تم تحميل وعرض المادة من

منهجي

mnhaji.com

موقع منهجي منصة تعليمية توفر كل ما يحتاجه المعلم
والطالب من حلول الكتب الدراسية وشرح للدروس
بأسلوب مبسط لكافة المراحل التعليمية وتوازيع
المناهج وتحاضير وملخصات ونماذج اختبارات وأوراق
عمل جاهزة للطباعة والتحميل بشكل مجاني

حمل تطبيق منهجي ليصلك كل جديد

EXPLORE IT ON AppGallery

GET IT ON Google Play

Download on the App Store

المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الفيزياء 2-3

التعليم الثانوي- نظام المسارات

السنة الثالثة

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة 2024-1446

يوزع مجاناً ولا يباع

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

ⓒ وزارة التعليم ، ١٤٤٥هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
وزارة التعليم
الفيزياء ٣-٢ - التعليم الثانوي - نظام المسارات - السنة الثالثة. /
وزارة التعليم - ط ٢٠٢٤ . .- الرياض ، ١٤٤٥هـ
٢٠٥ ص؛ ٢٧.٥ x ٢١ سم

رقم الإيداع : ١٤٤٥/٢٤٢٦٥
ردمك : ٤ - ٦٨٢ - ٥١١ - ٦٠٣ - ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:

يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتُلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للإشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

المقدمة

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

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (2030) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب فيزياء 2-3 للتعليم الثانوي (نظام المسارات) داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيهما هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات لما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (2030) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكِّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى منها الروابط الرقمية بمنصة عين الإثرائية التعليمية، ومنها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (2030) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق والمظللة بالأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

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

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

قائمة المحتويات

الفصل 1

التداخل والحيود 8

1-1 التداخل 9

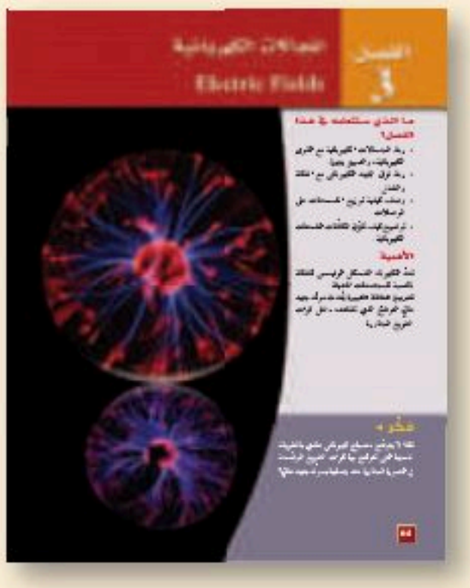
1-2 الحيود 19

الفصل 2

الكهرباء الساكنة 36

2-1 الشـــحنة الكهربائية 37

2-2 القوة الكهربائيـــة 43



الفصل 3

المجالات الكهربائية 64

3-1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها 65

3-2 تطبيقات المجالات الكهربائية 73

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

قائمة المحتويات

الفصل 4

الكهرباء التيارية 100

4-1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية 101

4-2 استخدام الطاقة الكهربائية 113

الفصل 5

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية 130

5-1 الدوائر الكهربائية البسيطة 131

5-2 تطبيقات الدوائر الكهربائية 142

الفصل 6

المجالات المغناطيسية 160

6-1 المغانط: الدائمة والمؤقتة 161

6-2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية 171

دليل الرياضيات 195

الجداول 196

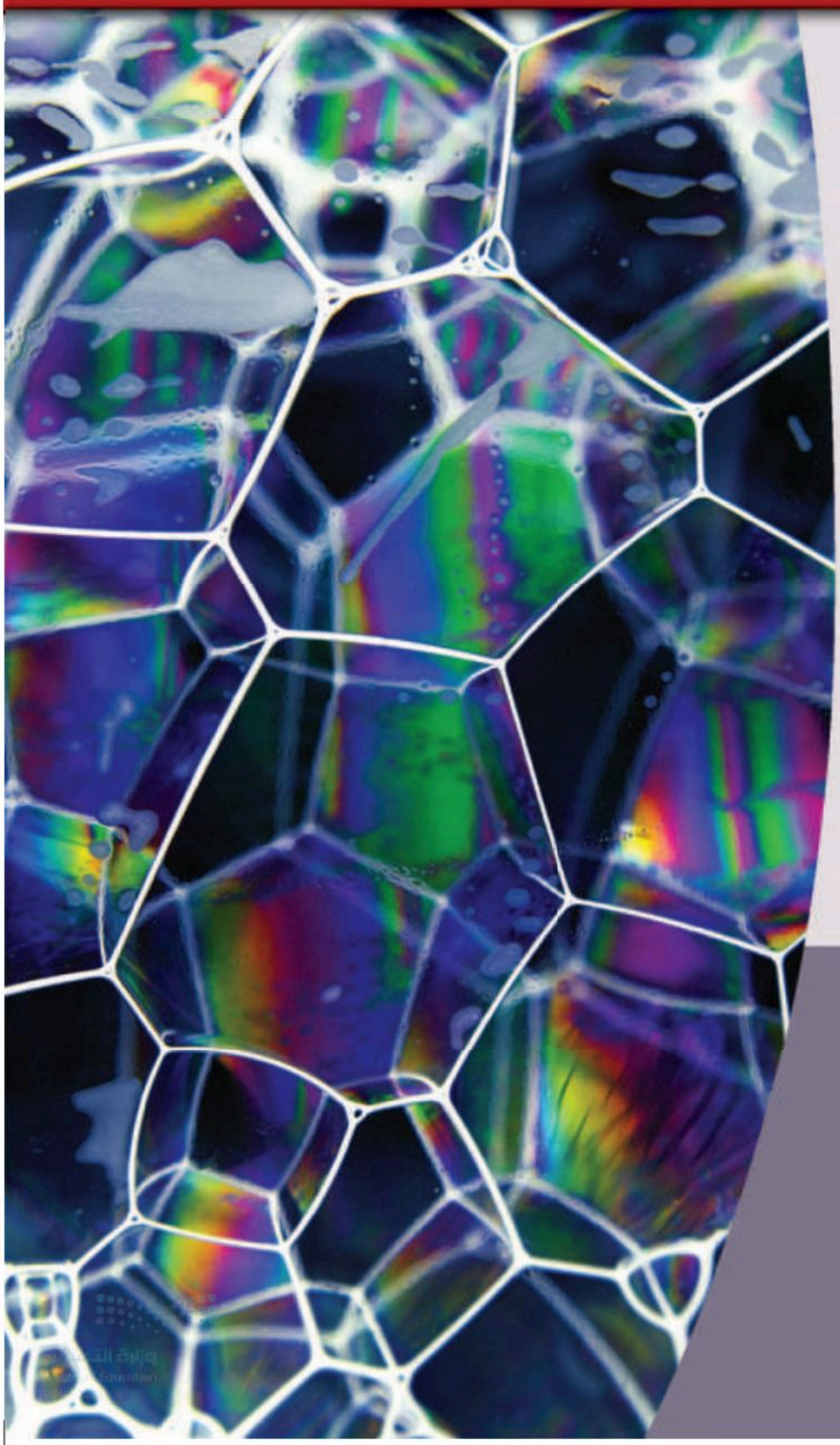
المصطلحات 200

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الفصل 1

التداخل والحيود

Interference and Diffraction



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- معرفة كيف تُظهر أنماط التداخل والحيود أن الضوء يسلك سلوك الموجات.
- توضيح كيفية حدوث أنماط التداخل والحيود في الطبيعة، وكيفية استخدامها.

الأهمية

يمكن رؤية كل من ظاهرتي التداخل والحيود في الأشياء المحيطة بك؛ إذ تُظهر الأقراص المدمجة الحيود بوضوح، كما يظهر التداخل في الفقاعات، في حين تُظهر أجنحة الفراشة الزرقاء كلًّا من التداخل والحيود معًا.

محلول الفقاعات يكون محلول فقاعات الصابون في الإناء شفافًا، ولكن إذا علّقت الفقاعات على شبكة بلاستيكية أمكنك رؤية مجموعة من الألوان. ولا تنتج هذه الألوان بسبب وجود الأصباغ أو الملوّنات في الصابون، ولكن تظهر بسبب الطبيعة الموجية للضوء.

فكّر ◄

كيف يُظهر محلول فقاعات الصابون ألوان قوس المطر؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

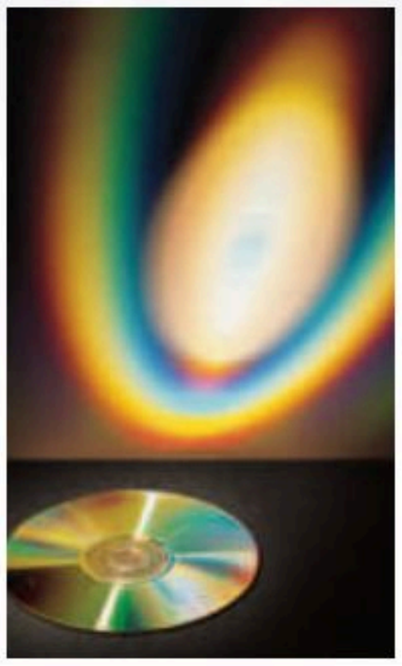
تجربة استهلالية

لماذا يعكس القرص المدمج الضوء بألوان قوس المطر؟

سؤال التجربة كيف يتأثر الضوء عندما ينعكس عن قرص مدمج؟

الخطوات

1. احصل على قرص مدمج (CD أو DVD) وجهاز عرض الضوء، ومرشِّحات ضوئية – من معلمك.
2. ضع القرص المدمج على سطح الطاولة، بحيث يكون سطحه العاكس إلى أعلى.
3. ضع مرشِّح لون على جهاز عرض الضوء.
4. شغّل جهاز عرض الضوء، وأسقِط الضوء الصادر على سطح القرص المدمج، بحيث يسقط الضوء المنعكس عن القرص على شاشة بيضاء. **تحذير: لا تنظر مباشرة إلى الضوء الصادر عن جهاز عرض الضوء.**
5. سجّل ملاحظاتك حول الضوء الذي تشاهده على الشاشة.
6. أطفئ جهاز عرض الضوء، وغيّر مرشّح اللون مستخدمًا مرشّح لون آخر.
7. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستخدام مرشّح لون جديد.
8. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستخدام ضوء أبيض.



التحليل

هل يؤثر لون الضوء في النمط المتكوّن؟ كيف يختلف انعكاس الضوء الأبيض عن انعكاس الضوء الأحادي اللون؟

التفكير الناقد تأمّل ملاحظاتك حول الضوء الأبيض المنعكس عن القرص، واقترح مصادر أخرى مُمكنة تُظهر حزمًا من الألوان.

1–1 التداخل Interference

تعلّمت أن الضوء يسلك سلوك الموجات أحيانًا؛ إذ يمكن أن يحيد عندما يمرّ بحافة، كما تفعل موجات الماء والموجات الصوتية تمامًا. وتعلمت أيضًا أنه يمكن تفسير كل من ظاهرتي الانعكاس والانكسار بناءً على النموذج الموجي للضوء، واللتين يفسرهما أيضًا نموذج الشعاع الضوئي. فما الذي دفع العلماء للاعتقاد بأن للضوء خصائص موجية؟ لقد اكتشف العلماء أن سلوك الضوء يرتبط بالطبيعة الموجية نفسها؛ حيث يحيد ويتداخل.

فعندما تنظر إلى الأجسام التي أُضيئت بمصدر ضوء أبيض ـ مثل مصباح ضوئي قريب ـ ترى **ضوءًا غير مترابط**؛ وهو ضوء ذو مقدمات موجية غير متزامنة. ويمكن مشاهدة تأثير عدم الترابط في الموجات عند سقوط مطر بغزارة على بركة سباحة؛ حيث يكون سطح الماء مضطرباً، ولا يظهر فيه أي نمط منتظم لمقدمات موجة أو موجات مستقرة. ولأن تردّد موجات الضوء كبير جدًّا فإن الضوء غير المترابط لا يظهر لك متقطّعًا أو غير مترابط. فعندما يُضاء جسم من مصدر ضوئي أبيض غير مترابط فإنك ترى تراكب موجات الضوء غير المترابط كأنها ضوء أبيض منتظم.

الأهداف

- **تفسر** تكون نمط تداخل بإسقاط الضوء على شقّين.
- **تحسب** الأطوال الموجية للضوء من أنماط التداخل.
- **تطبق** النمذجة على التداخل في الأغشية الرقيقة.

المفردات

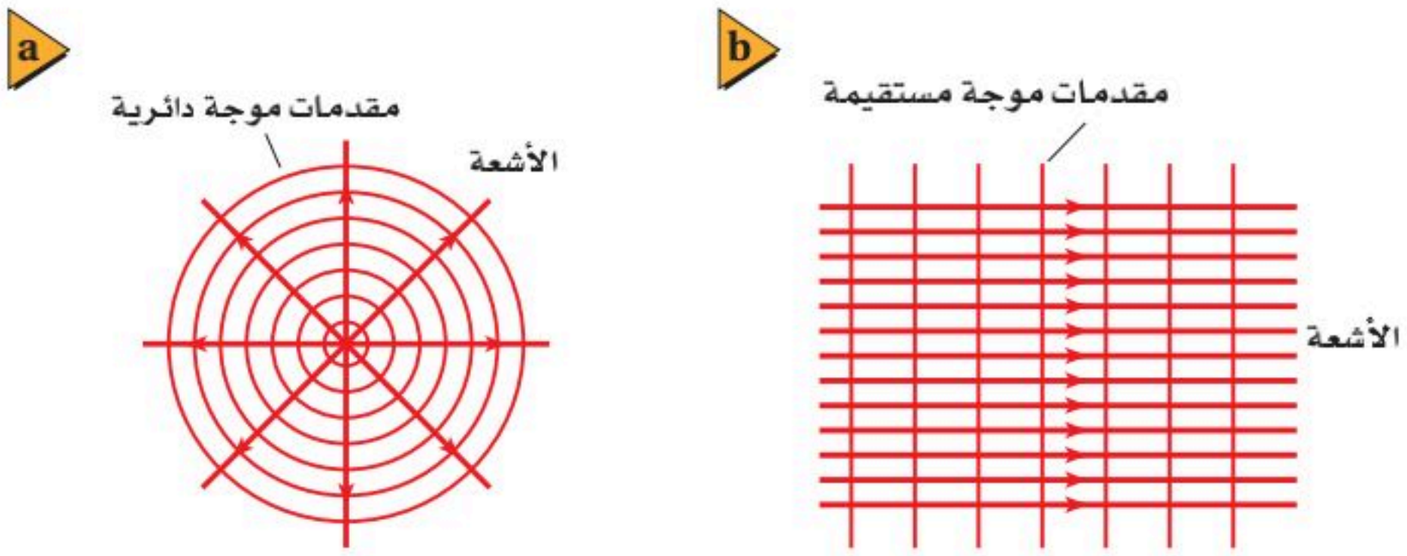
الضوء غير المترابط

الضوء المترابط

أهداب التداخل

الضوء الأحادي اللون

التداخل في الأغشية الرقيقة



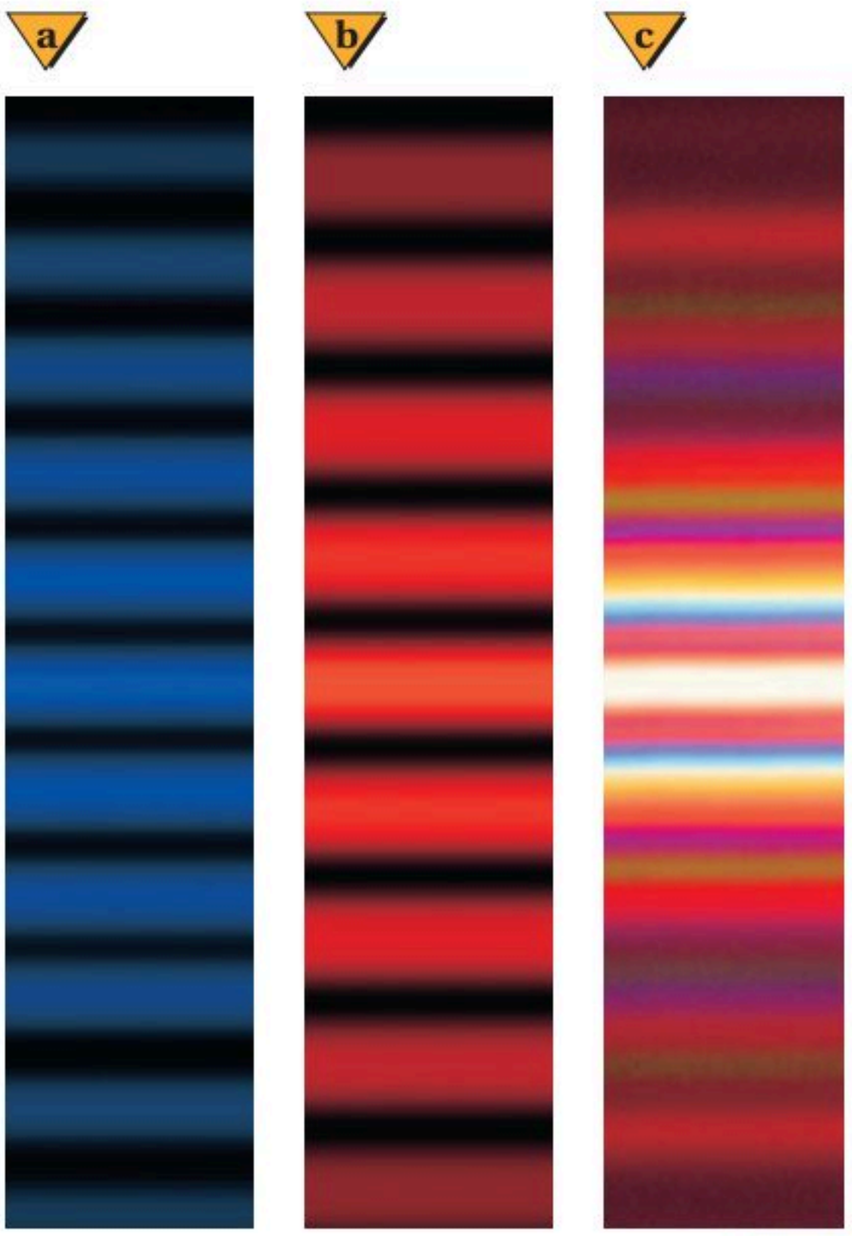
■ **الشكل 1–1** تتولد مقدمات موجات الضوء المنتظمة من المصادر النقطية (**a**)، وأشعة الليزر (**b**).

تداخل الضوء المترابط (المتزامن)

Interference of Coherent Light

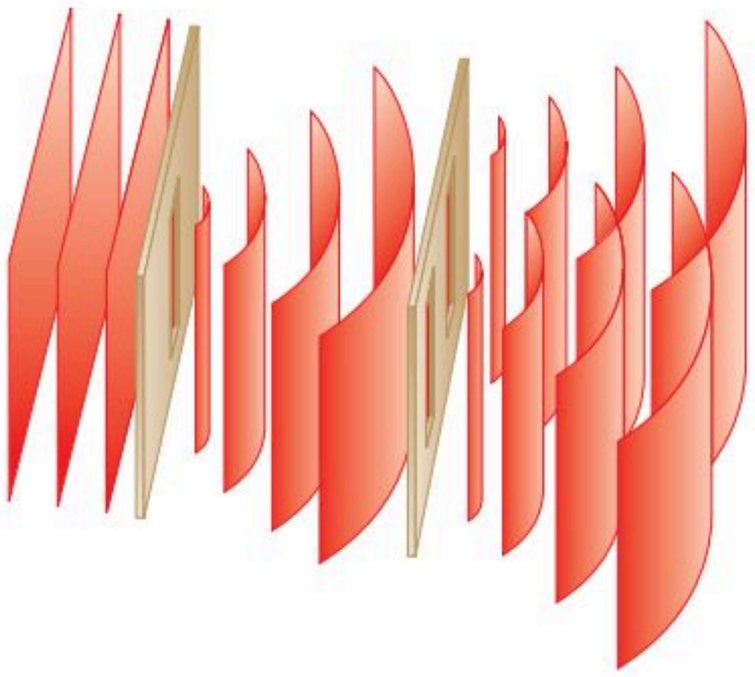
إن نقيض الضوء غير المترابط هو **الضوء المترابط**؛ وهو الضوء الناتج عن تراكب ضوء صادر من مصدرين أو أكثر، مُشكّلًا مقدمات موجات منتظمة. ويمكن توليد مقدمة موجة منتظمة من مصدر نقطي، كما يتضح من **الشكل 1a–1**، كما يمكن توليدها أيضًا من مصادر نقطية عدّة عندما تتزامن هذه المصادر النقطية جميعها، كما في أشعة الليزر، وكما هو موضح في **الشكل 1b–1**. وتحدث ظاهرة التداخل نتيجة تراكب موجات ضوئية صادرة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط، كما ستلاحظ في هذا الفصل.

■ **الشكل 2–1** أنماط تداخل الشقّ المزدوج للضوء الأزرق (**a**)، وللضوء الأحمر (**b**)، وللضوء الأبيض (**c**).



أثبت الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج أن للضوء خصائص موجية، وذلك عندما أنتج نمط تداخل من إسقاط ضوء من مصدر نقطي مترابط أحادي خلال شقّين. فقد وجَّه يونج ضوءًا مترابطًا على شقّين ضيّقين وقريبين في حاجز. وعند تداخل الضوء الخارج من الشقّين وسقوطه على الشاشة لوحظ أن الضوء المتداخل لم يُنتج إضاءة منتظمة، وبدلاً من ذلك ولّد نمطًا مكوّنًا من حزم مضيئة وأخرى معتمة، سمّاها يونج **أهداب التداخل**. وقد فسّر يونج تكوّن هذه الحزم نتيجة التداخل البنّاء والتداخل الهدّام للموجات الضوئية الصادرة من الشقّين في الحاجز.

