \frac{V_{emf}}{R_{eq}} = \frac{150. \text{ V}}{9.90 \times 10^4 \Omega} = 1.52 \times 10^{-3} \text{ A} = 1.52 \text{ mA}$$

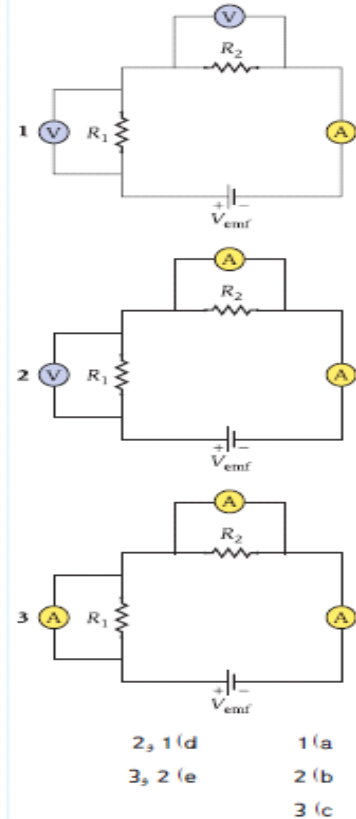
يزيد التيار في الدائرة بمقدار 0.02 mA عند توصيل الفولتميتر؛ لأن مقاومة المقاوم والفولتميتر الموصول على التوازي أقل من مقاومة المقاوم وحده. ولكن، التأثير بسيط، حتى مع هذه المقاومة الكبيرة نسبيًا ($R = 100. \text{ k}\Omega$).

سؤال الاختبار الذاتي 6.2

عند تشغيل يادئ تشغيل سيارة أثناء تشغيل المصابيح الأمامية، تختف الإضاءة. اشرح.

مراجعة المفاهيم 6.4

أي من الدوائر الموضحة في الشكل لن تعمل بشكل صحيح؟



مسألة محلولة 6.3

المسألة

يمكن استخدام الأميتر لقياس مجموعة مختلفة لقيم التيار عن طريق إضافة مجزئ تيار على هيئة مقاوم مجزئ للتيار موصول على التوازي بالأميتر. المقاوم المجرئ للتيار هو ببساطة مقاوم ذو مقاومة صغيرة جدًا. يُستبدل اسمه من واقع أنه عند توصيله على التوازي بالأميتر، الذي مقاومته أكبر، يُحوّل معظم التيار من خلاله، متجاوزًا الأميتر. تقل حساسية الأميتر لهذا السبب، مما يتيح له قياس تيارات أكبر. افترض أن أميتر يعطي قراءة التدرجات بالكامل عندما يمر تيار مقداره $i_{int} = 5.10 \text{ mA}$ خلاله. وتبلغ المقاومة الداخلية للأميتر $R_i = 16.8 \Omega$. لاستخدام هذا الأميتر لقياس أقصى تيار مقداره $i_{max} = 20.2 \text{ A}$ ، ما مقدار المقاومة اللازمة للمقاوم المجرئ للتيار، R_s ، الموصول على التوازي بالأميتر؟

الحل

فكر يجب أن تكون مقاومة المقاوم المجرئ للتيار الموصول على التوازي بالأميتر أقل بشكل ملحوظ من المقاومة الداخلية للأميتر. وستندقق عندئذٍ معظم التيار خلال المقاوم المجرئ للتيار بدلًا من الأميتر.

ارسم الشكل 6.19 يوضح مقاومة مجزئًا للتيار، R_s ، موصولًا على التوازي بالأميتر.

ابحث المقاومان متصلان على التوازي. إذا فرق الجهد متساوٍ بين طرفي كل مقاوم. فرق الجهد الذي يعطي قراءة التدرجات بالكامل على الأميتر هو

$$(i) \quad \Delta V_{fs} = i_{int} R_i$$

نعرف أن المقاومة المكافئة للمقاومين الموصولين على التوازي تُوضح بواسطة

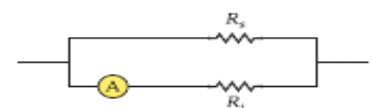
$$(ii) \quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_s}$$

انخفاض الجهد بين طرفي المقاومة المكافئة يجب أن يساوي انخفاض الجهد بين طرفي الأميتر الذي يعطي قراءة التدرجات بالكامل عندما يتدفق تيار i_{max} عبر الدائرة. لذا، يمكننا أن نكتب

$$(iii) \quad \Delta V_{fs} = i_{max} R_{eq}$$

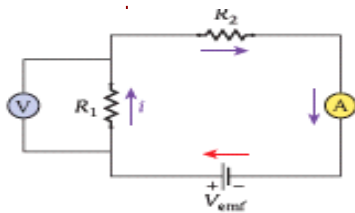
حوّل إلى أبسط صورة من خلال دمج المعادلتين (i) و (iii) لإيجاد فرق الجهد، نحصل على

$$(iv) \quad \Delta V_{fs} = i_{int} R_i = i_{max} R_{eq}$$

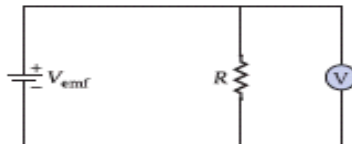


الشكل 6.19 أميتر موصول بين طرفيه مقاوم مجزئ التيار على التوازي.

هـ. حسب معادلات أوم ما تحتاج إليه تريد إيجاد القيم الجيدة في مساهمة محددة. من يجمع على هذا، إنه تعميم الجبر. ولكن، بمجرد حصولك على الحل، يمكنك استخدام حلقة أو أكثر من الحلقات غير المستخدمة للتحقق من القيم التي توصلت إليها.



الشكل 6.17 وضع أميتر وفولتميتر في دائرة بسيطة.



الشكل 6.18 دائرة بسيطة تحتوي على فولتميتر موصل على التوازي بين طرفي مقاوم.

6.4 أجهزة الأميتر والفولتميتر Ammeters and Voltmeters

يسمى الجهاز المستخدم لقياس التيار **الأميتر**. يسمى الجهاز المستخدم لقياس فرق الجهد **الفولتميتر**. لقياس التيار، يجب توصيل أميتر في دائرة على التوالي. يوضح الشكل 6.17 أميتر موصل في دائرة بطريقة تسمح له بقياس التيار I . لقياس فرق الجهد، يجب توصيل فولتميتر على التوازي بالمكوّن الذي يجب قياس فرق الجهد بين طرفيه. يوضح الشكل 6.17 فولتميتر موضوع في الدائرة لقياس انخفاض الجهد بين طرفي المقاوم R_1 .

من المهم معرفة أن هذه الأجهزة يجب أن تكون قادرة على القياس عند مرور التيار في الدائرة بأقل قدر ممكن. ومن ثمّ، تُصمم أجهزة الأميتر بمقاومة أقل ما يمكن، وعادةً ما تكون في حدود $1\ \Omega$. لذا ليس لها تأثير ملحوظ في التيارات التي تقيسها. تُصمم أجهزة الفولتميتر بمقاومة أكبر ما يمكن، وعادةً ما تكون في حدود $10\ M\Omega$ ($10^7\ \Omega$). لذا لها تأثير طفيف في فروق الجهد التي تقيسها. عملياً، تتم قياسات التيار وفرق الجهد باستخدام ملتيميتر رقمي يمكنه التبديل بين عمله كأميتر وعمله كنولتميتر. إنه يعرض النتائج على شاشة رقمية تحتوي على إشارة فرق الجهد أو التيار. تستطيع معظم أجهزة الملتيميتر الرقمية أيضاً قياس مقاومة أي عنصر في الدائرة الكهربائية؛ بمعنى، أنها يمكنها العمل كجهاز **أوميتر**. يؤدي الملتيميتر الرقمي هذه المهمة بتطبيق فرق جهد معلوم وقياس التيار الناتج. هذا الاختيار متعدد في تحديد مدى استمرارية الدائرة وحالة المنصهرات، بالإضافة إلى قياس مقاومة المقاومات.

مثال 6.2 فولتميتر في دائرة بسيطة

فكر في دائرة بسيطة تتكون من مصدر للقوة الدافعة الكهربائية جهده $V_{emf} = 150\ V$ ومقاوم $R = 100\ k\Omega$ (الشكل 6.18). يُوصل فولتميتر مقاومته $R_V = 10.0\ M\Omega$ بين طرفي المقاوم.