في تجربة تداخل الشقّ المزدوج (تجربة يونج) حيث استخدم **ضوء أحادي اللون**؛ وهو ضوء له طول موجي واحد فقط، يُنتج التداخل البنّاء حزمة ضوئية مركزية مضيئة (هدبًا مضيئًا) بلون معين على الشاشة، كما يُنتج على كل جانب حزمًا مضيئة أخرى تفصلها فراغات متساوية تقريبًا، وعرضها متساوٍ تقريبًا، كما يتضح من **الشكلين 2a–1** و **2b–1**. وتتناقص شدة إضاءة الأهداب المضيئة كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي. ويمكنك ملاحظتها بسهولة في **الشكل 2a–1**. وتوجد بين الأهداب المضيئة مساحات معتمة (أهداب معتمة)؛ بسبب حدوث تداخل هدّام. وتعتمد مواقع حزم التداخل البناء والهدّام على

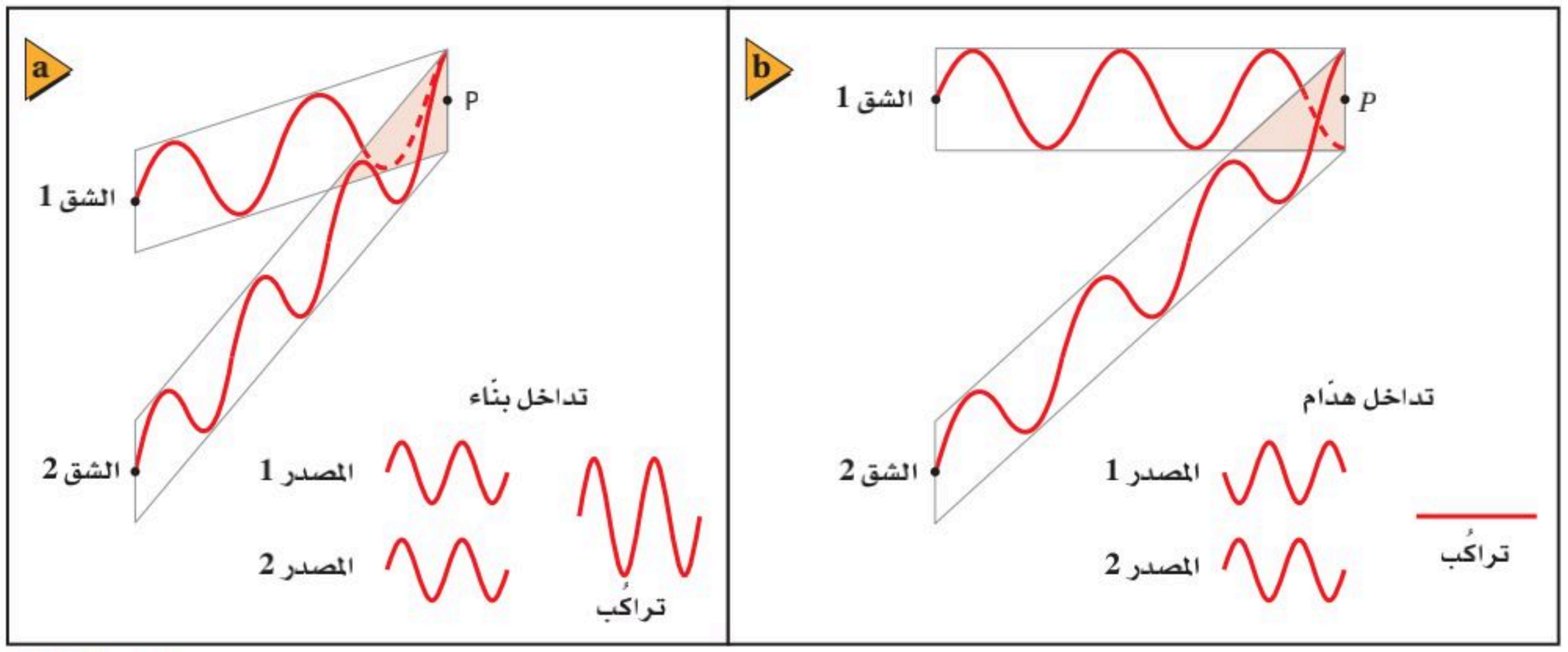


■ **الشكل 3–1** مصدر الضوء المتوافق الذي يتكوّن بواسطة الشقّ الأحادي الضيّق يُنتج موجات متوافقة أسطوانية الشكل تقريبًا، تنتقل إلى شقّين في الحاجز الثاني. وتغادر موجتان متوافقتان أسطوانيتا الشكل تقريبًا الشقّ المزدوج.

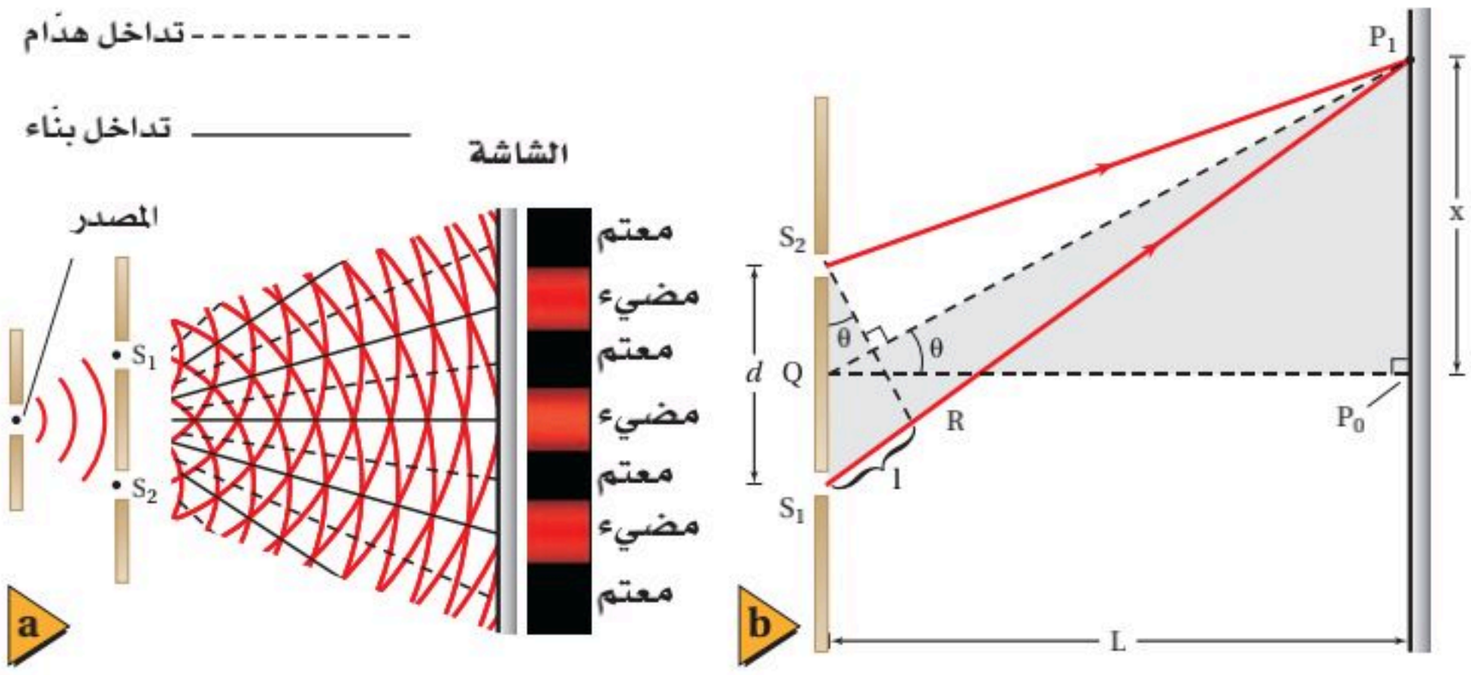
الطول الموجي للضوء الساقط. وعندما يُستخدم ضوء أبيض في تجربة شقّي يونج فإن التداخل يسبّب ظهور أطياف ملوّنة بدلاً من الأهداب المضيئة والمعتمة، كما يتضح من **الشكل 2c–1**. وتتداخل الأطوال الموجية جميعها تداخلًا بنّاءً في الهدب المركزي المضيء؛ لذا يكون هذا الهدب أبيض دائمًا. وتنتج مواقع الأهداب الأخرى الملوّنة عن تراكب أهداب التداخل التي تحدث، حيث تتداخل الأطوال الموجية لكل لون منفصل تداخلًا بنّاءً.

تداخل الشق المزدوج لتوليد ضوء مترابط من ضوء غير مترابط، وضع يونج حاجزًا ضوئيًّا ذا شقّ ضيّق أمام مصدر ضوئي أحادي اللون. ولأن عرض هذا الشقّ كان صغيرًا جدًّا، فقد نفذ الجزء المترابط من الضوء فقط، ثم حاد هذا الجزء بواسطة الشقّ، فتولّدت مقدمات موجات أسطوانية تقريبًا بسبب حيودها، كما في **الشكل 3–1**. وبسبب تماثل مقدمات الموجة الأسطوانية فإن جزأيْ مقدمة الموجة يصلان إلى الحاجز الثاني ذي الشقّين متفقين في الطور. ثم ينتج عن الشقّين في الحاجز الثاني مقدمات موجات مترابطة وأسطوانية الشكل تقريبًا تتداخل بعد ذلك، كما في **الشكل 3–1**، تداخلًا بنّاءً أو هدّامًا؛ اعتمادًا على العلاقة بين طوريهما، كما موضّح في **الشكل 4–1**.

■ **الشكل 4–1** تولّد عند الشقّين زوج من الموجات المتفقة في الطور. ويمكن أن يحدث للموجات عند بعض المواقع تداخل بنّاء لتشكيل أهداب مضيئة (**a**)، أو تداخل هدّام لتشكيل أهداب معتمة (**b**).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 5–1 يولّد تداخل الضوء الأحادي اللون الذي يمر خلال الشقّ المزدوج أهدابًا مضيئة وأخرى معتمة على الشاشة (**a**). يمثّل هذا الشكل (**b**) تحليلاً للهدبة المضيئة الأولى؛ حيث تكون المسافة الفاصلة بين الشقّين والشاشة L أكبر بـ 105 مرة تقريبًا من المسافة الفاصلة بين الشقّين d. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قياس الطول الموجي للضوء يوضّح **الشكل 5a–1** منظرًا علويًّا لمقدمات موجات أسطوانية الشكل تقريبًا وتجربة شقّي يونج، حيث تتداخل مقدمات الموجات تداخلات بنّاءة وهدّامة لتشكيل أنماط الأهداب المضيئة والمعتمة. ويوضّح **الشكل 5b–1** الرسم التخطيطي النموذجي الذي يستخدم لتحليل تجربة يونج. وتلاحظ من الشكل أن الموجتين تتداخلان تداخلاً بنّاءً على الشاشة لتكوين الهدب المركزي المضيء عند النقطة P_o؛ وذلك لأن للموجتين الطور نفسه، وتقطعان المسافة نفسها من كل شقّ إلى النقطة. كما يوجد أيضًا تداخل بنّاء عند الهدب المضيء P_1 على جانبي الحزمة المركزية؛ لأن القطعة المستقيمة P_1S_1 أطول من القطعة المستقيمة P_1S_2 بمقدار طول موجي واحد λ، لذا تصل الموجات عند النقطة P_1 بالطور نفسه. ويمكن إيجاد الطول الموجي باستخدام المعادلة الآتية:

تجربة عملية
ما الطول الموجي؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الطول الموجي من تجربة شقي يونج $\lambda = \frac{xd}{L}$

الطول الموجي للضوء المقيس بتجربة شقّي يونج يساوي المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء الأول على الشاشة، مضروبة في المسافة بين الشقّين، ومقسومة على المسافة بين الشقّين والشاشة.

يحدث تداخل بنّاء للضوء النافذ من شقّين عند مواقع، x_m، على جانبي الهدب المركزي المضيء، ويتم تحديد هذه المواقع باستخدام المعادلة $m\lambda = \frac{x_m d}{L}$؛ حيث $m = 0, 1, 2\ldots$، والمحدّدة باستخدام التبسيطات الناجمة عن كون الزاوية صغيرة. ويتولّد الهدب المركزي المضيء عند $m=0$، في حين يسمّى الهدب الناتج عند $m=1$ هدب الرتبة الأولى، وهكذا لسائر المواقع.

وقد نشر العالم يونج نتائج أبحاثه عام 1803، إلا أنه قوبل بالسخرية من المجتمع العلمي، ولم تُقبل نتائجه حتى عام 1820، حينما اقترح العالم جين فريسنل حلاًّ رياضيًّا للطبيعة الموجية للضوء من خلال مسابقة. وبيّن أحد حكّام المسابقة سيمون دينس بويسون أنه إذا كان اقتراح فريسنل صحيحًا فسوف تتكون بقعة مضيئة عند مركز ظل جسم دائري مُضاء بضوء مترابط. وأثبت حكَمٌ آخر ـ اسمه جين آرجو ـ وجودَ تلك البقعة تجريبيًّا؛ حيث كان كل من بويسون وآرجو متشكّكين حول الطبيعة الموجية للضوء قبل هذا الإثبات.

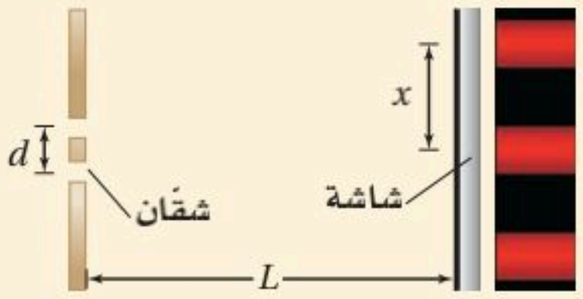
وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مثـــــال 1

الطـول الموجي للضوء طُبّقت تجربـــة يونج لقياس الطول الموجي للضوء الأحمر، فتكوّن الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى على بُعد 21.1 mm من الهدب المركزي المضيء. فإذا كان البعد بين الشقّين 0.0190 mm، ووضعت الشاشة على بُعد 0.600 m منهما، فما الطول الموجي للضوء الأحمر؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الشقّين والشاشة برسم تخطيطي.
- ارسم نمط التداخل موضّحًا فيه الأهداب في مواقعها المناسبة على الشاشة.



المعلوم	المجهول
$d = 1.90\times10^{-5}\ \text{m}$	$\lambda = ?$
$x = 2.11\times10^{-2}\ \text{m}$	
$L = 0.600\ \text{m}$	

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها العلمية

2 إيجاد الكمية المجهولة

عوّض مستخدمًا $L = 0.600\ \text{m}$، $d = 1.90\times10^{-5}\ \text{m}$، $x = 2.11\times10^{-2}\ \text{m}$

$$\lambda = xd/L$$

$$= \frac{(2.11\times10^{-2}\ \text{m})(1.90\times10^{-5}\ \text{m})}{(0.600\ \text{m})}$$

$$= 6.68\times10^{-7}\ \text{m}$$

$$= 668\ \text{nm}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الإجابة بوحدة الطول، وهي صحيحة بالنسبة للطول الموجي.
- **هل الجواب منطقي؟** الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm تقريبًا، وللضوء الأزرق 400 nm تقريبًا، لذا فإن الإجابة منطقية.

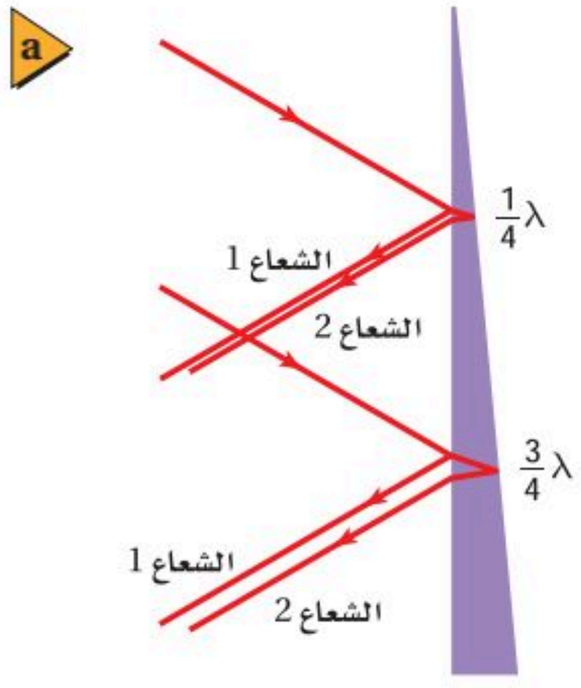
مسائل تدريبية

1. ينبعث ضوء برتقالي مُصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm، ويسقط على شـــقّين البعد بينهما $1.90\times10^{-5}\ \text{m}$. ما المسافة بين الهدب المركزي المـــضيء والهدب الأصفـــر ذي الرتبة الأولى إذا كانت الشاشـــة تبعد مســـافة 0.600 m من الشقّين؟
2. في تجربة يونج، اســـتخدم الطلاب أشـــعة ليزر طولها الموجي 632.8 nm. فإذا وضع الطلاب الشاشـــة على بُعد 1.00 m من الشـــقّين، ووجـــدوا أن الهدب الضوئي ذا الرتبة الأولى يبعد 65.5 mm من الخط المركزي، فما المسافة الفاصلة بين الشقّين؟

تجربة عملية

ما الهولوجرام؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشكل 6–1 يحدث تقوية لكل طول موجي عندما يكون سُمك غشاء الصابون $\lambda/4$، $3\lambda/4$، $5\lambda/4$ (**a**). ولأن كل لون له طول موجي خاص به فإن سلسلة الأهداب التي تنعكس عن غشاء الصابون تكون ملوّنة (**b**).

التداخل في الأغشية الرقيقة Thin-film Interference

هل سبق أن شاهدت ألوان الطيف التي كوَّنتها فقاعة صابون أو غشاء زيتي عائم على سطح تجمع مائي صغير في ساحة مواقف سيارات؟ هذه الألوان لم تنتج عن تحليل الضوء الأبيض بواسطة منشور، أو عن امتصاص الألوان بواسطة الأصباغ، بل كان طيف الألوان هذا نتيجة للتداخل البنّاء والهدّام للموجات الضوئية؛ بسبب انعكاسها عن الغشاء الرقيق، وتسمى هذه الظاهرة **التداخل في الأغشية الرقيقة**.

إذا حُمِلَ غشاء الصابون رأسيًّا ـ كما في **الشكل 6–1** ـ فإن وزنه يجعله أكبر سمكًا عند القاع منه عند القمة، ويتغير السمك تدريجيًّا من أعلى إلى القاع. وعندما تسقط موجة ضوء على الغشاء ينعكس جزء منها، كما يوضح الشعاع 1، بينما ينفذ جزء آخر منها أيضًا، ويكون للموجتين المنعكسة والنافذة تردّد الموجة الضوئية الأصلية نفسه. وتنتقل الموجة النافذة خلال الغشاء إلى السطح الخلفي، حيث ينعكس جزء منها مرة أخرى، كما يوضح الشعاع 2. إن عملية تجزئة كل موجة ضوئية من المصدر غير المترابط إلى زوج متماثل من الموجات تعني أن الضوء المنعكس عن الغشاء الرقيق ضوء مترابط.

تحسين (تعزيز) اللون كيف نجعل الانعكاس لضوء أحادي اللون معزَّزًا (شدة إضاءته أكبر)؟ يحدث هذا عندما يكون للموجتين المنعكستين الطّور نفسه بالنسبة لطول موجي محدّد. فإذا كان سمك غشاء الصابون في **الشكل 6–1** يساوي ربع الطول الموجي $\lambda/4$ للموجة في الغشاء، فإن طول المسار ذهابًا وإيابًا داخل الغشاء يساوي $\lambda/2$. وسيبدو في هذه الحالة أن الشعاع 2 يعود إلى السطح الأمامي مختلفًا في الطّور مع الشعاع 1 بنصف طول موجي، وأن كلًّا من الموجتين ستُلغي أثر الأخرى اعتمادًا على مبدأ التراكُب. ولكن عندما تنعكس موجة مستعرضة عن وسط ما سرعتها فيه أقل فإنها تنقلب. ويحدث هذا للضوء عند الوسط الذي يكون معامل انكساره أكبر. ونتيجة لما سبق، ينعكس الشعاع 1 وينقلب، في حين ينعكس الشعاع 2 عن وسط معامل انكساره صغير (الهواء) ولا ينقلب. لذا يتفق الشعاعان 1 و 2 في الطّور.

إذا كان سمك الغشاء d، يحقّق الشرط $d = \lambda/4$، فسينعكس لون الضوء الذي له ذلك الطول الموجي بشدّة كبيرة، ويحدث تعزيز لهذا اللون نتيجة ذلك. ولأن الطول الموجي للضوء في الغشاء أقصر من الطول الموجي له في الهواء فإن $d = \lambda_{\text{الغشاء}}/4$، أو بدلالة الطول

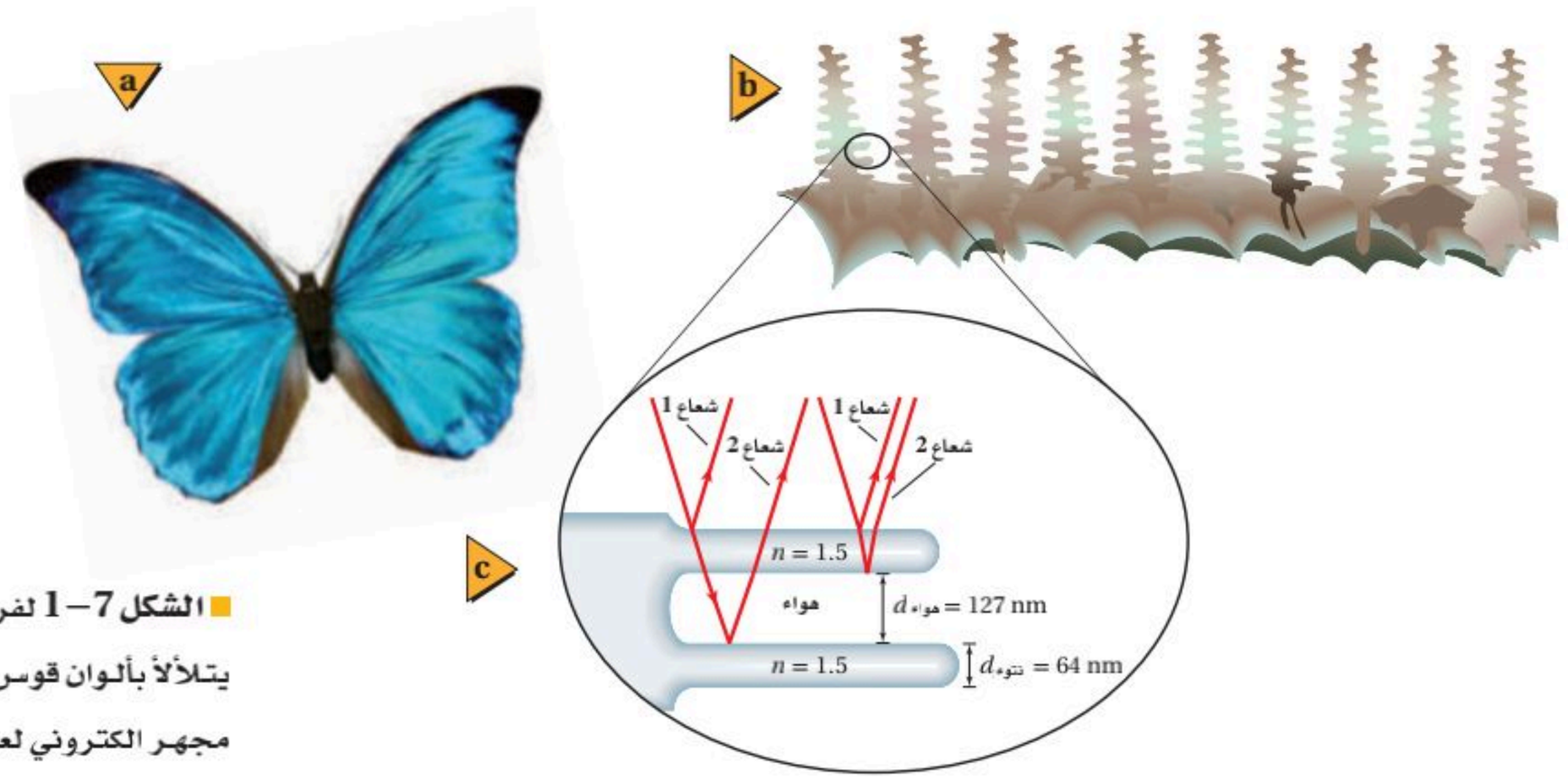
تطبيق الفيزياء

النظارات غير العاكسة يمكن وضع غشاء رقيق على عدسات النظارات ليمنع عكس الأطوال الموجية للضوء التي تكون حساسية العين البشرية لها عالية جدًّا؛ ممّا يمنع وهج الضوء المنعكس.

الموجي في الهـــواء $d = \lambda_{\text{الفراغ}} / 4n_{\text{الغشاء}}$. لاحظ أن كلتا الموجتين تعــزّز إحداهما الأخرى عندما تغادران الغشـــاء. بينما يحدث تداخل هدّام للضوء عند الأطوال الموجية الأخرى.

وكما تعلم فإن ألوان الضوء المختلفة لها أطوال موجية مختلفة. أما الغشـــاء المتغيّر السمك -ومنه الغشاء الموضح في **الشكل 6–1** - فإن شرط الطول الموجي سيتحقق عند درجات سُمْك مختلفة للألوان المختلفة. والنتيجة هي تكوّن ألوان قوس المطر. وعندما يكون الغشاء رقيقًـــا جدًّا بحيث لا يُنتج تداخلًا بنّاءً لأيّ طول موجي من ألوان الضوء، يبدو الغشـــاء معتمًا. لاحظ تكرار الطيف في **الشـــكل 6b–1**؛ فعندما يكون سمك الغشاء $3\lambda / 4$ تكون مسافة الذهاب والإياب $3\lambda / 2$، ويحدث التداخل البنّاء مرة أخرى. وسيحقّق أي سمك للغشاء مساويًا لـ $\lambda / 4$ ، $3\lambda / 4$، $5\lambda / 4$، ... إلخ شروطَ التداخل البنّاء لطول موجيّ محدّد.

تطبيقـات التداخل في الأغشـية الرقيقة إن مثال غشـــاء المـــاء المحتوي على الصابون في الهواء يتضمن تداخلًا بنّاء مع انقـــلاب إحدى الموجتين عند الانعكاس. ففي المثال الذي اســـتُهِلَّ به الفصل حول فقاعات الصابون، كلما تغير سُـــمك غشاء محلول الفقاعات فإن الطول الموجـــي الذي يحدث له تداخل بنّاء يتغير. وهذا يؤدي إلى تكوّن طيف مُزاح للّون على سطح الغشـــاء الصابوني عندما يضاء بضوء أبيض. وفي أمثلة أخرى على التداخل في الأغشـــية الرقيقة يمكن أن تنقلب كلتا الموجتـــين أو لا ينقلب أيّ منهما. ويمكنك أن تحل أي مســـألة تتضمن تداخل الغشاء الرقيق، وذلك باستخدام اســـتراتيجيات حل المسألة أدناه. ويمكنك أن تضع حلًّا لأي مسألة تتضمن التداخل في الأغشية الرقيقة، باستخدام استراتيجيات حل المسألة أدناه.



■ **الشكل 7–1** لفراشة المورفو لون أزرق يتلألأ بألوان قوس المطر (**a**). استُخدم مجهر الكتروني لعرض المقطع العرضي لجزء من نتوءات جناحها الشبيه بالنتوءات البارزة (**b**)، وللنتوءات البارزة تركيب مشابه للدرج. ويمكن أن تتداخل الأزواج المتماثلة من الأشعة الضوئية المنعكسة عن نتوء مفرد والأشعة المنعكسة عن نتوءات متعدّدة (**c**).

ويحدث تداخل الغشـــاء الرقيق طبيعيًّا في جناحي فراشـــة المورفو، كما في **الشكل 7a–1**. فاللون الأزرق المتلألئ للفراشة هو نتيجة للنتوءات التي تبرز خارجة من القشور الداخلية لجناح الفراشة، كما في **الشـــكل 7b–1**؛ حيث ينعكس الضوء وينكسر خلال سلسلة من التراكيب التي تشبه الدرج، كما في **الشكل 7c–1**، مما يؤدي إلى تكوين نمط تداخل أزرق اللون؛ يؤدي بدوره إلى ظهور الفراشة كأنها تصدر وميضًا يمكن ملاحظته عند النظر إليها.

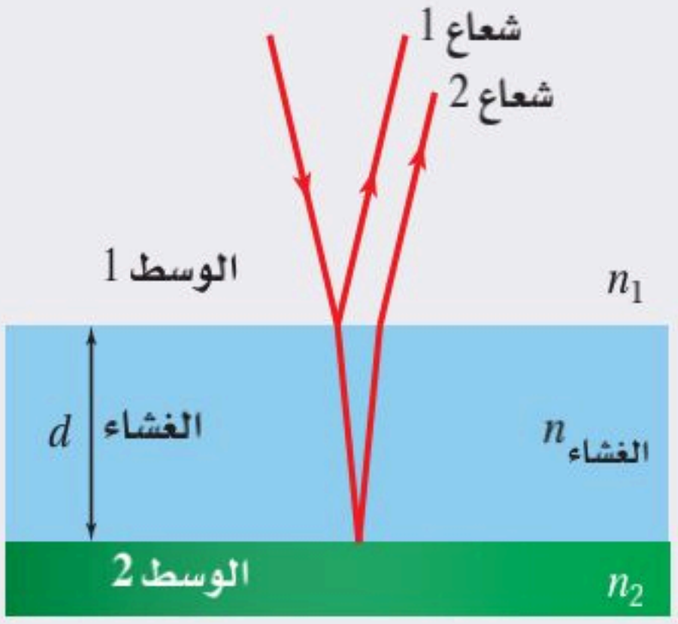
استراتيجيات حل المسألة

التداخل في الأغشية الرقيقة

عند حل المسائل المتعلقة بالتداخل في الأغشية الرقيقة كوّن المعادلة الخاصة بالمسألة، وذلك باستخدام الاستراتيجيات الآتية:

1. ارسم رسمًا توضيحيًّا للغشاء الرقيق وللموجتين المترابطتين. وللتسهيل ارسم الموجات على شكل أشعة.
2. اقرأ المسألة، وحدّد هل حدث تقوية أم إضعاف للضوء المنعكس؟ فإذا حدثت تقوية له تكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلًا بنّاء، أما إذا ضعف فتكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلًا هدّامًا.
3. هل تنقلب إحدى الموجتين أو كلتاهما عند الانعكاس؟ إذا تغيّر معامل الانكسار من قيمة أقل إلى قيمة أكبر تكون الموجة المنعكسة منقلبة، أما إذا تغير معامل الانكسار من قيمة أكبر إلى قيمة أقل فلن تنقلب الموجة المنعكسة.

انعكاس عن غشاء رقيق



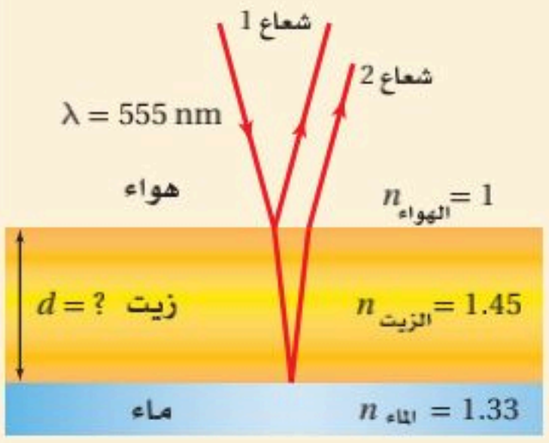
4. أوجد المسافة الإضافية التي يجب أن تقطعها الموجة الثانية في الغشاء الرقيق لتوليد التداخل المطلوب.
   a. إذا أردت تداخلاً بنّاءً وكانت إحدى الموجتين مقلوبة، أو أردت تداخلاً هدّامًا وكانت كلتاهما مقلوبة أو غير مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عددًا فرديًّا من أنصاف الطول الموجي: $\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda_{\text{الغشاء}}$ حيث $m = 1, 2, 3\ldots$.
   b. إذا أردت تداخلاً بنّاءً وكانت كلتا الموجتين مقلوبة أو غير مقلوبة، أو أردت تداخلاً هدّامًا وكانت إحدى الموجتين مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عددًا صحيحًا من الأطوال الموجية: $m\lambda_{\text{الغشاء}}$، حيث $m = 1, 2, 3,\ldots$.
5. حدّد المسافة الإضافية التي يقطعها الشعاع الثاني بحيث تساوي ضعف سمك الغشاء، $2d$.
6. تذكّر مما درسته سابقًا أن $n_{\text{الغشاء}} / \lambda_{\text{الفراغ}} = \lambda_{\text{الغشاء}}$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مثـــال 2

الزيت والماء لاحظت حلقات ملوّنة في بركة ماء صغيرة، واستنتجت أنه لا بدّ من وجود طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء. فنظرت مباشرة إلى أسفل نحو البركة، فشاهدت منطقة صفراء مخضرة (λ=555 nm). فإذا كان معامل الانكسار للزيت 1.45، وللماء 1.33، فما أقل سمك لطبقة الزيت تسبّب ظهور هذا اللون؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثّل الغشاء الرقيق والطبقتين؛ الطبقة التي فوقه والطبقة التي تحته.
- ارسم الأشعة مبيّنًا الانعكاس عن سطح الغشاء العلوي وعن سطحه السفلي.

المعلوم	المجهول
$n_{\text{الماء}} = 1.33$	$d = ?$
$n_{\text{الزيت}} = 1.45$	
$\lambda = 555\ \text{nm}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

لأن $n_{\text{الهواء}} < n_{\text{الزيت}}$ فسيؤدي ذلك إلى اختلاف في الطور بمقدار 180° (انقلاب في الطور) في الانعكاس الأول، ولأن $n_{\text{الزيت}} > n_{\text{الماء}}$ فلن يحدث انقلاب في الطور في الانعكاس الثاني. لذا يحدث انقلاب موجي واحد فقط، ويكون الطول الموجي للضوء في الزيت أقل منه في الهواء.

طبّق استراتيجية حل المسائل لتكوين المعادلة:

$$2d = [m+\tfrac{1}{2}]\frac{\lambda}{n_{\text{الزيت}}}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

ولأنك تريد أقل سمك، فإن $m=0$.

عوّض مستخدمًا $m = 0$

$$d = \frac{\lambda}{4n_{\text{الزيت}}}$$

عوّض مستخدمًا $n_{\text{الزيت}} = 1.45$, $\lambda = 555\ \text{nm}$

$$= \frac{555\ \text{nm}}{4\,(1.45)}$$

$$= 95.7\ \text{nm}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن الإجابة بوحدة nm، وهي صحيحة بالنسبة للسُّمْك.
- **هل الجواب منطقي؟** إن أقل سمك يكون أقل من طول موجي واحد، والذي يمثل ما يجب أن يكون.

مسائل تدريبية

3. ارجع إلى المثال 2، ثم أوجد أقل سُمْك ممكن للغشاء لتكوين حزمة ضوء منعكسة لونها أحمر ($\lambda = 635\ \text{nm}$).
4. وضع غشـــاء من فلوريد الماغنســيوم معامل انكســاره 1.38 على عدســة زجاجية مطلية بطبقة غير عاكسة معامل انكسارها 1.52. كم يجب أن يكون سمك الغشاء بحيث يمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر؟
5. ما أقل سُمْك لغشاء صابون معامل انكساره 1.33 ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلاً بنّاءً مع نفسه؟

6. **سمك الغشاء** يمسك خالد بلعبة الفقاعات، وينفخ في غشاء الصابون المعلّق رأسيًّا في الهواء مكوّنًا فقاعات. ما العرض الثاني الأقل سمكًا لغشاء الصابون الذي يتوقع عنده رؤية شريط مضيء إذا كان الطول الموجي للضوء الذي يضيء الغشاء 575 nm؟ افترض أن معامل انكسار محلول الصابون 1.33.

7. **الأنماط المضيئة والمعتمة** تم تكوين شقين متقاربين جدًّا في قطعة كبيرة من الكرتون، وأضيء الشقّان بضوء أحمر أحادي اللون. وعند وضع ورقة بيضاء بعيدًا عن الشقّين شوهد نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على الورقة. صف كيف تسلك الموجة عندما تقابل شقًّا. وفسّر لماذا تظهر أهداب مضيئة وأخرى معتمة.

8. **أنماط التداخل** وضّح بالرسم النمط الذي وصِف في المسألة السابقة.

9. **أنماط التداخل** مثّل ما يحدث لنمط التداخل في المسألة 7 عند استخدام ضوء أزرق بدلًا من الضوء الأحمر.

10. **سمك الغشاء** غشاء بلاستيكي عاكس معامل انكساره 1.83، ثبّت على نافذة زجاجية، فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج 1.52:

a. فما أقل سُمك ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر؟

b. إذا علمت أن هذا الغشاء لا يمكن صناعته بهذا السُّمك، فما السُّمك الآتي الذي يحدث التأثير نفسه؟

11. **التفكير الناقد** تستخدم معادلة الطول الموجي المشتقة من تجربة يونج عندما تكون الزاوية θ صغيرة جدًّا، وعندها يكون $\sin\theta \approx \tan\theta$. إلى أيّ زاوية يبقى هذا التقريب جيدًا؟ وهل تزداد الزاوية العظمى للتقريب الجيد والصحيح أم تتناقص عندما تزيد دقة قياسك لها؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–1 الحيود Diffraction

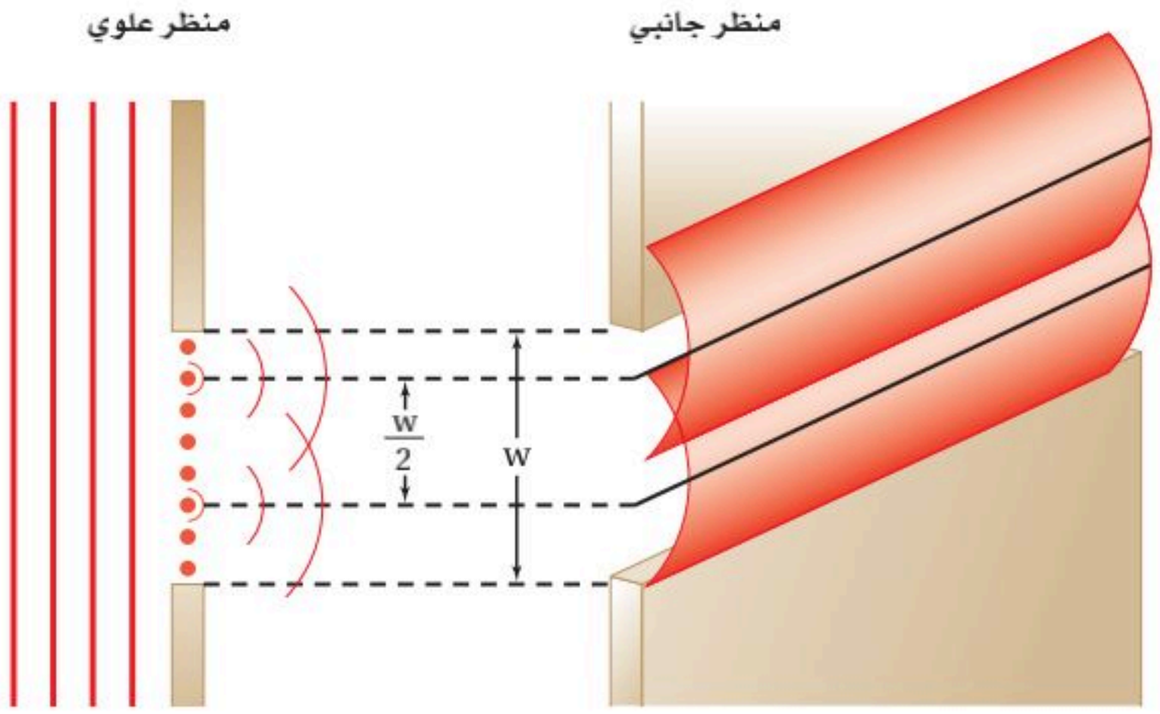
درست سابقًا أن مقدمات الموجات الضوئية المنتظمة تنحني حول حواف فتحة في حاجز في أثناء نفاذها خلال هذه الفتحة؛ أي يحدث لها حيود. وقد أمكن تفسير ذلك وفقًا لمبدأ هيجنز، الذي يبين أن النقاط جميعها على مقدمات الموجات تُمثِّل مصادر ضوئية نقطية، فإذا عبر الضوء المترابط حافتين متقاربتين يتكوّن **نمط حيود**؛ وهو نمط يتكوّن على شاشة نتيجة التداخل البنّاء والهدّام لمويجات هيجنز.

حيود الشق الأحادي Single-Slit Diffraction

عندما يمر الضوء الأزرق المترابط خلال شقّ صغير عرضه أكبر من الطول الموجي للضوء فإن الضوء يحيد عن كلتا الحافتين، وتتكوّن سلسلة من الأهداب المضيئة والمعتمة على شاشة بعيدة، كما في **الشكل 8–1**. وتلاحظ أنه بدلاً من تكوّن أنماط تفصلها مسافات متساوية كتلك التي تكوّنت من مصدرين ضوئيين مترابطين في تجربة يونج يتكوّن في هذه الحالة نمط عبارة عن هدب مركزي عريض ومضيء مع أهداب أقل سمكًا وأقل إضاءة على كلا الجانبين. ويزداد عرض الحزمة المركزية المضيئة عندما نستخدم الضوء الأحمر بدلاً من الضوء الأزرق، وعند استخدام الضوء الأبيض يكون النمط مزيجًا من أنماط ألوان الطيف جميعها.

ولملاحظة كيف تُنتج مويجات هيجنز نمط الحيود، تخيّل شقًّا عرضه w مُجزّأ إلى عدد زوجي من نقاط هيجنز، كما في **الشكل 9–1**، حيث تعمل كل نقطة من هذه النقاط بوصفها مصدرًا نقطيًّا لمويجات هيجنز. جزّئ الشقّ ذهنيا إلى جزأين متساويين، واختر مصدرًا واحدًا من كل جزء، على أن يفصل كل زوج مسافة w /2 عن الآخر. سيُنتج هذا الزوج من المصادر الموجات الأسطوانية المترابطة التي ستتداخل.

ويقابل كل مويجة هيجنز تتكوّن في النصف العلوي من الشقّ مويجة هيجنز أخرى تتكوّن في النصف السفلي منه، وتفصلهما مسافة w /2 ممّا يؤدي إلى تداخلهما تداخلاً هدّامًا وتكوين هدب معتم على الشاشة، وتتداخل كل الأزواج المماثلة من مويجات هيجنز تداخلاً هدّامًا



الشكل 9–1 شقّ عرضه w جُزّئ إلى أزواج من الخطوط التي تشكّل مويجات هيجنز، ويفصل بين كل زوج مسافة مقدارها w/2.

الأهداف

- **توضّح** كيف تتشكّل أنماط الحيود بواسطة محزوزات الحيود.
- **تصف** كيفية استخدام محزوزات الحيود في المطياف.
- **تناقش** كيف يحد الحيود من المقدرة على التمييز بين جسمين متقاربين جدًّا بواسطة عدسة.

المفردات

نمط الحيود

محزوز الحيود

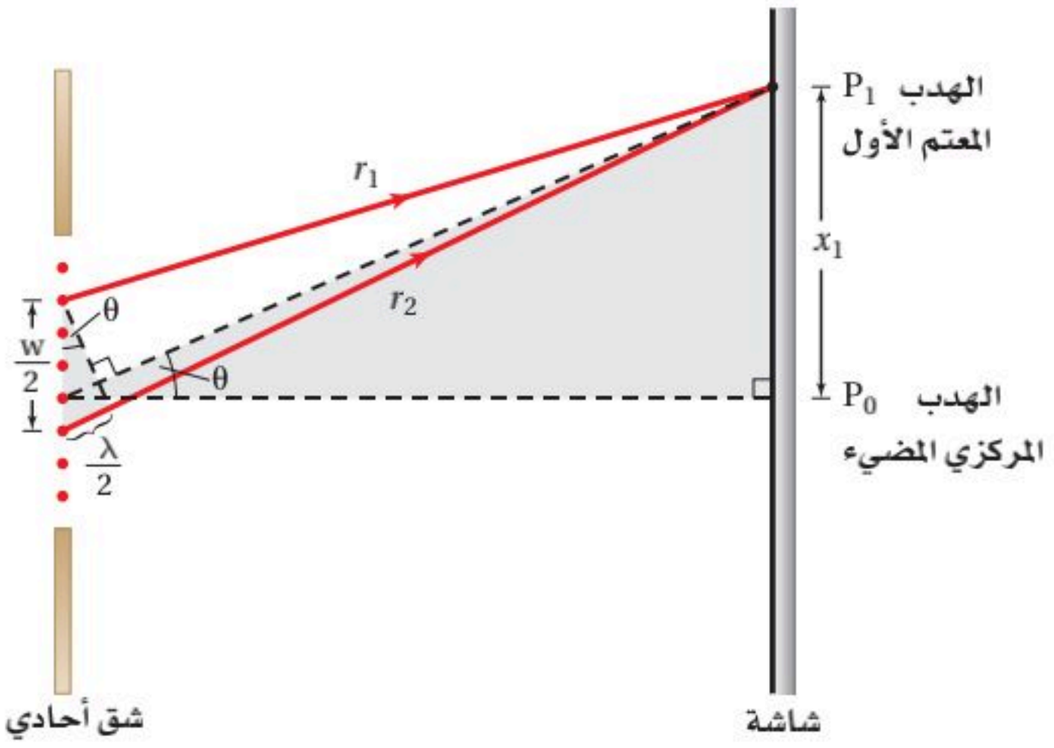
معيار ريليه

الشكل 8–1 لاحظ الهدب المركزي العريض والأهداب الضيّقة على كلا الجانبين. إن نمط حيود الشقّ المفرد للضوء الأحمر له هدب مركزي أكثر عرضًا من الضوء الأزرق، وذلك عندما يُستخدم شقّ له الحجم نفسه لكلا اللونين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

عند الأهداب المعتمة. أما الأهداب المضيئة على الشاشة فهي نتيجة تداخل أزواج من مويجات هيجنز تداخلاً بنّاءً، في حين يحدث تداخل هدّام جزئيًّا في المنطقة ذات الإضاءة الخافتة التي تقع بين الأهداب المضيئة والمعتمة.

نمط الحيود عندما يُضاء الشقّ المفرد يظهر هدب مركزي مضيء عند الموقع P_o على الشاشة، كما في **الشكل 10–1**. ويظهر الهدب المعتم الأول عند الموقع P_1، لأن طولي المسارين r_1 و r_2 لمويجتي هيجنز يختلف أحدهما عن الآخر بمقدار نصف طول موجي عند هذا الموقع، لذا ينتج هدب معتم نتيجة للتداخل الهدّام، وهذا النموذج مشابه رياضيًّا لتداخل الشق المزدوج. إن مقارنة نمط حيود الشقّ الأحادي بنمط تداخل الشقّ المزدوج باستخدام شقوق لها العرض نفسه، تُظهر أن جميع أهداب التداخل المضيئة لنمط تداخل الشقّ المزدوج متطابقة مع عرض الحزمة المركزية المضيئة لنمط حيود الشقّ الأحادي؛ وذلك لأن تداخل الشقّ المزدوج ينتج عن تداخل أنماط حيود الشقّ الأحادي للموجات الناتجة عن الشقّين.



■ **الشكل 10–1** يمثل هذا الرسم تحليلا للهدب المعتم الأول. ويكون بعد الشقّ عن الشاشة L أكبر كثيرًا من عرضه w.