المسألة 1

ما قيمة التيار في الدائرة قبل توصيل الفولتميتر؟

- نبيع

يمكننا إعادة ترتيب المعادلة (iv) والتعويض عن R_{eq} في المعادلة (ii):

$$(v) \quad \frac{i_{max}}{i_{int} R_1} = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_s}$$

من خلال حل المعادلة (v) لإيجاد المقاوم الجزئي للتيار، نحصل على

$$\frac{1}{R_s} = \frac{i_{max}}{i_{int} R_1} - \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_1} \left(\frac{i_{max}}{i_{int}} - 1 \right) = \frac{1}{R_1} \left(\frac{i_{max} - i_{int}}{i_{int}} \right)$$

أو

$$R_s = R_1 \frac{i_{int}}{i_{max} - i_{int}}$$

احسب بالتعويض بالقيم العددية، نحصل على

$$R_s = R_1 \frac{i_{int}}{i_{max} - i_{int}} = (16.8\ \Omega) \frac{5.10 \times 10^{-3}\ A}{20.2\ A - 5.10 \times 10^{-3}\ A} = 0.00424266\ \Omega.$$

قَرِّب النتيجة التي توصلنا إليها إلى ثلاثة أرقام معنوية،

$$R_s = 0.00424\ \Omega$$

تحقق ثانية كوِّض المقاومة المكافئة للأميتر والمقاوم الجزئي للتيار الموصّلين على التوازي بواسطة المعادلة (ii). حل تلك المعادلة لإيجاد المقاومة المكافئة وبالتعويض بالأعداد، نحصل على

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_s}{R_1 + R_s} = \frac{(16.8\ \Omega)(0.00424\ \Omega)}{16.8\ \Omega + 0.00424\ \Omega} = 0.00424\ \Omega$$

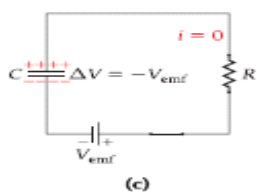
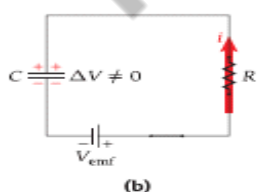
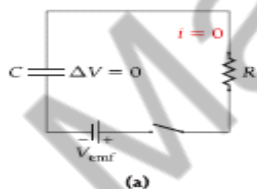
إذا، فالمقاومة المكافئة للأميتر والمقاوم الجزئي للتيار الموصّلين على التوازي تساوي تقريباً مقاومة المقاوم الجزئي للتيار. هذه المقاومة المكافئة المنخفضة ضرورية في جهاز قياس التيار الذي يجب توصيله على التوالي في دائرة. إذا كانت مقاومة جهاز قياس التيار عالية، فسيؤدي ذلك إلى اضطراب في قياس التيار.

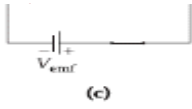
6.5 دوائر كهربائية تحتوي مقاومًا ومكثفًا RC Circuits

ناقشنا في هذه الوحدة حتى الآن الدوائر التي تحتوي على مصادر للقوة الدافعة الكهربائية ومقاومات، ولا تتغير التيارات في هذه الدوائر مع الزمن. ندرس الآن الدوائر التي تحتوي على مكثفات، بالإضافة إلى مصادر للقوة الدافعة الكهربائية ومقاومات. يطلق على هذه الدوائر **دوائر RC**. وتحتوي على تيارات تتغير مع الزمن. أبسط عمليات الدائرة التي تتضمن تيارات تتغير مع الزمن هي شحن مكثف وتفريغ شحنه. نتخصّن فيهم هذه العمليات المرتبطة بالزمن حل بعض المعادلات التفاضلية البسيطة. سنناقش التيارات المرتبطة بالزمن لاحقاً والتي ستستند إلى الطرائق المتقدمة هنا.

شحن مكثف

فكر في دائرة بها مصدر للقوة الدافعة الكهربائية، V_{emf} ، ومقاوم، R ، ومكثف، C (الشكل 6.20). في البداية، يُفتح المفتاح ويكون المكثف غير مشحون، كما هو موضح في الشكل 6.20a. عندما يُغلق المفتاح (الشكل 6.20b)، يبدأ التيار في التدفق في الدائرة، مراكماً شحنات متعاكسة على لوحي المكثف، وبهذا يتولد فرق جهد، ΔV ، بين طرفي المكثف. يتدفق التيار بسبب مصدر القوة الدافعة الكهربائية الذي يحافظ على جهد ثابت. عندما يُشحن المكثف بالكامل (الشكل 6.20c)، لا يتدفق بعد ذلك تيار في الدائرة، يتساوى عند ذلك فرق الجهد عبر اللوحيين مع الجهد الذي يوفره مصدر القوة الدافعة الكهربائية، ويكون مقدار الشحنة الكلية، q_{tot} ، على كل من لوحي المكثف هو $q_{tot} = CV_{emf}$. بينما يُشحن المكثف، يمكننا تحليل التيار i ، المتدفق في الدائرة (الافتراض تدفقه من الطرف السالب إلى الطرف الموجب داخل مصدر الجهد) عن طريق تطبيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة في الشكل 6.20b.





(c)

في الدائرة، يتساوى عند ذلك فرق الجهد عبر اللوحيين مع الجهد الذي يوفره مصدر القوة الدافعة الكهربائية، ويكون مقدار الشحنة الكلية، q_{tot} ، على كل من لوحي المكثف هو $q_{tot} = CV_{emf}$. بينما يُشحن المكثف، يمكننا تحليل التيار i ، المتدفق في الدائرة (المفترض تدفقه من الطرف السالب إلى الطرف الموجب داخل مصدر الجهد) عن طريق تطبيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة في الشكل 6.20b في عكس اتجاه عقارب الساعة،

$$V_{emf} - V_R - V_C = V_{emf} - i(t)R - q(t)/C = 0$$

الشكل 6.20 دائرة RC أساسية تحتوي على مصدر للقوة الدافعة الكهربائية، ومقاوم، ومكثف، (a) عند فتح المفتاح، (b) بعد غلق المفتاح بفترة زمنية قصيرة، (c) بعد غلق المفتاح بفترة زمنية طويلة.

حيث V_C هو انخفاض الجهد بين طرفي المكثف و $q(t)$ هو شحنة المكثف في زمن معين t . تغير الشحنة على لوحي المكثف نتيجة التيار هو $i(t) = dq(t)/dt$. ويمكننا إعادة كتابة المعادلة السابقة بصيغة

$$R \frac{dq(t)}{dt} + \frac{q(t)}{C} = V_{emf}$$

أو

$$(6.3) \quad \frac{dq(t)}{dt} + \frac{q(t)}{RC} = \frac{V_{emf}}{R}$$

تربط هذه المعادلة التفاضلية بين الشحنة والزمن. يبدو من الملائم استخدام صيغة أسية لحل المعادلة 6.3. لأن الدالة الأسية هي النوع الوحيد الذي لديه خاصية امتلاك مشتقة مطابقة لذاتها. بما أن المعادلة 6.3 تحتوي أيضًا على حد ثابت، يتطلب الحل وجود حد ثابت. لهذا نجرب حلًا ذا ثابت وصيغة أسية، حيث $q(0) = 0$.

$$q(t) = q_{max} (1 - e^{-t/\tau})$$

ويجب تحديد الثابتين q_{max} و τ . بالتعويض مرة أخرى في المعادلة 6.3، نحصل على

$$q_{max} \frac{1}{\tau} e^{-t/\tau} + \frac{1}{RC} q_{max} (1 - e^{-t/\tau}) = \frac{V_{emf}}{R}$$

نجمع الآن الحدود الثابتة للزمن على الطرف الأيسر للمعادلة والحدود المستقلة عن الزمن على الطرف الأيمن للمعادلة:

$$q_{max} e^{-t/\tau} \left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{RC} \right) = \frac{V_{emf}}{R} - \frac{1}{RC} q_{max}$$