ويمكننا الآن تطوير معادلة لنمط الحيود الذي ينتج بواسطة شقّ أحادي باستخدام التبسيطين نفسيهما اللذين استخدمتهما في تداخل الشقّ المزدوج، بافتراض أن البعد عن الشاشة أكبر كثيرًا من w، والمسافة الفاصلة بين مصدري الموجتين المتداخلتين تساوي $w/2$. ولإيجاد المسافة المقيسة على الشاشة للحزمة المعتمة الأولى x_1 تلاحظ أن فرق المسار يساوي $\lambda/2$ بسبب حدوث تداخل هدّام عند الحزمة المعتمة، لذا فإن $x_1/L = \lambda/w$.

تلاحظ من **الشكل 10–1** أنه يصعب قياس المسافة من مركز الحزمة المركزية المضيئة إلى الحزمة المعتمة الأولى. والطريقة المثلى لحساب x_1 هي أن تقيس عرض الحزمة المركزية المضيئة $2x_1$. وتُعطي المعادلة الآتية عرض الحزمة المركزية المضيئة في حيود الشقّ الأحادي:

عرض الحزمة المضيئة في حيود الشق المفرد $2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$

عرض الحزمة المركزية المضيئة يساوي حاصل ضرب ضعف الطول الموجي في البعد عن الشاشة مقسومًا على عرض الشقّ.

وباختصار العدد 2 من طرفي المعادلة أعلاه تحصل على المسافة بين مركز الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول. ويمكن إيجاد موقع الأهداب المعتمة الأخرى عندما يكون الفرق في أطوال المسارات مساويًا لـ $3\lambda/2$، $5\lambda/2$ وهكذا، ويُعبَّر عنها بالمعادلة $x_m = m\lambda L/w$، حيث $m = 1, 2, 3 \ldots$، مع مراعاة أن تكون الزوايا صغيرة وفقًا للتبسيط الذي تم تناوله. وبتعويض قيمة $m=1$ في هذه المعادلة نُحدّد موقع الهدب المعتم ذي الرتبة الأولى، أمّا الهدب المعتم ذو الرتبة الثانية فيحدث عند $m=2$، وهكذا لسائر الأهداب.

مسائل تدريبية

12. يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طوله الموجي 546 nm على شقّ مفرد عرضه 0.095 mm. إذا كان بُعد الشقّ عن الشاشة يساوي 75 cm، فما عرض الهدب المركزي المضيء؟

13. سقط ضوء أصفر على شقّ مفرد عرضه 0.0295 mm، فظهر نمط على شاشة تبعد عنه مسافة 60.0 cm. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 24.0 mm، فما الطول الموجي للضوء؟

14. سقط ضوء أبيض على شقّ مفرد عرضه 0.050 mm، فإذا وضعت شاشة على بُعد 1.00 m منه، ووضع طالب مرشّحًا أزرق- بنفسجيًّا ($\lambda = 441\ nm$) على الشقّ، ثم أزاله ووضع مرشّحًا أحمر ($\lambda = 622\ nm$)، ثم قاس الطالب عرض الهدب المركزي المضيء:

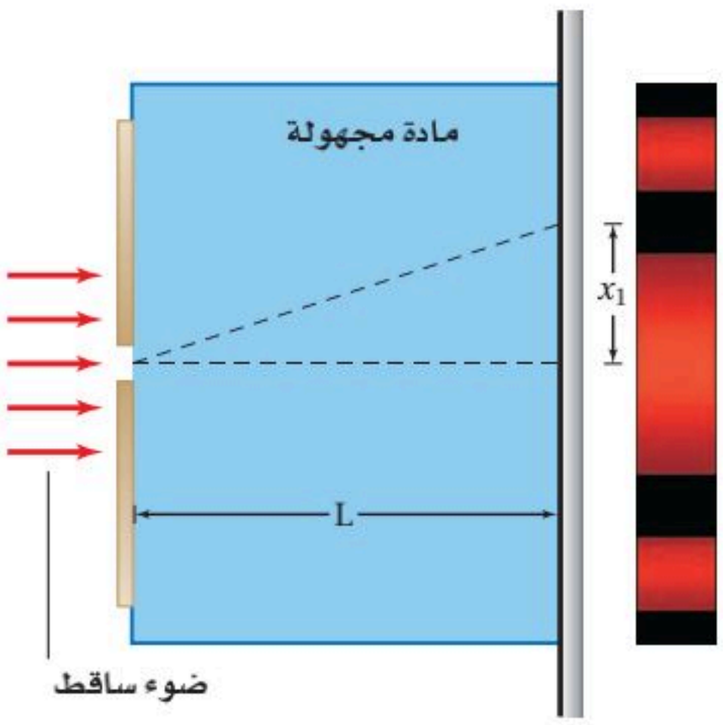
a. فأيّ المرشّحين ينتج هدبًا ضوئيًّا أكثر عرضًا؟

b. احسب عرض الهدب المركزي المضيء لكل من المرشّحين.

يُقدِّم حيود الشقّ الأحادي تصورًا واضحًا للطبيعة الموجية للضوء عندما يتراوح عرض الشقّ بين 10و 100 ضعف الطول الموجي للضوء. أما إذا كانت الفُتحات أكبر من ذلك فإنها تكوّن ظلالاً حادّة، وكان العالم إسحق نيوتن أول من لاحظ ذلك. وفي حين يعتمد نمط الشقّ الأحادي على الطول الموجي للضوء، فإن الحيود يزوّدنا بأداة فعّالة لقياس الطول الموجي للضوء فقط عند استخدام عدد كبير من الشقوق بعضها بجانب بعض.

مسألة تحفيز

لديك مجموعة من المواد غير المعروفة، وأردّت أن تتعرف أنواعها باستخدام أدوات حيود الشقّ المفرد، فقرّرت وضع عينة من المادة المجهولة في المنطقة بين الشقّ والشاشة، واستخدمت البيانات التي حصلت عليها لتحديد نوع كل مادة، وذلك بحساب معامل الانكسار. اعتمادًا على ذلك، أجب عما يأتي:



1. اكتب صيغة عامة لمعامل الانكسار لمادة مجهولة بدلالة الطول الموجي للضوء في الفراغ $\lambda_{\text{الفراغ}}$، وعرض الشق w، والمسافة بين الشقّ والشاشة L، والمسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول x_1.

2. إذا كان الطول الموجي لضوء المصدر الذي تستخدمه 634 nm، وعرض الشقّ 0.10 mm، والبعد بين الشقّ والشاشة 1.15 m، وغمرت الأدوات في الماء ($n_{\text{المادة}} = 1.33$) فكم تتوقع أن يكون عرض الهدب المركزي؟

■ **الشكل 11–1** تستخدم محزوزات الحيود لتكوين أنماط الحيود من أجل تحليل مصادر الضوء.

محزوزات الحيود Diffraction Gratings

درست أن تداخل الشقّ المزدوج وحيود الشقّ المفرد يعتمدان على الطول الموجي للضوء المستخدم، لذا فإنّنا بحاجة إلى قياسات دقيقة للطول للموجي. ومن أجل ذلك تُستخدم محزوزات الحيود الموضّحة في **الشكل 11–1**. **ومحزوز الحيود** أداة مكوّنة من شقوق عدة مفردة تسبّب حيود الضوء، وتكوّن نمط حيود ناتجًا عن تراكُب أنماط ناتجة عن حيود شقّ مفرد. ويمكن أن يتكوّن محزوز الحيود من 10,000 شقّ لكل سنتمتر. لذا فإن المسافة بين الشقوق تكون صغيرة جدًّا تصل إلى 10^{-6} m أو 1000 nm.

من أنواع محزوزات الحيود ما يُسمّى محزوز النفاذ. ويصنع هذا المحزوز بعمل خدوش على زجاج منفذ للضوء في صورة خطوط رفيعة جدًّا بواسطة رأس من الألماس؛ حيث تعمل الفراغات بين خطوط الخدوش كالشقوق. والنوع الأقل تكلفة من محزوزات الحيود هو المحزوز طبق الأصل أو المحزوز الغشائي. ويُصنع هذا المحزوز بضغط صفيحة رقيقة من البلاستيك على محزوز زجاجي، وعندما تسحب صفيحة البلاستيك الرقيقة خارج المحزوز يتكوّن أثر على سطحها مماثل للمحزوز الزجاجي. وتُصنع المجوهرات أحيانًا على صورة محزوزات نفاذ تنتج أطيافًا ضوئية، كما هو موضح في **الشكل 12a–1**.

وهناك نوع آخر من محزوزات الحيود تُسمّى محزوزات الانعكاس. ويُصنع هذا النوع بواسطة حفر خطوط رفيعة جدًّا على سطوح طبقة معدنية أو زجاج عاكس. وطيف الألوان الناتج عندما ينعكس الضوء الأبيض عن سطح قرص مدمج CD أو DVD هو نتيجة لعمل هذا القرص عمل محزوز انعكاس، كما هو موضح في **الشكل 12b–1**. فإذا وجّهت ضوءًا أحاديَّ اللون إلى DVD فسيُكوّن الضوء المنعكس نمط حيود على شاشة. وتُنتج محزوزات النفاذ ومحزوزات الانعكاس أنماطَ حيود متشابهة يُمكن تحليلها بالطريقة نفسها. يبين **الشكل 13–1** إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.

■ **الشكل 12–1** جوهرة مصنوعة في صورة محزوز نفاذ تُنتج أطيافًا ضوئية (**a**). تُعدّ الأقراص المدمجة محزوزات انعكاس؛ إذ تكوّن نمط طيف الحيود عندما يسقط عليها ضوء أبيض (**b**).

■ **الشكل 13–1** خط زمني يبين إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.

القرن العاشر (م) ابن سهل أحد العلماء المسلمين، وضَع أول قانون للانكسار واستخدمه لاستخلاص أشكال العدسات التي تعمل على تركيز الضوء. وهو أول من وصف قانون الانكسار وصفًا صحيحًا.

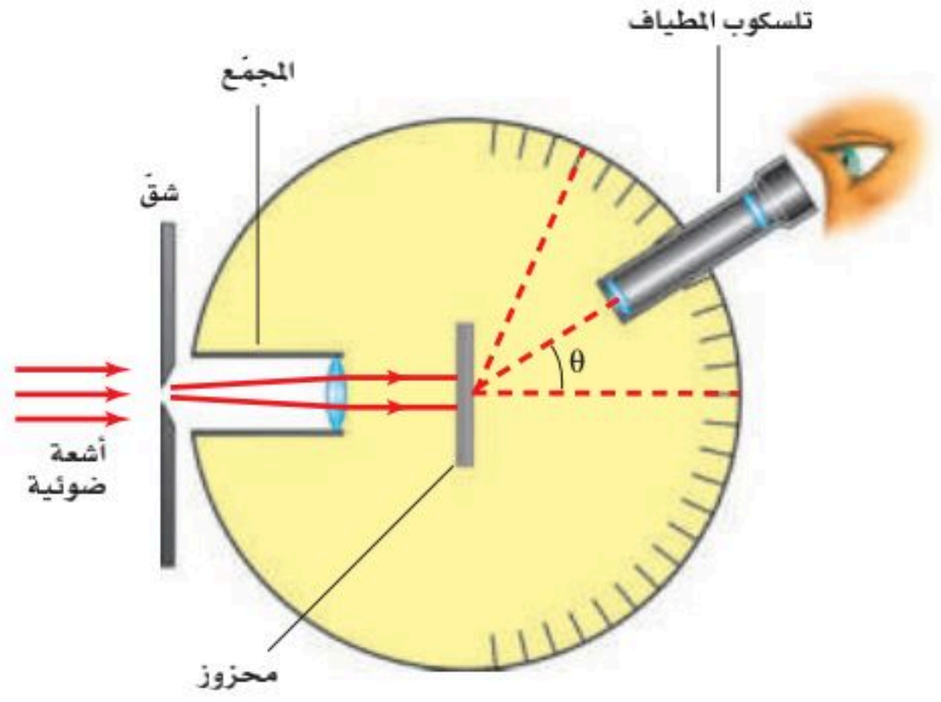
القرن التاسع الميلادي

القرن التاسع (م) يعقوب بن إسحاق الكندي أحد العلماء المسلمين، فسّر اختلاف أطوال الظلال للأجسام، والانعكاس في المرايا، وبيّن أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة.

القرن العاشر

القرن الحادي عشر

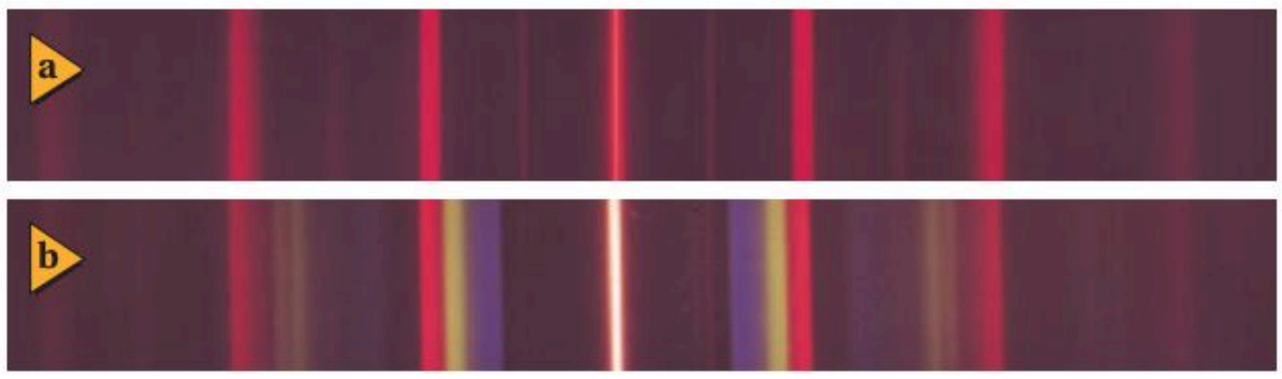
القرن الحادي عشر (م) ابن الهيثم أحد العلماء المسلمين، أوجد علم البصريات معتمدًا على التجربة والبرهان، كما ولدت على يديه نظرية الورود (الانعكاس)، وفسّر كيفية رؤية العين للأجسام، ودرس العين البشرية وعرَّف أجزاءها، وأعطى كل جزء الاسم الخاص به.



■ **الشكل 14–1** يستخدم المطياف لقياس الأطوال الموجية للضوء المنبعث من مصدر ضوئي.

قياس الطول الموجي الجهاز الـذي تُقاس به الأطوال الموجية للضوء باسـتخدام محزوز الحيود يُسمّى المطيافَ، كما هو موضح في **الشكل 14–1**. حيث يبعث المصدر المراد تحليله ضوءًا يوجّه نحو شـقّ، وينفذ الضوء عبر الشقّ ليسقط على محزوز الحيود، فيُنتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بتلسكوب المطياف.

ويكون نمط الحيود المتكوّن بوساطة محزوز حيود عبارة عن أهداب مضيئة ضيّقة تفصلها مسـافات متساوية، كما في **الشـكل 15–1**. وكلّما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول من المحزوز تكوّنت أهداب أكثر ضِيقًا في نمط الحيود. لذا يمكن قياس المسـافة بين الأهداب المضيئة باستخدام المطياف بدقة أكبر، مقارنة باستخدام الشقّ المزدوج.



■ **الشكل 15–1** استُخدم محزوز لإنتاج أنماط الحيود للضوء الأحمر (**a**) وللضوء الأبيض (**b**).

درســت سابقًا في هذا الفصل أنه يمكن اســتخدام نمط التداخل الناتج بواسطة شــقّ مزدوج لحساب الطول الموجي للضوء المســتخدم. ويمكن الحصول على معادلة محزوز الحيود بالطريقة نفسها التي اتبعت للحصول على معادلة الشقّ المزدوج. ولكن الزاويــة θ في محزوز الحيود تكون كبيرة؛ لذا لا يُطبّق التبســيط الخاص بالزاوية الصغــيرة. ويمكن إيجاد الطول الموجي بقياس الزاوية θ بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى.

الطول الموجي من محزوز الحيود $\lambda = d \sin \theta$

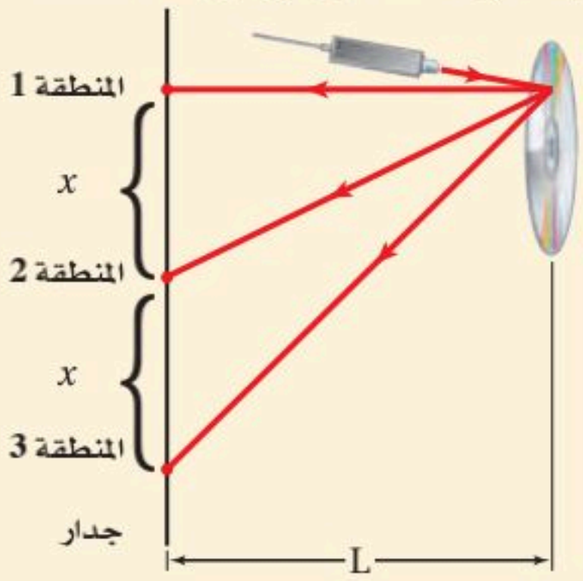
الطول الموجي للضوء يساوي المسافة الفاصلة بين الشقوق مضروبة في جيب الزاوية التي يتكوّن عندها الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى.

ويحــدث التداخل البنّاء بوســاطة محزوز الحيود عند زوايا عــلى جانبي الهدب المركزي المضيء، ويعبَّر عنــه من خلال المعادلة $m\lambda = d \sin \theta$، حيث $m = 0,1,2\ldots$، ويحدث الهدب المضيء المركزي عند $m=0$.

مثـــال 3

استخدام قرص DVD بوصفه محزوز حيود أسقط طالب شعاعًا ضوئيًّا من مصدر ضوئي أخضر اللون على قرص DVD، ولاحظ انعكاس ثلاث مناطق مضيئة على جدار يبعد عن القرص 1.25 m. فإذا كان الطول الموجي لضوء المصدر 532 nm، ووجد الطالب أن الفراغات بين هذه المناطق 1.29 m، فما مقدار التباعد بين الفراغات على قرص الـ DVD؟

1 تحليل المسألة ورسمها



• مثّل التجربة، مبيّنًا المناطق المضيئة على الجدار، وقرص الـ DVD بوصفه محزوزًا.

المعلوم	المجهول
$x = 1.29\ \text{m}$ ،$L = 1.25\ \text{m}$ ،$\lambda = 532\ \text{nm}$	$d = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الزاوية المحصورة بين المنطقة المركزية المضيئة ومنطقة أخرى تليها مستخدمًا $\tan \theta = x/L$

$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x}{L}\right)$

عوّض مستخدمًا $x = 1.29\ \text{m}$ ،$L = 1.25\ \text{m}$

$= \tan^{-1}\left(\frac{1.29\ \text{m}}{1.25\ \text{m}}\right) = 45.9°$

استخدم الطول الموجي للضوء الساقط على محزوز الحيود، وحلّ المسألة بالنسبة للمتغير d.

$\lambda = d \sin \theta$

عوّض مستخدمًا $\lambda = 532 \times 10^{-9}\ \text{m}$ ،$\theta = 45.9°$

$d = \frac{\lambda}{\sin \theta} = \frac{532 \times 10^{-9}\ \text{m}}{\sin 45.9°}$

$= 7.41 \times 10^{-7}\ \text{m}$

3 تقويم الجواب

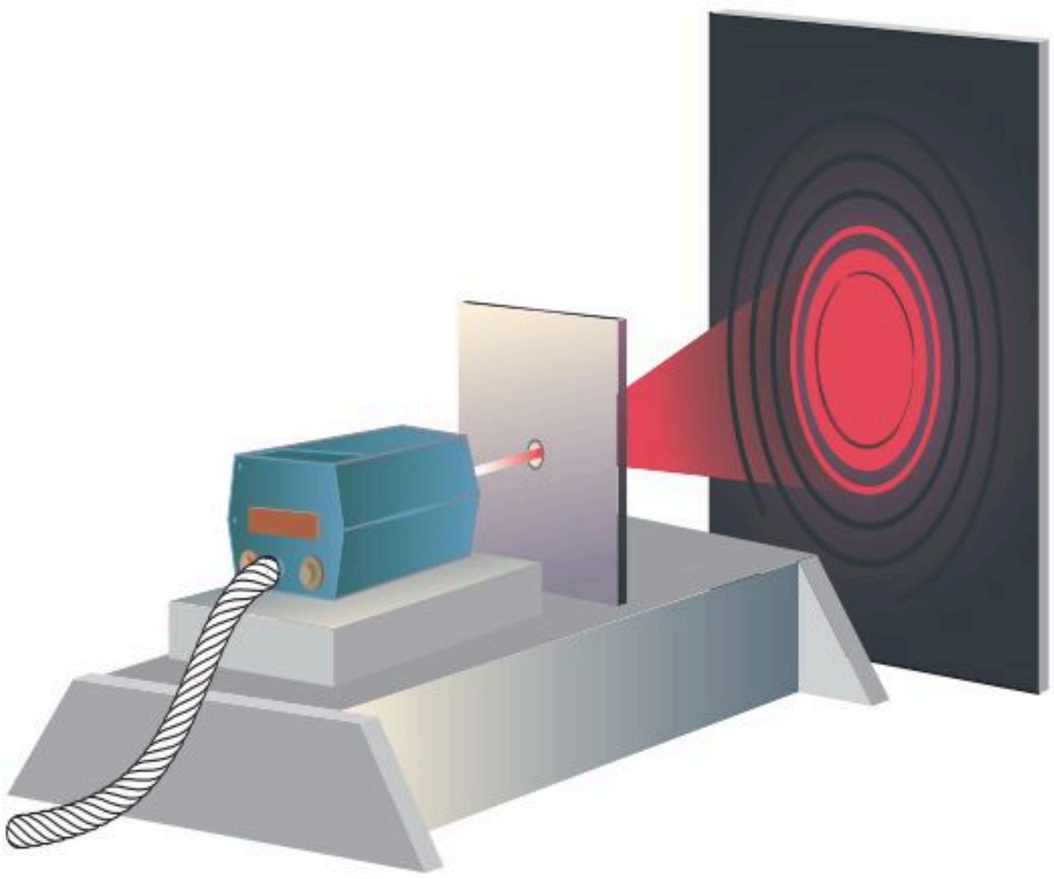
• **هل الوحدات صحيحة؟** الإجابة بوحدة m، وهي وحدة صحيحة للمسافة الفاصلة.

• **هل الجواب منطقي؟** عندما يكون لـ x و L المقدار نفسه تكون قيمة d قريبة من قيمة λ.

مسائل تدريبية

15. يسقط ضوء أبيض من خلال محزوز على شاشة. صف النمط المتكوّن.
16. يسقط ضوء أزرق طوله الموجي 434 nm على محزوز حيود، فتكوّنت أهداب على شاشة على بعد 1.05 m. إذا كانت الفراغات بين هذه الأهداب 0.55 m، فما المسافة الفاصلة بين الشقوق في محزوز الحيود؟
17. يُضاء محزوز حيود تفصل بين شـقوقه مسافة 8.60×10^{-7} m بضوء بنفسجي طوله الموجي 421 nm. فإذا كان البعد بين الشاشة والمحزوز 80.0 cm، فما مقدار المسافات الفاصلة بين الأهداب في نمط الحيود؟
18. يسـقط ضوء أزرق على قرص DVD في المثال 3، فإذا كانت المسـافات الفاصلة بين النقاط المتكوّنة على جدار يبعد 0.65 m تساوي 58.0 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟
19. يمر ضوء طوله الموجي 632 nm خلال محزوز حيود، ويكوّن نمطًا على شاشـة تبعد عن المحزوز مسـافة 0.55 m. فإذا كان الهدب المضيء الأول يبعد 5.6 cm عن الهدب المركزي المضيء، فما عدد الشقوق لكل سنتمتر في المحزوز؟

يمكن رؤية نمط التداخل في الأغشية الرقيقة ضمن زاوية نظر صغيرة، عند النظر رأسـيًّا من فوق الغشاء. وكذلك الحال بالنسبة لفراشة المورفو الزرقاء، ذات نمط التداخل المتلألئ، فلو لم تكن طبقة القشور الداخلية التي تشبه طبقة الزجاج موجودة لما حدث هـذا التداخل، ولما بدت هذه الفراشة بهذا اللون؛ إذ تعمل طبقة القشور الداخلية عمل محزوز الحيود، وتسبِّب انتشار نمط تداخل الضوء الأزرق المتلألئ لينتج نمط حيود بزاوية نظر أوسع. ويعتقد العلماء أن ذلك يجعل فراشة المورفو أكثر وضوحًا لجذب شريك التزاوج.



الشكل 16–1 نمط الحيود لثقب دائري ينتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قوة التمييز للعدسات Resolving Power of lenses

تعمل العدسـة المسـتديرة في المنظار الفلكي والمجهر – وحتى في عينك – عمل ثقب أو فتحة تسمح للضوء بالمرور من خلالها. وتسبب الفتحة حيود الضوء تمامًا كما يفعل الشقّ الأحادي، وتنتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة بواسطتها، كما في **الشكل 16–1**. وتكون معادلة الفتحة مماثلة لمعادلة الشقّ المفرد، إلا أن للفتحة حافة دائرية بدلًا من حافتي الشقّ. لذا يُعوَّض قطر الفتحة D بدلًا من عرض الشـقّ w، بالإضافة إلى معامل هندسي إضافي مقداره 1.22 يتم إدخاله ضمن المعادلة لتصبح على الشكل الآتي: $x_1 = 1.22\ \lambda L / D$.

عندما يُرى الضوء المنبعث من نجم بعيد بواسـطة فتحة المنظار الفلكي فإن الصورة تنتشر بسبب الحيود. وإذا كان هناك نجمان قريبان جدًّا أحدهما إلى الآخر فإن صورتيهما تتداخلان

معًا، كما في **الشكل 17–1**. وفي عام 1879 وضع الفيزيائي والرياضي البريطاني لورد ريليه، الحائز على جائزة نوبل، معيارًا لتحديد ما إذا كان هناك نجم أو نجمان في مثل هذه الصورة. وينص **معيار ريليه** على أنه إذا سقط مركز البقعة المضيئة لصورة أحد النجمين على الحلقة المعتمة الأولى للنجم الثاني فإن الصورتين تكونان عند حدّ الفصل أو التمييز؛ أي يكون المُشاهد قادرًا على تحديد وجود نجمين بدلاً من نجم واحد فقط.

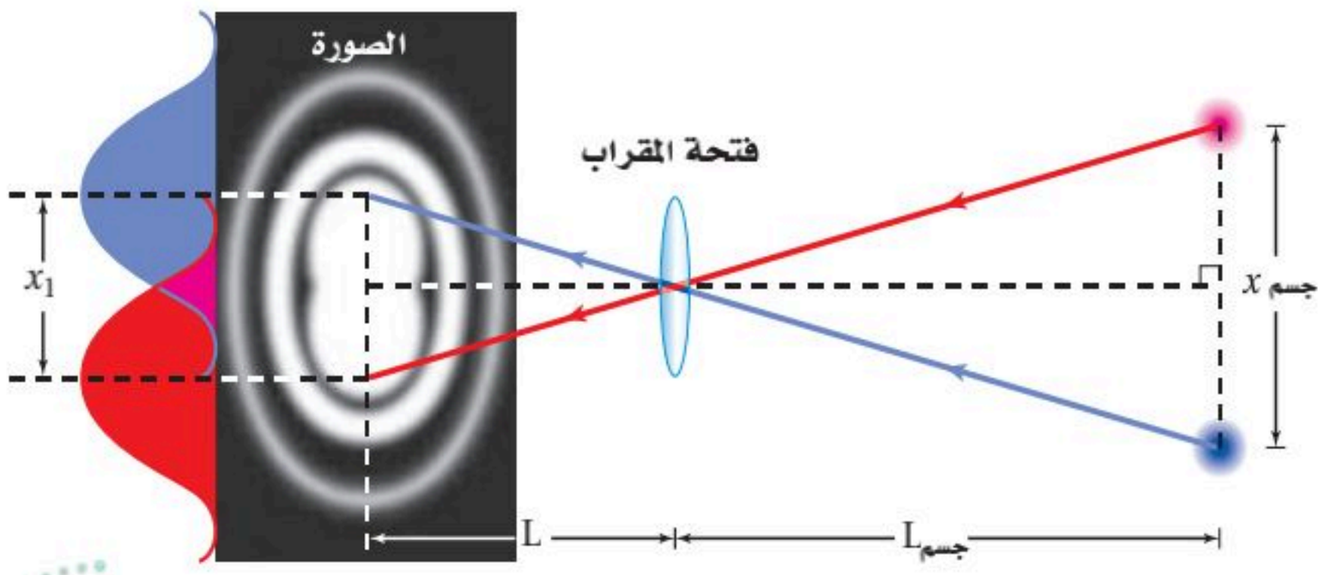
إذا كانت الصورتان عند حدّ التمييز فكم يبعد الجسمان أحدهما عن الآخر؟ يبعد مركزا البقعتين المضيئتين للصورتين أحدهما عن الآخر مسافة x_1، وذلك باستخدام معيار ريليه. ويوضح **الشكل 17–1** أنه يمكن استخدام تشابه المثلثات لإيجاد أن $x_1 / L = x_{\text{الجسم}} / L_{\text{الجسم}}$. وبتعويض قيمة x_1 من المعادلة $x_1 = 1.22\lambda L / D$ في المعادلة السابقة لحذف المقدار x_1 / L، ثم إعادة ترتيب حدود المعادلة للحصول على المسافة التي تفصل بين الجسمين $x_{\text{الجسم}}$، يمكن التوصل إلى المعادلة الآتية:

معيار ريليه

$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{الجسم}}}{D}$$

المسافة الفاصلة بين جسمين عندما يكونان عند حد التمييز تساوي 1.22 مضروبًا في الطول الموجي للضوء والمسافة من الفتحة المستديرة إلى الجسمين مقسومًا على قطر الفتحة المستديرة.

الحيود في العين البشرية عندما يكون الضوء ساطعًا يكون قطر بؤبؤ العين 3 mm تقريبًا. وحساسيّة العين البشرية كبيرة للون الأصفر- المخضر؛ حيث الطول الموجي يساوي 550 nm. وبتطبيق معيار ريليه على العين يُعطي $x_{\text{الجسم}} = 2 \times 10^{-4} L_{\text{الجسم}}$. وحيث إن المسافة بين البؤبؤ والشبكية 2 cm تقريبًا، فإنه من الصعب التمييز بين مصدرين نقطيين عندما تفصل بينهما مسافة مقدارها 4 µm على شبكية العين. والمسافة الفاصلة بين كاشفين ضوئيين داخل العين - وهي المخاريط التي تقع في أكثر أجزاء العين حساسية للضوء - تساوي 2 µm تقريبًا. لذا تُسجّل المخاريط الثلاثة المتجاورة في الحالة المثالية ضوءًا، وعتمة، وضوءًا، وعندئذٍ تبدو العين مثالية التركيب. وإذا كانت المخاريط متقاربة جدًّا فإنها سترى تفاصيل نمط الحيود لا المصادر. أما إذا كانت المخاريط متباعدة فلن يكون باستطاعتها تمييز التفاصيل الممكنة كلها.



■ **الشكل 17–1** تسمح لك هندسة المثلثات المتماثلة بحساب المسافة الفعلية التي تفصل بين جسمين. تم استخدام اللونين الأزرق والأحمر فقط بغرض التوضيح. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

الربط مع الفلك

تجربة

شاشات عرض الشبكة

هل تعلم أنك تستطيع اتخاذ شبكية عينك شاشة؟ **تحذير: لا تنفذ الخطوات الآتية مستخدمًا أشعة الليزر أو ضوء الشمس.**

1. صل مصباحًا متوهجًا له فتيل مستقيم بمصدر طاقة، ثم أشعله، وقف على بُعد 2 m من المصباح.
2. أمسك بمحزوز حيود، وضعه أمام عينك على أن يكون طيف الألوان المتكوّن أفقيًا.
3. **لاحظ** أنماط ألوان الأطياف المتكوّنة، وسجّل ملاحظاتك مستخدمًا أقلامًا ملوّنة.

التحليل والاستنتاج

4. ما اللون الأقرب إلى الهدب المركزي المضيء (ضوء الفتيل)؟ وما اللون الأبعد؟
5. ما عدد الأطياف التي يمكنك رؤيتها على كل جانب للضوء؟
6. **فسّر البيانات** هل بياناتك متطابقة مع معادلة الطول الموجي من محزوز الحيود؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

إن تطبيق معيار ريليه لإيجاد قدرة العــين على التمييز بين مصدرين متباعدين يدل على أن العــين لديها القدرة على التمييز بين الضوئين الأماميين لمركبة (المســافة بينهما 1.5 m) من بُعــد 7 km. وعمليًّا، لا يحــدّ الحيود من عمل العين؛ إذ يؤدي الســائل الذي يملأ العين والعيوب في العدســة إلى التقليل من قدرة التمييز للعين بمقدار خمس مرات، وفق معيار ريليه. ويســتخدم معظم الناس أعينهم لأغراض غير التمييز بين المصادر النقطية، فمثلاً يبدو أن للعين قدرة ذاتية للكشف عن الحواف المستقيمة.

ويعلــن بعض صانعي أجهزة المنظار الفلكي أن أجهزتهــم محدودة الحيود؛ أي يدّعون أن لأجهزتهــم القدرة على التمييز بــين مصدرين نقطيين عند حدّ معيــار ريليه. وللوصول إلى هذا الحدّ يتعين عليهم صقل المرايا والعدســات بدقــة تصل إلى عُشر (1/ 10) الطول الموجــي أو 55 nm تقريبًا. وكلما كبر قطــر المرآة زادت قدرة التمييــز للمنظار الفلكي. إلّا أن الضــوء المنبعث مــن الكواكب أو النجــوم يجب أن يمر خــلال الغلاف الجوي للأرض، حيث تؤدي التغيرات نفسها التي تحدث في الغلاف الجوي والتي تجعل النجوم تتلألأ إلى عدم وصول المنظار الفلكي إلى حد الحيود. وتعد قدرة تمييز ودقة صور تلسكوب هابل الفضائي أفضل كثيرًا من التلسكوبات الكبرى الموجودة على سطح الأرض؛ وذلك بسبب وجوده فوق الغلاف الجوي للأرض.

2–1 مراجعة

20. **المسافة بين الأهداب المعتمة ذات الرتبة الأولى** يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طــول موجته 546 nm على شقّ مفرد عرضه 0.080 mm. ويقع الشــقّ على بُعد 68.0 cm من شاشــة. ما المســافة الفاصلة بين الهدب المعتــم الأول على أحد جانبي الهدب المركزي المضيء والهــدب المعتم الأول على الجانب الآخر؟

21. **معيار ريليه** نجم الشِّــعرى اليمانية (ســيريوس) أكثر النجوم ســطوعًا في الســماء في فصل الشتاء في نصف الكرة الأرضية الشــمالي. ونجم الشعِّرى-في الحقيقــة- نظام مكوّن من نجمين يــدور كل منهما حول الآخر فإذا وجّه تلسكوب هابل الفضائي (قطر فتحتــه 2.4 m) نحو هذا النظــام الذي يبعد 8.44 ســنوات ضوئية عن الأرض، فما أقل مسافة فاصلة بــين النجمين تلزمنــا للتمييــز بينهما باســتخدام التلسكوب؟ (افترض أن متوســط الطول الموجي للضوء القادم من النجمين يساوي 550 nm)

22. **التفكير الناقد** شــاهدت جهاز مطياف، إلا أنك لا تعلم ما إذا كان الطيف الناتج عنه باستخدام منشور أو محــزوز. كيف تعرف ذلك من خــلال النظر إلى طيف الضوء الأبيض؟

مختبر الفيزياء

تداخل الضوء بواسطة الشق المزدوج Double-Slit Interference of Light

يسلك الضوء أحيانًا سلوك الموجة؛ فعندما يسقط ضوء مترابط على شقّين قريبين جدًّا أحدهما إلى الآخر يكوّن الضوء النافذ خلال الشقّين نمطًا من التداخل البنّاء والتداخل الهدّام على شاشة. وفي هذا الاستقصاء ستطوّر إجراءات وخطوات قياس الطول الموجي لمصدر ضوء أحادي اللون باستخدام شقّين.

سؤال التجربة

كيف يمكن استخدام نمط تداخل الشقّ المزدوج في قياس الطول الموجي للضوء الأحادي؟

الأهداف

- **تلاحظ** نمط التداخل للشق المزدوج لضوء أحادي اللون.
- **تحسب** الطول الموجي للضوء مستخدمًا نمط التداخل للشق المزدوج.

احتياطات السلامة

- استخدم واقي العين من أشعة الليزر.
- لا تنظر مباشرة إلى ضوء الليزر.

المواد والأدوات

مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر لاختباره
شقّ مزدوج
مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر معلوم الطول الموجي
مشبك غسيل لحمل مؤشر الليزر
كرة صلصال لتثبيت لوحة الشقّ المزدوج
مسطرة مترية

الخطوات

1. حدّد المعادلة التي تطبّق على تداخل الشقّ المزدوج.
2. استخدم شقًّا مزدوجًا على أن تكون المسافة الفاصلة بين الشقّين معلومة d، أو طوِّر طريقة لتحديد d.
3. وضّح بالرسم التخطيطي كيف ينفذ الضوء خلال شقّ مزدوج؛ لكي يساعدك ذلك على تحديد كيفية قياس كل من x و L.
4. استخدم الرسم من الخطوة 3 وقائمة المواد والأدوات المذكورة في هذه التجربة، ثم صمّم التجربة، وسجّل خطوات تنفيذها.
5. حدّد قيم m غير الصحيحة بالنسبة للمعادلة.
6. **تحذير: النظر مباشرة إلى أشعة الليزر يلحق الأذى بعينيك.**
7. تأكد من أن معلمك قد تفحّص تجربتك، كما يتعين عليك الحصول على موافقته قبل بدء تنفيذ التصميم.
8. نفّذ تجربتك، وسجّل بياناتك في جدول بيانات مماثل للجدول الموجود في الصفحة الآتية.

جدول البيانات						
المصدر	اللون	λ المقبولة (m)	d (m)	m	x (m)	L (m)
				1		
				2		
				3		
				4		
				5		

التحليل

1. اضبط المسافة بين الشقّين والشاشة. هل توجد مسافة معينة تسمح لك بجمع معظم البيانات بدقة كبيرة؟
2. احسب الطول الموجي λ لمصدر الضوء مستخدمًا m وقياسات كل من x وd وL.
3. **تحليل الخطأ** قارن بين الطول الموجي الذي حسبته والقيمة المقبولة، وذلك بحساب النسبة المئوية للخطأ.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استخلص** هل مكّنتك الخطوات التي نفّذتها من استخدام نمط التداخل للشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي للضوء؟ وضّح إجابتك.
2. **قدّر** ما النتائج التي ستحصل عليها إذا استخدمت لوحة تكون فيها المسافة الفاصلة d بين الشقّين أقل، مقارنة بالحالة الأولى، وأجريت التجربة مرة أخرى وبالطريقة نفسها تمامًا؟
3. **استنتج** ما التغيرات التي تطرأ على ملاحظاتك إذا استخدمت ضوءًا أخضر، وكانت لوحة الشقّ المزدوج هي نفسها التي استخدمتها سابقًا، والمسافة بين الشقّين والشاشة هي نفسها كذلك؟

التوسع في البحث

1. **استخدام التفسير العلمي** صف لماذا يخفت نمط التداخل للشقّ المزدوج، ثم يسطع، ثم يخفت، كلما ازداد البعد عن مركز النمط؟
2. **تحليل الخطأ** صف بعض الأمور التي يمكنك تنفيذها في المستقبل لتقليل الخطأ المنهجي في تجربتك.
3. **قوّم** افحص أداة القياس التي استخدمتها، وحدّد أيّ الأدوات قلّلَت من دقة حساباتك؟ وأيّها حقّقت لك دقة أكبر؟
4. **تقنيات المختبر** كيف يمكنك أن تعدّل في إعدادات التجربة لكي تستخدم ضوءًا أبيض من مصباح كهربائي عادي لتوليد نمط تداخل الشقّ المزدوج؟

الفيزياء في الحياة

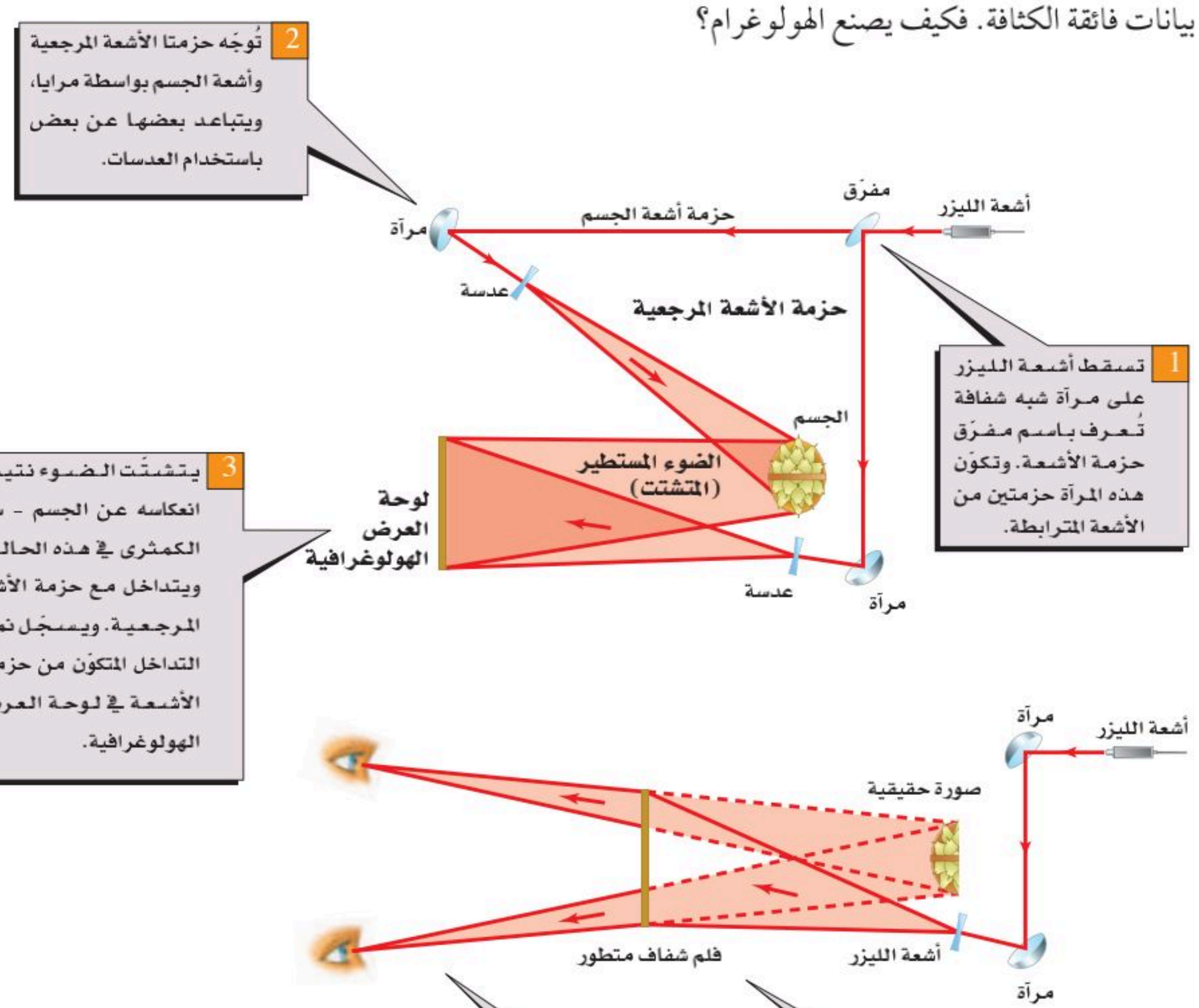
1. إذا سقط ضوء أبيض على شقوق باب شبكي يمنع دخول الحشرات فلماذا لا يُرى نمط تداخل في ظل الباب على الجدار؟
2. إذا كان جميع الضوء الذي ينير العالم مترابطًا، فهل ستبدو الأشياء مختلفة؟ وضح ذلك.

كيف يعمل

الهولوغرافي؟

How it works Holography

يُعدّ الهولوغرافي أحد أشـكال التصوير الفوتوغرافي الذي يعطي صورة ثلاثية الأبعاد. لقد صنع دينس جابور أول جهاز هولوغرام عام 1947، وبقي التصوير الهولوغرافي غير عملي إلى أن اختُرع ليزر الغاز عام 1960. ويسـتخدم الهولوغرام في بطاقات الاعتماد البنكية للمساعدة على منع عمليات التزييف، ويمكن أن يستخدم مستقبلاً في تخزين بيانات فائقة الكثافة. فكيف يصنع الهولوغرام؟



التفكير الناقد

1. **استنتج** يُسـجّل الهولوغـرام نمطًا معقّـدًا لأهداب التداخل البنّـاء والتداخل الهدّام. فلـماذا تفترض أن الحصول على نتائج جيدة يتطلب سطح اهتزاز معزولًا؟
2. **استخدام التوضيح العلمي** حدّد أين تحدث الخصائص الموجية الآتية في الرسوم البيانيّة ووضّحها: الانعكاس، والانكسار، والتداخل.

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

1-1 التداخل Interference

المفردات

- الضوء غير المترابط
- الضوء المترابط
- أهداب التداخل
- الضوء الأحادي اللون
- التداخل في الأغشية الرقيقة

المفاهيم الرئيسة

- يضيء الضوء غير المترابط الجسم بالتساوي، كما يضيء المصباح الكهربائي سطح مكتبك.
- ينتج نمط التداخل من تراكُب موجات ضوئية ناتجة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط.
- يبرهن التداخل أن للضوء خصائص موجيّة.
- يُنتج الضوء المار خلال شـقّين ضيقين متقاربين نمطًا من أهداب معتمة ومضيئة على شاشـة تُسـمّى أهداب التداخل.
- يمكن استخدام أنماط التداخل لقياس الطول الموجي للضوء.

$$\lambda = \frac{xd}{L}$$

- يمكن أن تنتج أنماط التداخل عندما ينتج ضوء مترابط عند حدّ الانكسار لغشاء رقيق.

1-2 الحيود Diffraction

المفردات

- نمط الحيود
- محزوز الحيود
- معيار ريليه

المفاهيم الرئيسة

- يحيد الضوء المار خلال شقّ ضيّق، أو ينتشر بعيدًا عن مسار الخط المستقيم، ويُنتج نمط حيود على شاشة.
- يكوّن نمط الحيود من شـقّ مفرد حزمة مركزية مضيئة عرضها يساوي المسافة بين الحزمة المعتمة الأولى على كلا جانبي الحزمة المركزية المضيئة.