يمكن أن تكون هذه المعادلة صحيحة دائمًا فقط إذا كان كلا الطرفين يساوي صفرًا. من الطرف الأيسر للمعادلة، نوجد

$$(6.4) \quad \tau = RC$$

إذا، الثابت τ (المسمى بالثابت الزمني) هو ببساطة ناتج ضرب السعة والمقاومة. من الطرف الأيمن للمعادلة، نوجد تعبيرًا للثابت q_{max} :

$$q_{max} = CV_{emf}$$

إذا، حل المعادلة التفاضلية لشحن المكثف (المعادلة 6.3) هو

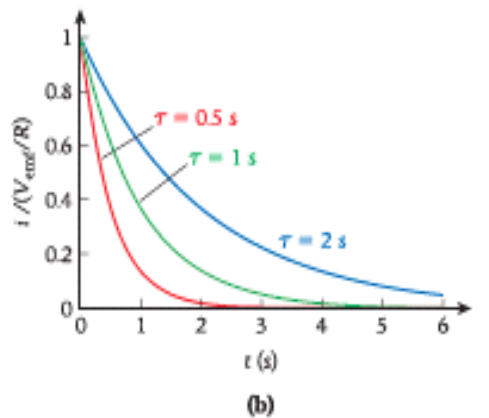
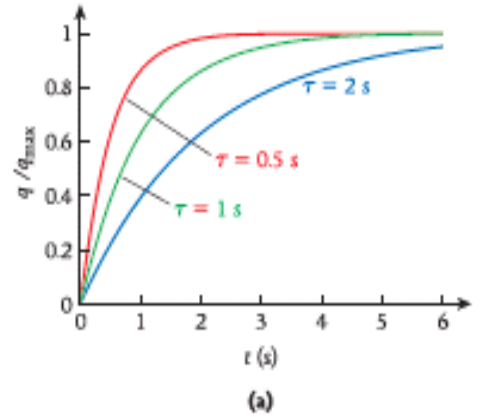
$$(6.5) \quad q(t) = CV_{emf} (1 - e^{-t/RC})$$

لاحظ أنه عندما يكون $t = 0$ ، يكون $q = 0$. وهذه هي الحالة الابتدائية قبل توصيل مكونات الدائرة. عندما يكون $t = \infty$ ، يكون $q = q_{max} = CV_{emf}$. وهذه هي حالة الوضع الثابت التي يكون فيها المكثف مشحونًا بالكامل. وتغيرات الشحنة والزمن يوضحها الشكل 6.21a لثلاث قيم مختلفة للثابت الزمني τ .

يتم الحصول على التيار المتدفق في الدائرة عن طريق إجراء تفاضل للمعادلة 6.5 بالنسبة إلى الزمن:

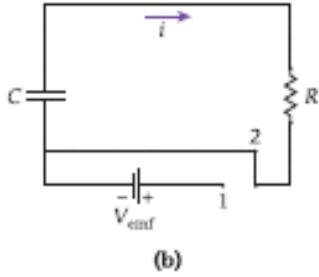
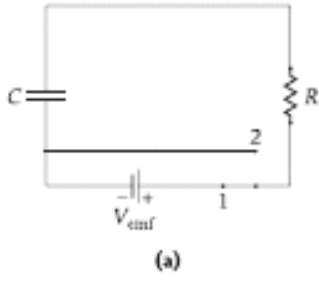
$$(6.6) \quad i = \frac{dq}{dt} = \left(\frac{V_{emf}}{R} \right) e^{-t/RC}$$

من المعادلة 6.6، عندما يكون $t = 0$ ، نجد أن التيار في الدائرة هو V_{emf}/R . وعندما يكون $t = \infty$ ، يساوي التيار صفرًا. كما هو موضح في الشكل 6.21b.



الشكل 6.21 شحن مكثف، (a) شحنة المكثف
يوصفها دالة للزمن، (b) التيار المتدفق في المقاوم بوصفه
دالة للزمن.

Malik & Moh. Alaa



الشكل 6.22 دائرة RC تحتوي على مصدر للقوة الدافعة الكهربائية، ومقاوم، ومكثف، ومفتاح. المكثف (a) يُشحن عندما يكون المفتاح في الوضع 1. و (b) يفرغ من الشحن عندما يكون المفتاح في الوضع 2.

تفريغ شحنة مكثف

لنفكر الآن في دائرة تحتوي فقط على مقاوم R ، ومكثف مشحون بالكامل، C . تم الحصول عليه بتحريك المفتاح الموضح في الشكل 6.22 من الوضع 1 إلى الوضع 2. شحنة المكثف قبل تحريك المفتاح هي $q_{\max}$. في هذه الحالة، سيندفع تيار في الدائرة حتى تفرغ شحنة المكثف تمامًا. بينما تفرغ شحنة المكثف، يمكننا تطبيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة في اتجاه عقارب الساعة ونحصل على

$$-i(t)R - V_C = -i(t)R - \frac{q(t)}{C} = 0$$

يمكننا إعادة كتابة هذه المعادلة باستخدام تعريف التيار:

$$(6.7) \quad \frac{Rdq(t)}{dt} + \frac{q(t)}{C} = 0$$

يتم الحصول على حل المعادلة 6.7 باستخدام الطريقة نفسها المتبعة في المعادلة 6.3. باستثناء أن المعادلة 6.7 لا تحتوي على حد ثابت و $q(0) > 0$. لذا، نجرب حلًا بالصيغة $q(t) = q_{\max}e^{-t/\tau}$ التي تؤدي إلى

$$(6.8) \quad q(t) = q_{\max}e^{-t/RC}$$

عندما يكون $t = 0$ ، تكون شحنة المكثف $q_{\max}$. عندما يكون $t = \infty$ ، تصبح شحنة المكثف صفرًا. يمكننا الحصول على التيار عن طريق إجراء تفاضل للمعادلة 6.8 كدالة للزمن:

$$(6.9) \quad i(t) = \frac{dq}{dt} = -\left(\frac{q_{\max}}{RC}\right)e^{-t/RC}$$

عندما يكون $t = 0$ ، يكون التيار في الدائرة هو $-q_{\max}/RC$. عندما يكون $t = \infty$ ، يساوي التيار في الدائرة صفرًا. الرسوم البيانية لتغيرات شحنة المكثف والزمن لمرور التيار عبر المقاوم لعملية تفريغ الشحنة سيؤدي إلى منحنيات متناقصة بشكل أسّي ومماثلة للمنحنيات الواردة في الشكل 6.21b. جميع المعادلات التي توضح تغيرات الشحنة مع الزمن لمكثف أثناء عملية شحنه وعملية تفريغه العامل الأسّي $e^{-t/RC}$. مرة أخرى، يعرّف ثابت ضرب المقاومة والسعة بأنه الثابت الزمني لدائرة RC. $\tau = RC$. وفقًا للمعادلة 6.5، بعد مقدار من الزمن مساوٍ للثابت الزمني، سيكون شحن المكثف قد وصل إلى 63% من أقصى قيمة شحن له. لذا، يمكن وصف خصائص دائرة RC بتحديد الثابت الزمني. يعني الثابت الزمني الكبير أن المكثف يستغرق وقتًا طويلًا للشحن. ويعني الثابت الزمني الصغير أن المكثف يستغرق وقتًا قصيرًا للشحن.

مراجعة المفاهيم 6.5

ما قيم المقاومة والسعة اللازمين لتفريغ شحن مكثف في دائرة RC بسرعة كبيرة؟

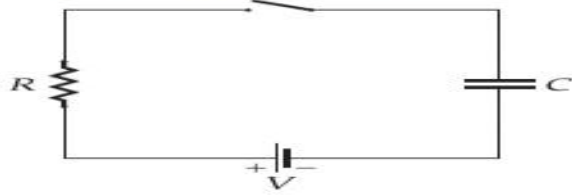
- يجب أن تكون كليهما أكبر ما يمكن.
- يجب أن تكون المقاومة أكبر ما يمكن والسعة أقل ما يمكن.
- يجب أن تكون المقاومة أقل ما يمكن والسعة أكبر ما يمكن.
- يجب أن تكون كليهما أقل ما يمكن.

يطبق العلاقة التي تعطي الشحنة بوصفها دالة في الزمن لمكثف في دائرة RC أثناء الشحن.
بحل مسائل تتعلق بدوائر RC.

157

مثال 6.3
أسئلة الاختيار من متعدد
6.9 و 6.11

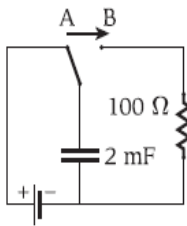
6.11 مكثف غير مشحون سعته $(C = 14.9 \mu F)$ ومقاوم يبلغ $(R = 24.3 k\Omega)$. وبطارية جهدها $(V = 25.7 V)$ متصلين معا على التوالي كما هو موضح في الشكل. ما مقدار شحن المكثف عندما يكون $t = 0.3621 s$ بعد غلق المفتاح؟



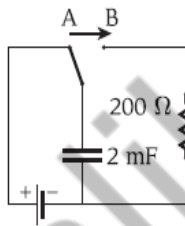
- a) $5.48 \times 10^{-5} C$
- b) $7.94 \times 10^{-5} C$
- c) $1.15 \times 10^{-5} C$
- d) $1.66 \times 10^{-4} C$
- e) $2.42 \times 10^{-4} C$

6.12 ينص قانون كيرشوف للجهد على أن

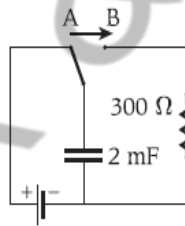
6.9 يُشحن المكثف الموجود في كل دائرة في الشكل أولاً ببطارية جهدها $10 V$ من دون مقاومة داخلية. ثم يُدار المفتاح من الوضع A إلى الوضع B، ويُفْرغ شحن المكثف عن طريق مقاومات متنوعة. ما الدائرة التي يبذل المقاوم إجمالي طاقتها بشكل أكبر؟



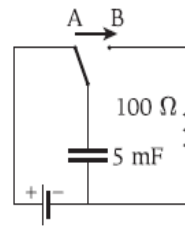
(a)



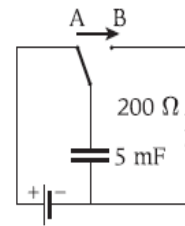
(b)



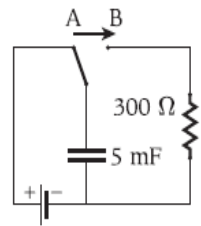
(c)



(d)



(e)



(f)

مثال 6.3

الزمن اللازم لشحن مكثف

فكر في دائرة تتكون من بطارية جهدها 12.0 V ، ومقاوم $50.0\ \Omega$ ، ومكثف سعته $100.0\ \mu\text{F}$ موصلين على التوالي. المكثف غير مشحون تمامًا في البداية.