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

- تتكوّن محزوزات الحيود من عدد كبير من الشقوق المتقاربة جدًّا، وتنتج خطوطًا ضيقة ناتجة عن تراكُب أنماط التداخل للشقّ المفرد لجميع الشقوق في المحزوز.
- تُستخدم محزوزات الحيود لقياس الطول الموجي للضوء بدقة كبيرة، أو تُستخدم لتحليل الضوء المتكوّن من أطوال موجية مختلفة.

$$\lambda = d \sin\theta$$

- يحدّ الحيود من قدرتنا على التمييز بين جسمين متقاربين جدًّا عند النظر إليهما من خلال فتحة أو ثقب.

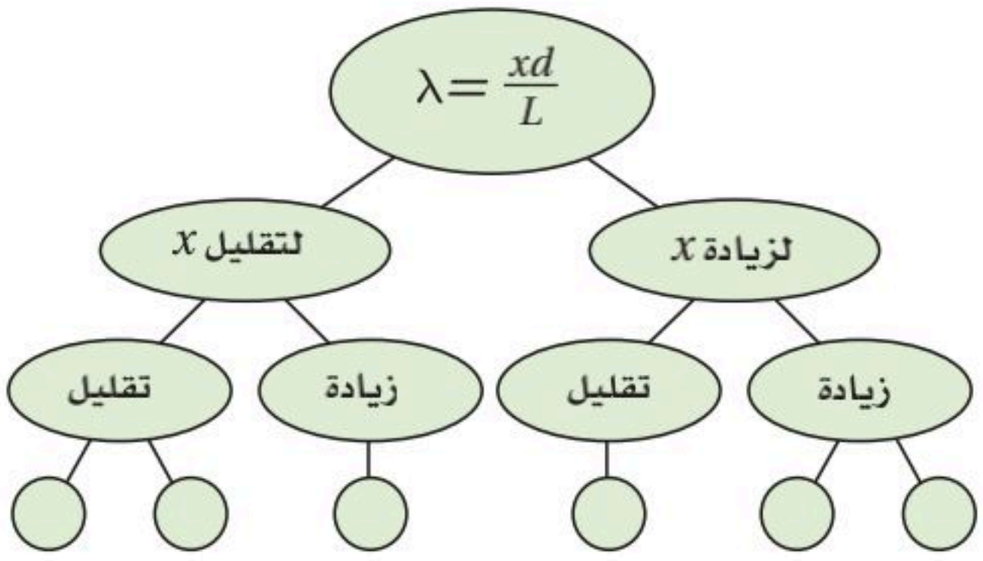
$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{الجسم}}}{D}$$

- إذا سـقطت البقعة المركزية المضيئـة لإحدى الصور على الحلقـة المعتمة الأولى للصـورة الثانية فإن الصورتين تكونان عند حد التمييز.

الفصل 1 التقويم

خريطة المفاهيم

23. يــضيء ضوء أحادي اللون طوله الموجي λ شــقّين في تجربــة يونج. فــإذا كانت المســافة الفاصلة بين الشــقّين d، وتكوّن نمط على شاشة تبعد مسافة L عن الشقّين، فأكمل خريطة المفاهيم الآتية مستخدمًا λ وL وd لتبــيّن كيف يمكنك تغييرها لتحصل على التغير المشــار إليه في الفراغ بــين الأهداب المضيئة المتجاورة x.



إتقان المفاهيم

24. لماذا يُعدّ استخدام ضوء أحادي اللون مهمًّا في تكوين نمط التداخل في تجربة التداخل ليونج؟ (1-1)

25. وضّح لماذا لا يمكن استخدام موقع الهدب المركزي المضيء لنمط تداخل الشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي لموجات الضوء؟ (1-1)

26. اقترح طريقة تمكنك من اســتخدام ضــوء معلوم الطول الموجي لإيجاد المسافة بين شقّين. (1-1)

27. يشــع ضوء أبيض خلال محزوز حيــود. هل تكون الفراغات بين الخطوط الحمــراء الناتجة متقاربة أم متباعدة أكثر مقارنة بالخطوط البنفســجية الناتجة؟ ولماذا؟ (2-1)

28. ما لون الضوء المرئي الذي ينتج خطًّا ســاطعًا قريبًا جدًّا من الهــدب المركزي المضيء بالنســبة لمحزوز حيود معين؟(2-1)

29. لماذا يكون التلســكوب ذو القطر الصغير غير قادر على التمييز بين صورتين لنجمــين متقاربين جدًّا؟ (2-1)

تطبيق المفاهيم

30. حدّد في كل من الأمثلة الآتية ما إذا كان اللون ناتجًا عن التداخل في الأغشية الرقيقة، أم عن الانكسار، أم نتيجة وجود الأصباغ.

a. فقاعات الصابون
b. بتلات الوردة
c. غشاء زيتي
d. قوس المطر

31. صــف التغيرات في نمط حيود الشــقّ المفرد عندما يتناقص عرض الشقّ.

32. **معرض العلوم** إحدى المعروضات في معرض العلوم عبارة عن غشــاء كبير جدًّا من الصابون ذي عرض ثابت تقريبًا، ويُضاء بواســطة ضــوء طوله الموجي 432 nm، فيظهر الســطح كاملاً تقريبًا على شكل ظل أرجواني اللــون. فماذا ستشــاهد في الحالات الآتية؟

a. عندما يتضاعف سمك الغشاء.
b. عندما يزداد سمك الغشاء بمقدار نصف الطول الموجي للضوء الساقط.
c. عندما يتناقص ســمك الغشــاء بمقــدار ربع الطول الموجي للضوء الساقط.

33. **تحدّي مؤشــر الليــزر** إذا كان لديــك مؤشرا ليزر؛ أحدهما ضوءه أحمر والأخر ضوءه أخضر، واختلف زميلاك أحمد وفيصل في تحديد أيهما له طول موجي أكبر، وأصرّ أحمد على أن اللون الأحمر طوله الموجي أكبر، بينما فيصل متأكد أن الضوء الأخضر له طول موجــي أكبر. فإذا كان لديك محــزوز حيود فَصِف

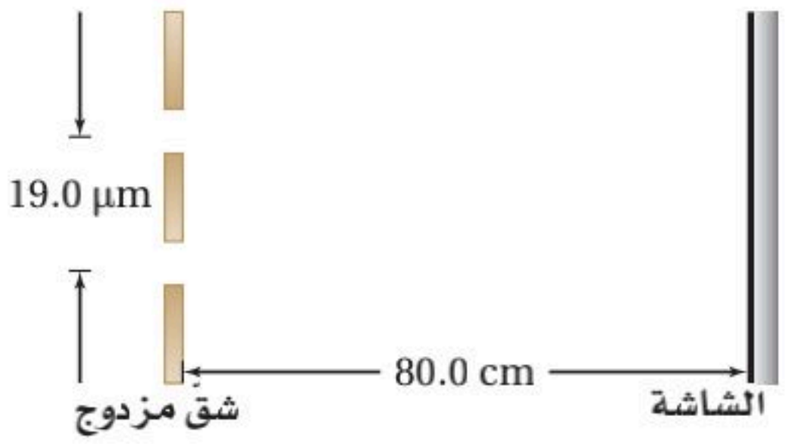
تقويم الفصل 1

العرض الذي ستنفّذه بواسطة هذه الأداة، وكيف يمكنك توضيح النتائج التي توصّلت إليها لكل من أحمد وفيصل لحل الخلاف بينهما؟

إتقان حل المسائل

1–1 التداخل

34. يسقط ضوء على شقّين متباعدين بمقدار 19.0 µm، ويبعدان عن شاشة 80.0 cm، كما في **الشكل 18–1**. فإذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد 1.90 cm عن الهدب المركزي المضيء فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



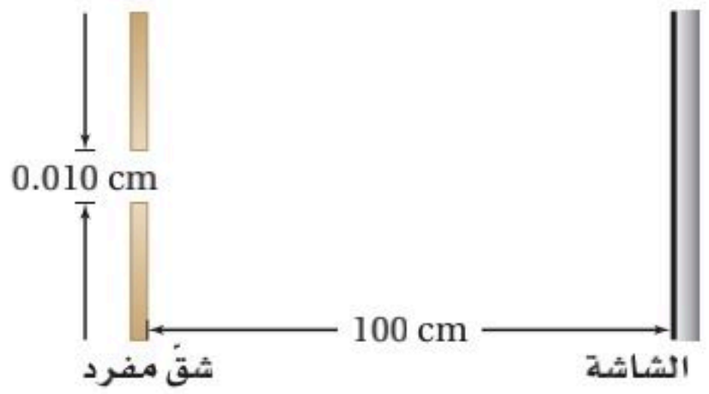
الشكل 18–1

35. **البقع النفطية** خرج أسامة وعمر في نزهة قصيرة بعد المطر، ولاحظَا طبقة نفطية رقيقة معامل انكسار مادتها 1.45 على سطح بركة صغيرة تُنتج ألوانًا مختلفة. ما أقل سمك لطبقة النفط، عندما تُكوّن تداخلاً بنّاءً لضوء طوله الموجي 545 nm؟

36. يوجّه علي مؤشر ليزر أحمر نحو ثلاث مجموعات من الشقّوق المزدوجة المختلفة. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين في المجموعة A 0.150 mm، وبُعد الشاشة عن الشقّين 0.60 m، أما في المجموعة B فكانت المسافة الفاصلة بين الشقّين 0.175 mm، وبُعد الشاشة عنهما 0.80 m، وفي المجموعة C كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين 0.150 mm وبُعد الشاشة عنهما 0.80 m، فرتّب المجموعات الثلاث اعتمادًا على المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى، وذلك من المسافة الفاصلة الأصغر إلى الأكبر.

2–1 الحيود

37. يعبر ضوء أحادي اللون خلال شقّ مفرد عرضه 0.010 cm، ثم يسقط على شاشة تبعد عنه مسافة 100 cm، كما في **الشكل 19–1**. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 1.20 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



الشكل 19–1

38. يمرّ ضوء طوله الموجي 4.5×10^{-5} cm خلال شق مفرد ويسقط على شاشة تبعد 100 cm. فإذا كان عرض الشق 0.015 cm، فما مقدار المسافة بين مركز النمط والهدب المعتم الأول؟

39. يمر ضوء أحادي اللون طوله الموجي 425 nm خلال شقّ مفرد، ويسقط على شاشة تبعد 75 cm. فإذا كان عرض الحزمة المركزية المضيئة 0.60 cm، فما عرض الشقّ؟

40. **المطياف** يستخدم في جهاز المطياف محزوز حيود يحوي 12000 خط/cm. أوجد الزاويتين اللتين توجد عندهما الأهداب المضيئة ذات الرتبة الأولى لكل من الضوء الأحمر الذي طوله الموجي 632 nm، والضوء الأزرق الذي طوله الموجي 421 nm.

تقويم الفصل 1

مراجعة عامة

41. يوضع طـلاء مانـع للانعكاس معامل انكسـاره 1.2 على عدسة، فإذا كان سـمك الطلاء 125 nm، فما لون/ ألوان الضـوء التي يحدث عندهـا تداخل هدّام بصورة كاملة؟ **تلميح: افترض أن العدسة مصنوعة من الزجاج.**

التفكير الناقد

42. **تطبيق المفاهيم** سقط ضوء أصفر على محزوز حيود، فتكوّنـت ثلاث بقع على الشاشـة خلف المحزوز؛ إحداها عند الدرجة صفـر حيث لا يحدث حيود، والثانيـة عنـد $30^\circ+$، والثالثـة عنـد $30^\circ-$. فإذا أسـقطتَ ضوءًا أزرق متماثل الشدة في اتجاه الضوء الأصفر نفسـه، فما نمـط البقع التي سـتراها على الشاشة الآن؟

43. **تطبيـق المفاهيـم** يمر ضـوء أزرق طوله الموجي λ عبر شـقّ مفرد عرضه w، حيـث يظهر نمط حيود على شاشة. فإذا استخدمت الآن ضوءًا أخضر طوله الموجي 1.5λ بـدلًا من الضوء الأزرق، فكم يجب أن يكون عرض الشقّ للحصول على النمط السابق نفسه؟

الكتابة في الفيزياء

44. ابحث، ثم صِفْ مسـاهمات العالم توماس يونج في الفيزياء. وقـوّم تأثير أبحاثه في الفكّر العلمي حول طبيعة الضوء.

45. ابحث ثم فسر دور الحيـود في كل من الطب وعلم الفلك. وصِفْ على الأقل تطبيقين لكل منهما.

مراجعة تراكمية

46. وضعت شمعة طولها 2.00 cm على بعد 7.50 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 21.0 cm. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لحساب بُعد الصورة وطولها. (فيزياء 1-3).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. تبدو ألوان الغشاء الرقيق مثل فقاعات الصابون أو الزيت على الماء كأنها تتغير وتتحرك عندما تنظر إليها؛ لأن:

(A) تيارات الحمل الحراري في طبقة الهواء التي تلي الغشاء الرقيق تشوّه الضوء.

(B) سمك الغشاء عند أي موقع محدّد يتغير مع الزمن.

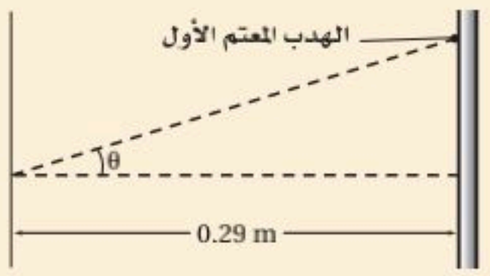
(C) الأطوال الموجية في ضوء الشمس تتغير مع الزمن.

(D) رؤيتك تتغير على نحو قليل مع الزمن.

2. يشع ضوء طوله الموجي 410 nm خلال شقّ، ويسقط على شاشة مسطحة ومستوية، كما في الشكل أدناه. فإذا كان عرض الشقّ 3.8×10^{-6} m، فما عرض الهدب المركزي المضيء؟

(A) 0.024 m (C) 0.048 m

(B) 0.031 m (D) 0.063 m



3. في المسألة السابقة، ما مقدار الزاوية θ للهدب المعتم الأول؟

(A) 3.1° (C) 12.4°

(B) 6.2° (D) 17°

4. نجمان على بعد 6.2×10^{4} سنة ضوئية عن الأرض، والمسافة بينهما تساوي 3.1 سنة ضوئية. ما أقل قطر لفتحة تلسكوب تلزمنا للتمييز بينهما باستخدام ضوء طوله الموجي 610 nm؟

(A) 5.0×10^{-5} m (C) 1.5×10^{-2} m

(B) 6.1×10^{-5} m (D) 1.5×10^{7} m

5. محزوز حيود، المسافة الفاصلة بين شقوقه 0.055 mm. ما مقدار زاوية الهدب المضيء ذي الرتبة الأولى لضوء طوله الموجي 650 nm؟

(A) 0.012° (C) 1.0°

(B) 0.68° (D) 11°

6. يضيء شعاع ليزر طوله الموجي 638 nm شقّين ضيقين. فإذا كان بُعد الهدب ذي الرتبة الثالثة من النمط الناتج عن الهدب المركزي المضيء يساوي 7.5 cm، وبُعد الشاشة عن الشقّين 2.475 m، فما المسافة بين الشقّين؟

(A) 5.8×10^{-8} m (C) 2.1×10^{-5} m

(B) 6.3×10^{-7} m (D) 6.3×10^{-5} m

7. وضعت شاشة مسطّحة على بعد 4.200 m من زوج من الشقوق، وأُضيء الشقّان بحزمة ضوء أحادي اللون. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الثانية 0.082 m، والمسافة الفاصلة بين الشقّين 5.3×10^{-5} m، فحدّد الطول الموجي للضوء.

(A) 2.6×10^{-7} m (C) 6.2×10^{-7} m

(B) 5.2×10^{-7} m (D) 1.0×10^{-6} m

الأسئلة الممتدة

8. ينتج محزوز حيود له 6000 شقّ في كل cm نمط حيود له خط مضيء ذو رتبة أولى عند زاوية مقدارها 20° من الخط المركزي المضيء. ما مقدار الطول الموجي للضوء؟

إرشاد

اطلب المساعدة دون خجل أو تردد

إذا كنت تتدرب على إجابة اختبار، وكانت لديك صعوبة في فهم السؤال أو الوصول إلى الإجابة، فاسأل أحد المشرفين على الاختبار ليساعدك. وعليك أن تطلب المساعدة قبل بدء الاختبار لا في أثنائه.

الفصل 2

الكهرباء الساكنة
Static Electricity

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- ملاحظة سلوك الشحنات الكهربائية، وتحليل طريقة تفاعلها مع المادة.
- اختبار القوى التي تؤثر بين الشحنات الكهربائية.

الأهمية

تتحكم الكهرباء الساكنة في عمل بعض الأجهزة، ومنها آلة الطباعة وآلة تصوير الأوراق، إلا أن لها آثارًا سلبية على بعض المكونات الإلكترونية للأجهزة، كما أن لها دورًا في تشكّل البرق.

البرق مثالًا على تفريغ الكهرباء الساكنة، ومن ذلك أيضًا الشرارة الكهربائية الصغيرة التي تشعر بها عندما تلمس مقبض الباب الفلزي في يوم جاف. وتختلف عمليتا الشحن والتفريغ - في حالتي الشرارة الكهربائية الصغيرة والبرق - إلى حد كبير من حيث المقدار، إلا أنهما متماثلتان في طبيعتيهما الأساسية.

فكِّر ◄

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

أيّ القوى تؤثر عن بُعد؟

سؤال التجربة ماذا يحدث عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف ثم تقريبها إلى قصاصات ورقية؟

الخطوات

1. ضع 100– 150 قصاصة ورق (مما ينتج عن استعمال الخرامة) على الطاولة.
2. خذ مسطرة بلاستيكية، وادلكها بقطعة صوف.
3. قرّب المسطرة إلى القصاصات، ولاحظ تأثيرها فيها.

التحليل

ماذا حدث لقصاصات الورق عندما قرّبت المسطرة البلاستيكية إليها؟ وماذا حدث للقصاصات التي التصقت بالمسطرة؟ هل لاحظت نتائج غير متوقعة عندما قربت المسطرة إلى قصاصات الورق؟ إذا كان هناك نتائج غير متوقعة فصِفها.

التفكير الناقد ما القوى المؤثرة في قصاصات الورق قبل تقريب المسطرة إليها؟ وماذا يمكنك أن تستنتج عن القوى المؤثرة في هذه القصاصات بعد تقريب المسطرة البلاستيكية إليها؟

ضع فرضيات توضّح التأثير الذي أحدثته المسطرة في القصاصات الورقية، مستعينًا بإجاباتك عن السؤالين السابقين.

1–2 الشحنة الكهربائية Electric Charge

لعلك مشيت يومًا على سجادة، وقد احتكّ حذاؤك بنسيجها، مما ولّد شرارة كهربائية ظهرت عندما لمست شخصًا آخر. هل هناك تشابه بين هذه الشرارة والبرق؟ لاختبار ذلك، أجرى بنيامين فرانكلين عام 1752م تجربة على طائرة ورقية؛ حيث طيّر الطائرة، وربط مفتاحًا في نهاية الخيط المتصل بها، وعندما اقتربت عاصفة رعدية من الطائرة لاحظ أن ألياف الخيط الرخوة قد انتصبت وتنافر بعضها عن بعض. وعندما قرّب فرانكلين إصبعه من المفتاح لاحظ حدوث شرارة كهربائية. وكانت هذه تجربة رائعة ولكنها مجازفة خطيرة، ومن حسن حظّه أنه نجا، فقد حاول أحد العلماء إعادة التجربة نفسها إلا أنه مات مصعوقًا. وقد انطلقت بعد ذلك سلسلة من البحوث في مجال الكهرباء، بعدما أظهرت تجربة فرانكلين أن البرق يشبه الشرر الناجم عن الاحتكاك. وتسمى التأثيرات الكهربائية التي تتولّد بهذه الطريقة الكهرباء الساكنة.

وفي هذا الفصل ستستقصي **الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)**؛ وهي دراسة الشحنات الكهربائية التي تتجمع وتُحتجز في مكان ما. ويمكن ملاحظة آثار الكهرباء الساكنة على نطاق واسع؛ بدءًا بالبرق، ووصولاً إلى المستوى المجهري للذرات والجزيئات. أما الكهرباء التيارية (المتحركة) المتولدة عن البطاريات والمولّدات فستدرسها في الفصول اللاحقة.

الأهداف

- **توضح** أن الأجسام المشحونة تؤثر بقوى تجاذب وتنافر.
- **تثبت** أن عملية الشحن هي فصل للشحنات الكهربائية، وليس إنتاجها.
- **تصف** الاختلافات بين الموصلات والعوازل.

المفردات

الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)
الذرة المتعادلة
مادة عازلة
مادة موصلة

الأجسام المشحونة Charged Objects

هل لاحظت انجذاب شعرك نحو المشط عند تمشيطه في يوم جاف؟ لعلك لاحظت أيضًا التصاق الجوارب أحيانًا بعضها ببعض عند إخراجها من مجفّفة الملابس. ولعلك لاحظت كذلك انجذاب قصاصات الورق إلى المسطرة البلاستيكية الموضحة في التجربة الاستهلالية وفي **الشكل 1–2**. من المؤكد وجود قوة ناتجة كبيرة نسبيًّا سبّبت تسارع القصاصات إلى أعلى بمقدار أكبر من تسارعها إلى أسفل الناتج عن قوة الجاذبية الأرضية.

وهناك اختلافات أخرى بين القوة الناتجة وقوة الجاذبية الأرضية؛ فقصاصات الورق لا تنجذب إلى المسطرة إلا بعد دلك المسطرة، كما أن المسطرة تفقد خاصية الجذب هذه بعد فترة قصيرة. أما قوة الجاذبية الأرضية فلا تحتاج إلى دلك حتى تتولّد، كما أنها لا تفقد خاصية الجذب. لقد لاحظ قدماء الإغريق آثارًا مماثلة للمسطرة المدلوكة عندما دلكوا العنبر (الكهرمان). (**وترجمة كلمة عنبر إلى اللغة اليونانية هي "إلكترون"**)، وتُسمّى خاصية الجذب هذه الآن الكهرباء. وتسمّى الأجسام التي تبدي تفاعلاً كهربائيًّا بعد الدلك الأجسامَ المشحونة.

الشحنات المتماثلة يمكنك استكشاف التفاعلات الكهربائية باستخدام أجسام بسيطة، مثل شريط لاصق. اطوِ 5 cm تقريبًا من الشريط حتى يُتَّخذ ذلك الجزء مقبضًا، ثم ثبّت الجزء المتبقي من الشريط 12 cm–8 على سطح جاف وأملس كسطح الطاولة. بالطريقة نفسها، ثبّت شريطًا آخر مماثلًا للشريط الأول بالقرب منه، ثم اسحب الشريطين بسرعة عن سطح الطاولة، وقرّب أحدهما إلى الآخر. ستلاحظ أن هناك خاصية جديدة تجعلهما يتنافران؛ فلقد أصبحا مشحونين كهربائيًّا. ولأنهما أُعِدّا بالطريقة نفسها، فيجب أن يكون لهما النوع نفسه من الشحنات. وهكذا تتوصل إلى أن الجسمين اللذين لهما النوع نفسه من الشحنة يتنافران .