المسألة

كم من الزمن سيستغرق شحن المكثف حتى يصل إلى 90% من أقصى شحنة له بعد غلق الدائرة؟

الحل:

Malik & Moh. Alaa

17	يشرح خطوط المجال المغناطيسي، بما في ذلك من أين تبدأ وأين تنتهي، وماذا يمثل تباعدها. يرسم خطوط المجال المغناطيسي حول مغناطيس دائم مع اتجاه المجال.	كتاب الطالب	170-171
18	يحدّد أن المجال المغناطيسي كمية متجهة، ولذلك له مقدار واتجاه. يحدّد أن متجه المجال المغناطيسي يكون دائماً مماساً لخطوط المجال المغناطيسي.	كتاب الطالب	171
19	يطبق قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه متجه القوة المغناطيسية، الذي يكون دائماً عمودياً على كل من متجه السرعة ومتجه المجال المغناطيسي (وبالنسبة إلى الشحنة السالبة تكون القوة في الاتجاه المعاكس).	كتاب الطالب أسئلة مفاهيمية 7.13-7.15	173-190

7.1 مغناطيس دائم Permanent Magnets

في منطقة مغتسبا (وسط اليونان)، اكتشف الإغريق القدماء أنواعاً كثيرة من المعادن الطبيعية التي تتجاذب وتتنافر وتجذب أنواعاً معينة من الفلزات، مثل الحديد. كما تنتظم هذه المعادن، إذا كانت معلقة بشكل حر، مع اتجاه القطبين الشمالي والجنوبي للأرض. هذه المعادن هي أشكال مختلفة من أكسيد الحديد. وتسمى **المغناطيسات الدائمة**. ومن الأمثلة الأخرى على المغناطيسات الدائمة مغناطيسات التلوجات ومزالج الأبواب المغناطيسية المصنوعة من الحديد، والنيكل، والكوبالت. إذا لامست ساقاً حديدياً بقطعة من حجر المغناطيس المعدني (الماجنتيت المغناطيسي)، فسيصبح الساق الحديدي ممغنطاً. ثم إذا وضعت هذا الساق الحديدي في الماء بحيث يكون معلقاً بشكل حر، فسيستظم مع اتجاه القطبين المغناطيسين للأرض. يُسمى طرف المغناطيس الذي يتجه نحو الشمال **القطب المغناطيسي الشمالي**، ويُسمى الطرف الآخر **القطب المغناطيسي الجنوبي**.

إذا قُرب مغناطيسان دائمان إلى بعضهما بحيث يتلامس القطبان الشماليان أو القطبان الجنوبيان، فسيتمزجان. فسيتمزجان المغناطيسان (الشكل 7.2a). أما إذا قُرب قطب شمالي إلى قطب جنوبي، فسيجاذبان (الشكل 7.2b). وما نسميه بالقطب الشمالي للأرض هو في الحقيقة قطب مغناطيسي جنوبي، ولذا فهو يجذب الأقطاب الشمالية للمغناطيسات الدائمة.

عند كسر مغناطيس دائم إلى نصفين، لا ينتج قطب شمالي منفرد وقطب جنوبي منفرد، بل ينتج مغناطيسان جديداً. لكل منهما قطب شمالي وآخر جنوبي (الشكل 7.3). وعلى عكس الشحنة الكهربائية التي توجد في شكل شحنة موجبة (بروتون) وشحنة سالبة (إلكترون) منفصلتين، فلا توجد أقطاب مغناطيسية أحادية منفردة (أقطاب شمالية وجنوبية منفصلة). فقد أجرى العلماء أبحاثاً مكثفة للحصول على أقطاب مغناطيسية أحادية، لكن لم ينجح أحد في ذلك. وستساعدك دراسة مصدر المغناطيسية في هذه الوحدة على فهم سبب عدم وجود أقطاب مغناطيسية أحادية.

خطوط المجال المغناطيسي

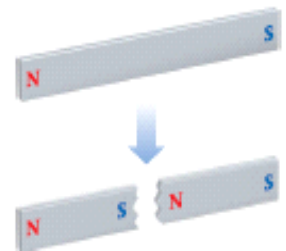
تتفاعل المغناطيسات الدائمة بعضها مع بعض على بُعد مسافة معينة من دون أن تتلامس. وقياساً على مجال الجاذبية والمجال الكهربائي،

يُستخدم مفهوم **المجال المغناطيسي** لوصف القوة المغناطيسية. ويرمز المتجه $\vec{B}$ إلى متجه المجال المغناطيسي عند أي نقطة معينة في الفراغ.

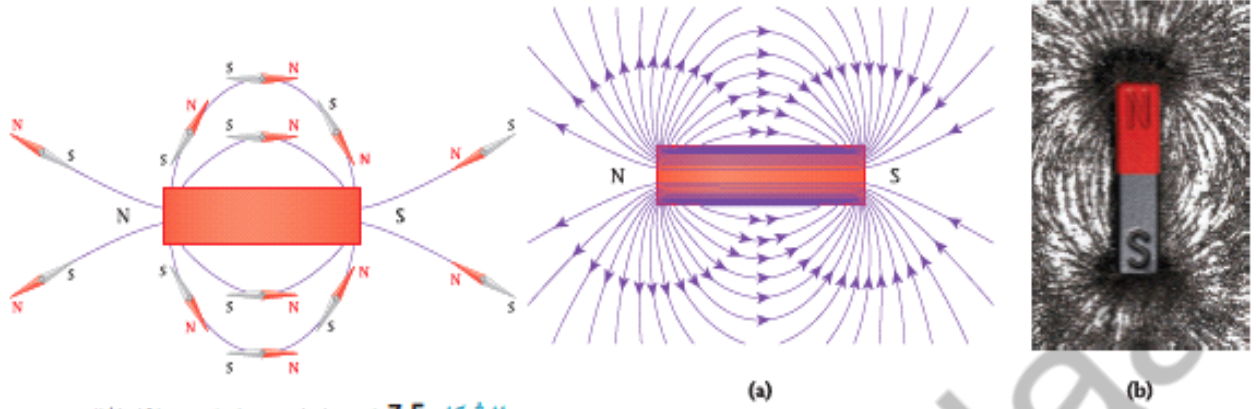
كما هو الحال مع المجال الكهربائي، يُمثّل المجال المغناطيسي بخطوط المجال. ويكون متجه المجال المغناطيسي مماساً دائماً لخطوط **المجال المغناطيسي**. يوضح الشكل 7.4a خطوط المجال المغناطيسي الناتجة عن مغناطيس دائم. وكما هو الحال مع خطوط المجال الكهربائي، كلما قلت المسافة بين الخطوط، زادت شدة المجال. وفي المجال الكهربائي، يكون اتجاه القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة في اتجاه متجه المجال الكهربائي نفسه. لكن لعدم وجود أقطاب مغناطيسية أحادية، فلا يمكن وصف القوة المغناطيسية بطريقة مشابهة.



الشكل 7.2 (a) الأقطاب المغناطيسية المتماثلة تتنافر، (b) الأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب.



الشكل 7.3 عند كسر مغناطيس إلى نصفين، ينتج مغناطيسان لكل منهما قطب شمالي وآخر جنوبي.

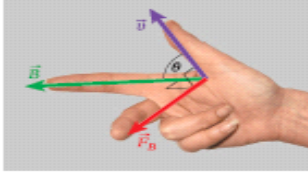
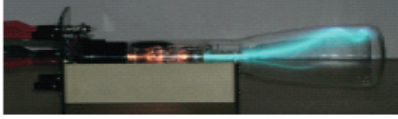


الشكل 7.5 استخدام إبرة بوصلة لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي من ساق مغناطيس.

الشكل 7.4 (a) خطوط مجال مغناطيسي (معدة باستخدام الكمبيوتر) ناتجة عن مغناطيس دائم. (b) زيادة حديد توضح خطوط المجال المغناطيسي.

يُعرف اتجاه المجال المغناطيسي بدلالة الاتجاه الذي تشير إليه إبرة البوصلة. فإبرة البوصلة ذات القطب الشمالي والقطب الجنوبي ستتخطم مع اتجاه المجال المغناطيسي بحيث يشير قطبها الشمالي إلى اتجاه المجال المغناطيسي. لذا يمكننا معرفة اتجاه المجال عند أي نقطة بملاحظة الاتجاه الذي تشير إليه إبرة البوصلة الموضوعة عند هذه النقطة. كما يوضح الشكل 7.5 للساق المغناطيسي.

خارج المغناطيس، تبدو خطوط المجال المغناطيسي أنها تنشأ من القطب الشمالي وتنتهي في القطب الجنوبي، لكنها في الحقيقة تُشكّل حلقات مغلقة تخترق جسم المغناطيس نفسه لتُكمل دورتها. وتشكّل الحلقات المغلقة هذا فرقاً جوهرياً بين خطوط المجال الكهربائي وخطوط المجال المغناطيسي (بالنسبة إلى المجالات المنتظمة، لا ينطبق ذلك على المجالات المتغيرة مع الزمن كما سترى في الوحدات اللاحقة). تذكر أن خطوط المجال الكهربائي تبدأ من الشحنات الموجبة وتنتهي في الشحنات السالبة. أما خطوط المجال المغناطيسي، فهي لا تبدأ أو تنتهي عند نقاط معينة لعدم وجود أقطاب مغناطيسية أحادية. بل تُشكّل هذه الخطوط حلقات مغلقة لا تبدأ أو تنتهي عند أي نقطة. وستعرف لاحقاً أهمية هذا الفرق في توضيح التفاعل بين خطوط المجال الكهربائي وخطوط المجال المغناطيسي. وإذا رأيت نمط مجال ولم تستطع أن تحدد في البداية ما إذا كان هذا المجال كهربائياً أم مغناطيسياً، فانظر هل توجد حلقات مغلقة أم لا. فإذا وجدت بعضها، فالمجال مغناطيسي، وإذا كانت خطوط المجال لا تشكل حلقات، فالمجال كهربائي.



الشكل 7.11 حزمة من الإلكترونات (تظهر باللون الأخضر المائل إلى الزرقاء). توضحها كمية صغيرة من الغاز في أنبوب مغناطيس. ويتغير اتجاهها لتأثيرها مغناطيس (أعد الحافة اليمنى للصورة).



الشكل 7.12 القاعدة الأولى لليد اليمنى للتحرك التي يبدلها مجال مغناطيسي. $\vec{B}$ على جسم شحنته Q يتحرك بسرعة متجهة $\vec{v}$. لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية، وجه إبهامك في اتجاه السرعة المتجهة للجسيم المشحون المتحرك، وإصبع السبابة في اتجاه المجال المغناطيسي، وعندما يشير الإصبع الأوسط في اتجاه القوة المغناطيسية.

أشارت مناقشتنا النوعية للمجال المغناطيسي في القسم السابق إلى أن للمجال المغناطيسي اتجاهًا محاسبيًا خطوط المجال. يمكننا إيجاد مقدار المجال المغناطيسي بدراسة تأثيره في جسيم مشحون متحرك. وستبدأ بدراسة تأثير المجال المغناطيسي المنتظم في شحنة واحدة. كتذكير، يمكن إيجاد القوة التي يبدلها المجال الكهربائي على الشحنة من خلال المعادلة $\vec{F}_E = q\vec{E}$. توضح التجربة في الشكل 7.11 أن المجال المغناطيسي لا يبذل قوة على شحنة ساكنة، بل على شحنة متحركة فقط.

يمكن تعريف المجال المغناطيسي بدلالة القوة التي يبدلها المجال على جسيم مشحون متحرك. ويمكن إيجاد القوة المغناطيسية التي يبدلها المجال المغناطيسي على جسيم مشحون متحرك شحنته q وسرعته المتجهة $\vec{v}$ من خلال المعادلة

$$(7.2) \quad \vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

يتعتمد اتجاه القوة على كل من السرعة المتجهة للجسيم المشحون المتحرك والمجال المغناطيسي (الشكل 7.12). وهذا ما يعرف بالقاعدة الأولى لليد اليمنى. توضح قاعدة اليد اليمنى اتجاه القوة المبذولة على شحنة موجبة بحركة السرعة المتجهة والمجال. أما بالنسبة إلى الشحنة السالبة، فستكون القوة في الاتجاه المعاكس.

مقدار القوة المغناطيسية المبذولة على جسيم مشحون متحرك هو

$$(7.3) \quad F_B = |q|vB \sin \theta$$

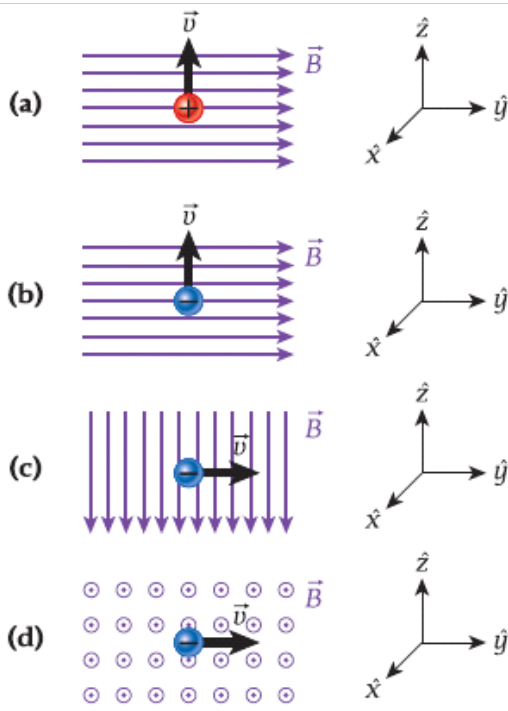
حيث θ الزاوية بين السرعة المتجهة للجسيم المشحون والمجال المغناطيسي. (تكون قيمة الزاوية θ بين 0° و 180° . لذا فإن $\sin \theta \geq 0$). نستنتج من ذلك أنه لا توجد قوة مغناطيسية تؤثر في جسيم مشحون يتحرك بشكل مواز للمجال المغناطيسي. لأن $\theta = 0^\circ$ في هذه الحالة. أما إذا تحرك جسيم مشحون عموديًا على المجال المغناطيسي، فإن $\theta = 90^\circ$. ومع (ثبات قيمتي v و B)، فسيكون مقدار القوة المغناطيسية أعلى ما يكون من خلال المعادلة

$$(7.4) \quad F_B = |q|vB \quad (\vec{v} \perp \vec{B} \text{ عندما})$$

القوة المغناطيسية والشغل

أوضحت المعادلة 7.2 أن القوة المغناطيسية هي حاصل ضرب الاتجاهي لمتجه السرعة المتجهة ومتجه المجال المغناطيسي، ومن ثم فهي عمودية على كلا المتجهين. وهذا معناه أن $\vec{F}_B \cdot \vec{v} = 0$. وبما أن القوة هي حاصل ضرب الكتلة في العجلة، فإن $\vec{a} \cdot \vec{v} = 0$. وفي الحركة الدائرية، رأينا أن هذه الحالة تعني أنه يمكن أن يتغير اتجاه متجه السرعة المتجهة مع بقاء قيمة متجه السرعة المتجهة (أو السرعة) ثابتة. ومن ثم فإن الطاقة الحركية، $\frac{1}{2}mv^2$ ، تظل ثابتة للجسيم الذي يتعرض لقوة مغناطيسية، وأن القوة المغناطيسية لا تبذل شغلًا على الجسيم المتحرك.

كما سبق نستنتج ما يلي، لا يمكن استخدام المجال المغناطيسي المنتظم لبذل شغل على الجسيمات، وأن الطاقة الحركية لجسيم يتحرك في مجال مغناطيسي منتظم تبقى ثابتة، حتى لو تغير اتجاه متجه السرعة المتجهة كدالة للزمن أثناء تحرك الجسيم في المجال المغناطيسي. وعلى الجانب الآخر، يمكن استخدام المجال الكهربائي بسهولة لبذل شغل على الجسيم المشحون.