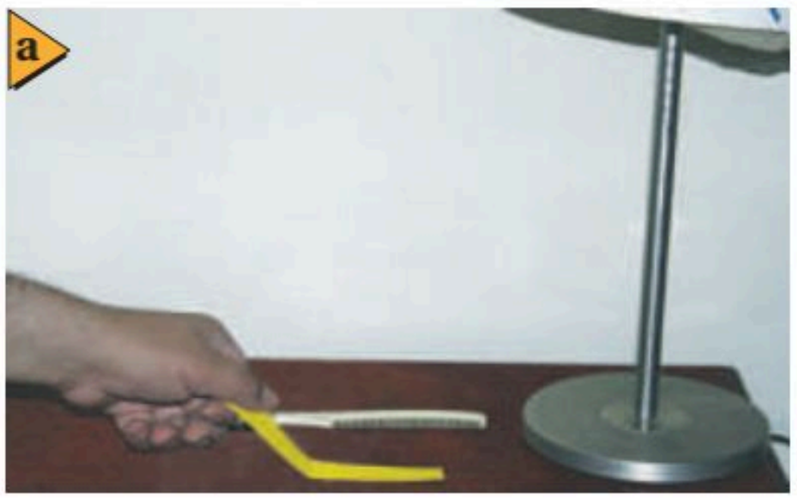
تجربة عملية

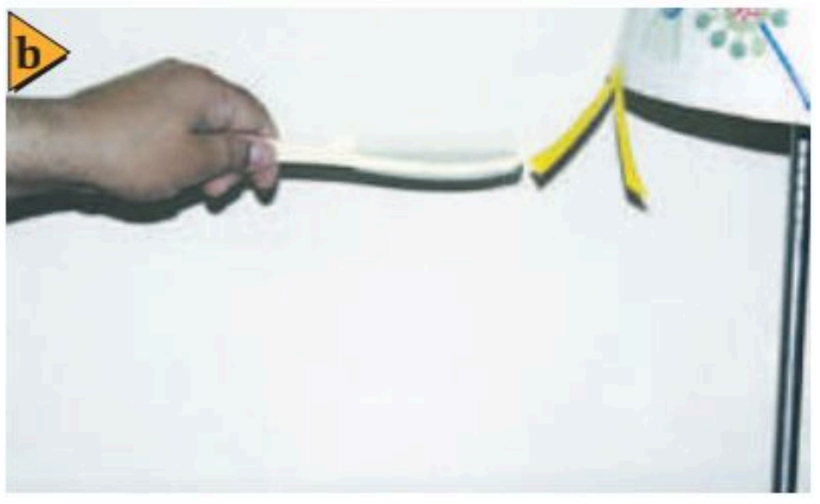
كيف تشحن الأجسام؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشكل 1–2 يولّد دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف قوة تجاذب بين المسطرة وقصاصات الورق. وعند تقريب المسطرة أكثر إلى قصاصات الورق تعمل قوة الجذب الكهربائية على تسارع هذه القصاصات رأسيًا إلى أعلى في اتجاه معاكس لتسارع قوة الجاذبية الأرضية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446





■ **الشكل 2–2** يمكن شحن الأشرطة بشحنات مختلفة (**a**). ويمكن استعمالها بعد ذلك لتوضيح التفاعلات بين الشحنات المتماثلة والمختلفة (**b**).

يمكنك معرفة المزيد عن هذه الشحنة بإجراء تجارب بسيطة. فلعلك لاحظت أن الشريط ينجذب إلى يدك، هل ينجذب كلا الجانبين أم أحدهما فقط؟ وإذا انتظرت فترة من الزمن، وخصوصًا في الطقس الرطب، فستلاحظ اختفاء الشحنة الكهربائية. ويمكنك إعادة شحن الشريط مرة أخرى بإلصاقه بسطح الطاولة وسحبه عنها. كما يمكنك إزالة الشحنة عن الشريط بدلك جانبيه بأصابعك بلطف.

الشحنات المختلفة ألصق الآن شريطًا على سطح الطاولة، ثم ضع الشريط الثاني فوق الأول. وكما هو موضح في **الشكل 2a–2**، استخدم مقبض الطرف السفلي لكلا الشريطين لسحبهما معًا عن سطح الطاولة، ثم ادلكهما بأصابعك حتى تختفي قوة التجاذب بينهما وبين يدك. لقد أزلت كل الشحنات الكهربائية عنهما. أمسك مقبض كل شريط بيد، وبسرعة اسحب الشريطين أحدهما بعيدًا عن الآخر، ستجد أنهما قد شُحِنا، وانجذبا ثانية إلى يديك، فهل سيتنافران؟ لا، سيتجاذبان الآن؛ لأن لهما شحنتين مختلفتين، إلا أنهما لن يبقيا مشحونين فترة طويلة؛ لأنهما سيلتصقان معًا.

هل الشريط هو الجسم الوحيد الذي يمكنك شحنه؟ للإجابة عن هذا السؤال ألصق مرة أخرى شريطًا لاصقًا على سطح الطاولة، وضع شريطًا آخر فوقه. علّم الشريط السفلي بالرمز B، والشريط العلوي بالرمز T، ثم اسحب الشريطين معًا. فرّغهما من الشحنات، ثم اسحب أحدهما بعيدًا عن الآخر، وألصق طرف مقبض كل منهما في طرف طاولة أو أسفل غطاء مصباح أو أي جسم مماثل. ينبغي أن يعلّقا بحيث يتدليان إلى أسفل، على أن تكون بينهما مسافة قصيرة. أخيرًا ادلك مشطًا بلاستيكيًّا أو قلم حبر بقطعة صوف، وقرّبه إلى أحد الشريطين، ثم قرّبه إلى الشريط الآخر. ستلاحظ أن أحد الشريطين ينجذب إلى المشط، بينما يتنافر الآخر معه، كما هو موضح في **الشكل 2b–2**. يمكنك الآن استكشاف تفاعلات الأجسام المشحونة مع الأشرطة اللاصقة.

حاول شحن أجسام أخرى، مثل كؤوس زجاجية، وأكياس بلاستيكية. ادلكها بمواد مختلفة مثل الحرير والصوف. وإذا كان الجو جافًّا فحكّ حذاءَك بالسجاد وأنت تمشي، وقرّب إصبعك إلى قطعتي الشريط اللاصق. ولاختبار الحرير أو الصوف ضع يدك في كيس بلاستيكي، وادلك الكيس بقطعة الصوف أو الحرير، ثم أخرج يدك من الكيس، وقرّبه هو والقطعة التي دلكتها إلى الشريطين اللاصقين.

ستجذب معظم الأجسام المشحونة أحد الشريطين، وتتنافر مع الآخر، ولن تجد أبدًا جسمًا يتنافر مع كلا الشريطين، إلا أنه يمكن أن تجد بعض الأجسام تجذب الشريطين؛ فمثلاً ستجد أن إصبعك يجذب كلا الشريطين، وستكتشف هذا التأثير لاحقًا في هذا الفصل.

■ **الشكل 3–2** ترتب سلسلة الدلك الكهربائي قائمة المواد من حيث الأكثر فقدًا للإلكترونات عند أعلى السهم إلى الأكثر اكتسابا للإلكترونات في ذيل السهم.

أنواع الشحنات يمكنك من خلال تجاربك إعداد قائمة بالأجسام المعلّمة بـ B، التي لها نفس شحنة الشريط الملصق على سطح الطاولة. كما يمكنك إعداد قائمة أخرى للأجسام المعلّمة بـ T التي لها شحنة مماثلة لشحنة الشريط العلوي. ستلاحظ أن هناك قائمتين فقط؛ لأنه لا يوجد إلا نوعان من الشحنات، أطلق عليهما بنيامين فرانكلين الشحنة الموجبة والشحنة السالبة. ووفق تسمية فرانكلين فإن المطاط والبلاستيك يشحنان عادة بشحنات سالبة عند دلكهما، أما الزجاج والصوف فيشحنان عادة بشحنات موجبة.

وكما لاحظت أن الشريطين غير المشحونين أصبحا مشحونين بشحنتين مختلفتين بعد سحب أحدهما بعيدًا عن الآخر، لذا يمكنك توضيح أنه عند دلك البلاستيك بالصوف يصبح البلاستيك سالب الشحنة والصوف موجب الشحنة. ولا يتكوّن نوعَا الشحنات بشكل منفصل، وإنما يتكوّنان على شكل أزواج. وتشير كل هذه التجارب إلى أن المادة بطبيعتها تحتوي على نوعين من الشحنة: موجبة وسالبة. وبطريقة معينة يمكن فصل نوعي الشحنة. ولاستكشاف ذلك أكثر يتعين عليك تعرُّف الصورة المجهرية للمادة.

النظرة المجهرية للشحنة A Microscopic View of Charge

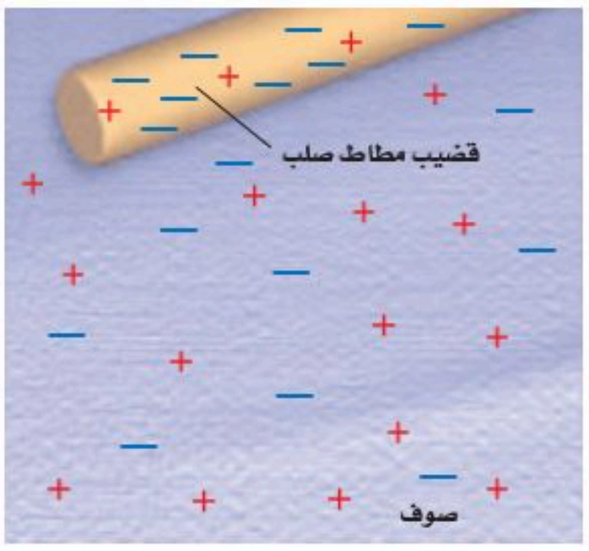
توجد الشحنات الكهربائية في الذرات. وقد اكتشف ج.ج. طومسون عام 1897م أن المواد جميعها تحتوي على جسيمات صغيرة جدًّا سالبة الشحنة تسمى الإلكترونات. وبين عامي 1909 و 1911م اكتشف أرنست راذرفورد – تلميذ طومسون من نيوزلندا– أن هناك جسمًا مركزيًّا ذا شحنة موجبة تتركز فيه كتلة الذرة تسمى النواة. وتكون الذرة **متعادلة** عندما تكون الشحنة الموجبة في النواة مساويةً للشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول النواة.

يمكن إزالة إلكترونات المدارات الخارجية للذرات المتعادلة بإضافة طاقة إليها، وعندها تصبح هذه الذرات التي تفقد إلكترونات موجبة الشحنة. وأي مادة تتكوّن من هذه الذرات الفاقدة للإلكترونات تكون موجبة الشحنة. ويمكن أن تبقى الإلكترونات المفقودة حرة غير مرتبطة، أو ترتبط مع ذرات أخرى فتصبح جسيمات سالبة الشحنة. واكتساب الشحنة – من وجهة النظر المجهرية – ما هي إلا عملية انتقال للإلكترونات.

فصل الشحنة إذا دُلك جسمان متعادلان معًا فقد يصبح كل منهما مشحونًا حسب ترتيب المواد في سلسلة الدلك الكهربائي. كما هو موضح في **الشكل 3–2**. ففي حالة دلك المطاط بالصوف – كما هو موضح في **الشكل 4–2** – تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط. وتعمل الإلكترونات الإضافية التي اكتسبها المطاط على جعل شحنته

دلالة الألوان

- وضِّحت الشحنات الموجبة باللون **الأحمر**.
- وضِّحت الشحنات السالبة باللون **الأزرق**.



■ **الشكل 4–2** عند استعمال قطعة صوف لشحن قضيب مطاط تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط. وبهذه الطريقة يُشحن الجسمان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الكلية ســالبة، في حين تجعل الإلكترونات التي فقدها الصوف شحنته الكلية موجبة. أما المجموع الكلي للشحنة على الجسمين فيبقى هو نفسه؛ أي أن الشحنة محفوظة؛ وهذا يعني أن الشــحنات المفردة لا يمكن أن تفنى أو تســتحدث، وكل ما يحدث هو أن الشحنات الموجبة والشحنات السالبة تنفصلان من خلال عملية انتقال الإلكترونات.
العمليات المعقدة التي تؤثر في إطارات سيارة أو شاحنة متحركة يمكن أن تؤدي إلى أن تصبح الإطارات مشحونة. كما أن العمليات التي تحدث داخل السحب الرعدية تجعل أسفل السحابة سالب الشحنة، وأعلاها موجب الشحنة. وفي كلتا الحالتين السابقتين لا تُستحدث الشحنة، بل تنفصل.

الموصلات والعوازل Conductors and Insulators

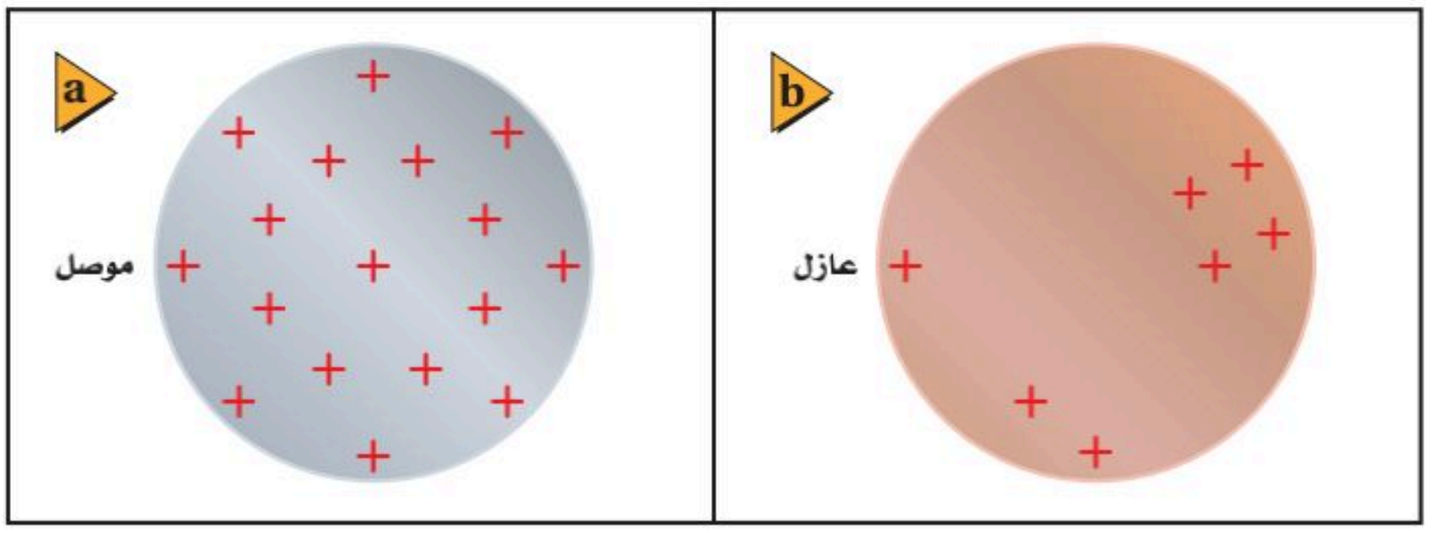
أمســك قضيبًا بلاســتيكيًّا أو مشــطًا من منتصفه وادلك أحد طرفيه، ستجد أن الطرف المدلوك فقط أصبح مشــحونًا؛ أي أن الشــحنات التي انتقلت إلى البلاســتيك بقيت في المكان الذي وضِعت فيه ولم تتحرك. وتســمّى المادة التي لا تنتقل خلالها الشحنة بسهولة **مادة عازلة**. فالزجاج والخشــب الجاف ومعظم المواد البلاستيكية والملابس والجو الجاف جميعها عوازل جيدة.

افترض أنك وضعت قضيبًا فلزيًّا فوق قضيب بلاستيكي معزول. فإذا لمست بعد ذلك أحد طرفي القضيب الفلزي بمشــط مشحون فستجد أن الشحنة تنتشر بسرعة داخل القضيب الفلزي. وتسمى المادة التي تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة **مادة موصلة**. وتعمل الإلكترونــات على نقل الشــحنة الكهربائية أو توصيلها خلال الفلز. لــذا تعد الفلزات موصــلات جيدة؛ لأنه يوجد في كل ذرة إلكترون واحد على الأقل يمكن أن ينفصل عنها بســهولة. وتؤثر هذه الإلكترونات وكأنها تابعة لذرات الفلــز جميعها وليس لذرة معينة؛ أي تتحرك هذه الإلكترونات بحرية خلال قطعة الفلز. والشــكل **5–2** يقارن بين سلوك الشــحنات عندما توضع على موصل، وســلوكها عندما توضع على عــازل. فالنحاس والألومنيوم موصلان ممتازان؛ لذا فهما يســتخدمان لنقل الكهرباء. وتعد البلازما- وهي غاز متأين بدرجة كبيرة- والجرافيت موصلين جيدين للشحنة الكهربائية.

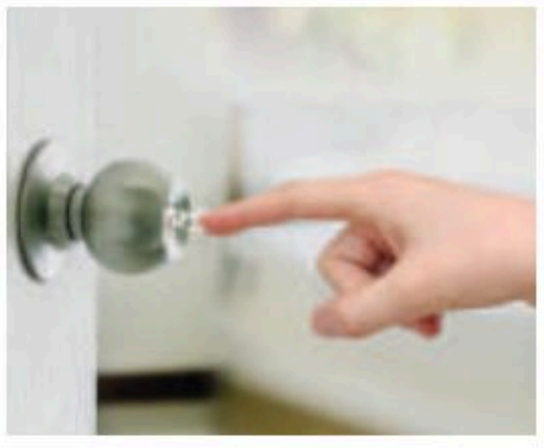
تطبيق الفيزياء

موصل أم عازل؟

من المفيد تصنيف عنصر على أنه موصل فقط أو عازل فقط، إلا أن التصنيف قد يختلف اعتمادًا على الشكل الذي يتخذه العنصر. فالكربون مثلاً يكون عازلاً في حالة الألماس، أما في الجرافيت فيوصّل الشحنة؛ لأن ذرات الكربون في الألماس ترتبط بقوة مع أربع ذرات كربون أخرى، أما في حالة الجرافيت فتكوّن ذرات الكربون ثلاث روابط قوية، ورابطة رابعة ضعيفة تسمح للإلكترونات بحركة محدودة. لذا يكون الجرافيت أكثر موصلية من الألماس، رغم أن كليهما يتركّب من ذرات الكربون.



الشكل 5–2 تتوزع الشحنات التي توضع على موصل على كامل سطحه الخارجي (a). بينما تبقى الشحنات على العازل في المكان الذي توضع فيه (b).



الشكل 6–2 تتفرغ الشحنات الكهربائية من جسمك عند اقتراب يدك من مقبض الباب.

عندما يصبح الهواء موصلاً يعدّ الهواء عازلًا، إلا أنه تحت ظروف معيّنة تتحرك الشحنات خلاله كما لو كان موصلًا. فالشرارة الكهربائية التي تحدث بين إصبعك ومقبض الباب الفلزي بعد دلك قدميك بالسجاد تُفرّغ الشحنات من جسمك كما هو موضح في **الشكل 6–2**؛ فيصبح متعادلًا؛ لأن الشحنات الزائدة الموجودة عليه قد انفصلت عنه. وبالمثل يفرّغ البرق شحنات السحب الرعدية. وفي كلتا الحالتين يصبح الهواء موصلًا للحظات فقط. ولكنك تعرف أنه يجب أن يحتوي الموصل على شحنات حرة الحركة، فمن أين تأتي هذه الشحنات في حالة الهواء العازل؟ لكي تحدث الشرارة أو البرق يجب أن تتكوّن جسيمات مشحونة حرة الحركة في الهواء المتعادل، وفي حالة البرق تكون الشحنات الزائدة في الغيمة وعلى الأرض كبيرة بشكلٍ كافٍ لفصل الإلكترونات من جزيئات الهواء. وتتكوّن نتيجة ذلك البلازما؛ التي تتكوّن من الإلكترونات والذرات الموجبة الشحنة والذرات السالبة الشحنة، والتي تعدّ موصلًا. ويولّد تفريغ الشحنات الذي يحدث بين الأرض والسحب الرعدية – من خلال هذه الموصلات– شررًا لامعًا يسمى البرق. أما في حالة إصبعك ومقبض الباب الفلزي فيسمى تفريغ الشحنات شرارةً كهربائية.

2–1 مراجعة

1. **الأجسام المشحونة** بعد دلك مشط بسترة مصنوعة من الصوف يمكنه جذب قصاصات ورق صغيرة. لماذا يفقد المشط هذه القدرة بعد عدة دقائق؟
2. **أنواع الشحنات** من خلال التجارب التي مرت في هذا الجزء، كيف يمكنك أن تعرف أيّ الشريطين B أو T موجب الشحنة؟
3. **أنواع الشحنات** كرة البيلسان كرة صغيرة مصنوعة من مادة خفيفة، مثل البوليسترين، وتكون عادة مطلية بطبقة من الجرافيت أو الألومنيوم. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كانت كرة البيلسان المعلقة بخيط عازل متعادلة كهربائيًّا، أو ذات شحنة موجبة، أو ذات شحنة سالبة؟
4. **فصل الشحنات** يُشحن قضيب مطاط بشحنة سالبة عند دلكه بالصوف. ماذا يحدث لشحنة الصوف؟ ولماذا؟
5. **شحن الموصلات** افترض أنك علّقت قضيبًا فلزيًّا طويلًا بخيوط حرير بحيث أصبح القضيب معزولاً، ثم لامست أحد طرفي القضيب الفلزي بقضيب زجاجي مشحون. صِفْ كيف يُشحن القضيب الفلزي، وحدد نوع الشحنات عليه.
6. **الشحن بالدلك** يمكنك شحن قضيب مطاط بشحنة سالبة بدلكه بالصوف. ماذا يحدث عند دلك قضيب نحاس بالصوف؟
7. **التفكير الناقد** يمكن أن يفترض أحدهم أن الشحنة الكهربائية تشبه الموائع تتدفق من أجسام لديها فائض في المائع إلى أجسام لديها نقص فيه. لماذا يكون نموذج التيار الثنائي الشحنة أفضل من نموذج المائع الأحادي؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–2 القوة الكهربائية Electric Force

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

القوى المؤثرة في الأجسام المشحونة
Forces on Charged Bodies

يمكن توضيح القوى التي سبق أن لاحظتها على الأشرطة اللاصقة من خلال تعليق قضيب مطاطي صلب ذي شحنة سالبة، بحيث يدور بسهولة، كما هو موضح في **الشكل 7–2**. إذا قرّبت قضيبًا آخر ذا شحنة سالبة من القضيب المعلّق فسوف يدور القضيب المعلّق مبتعدًا؛ حيث تتنافر الشحنات السالبة على القضيبين. وليس من الضروري أن يحدث تلامس بين القضيبين حتى يظهر هذا التأثير؛ فالقوة التي تســـمى القوة الكهربائية تؤثر عن بُعد. وإذا علّقت قضيبًا زجاجيًّا مشحونًا بشحنة موجبة، ثم قربّت إليه قضيبًا زجاجيًّا آخر مشحونًا بشـــحنة موجبة أيضًا فســـيتنافر القضيبان. أما إذا قرّبت قضيبًا مشحونًا بشحنة سالبة إلى قضيب آخر مشحون بشحنة موجبة فسيجذب كل منهما الآخر، وسيدور القضيب المعلّق مقتربًا من القضيب الآخر.