7.13 ارسم القوة المغناطيسية المؤثرة في كل الجسيمات المتحركة الموضحة في الأشكال على النظام الإحداثي xyz وحدد اتجاهها (بدلالة متجهات الوحدة $\hat{x}$ و $\hat{y}$ و $\hat{z}$). ملحوظة: يتجه محور y الموجب إلى اليمين، ويتجه محور z الموجب إلى أعلى الصفحة، ويتجه محور x الموجب إلى خارج الصفحة.

7.14 جسيم كتلته m ، وشحنته q ، وسرعته المتجهة $\vec{v}$ ، دخل مجالاً مغناطيسياً مقداره B ويؤثر في اتجاه متعامد على السرعة الابتدائية للجسيم. ما الشغل الذي يبذله المجال المغناطيسي على الجسيم؟ كيف يؤثر ذلك في حركة الجسيم؟



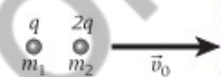
7.15 يتحرك إلكترون بسرعة متجهة ثابتة. عندما يدخل في مجال كهربائي متعامد على سرعته المتجهة، سيسلك الإلكترون مساراً _____ . وعندما يدخل الإلكترون في مجال مغناطيسي متعامد على سرعته المتجهة، سيسلك مساراً _____ .

يطبق المعادلة ($r = \frac{mv}{|q|B}$) لحساب نصف القطر المداري r لجسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم أو كميات فيزيائية مجهولة أخرى. يعيد صياغة معادلة نصف القطر المداري r لجسيم مشحون يتحرك في مجال مغناطيسي منتظم بدلالة زخم الجسيم، ويطبقها لحساب كميات فيزيائية مجهولة.

7.3 أي مما يلي له أكبر تردد للمسرّع الدوراني؟

- إلكترون يتحرك بسرعة v في مجال مغناطيسي مقداره B
- إلكترون يتحرك بسرعة $2v$ في مجال مغناطيسي مقداره B
- إلكترون يتحرك بسرعة $v/2$ في مجال مغناطيسي مقداره B
- إلكترون يتحرك بسرعة $2v$ في مجال مغناطيسي مقداره $B/2$
- إلكترون يتحرك بسرعة $v/2$ في مجال مغناطيسي مقداره $2B$

7.37• جسيبان كتلتاهما m_1 و m_2 وشحنتاهما q و $2q$ يتحركان بالسرعة المتجهة نفسها، v ، فدخلتا مجالاً مغناطيسياً شدته B عند النقطة نفسها، كما هو موضح في الشكل. وفي المجال المغناطيسي، تحركا في مسارين على شكل نصف دائرة نصف قطريهما R و $2R$ ، ما النسبة بين كتلتيهما؟ هل من الممكن تطبيق مجال كهربائي يؤدي إلى تحرك الجسيمات في مسار مستقيم في المجال المغناطيسي؟ إذا كانت الإجابة هي نعم، فما مقدار المجال واتجاهه؟



يطبق العلاقة بين القوة المغناطيسية والشحنة q والسرعة والمجال المغناطيسي لتحديد القوة المغناطيسية المؤثرة في جسيم مشحون يتحرك خلال مجال مغناطيسي منتظم، حيث θ هي الزاوية بين اتجاهي متجه السرعة ومتجه المجال المغناطيسي

7.5 يتحرك إلكترون (شحنته $-e$ وكتلته m_e) في اتجاه x الموجب فدخل جهاز محدد السرعات. ويتكون جهاز محدد السرعات من مجالات إلكترونية ومغناطيسية متقاطعة: وكان تأثير $\vec{E}$ في اتجاه y الموجب، بينما كان تأثير $\vec{B}$ في اتجاه z الموجب. وبالنسبة إلى السرعة المتجهة v (في اتجاه x الموجب)، كانت محصلة القوى المؤثرة في الإلكترون صفراً. ويتحرك الإلكترون في مسار مستقيم خلال محدد السرعات.

ما السرعة المتجهة التي سيتحرك بها بروتون (شحنته $+e$ وكتلته $m_p = 1836 m_e$) في مسار مستقيم خلال منتقي السرعات؟

- (a) v (b) $-v$
(c) $v/1836$ (d) $-v/1836$

7.8 يتحرك إلكترون في مسار دائري نصف قطره r_i في مجال مغناطيسي منتظم نصف القطر النهائي للمسار عندما يتضاعف مقدار المجال المغناطيسي؟

- (a) $\frac{r_i}{4}$ (b) $\frac{r_i}{2}$
(c) r_i (d) $2r_i$ (e) $4r_i$

وحدات قياس شدة المجال المغناطيسي

لنناقشة حركة الشحنات في المجالات المغناطيسية، نحتاج إلى معرفة الوحدات التي تُستخدم لقياس شدة المجال المغناطيسي. فبحل المعادلة 7.4 لإيجاد شدة المجال وبالتعويض بوحدات الكميات الأخرى، نجد أن

$$[F_B] = [q][v][B] \Rightarrow [B] = \frac{[F_B]}{[q][v]} = \frac{N \cdot s}{C \cdot m}$$

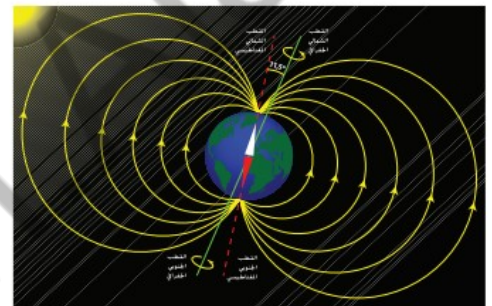
بما أن الأمبير (A) يساوي 1 C/s، فإن $(N \cdot s) / (C \cdot m) = N / (A \cdot m)$. وقد سُميت وحدة قياس شدة المجال المغناطيسي وحدة **تسلا** (T). نسبة إلى الفيزيائي والمخترع الأمريكي والكرواتي الأصل نيكولا تسلا (1856-1943).

$$1 T = 1 \frac{N \cdot s}{C \cdot m} = 1 \frac{N}{A \cdot m}$$

تمثل وحدة التسلا مقداراً كبيراً من شدة المجال المغناطيسي. وتُقاس شدة المجال المغناطيسي أحياناً بوحدة الجاوس (G)، وهي ليست من وحدات النظام الدولي،

$$1 G = 10^{-4} T$$

على سبيل المثال، تبلغ شدة المجال المغناطيسي للأرض عند سطح الأرض $0.5 G$ ($5 \times 10^{-5} T$). تختلف هذه القيمة باختلاف الموقع لتتراوح بين $0.2 G$ و $0.6 G$. كما هو موضح في الشكل 7.13



الشكل 7.13 خريطة للعالم توضح شدة المجال المغناطيسي للأرض.

مسارات حركة الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي منتظم

افترض أنك تقود سيارتك بسرعة ثابتة في مسار دائري. ينتج عن الاحتكاك بين إطارات السيارة والطريق قوة الجذب المركزي التي تحافظ على تحرك السيارة في المسار الدائري. حيث يكون اتجاه تأثير هذه القوة نحو مركز الدائرة دائمًا، مما يؤدي إلى تحرك السيارة بعجلة مركزية. تنطبق هذه الحالة الفيزيائية نفسها عندما يتحرك جسيم شحنته q وكتلته m بسرعة متجهة $\vec{v}$ عموديًا على مجال مغناطيسي منتظم، $\vec{B}$. كما هو موضح في الشكل 7.15.

في هذه الحالة، نجد أن الجسيم يتحرك في مسار دائري بسرعة ثابتة v . وينتج عن القوة المغناطيسية $F_B = |q|vB$ قوة الجذب المركزي التي تحافظ على تحرك الجسيم في مسار دائري. والجسيمات المختلفة في الشحنة والمتماثلة في الكتلة ستدور في اتجاهين متعاكسين في نصف القطر المداري نفسه. على سبيل المثال، الإلكترونات والبوزيترونات هي جسيمات أولية متماثلة في الكتلة؛ إلا أن الإلكترون سالب الشحنة والبوزيترون موجب الشحنة. الشكل 7.16 عبارة عن صورة لغرفة فقاعات تُظهر زوجين من الإلكترونات والبوزيترونات. وغرفة الفقاعات جهاز يمكنه تتبع حركة الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي منتظم. (نتج زوجا الإلكترونات والبوزيترونات نتيجة التفاعلات بين الجسيمات الأولية، وسيتم تناول ذلك بالتفصيل لاحقًا). في الزوج 1 إلكترون وبوزيترون لهما السرعة المنخفضة النسبية نفسها. تتحرك الجسيمات في البداية في مسار دائري. إلا أن سرعتها تقل أثناء تحركها في غرفة الفقاعات. هذا التباطؤ ليس بسبب القوة المغناطيسية، لكنه بسبب تصادم الجسيمات مع جزيئات الغاز في غرفة الفقاعات. ونتيجة لذلك، يقل نصف قطر المسار الدائري تدريجيًا، مما يشكل مسارات حلزونية. أما سرعة الإلكترون والبوزيترون في الزوج 2 فهي أكبر بكثير مقارنة بالزوج 1. حيث يتحركان في مسارين متحنيين لا يشكلان دائرة كاملة قبل خروج الجسيمات من غرفة الفقاعات.

إذا كانت السرعة المتجهة للجسيم المشحون متوازية (باتجاه أو عكس اتجاه) مع المجال المغناطيسي، فلن يتأثر الجسيم بأي قوة مغناطيسية وستستمر حركته في خط مستقيم. أما إذا كانت الحركة عمودية على المجال المغناطيسي، كما في الشكل 7.15، فإن الحفاظ على حركة الجسيم بالسرعة v في مسار دائري نصف قطره r يتطلب قوة الجذب المركزي،

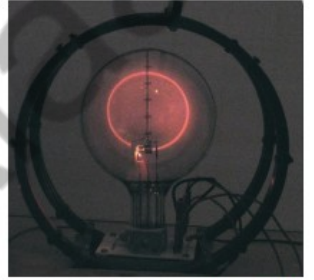
$$F = \frac{mv^2}{r}$$

بمساواة قوة الجذب المركزي مع القوة المغناطيسية، نحصل على

$$vB|q| = \frac{mv^2}{r}$$

وبإعادة الترتيب، نحصل على المعادلة لإيجاد نصف قطر المسار الدائري الذي يتحرك فيه الجسيم:

$$r = \frac{mv}{|q|B} \quad (7.5)$$



الشكل 7.15 حزمة من الإلكترونات انحرقت لتحرك في مسار دائري بفعل المجال المغناطيسي الناتج عن ملفين.

يُطبق المعادلة ($\vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B}$) لتحديد القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يحمل تيارًا في مجال مغناطيسي منتظم أو أي كميات فيزيائية مجهولة أخرى، حيث θ هي الزاوية بين اتجاه سريان التيار واتجاه المجال المغناطيسي. يطبق قاعدة اليد اليمنى لإيجاد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يحمل تيارًا موضوع في مجال مغناطيسي.

7.4 القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يمر فيه تيار كهربائي مستمر Magnetic Force on a Current-Carrying Wire

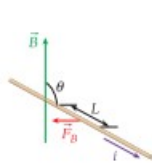
7.4



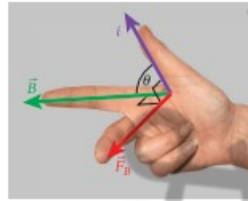
افترض أن سلكًا يسري فيه تيار، i ، وُضع في مجال مغناطيسي منتظم، $\vec{B}$ (الشكل 7.24a). يبذل المجال المغناطيسي قوة على الشحنات المتحركة في السلك، والشحنة، q ، المتدفقة عبر نقطة في السلك في زمن معين، t ، هي $q = it$. خلال هذا الزمن، تحتل الشحنة طولًا معينًا من السلك، L . نحصل عليه من خلال المعادلة، $L = v_d t$ ، حيث v_d سرعة الانسحاق لتوافلات الشحنة في السلك (مقدار سرعة انسياقها). إذا، سنحصل على

$$(7.10) \quad q = it = \frac{L}{v_d} i$$

183 7.4 القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يمر فيه تيار كهربائي مستمر



(a)



(b)

الشكل 7.24 (a) القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار. (b) أحد تمثيلات القاعدة الأولى لليد اليمنى يحدد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار. لتحديد اتجاه القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار باستخدام يدك اليمنى، وجه إبهامك في اتجاه التيار. وإصبع السبابة في اتجاه المجال المغناطيسي. وعندئذ سيشير الإصبع الأوسط في اتجاه القوة.

إذا مقدار القوة المغناطيسية هو

$$(7.11) \quad F_B = qv_d B \sin \theta = \left(\frac{L}{v_d} i \right) v_d B \sin \theta = iLB \sin \theta$$

حيث θ الزاوية بين اتجاه تدفق التيار واتجاه المجال المغناطيسي. يكون اتجاه القوة عموديًا على كل من اتجاه التيار واتجاه المجال المغناطيسي. ويمكن إيجاده من خلال تطبيق القاعدة الأولى لليد اليمنى. يكون اتجاه التيار في اتجاه السرعة المتجهة للجسيم المشحون. كما هو موضح في الشكل 7.24b. في القاعدة الأولى لليد اليمنى يمكن معاملة التيار على أنه شحنات متحركة. يمكن التعبير عن المعادلة 7.11 في صورة ضرب اتجاهي:

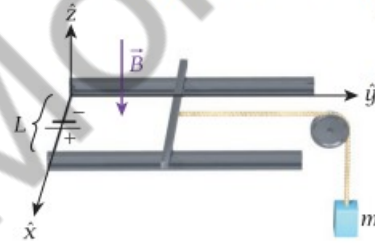
$$(7.12) \quad \vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B}$$

حيث يمثل الرمز $i\vec{L}$ التيار المار في جزء من السلك. المعادلة 7.12 هي مجرد إعادة صياغة للمعادلة 7.2 لتتمثل الحالة التي تشكل فيها الشحنات المتحركة تيارًا يتدفق في سلك. ونظرًا لأن الحالات الفيزيائية التي تتضمن التيارات تكون أكثر شيوعًا من تلك التي تتضمن حركة جسيم مشحون معزول، فإن المعادلة 7.12 هي الصياغة الأكثر فائدة لتحديد القوة المغناطيسية في التطبيقات العملية.

القسم 7.4

7.40 وُضع سلك مستقيم طوله 2.00 m يسري فيه تيار 24.0 A على سطح طاولة أفقي في مجال مغناطيسي أفقي منتظم. ويصنع السلك زاوية 30.0° مع خطوط المجال المغناطيسي. إذا كان مقدار قوة المؤثرة في السلك 0.500 N فما مقدار المجال المغناطيسي؟

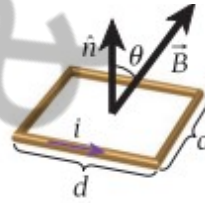
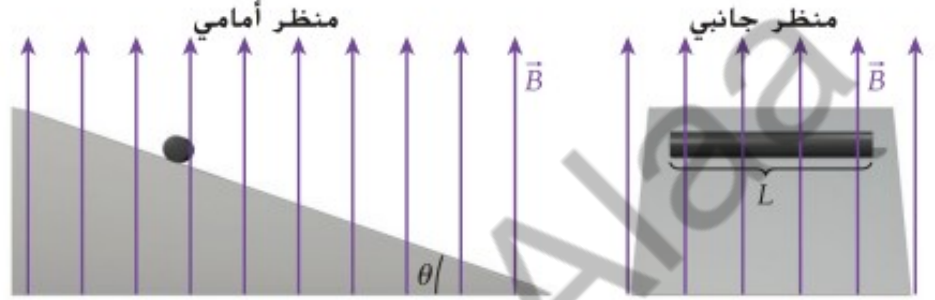
7.41 كما هو موضح في الشكل، يمكن أن ينزلق موصل مستقيم مواز للمحور x من دون احتكاك فوق سافتي توصيل أفقيين موازيين للمحور y وتفصل بينهما مسافة $L = 0.200\text{ m}$. في مجال مغناطيسي رأسي مقداره 1.00 T ، ويسري في الموصل تيار منتظم شدته 20.0 A . إذا رُبط خيط في منتصف الموصل تمامًا وتمر فوق بكره عديمة الاحتكاك، فما مقدار الكتلة m التي تُعلق في الخيط بحيث تسمح للموصل بأن يكون في وضع السكون؟



7.42 سلك نحاسي نصف قطره 0.500 mm يسري فيه تيار عند خط الاستواء للأرض. افترض أن المجال المغناطيسي للأرض يساوي 0.500 G عند خط الاستواء وموازي لسطح الأرض، وأن التيار الساري في السلك يتدفق تجاه الشرق، فما التيار اللازم للسماح للسلك بالارتفاع في الهواء؟

7.43• صفيحة نحاسية طولها 1.00 m وعرضها 0.500 m ، وسبكها 1.00 mm موجهة بحيث تكون أكبر مساحة سطح لها عمودية على مجال مغناطيسي شدته 5.00 T . إذا كانت شدة التيار الساري بطول الصفيحة هي 3.00 A ، فما مقدار القوة المؤثرة في هذه الصفيحة؟ ما وجه المقارنة بين هذا المقدار ومقدار القوة المؤثرة في سلك نحاسي رفيع يحمل التيار نفسه وموجه عمودياً على المجال المغناطيسي نفسه؟

• **7.44** ساق موصل طوله L ينزلق بحرية إلى أسفل مستوى مائل، كما هو موضح في الشكل. وكانت زاوية ميل المستوى θ بالنسبة إلى المستوى الأفقي. إذا كان هناك مجال مغناطيسي منتظم شدته B يؤثر في اتجاه y الموجب، فأوجد مقدار التيار الكهربائي واتجاهه الذي يجب أن يمر عبر الساق ليثبتته في مكانه على المستوى المائل.



• **7.45** حلقة سلكية مربعة حرة الدوران طول ضلعها $d = 8.00 \text{ cm}$ ، ويسري فيها تيار كهربائي مقداره $i = 0.150 \text{ A}$. وُضعت بين قطبي مغناطيس كهربائي يولد مجالاً مغناطيسياً منتظماً مقداره 1.00 T . وكان متجه الحلقة العمودي، $\hat{n}$ ، يصنع في البداية زاوية مقدارها 35.0° مع اتجاه متجه المجال المغناطيسي (كما هي موضحة في الشكل). إذا كان السلك نحاسياً (كثافته $\rho = 8960 \text{ kg/m}^3$)، وقطره 0.500 mm ، فما مقدار العجلة الزاوية الابتدائية للحلقة لحظة انطلاقها؟

• 7.46 مدفع كهرومغناطيسي يُسرّع مقذوفاً من وضع السكون باستخدام القوة المغناطيسية المبذولة على سلك يسري فيه تيار كهربائي. وللسلك نصف قطر $r = 5.10 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ وهو مصنوع من النحاس الذي كثافته $\rho = 8960 \text{ kg/m}^3$. يتكون المدفع من ساقين طول كل منهما $L = 1.00 \text{ m}$ موضوعين في مجال مغناطيسي ثابت مقداره $B = 2.00 \text{ T}$ وموجه عمودياً على مستوى الساقين. وينشئ السلك توصيلاً كهربائياً عبر الساقين عند طرفيهما. وعند الإطلاق، يتدفق تيار كهربائي مقداره $1.00 \times 10^4 \text{ A}$ عبر السلك، ما يُسرّع حركة السلك على امتداد الساقين. احسب السرعة النهائية للسلك لحظة مغادرته للساقين. (تجاهل الاحتكاك).

25	يُطبق المعادلة ($\tau = NIAB \sin \theta$) لحساب مقدار لحظة العزم τ المؤثر في ملف يحمل تياراً داخل مجال مغناطيسي (أو أي كمية مجهولة أخرى)، حيث N هو عدد اللفات و i هو التيار و A هي مساحة كل لفه و B هو مقدار المجال المغناطيسي و θ هي الزاوية بين المتجه العمودي ومتجه المجال المغناطيسي. يحل مسائل تتعلق بالعزم المؤثر في حلقة تحمل تياراً.	كتاب الطالب تمارين 7.48 و 7.50	185-184 192
----	---	-----------------------------------	----------------

تعتمد الحركات الكهربائية في عملها على القوة المغناطيسية المبذولة على سلك يسري فيه تيار. وتستخدم هذه القوة لإنشاء عزم يعمل على تدوير العمود. لنفترض أن محركاً كهربائياً بسيطاً يتكون من حلقة مربعة واحدة يسري فيها تيار i ، موضوعة في مجال مغناطيسي منتظم $\vec{B}$. والحلقة موجهة بحيث يكون الضلعان الأفقيان متوازيين مع المجال المغناطيسي ويكون الضلعان الرأسيتان عموديين على المجال المغناطيسي. كما هو موضح في الشكل 7.26. نحصل على مقدار القوة المغناطيسية المبذولة على الضلعين الرأسيتين للحلقة من خلال المعادلة 7.11. حيث $\theta = 90^\circ$.

$$F = iLB$$

يمكن إيجاد اتجاه القوة المغناطيسية بواسطة تطبيق القاعدة الأولى لليد اليمنى الموضح في الشكل 7.24b. القوتان المغناطيسيتان $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ الموضحتان في الشكل 7.26 متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه. فتنتج هاتان القوتان عزمًا يميل إلى تدوير الحلقة حول محور دوران رأسي. وتنتج جميع هاتين القوتين يساوي صفرًا. فلا يتأثر الضلعان الأفقيان للحلقة بأي قوة مغناطيسية لأنهما موازيان للمجال المغناطيسي. ومن ثم لا تؤثر أي محصلة قوى في الملف. على الرغم من العزم الناتج. سنتناول الآن الحالة التي تدور فيها الحلقة حول مركزها. أثناء دوران الحلقة في المجال المغناطيسي، لا تتغير القوتان المبذولتان على الضلعين الرأسيتين للحلقة والعموديين على اتجاه المجال. يوضح الشكل 7.27 متغيرًا سفيًا للملف، ويوضح القوتين المبذولتين على الحلقة المربعة التي يبلغ طول ضلعها a . في الشكل 7.27، تمثل θ الزاوية بين متجه الوحدة $\vec{B}$ العمودي على مستوى الملف والمجال المغناطيسي. $\vec{B}$ يتعامد مع متجه الوحدة العمودي على مستوى الحلقة السلكية، ويمكن إيجاد اتجاهه من خلال القاعدة الثانية لليد اليمنى الموضحة في (الشكل 7.28). وفقًا للتيار المتدفق حول الحلقة. والموضع بنقطة في دائرة (تمثل طرف رأس السهم). ويتدفق إلى داخل الصفحة في الضلع الأيسر للحلقة. والموضع بعلامة إكس في دائرة (تمثل ذيل السهم). مقدار القوة المؤثرة في كل من الحافتين الرأسيتين هو

$$F = iaB$$

تكون القوتان المؤثرتان في الضلعين الأفقيين للحلقة متوازيتين مع محور الدوران ولا تنتجان عزمًا. ويبلغ مجموعهما صفرًا. لذا لا توجد محصلة قوى تؤثر في الحلقة. يعطينا مجموع العزمين على الضلعين الرأسيتين للحلقة المربعة محصلة العزم المبذول على الحلقة حول مركزها:

$$(7.13) \quad \tau_1 = (iaB)\left(\frac{a}{2}\right)\sin\theta + (iaB)\left(\frac{a}{2}\right)\sin\theta = ia^2B\sin\theta = iAB\sin\theta$$

حيث يشير الرقم السفلي 1 في τ_1 إلى أنه العزم المبذول على حلقة واحدة. وتمثل $A = a^2$ مساحة الحلقة. يرجع سبب استمرار دوران الحلقة وعدم توقفها عند $\theta = 0^\circ$ إلى اتصالها بتركيب يسمى **عاكس التيار**، الذي يغير اتجاه التيار أثناء دوران الملف. يتكون عاكس التيار من حلقة مقسومة إلى نصفين يتصل نصفاهما بطرفي الحلقة. كما هو موضح في الشكل 7.29. يغير التيار المار في الحلقة اتجاهه مرتين لكل دوران كامل للحلقة.

إذا استبدلت الحلقة الواحدة بملف يتكون من عدة حلقات متصلة تمامًا ببعضها. فسيكون إيجاد العزم المبذول على الملف بضرب العزم المبذول على الحلقة، τ_1 من المعادلة 7.13 في عدد اللفات (حلقات الملف). N :

$$(7.14) \quad \tau = N\tau_1 = NIAB\sin\theta$$

هل يُستخدم تعبير إيجاد العزم هذا مع أشكال أخرى مساحتها A . خلاف المربعات؟ الإجابة هي نعم، لكننا لن نثبت ذلك هنا.

7.48 ملف مستطيل مُكوّن من 20 لفّة يسري فيه تيار كهربائي مقداره 2.00 mA متدفّقًا عكس اتجاه عقارب الساعة. يتوازي جانبان من الملف مع المحور y وطول كل منهما 8.00 cm، بينما يتوازي الجانبان الآخران مع المحور x وطول كل منهما 6.00 cm. ويؤثر في الملف مجال مغناطيسي منتظم مقداره $50.0 \mu\text{T}$ في اتجاه x الموجب. ما العزم الذي يجب بذله على الملف لتثبيته في مكانه؟

7.50 تمّ لف عشرين لفّة سلكية بقوة حول قلم رصاص قطره 6.00 mm. ثم وُضع القلم في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 5.00 T، كما هو موضح في الشكل. إذا مر تيار كهربائي شدته 3.00 A في حلقات السلك، فما مقدار العزم المبذول على القلم الرصاص؟