يمكن تلخيص ما توصلت إليه من تجارب الأشرطة اللاصقة وسلوك القضبان المشحونة كما يأتي:

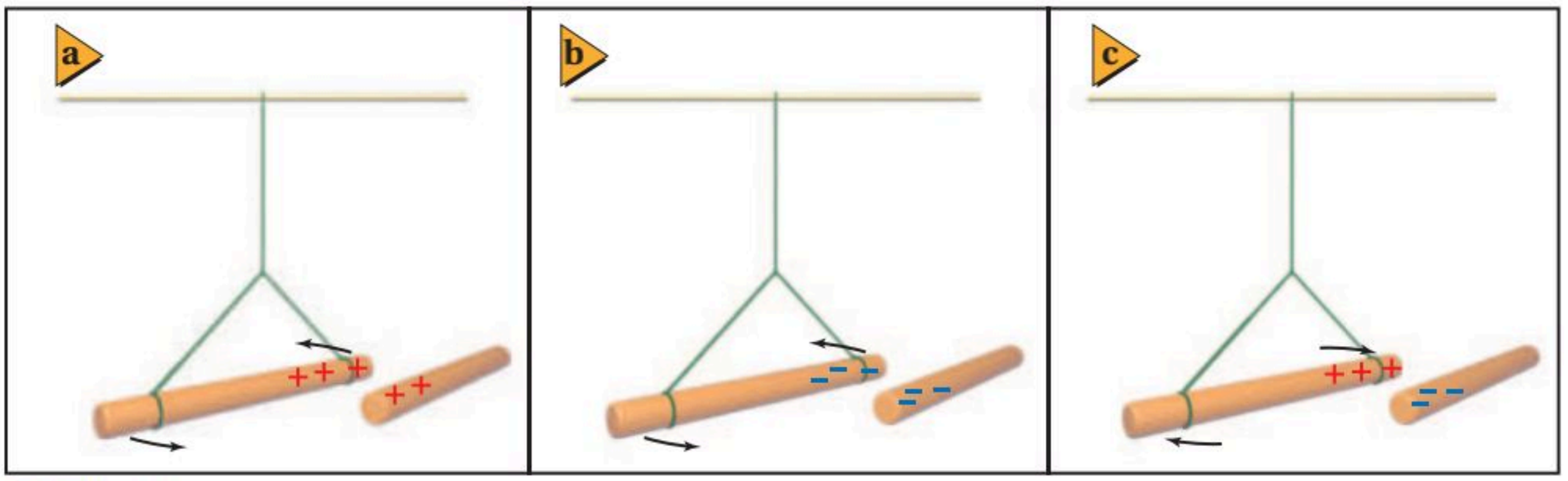
- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: موجبة وسالبة.
- تؤثر الشحنات بعضها في بعض بقوى عن بُعد.
- تكون القوة أكبر عندما تكون الشحنات متقاربة.
- الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.

الأهداف

- **تلخّص** العلاقات بين القوى الكهربائيـــة والشـــحنات الكهربائية والبعد بينها.
- **توضّح** كيفية شحن الأجسام بطريقتي التوصيل والحث.
- **تطوّر** نموذجًا يوضّح كيف يمكن للأجسام المشحونة أن تجذب أجسامًا متعادلة.
- **تُطبق** قانـــون كولوم في حل مســـائل في بُعـــد واحد وفي بُعدين.

المفردات

الكشّاف الكهربائي
الشحن بالتوصيل
الشحن بالحث
التأريض
قانون كولوم
الكولوم
الشحنة الأساسيّة



الشكل 7–2 عند تقريب قضيب مشحون إلى آخر معلّق ومشحون فإنهما يتجاذبان أو يتنافران.

الشكل 8–2 الكشاف الكهربائي؛ جهاز يستخدم للكشف عن الشحنات الكهربائية. في الكشاف الكهربائي المتعادل تكون الورقتان معلقتين رأسيًا بحرية، وتلامس إحداهما الأخرى.

لا يعد الشريط اللاصق ولا القضيب المعلّق في الهواء طريقة دقيقة أو ملائمة لتحديد الشحنة. وعوضًا عن ذلك يستخدم جهاز يسمّى **الكشّاف الكهربائي**، يتركّب من كرة فلزية مُثبّت على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين، تسمّيان الورقتين. ويبين **الشكل 8–2** كشّافًا كهربائيًا متعادلًا. لاحظ أن الورقتين معلّقتان بصورة حرة داخل إناء زجاجي شفاف مغلق؛ وذلك للحد من تأثير تيارات الهواء.

الشحن بالتوصيل عندما يلمس قضيب مشحون بشحنة سالبة كرة كشاف كهربائي تنتقل الإلكترونات منه إلى الكرة، وتتوزع هذه الشحنات على جميع سطوح الفلز. وكما هو موضح في **الشكل 9a–2**، تشحن الورقتان بشحنات سالبة وتتنافران، لذا تنفرجان، ويصبح الكشاف الكهربائي مشحونًا. ويُسمّى شحن الجسم المتعادل بملامسته جسمًا آخر مشحونًا **الشحنَ بالتوصيل**. كما تنفرج الورقتان أيضًا عند شحن الكشاف بشحنات موجبة، فكيف يمكنك إذًا معرفة ما إذا كان الكشّاف الكهربائي مشحونًا بشحنة موجبة أم سالبة؟ يمكن تحديد نوع الشحنة بملاحظة ورقتي الكشاف الكهربائي المشحون عند تقريب قضيب مشحون بشحنة معلومة من كرته؛ إذ يزداد انفراج الورقتين أكثر عند تقريب جسم شحنته مشابهة لشحنة الكشّاف، كما في **الشكل 9b–2**، وسيقل انفراج الورقتين إذا كانت شحنة الكشاف مخالفة لشحنة الجسم المُقرّب، كما في **الشكل 9c–2**.

فصل الشحنات على الأجسام المتعادلة عرفت أن الشريط اللاصق المشحون انجذب نحو إصبعك عندما قرّبْته إليه. وبالطبع كان إصبعك متعادلًا كهربائيًا؛ أي فيه عدد متساوٍ من الشحنات الموجبة والسالبة. وتعلم أيضًا أن الشحنات تتحرك بسهولة في الموصلات، كما أن القوى الكهربائية في حالة الشرارة الكهربائية حوّلت المادة العازلة إلى مادة موصلة. من كل هذه المعلومات يمكنك تطوير نموذج مناسب للقوة التي أثر بها إصبعك في الشريط.

الشكل 9–2 تكون ورقتا الكشاف الكهربائي المشحون بشحنة سالبة منفرجتين (a). يدفع القضيب ذو الشحنة السالبة الإلكترونات من الكرة إلى الورقتين فيزداد انفراجهما (b). يجذب القضيب ذو الشحنة الموجبة بعض الإلكترونات من الورقتين إلى الكرة فيقل انفراجهما (c).

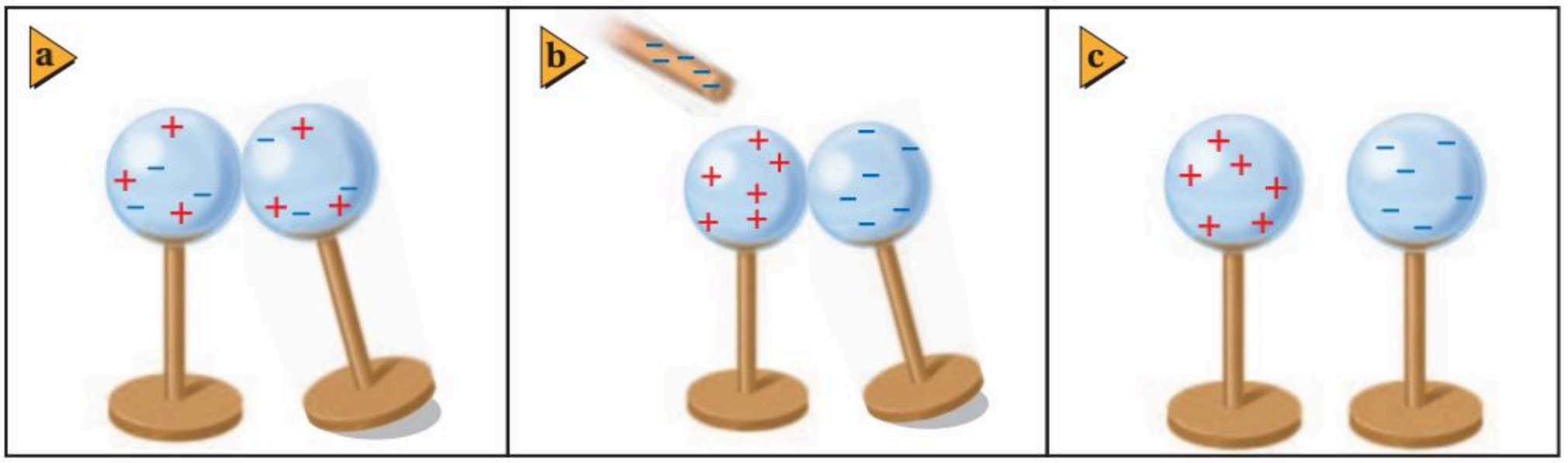
وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

افترض أنك قرّبت إصبعك أو أي جسم غير مشحون إلى جسم شحنته موجبة. ستنجذب الشحنات السالبة في إصبعك نحو الجسم ذي الشحنة الموجبة، وتتنافر الشحنات الموجبة في إصبعك منه. ويبقى إصبعك متعادلاً كهربائيًّا، إلا أن الشحنات الموجبة فيه تُفصل عن الشحنات السالبة. وتكون القوة الكهربائية كبيرة بين الشحنات المتقاربة، لذا فإن فصل الشحنات ناتج عن قوة التجاذب بين إصبعك والجسم المشحون. كما أن القوة التي أثرت بها المسطرة البلاستيكية المشحونة في قصاصات الورق المتعادلة هي نتيجة لعملية فصل الشحنات بعضها عن بعض على الجسم نفسه.

ويمكن للشحنات السالبة في أسفل الغيوم الرعدية أن تؤدي أيضًا إلى فصل الشحنات على سطح الأرض؛ حيث تجذب الشحنات الموجبة على الأرض نحو سطح الأرض أسفل الغيمة. وتكون القوى الكهربائية المتبادلة بين الشحنات الموجودة على الغيوم والشحنات الموجودة على سطح الأرض قادرة على فصل الجزيئات إلى جسيمات موجبة وأخرى سالبة الشحنة. وتكون هذه الجسيمات المشحونة حرة الحركة، وتنشئ مسارًا موصلًا من الأرض إلى الغيوم. ويحدث البرق الذي تلاحظه عندما تنتقل صاعقة بسرعة 500,000 km /h تقريبًا على امتداد المسار الموصل بين الأرض والغيمة، فتؤدي إلى تفريغ شحنات الغيمة.

الشحن بالحث افترض أن كرتين فلزيتين متماثلتين متعادلتين ومعزولتين قد تلامستا، كما في **الشكل 10a–2**. عند تقريب قضيب مشحون إلى إحداهما، كما في **الشكل 10b–2**، تنتقل الإلكترونات من الكرة الأولى إلى الكرة الثانية البعيدة عن القضيب؛ بسبب قوة التنافر مع الشحنات السالبة التي على القضيب، وتصبح سالبة الشحنة، في حين تصبح الكرة الأولى (القريبة من القضيب) موجبة الشحنة. وإذا فُصلت الكرتان إحداهما عن الأخرى والقضيب قريب فإنهما ستُشحنان بشحنتين متساويتين مقدارًا ومختلفتين نوعًا، كما هو موضح في **الشكل 10c–2**. وتسمى عملية شحن الجسم دون ملامسته **الشحن بالحث**.

تستطيع شحن جسم واحد بالحث عن طريق **التأريض**؛ وهو عملية توصيل جسم بالأرض للتخلص من الشحنات الفائضة، حيث تعدّ الأرض كرة كبيرة، ولها قدرة على استيعاب كمية كبيرة من الشحنة دون أن تظهر عليها آثار هذه الشحنة. فإذا لامس جسم مشحون الأرض فإن كل شحناته تنتقل غالبًا إلى الأرض.



■ **الشكل 10–2** من طرائق شحن الأجسام الشحنُ بالحث، حيث يبدأ بتلامس كرتين متعادلتين (a)، ثم يقرّب قضيب مشحون إليهما (b). ثم تفصل الكرتان إحداهما عن الأخرى أولاً، ثم يُبعد القضيب المشحون(c). تتساوى الشحنات على الكرتين في المقدار، ولكنها تختلف في النوع.

الشكل 11–2 يحث قضيب سالب الشحنة على فصل الشحنات على الكشّاف الكهربائي (**a**). يتم تأريض الكشّاف الكهربائي عن طريق لمسه، فتنتقل الإلكترونات السالبة من الكشّاف الكهربائي إلى الأرض (**b**). يُفصل تأريض الكشاف قبل إبعاد القضيب، فيصبح الكشّاف الكهربائي موجب الشحنة (**c**).

فإذا قُرّب قضيب مشحون بشحنة سالبة إلى كرة كشّاف كهربائي متعادل، كما في **الشكل 11a–2**، فإن الشحنات السالبة (الإلكترونات) تتنافر مع شحنات القضيب، وتتحرك مبتعدة نحو الورقتين، مع بقاء الشحنات الموجبة على الكرة. وإذا أرَّضنا (لامسنا) الطرف الآخر للكرة البعيد عن القضيب المشحون فإن الإلكترونات تنتقل من الكشاف إلى الأرض إلى أن تتعادل الورقتان؛ أي تنطبقا، كما في **الشكل 11b–2**. وبفصل التأريض ثم إبعاد القضيب المشحون تصبح شحنة الكشاف موجبة، كما في **الشكل 11c–2**. ويمكن استخدام التأريض أيضًا مصدرًا للإلكترونات؛ فعند تقريب قضيب موجب الشحنة إلى كرة كشّاف كهربائي مع توصيل الطرف المقابل للكرة بالأرض فإن الإلكترونات تنجذب من الأرض نحو الكشّاف الكهربائي، ويصبح سالب الشحنة. وفي هذه الخطوة تكون الشحنات المستحثة على الكشّاف الكهربائي مخالفة لشحنة الجسم المؤثر. ولأن القضيب المشحون لم يلمس كرة الكشّاف الكهربائي فإن شحنة القضيب لم تنتقل، ولذلك يمكن استخدامه أكثر من مرة لشحن الأجسام بالحث.

قانون كولوم Coulomb's Law

عرفت أن القوة الكهربائية تؤثر بين جسمين مشحونين أو أكثر. ففي تجاربك التي أجريتها على الشريط اللاصق وجدت أن القوة تعتمد على البعد بين الجسمين المشحونين؛ فكلما قرّبت المشط المشحون أكثر إلى الشريط ازدادت القوة الكهربائية. ووجدت أيضًا أنه كلما زادت شحنة المشط زادت القوة الكهربائية. فكيف يمكنك تغيير كمية الشحنة بطريقة محكمة أو بطريقة مسيطر عليها؟ حلّ الفيزيائي الفرنسي شارل كولوم هذه المشكلة عام 1785م؛ حيث استخدم الأدوات الموضحة في **الشكل 12–2**، وهي قضيب عازل في طرفيه كرتان صغيرتان موصلتان A و A`، ومعلّق من منتصفه بسلك رفيع. ووضعت كرة مماثلة B ملامسة للكرة A، وعند ملامسة جسم مشحون لهاتين الكرتين تنتقل الشحنات من الجسم المشحون إلى الكرتين وتتوزع عليهما بالتساوي، حيث تكتسبان 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.

الشكل 12–2 استعمل كولوم جهازًا مماثلًا لقياس القوة بين كرتين، A و B. ولاحظ انحراف الكرة A مع تغيّر المسافة بين A وB.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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 (فَتْل) سلك التعليق بزاوية معينة، ثم وضع شحنتين متساويتين على الكرتين A و B، وبدأ يغيّر المسافة r بينهما. عندما حرّكت القوة الكهربائية الكرة A، مما أدى إلى ليّ سلك التعليق، وبقياس انحراف الكرة A تمكن كولوم من حساب قوة التنافر بينهما، وأثبت كولوم 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 أولاً الكرتين A و B بالتساوي، كما فعل ذلك سابقًا، ثم اختار كرة غير مشحونة C، مساحة سطحها الخارجي مماثلة للكرة B. عند ملامسة الكرة C للكرة B تتقاسم الكرتان الشحنة الموجودة على الكرة B فقط. لذا تكون 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 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 العالمي 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 شحنة سالبة قد تصل إلى 10^6 C، وهذه المقدار الهائل من كمية الشحنة السالبة لا ينتج غالبًا أي تأثيرات خارجية؛ لأن العملة متعادلة ومتزنة بكمية شحنة موجبة مساوية لكمية الشحنة السالبة. أما إذا كانت الشحنات غير متعادلة فستتولد قوى كهربائية، وحتى لو كانت الشحنة صغيرة، 10^{-9} C مثلًا، فإنها يمكن أن تولّد قوى كهربائية كبيرة.

تجربة

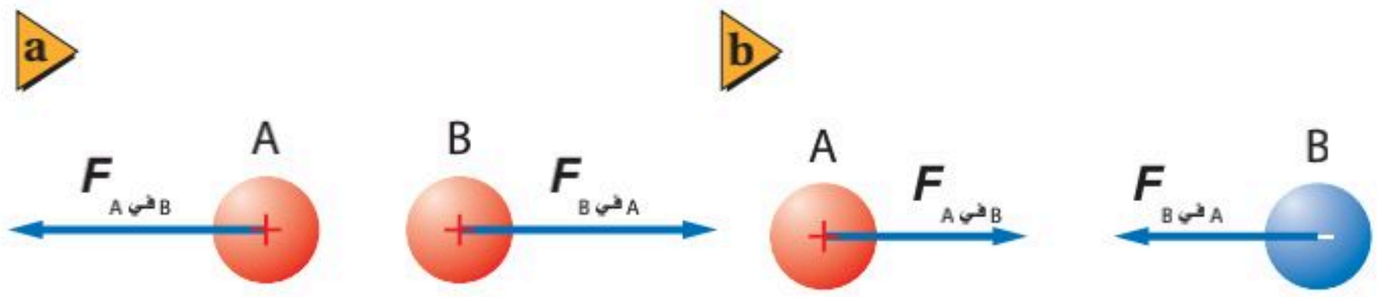
الحث والتوصيل

استعمل بالونًا وكشّافًا كهربائيًّا لاستقصاء الشحن بالحث وبالتوصيل.

1. **توقع** ماذا يحدث إذا شحنت بالونًا بدلكه بالصوف، ثم قرّبته إلى قرص كشّاف كهربائي متعادل؟
2. **توقع** ماذا يحدث إذا لامس البالون قرص الكشّاف الكهربائي؟
3. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

4. **صف** نتائجك.
5. **وضح** حركة الورقتين في كل خطوة من خطوات التجربة، على أن تضمّن الشرح رسومًا توضيحية.
6. **صف** النتائج إذا استعملت الصوف لشحن الكشّاف الكهربائي.



■ **الشكل 13–2** قاعدة تحديد اتجاه القوة هي: الشحنات المتشابهة تتنافر؛ والشحنات المختلفة تتجاذب.

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

قانون كولوم

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

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

إذا قيست الشحنات بوحدة الكولوم، والمسافة بالأمتار، والقوة بالنيوتن، فإن ثابت كولوم K يساوي $9.0\times10^9\ N.m^2/C^2$.

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 ملاحظة هذا التطبيق على القانون الثالث لنيوتن في الحركة عمليًّا عندما تقرّب شريطين لاصقين مشحونين بشحنتين متماثلتين أحدهما إلى الآخر؛ حيث يؤثر كل منهما بقوة في الآخر.

القوة الكهربائية كمية متجهة، مثلها في ذلك مثل جميع القوى الأخرى في الطبيعة، لذا تحتاج متجهات القوة إلى تحديد المقدار والاتجاه. ولأن معادلة قانون كولوم تزوِّدنا بمقدار القوة فقط، فإننا بحاجة إلى تحديد اتجاهها، ويتم ذلك برسم مخطّط للشحنات وتفسير العلاقات بينها بدقة. فإذا قرِّب جسمان A و B مشحونان بشحنتين موجبتين أحدهما إلى الآخر فإن كلًّا منهما سيؤثر في الآخر بقوة تنافر، كما في **الشكل 13a–2**. أما إذا كانت شحنة الجسم B مثلًا سالبة فستكون القوة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر قوة تجاذب، كما كما موضح في **الشكل 13b–2**.

استراتيجيات حل المسألة

مسائل القوة الكهربائية

استخدم هذه الخطوات لإيجاد مقدار القوة المتبادلة بين الشحنات، واتجاهها.

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. نفّذ العمليات الجبرية على كل من الأرقام والوحدات. وتحقّق من أن الوحدات متوافقة مع المتغيرات في السؤال.
6. تأمل إجابتك جيدًا. هل هي منطقية؟

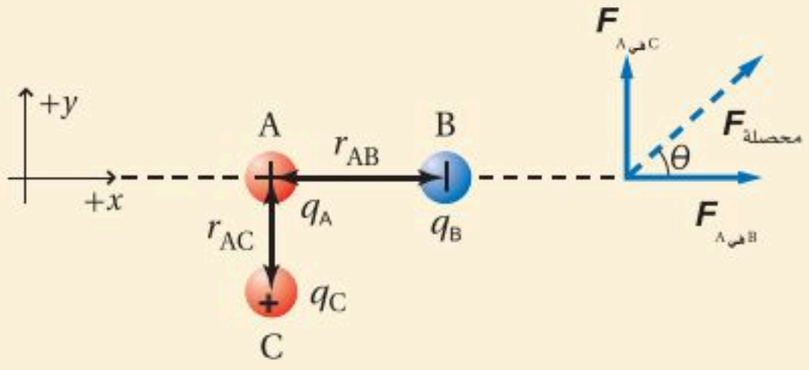
مثـــــال 1

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

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 بُعد $3.0\ cm$ 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.

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

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

$r_{AB}= 4.0\ cm$

$$=\left(9.0\times10^{9}\ N.\frac{m^2}{C^2}\right)\frac{(6.0\times10^{-6}\ C)\,(3.0\times10^{-6}\ C)}{(4.0\times10^{-2}\ m)^2}$$

$$=1.0\times10^{2}\ N$$

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.

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

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

بالتعويض عن
$q_A = 6.0\ \mu\text{C}$ ، $q_c = 1.5\ \mu\text{C}$
$r_{AC} = 3.0\ \text{cm}$

$$= 9.0 \times 10^1\,\text{N}$$

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

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

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

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

بالتعويض عن $F_{A\text{ في }B} = 1.0 \times 10^2\ \text{N}$
$F_{A\text{ في }C} = 9.0 \times 10^1\ \text{N}$

$$= 130\ \text{N}$$

دليل الرياضيات

معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل

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

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

بالتعويض عن $F_{A\text{ في }B} = 1.0 \times 10^2\ \text{N}$
$F_{A\text{ في }C} = 9.0 \times 10^1\ \text{N}$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{9.0 \times 10^1\,\text{N}}{1.0 \times 10^2\,\text{N}}\right)$$

$$= 42^\circ$$

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

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $(\text{N}.\text{m}^2/\text{C}^2)\,(\text{C})\,(\text{C})/\text{m}^2 = \text{N}$، تُبسّط الوحدات فتصبح نيوتن.
- **هل للاتجاه معنى؟** الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.
- **هل الجواب منطقي؟** يتفق مقدار القوة المحصلة مع مقداري القوتين.

مسائل تدريبية

8. تفصل مسافة مقدارها 0.30 m بين شحنتين؛ الأولى سالبة مقدارها 2×10^{-4} C، والثانية موجبة مقدارها 8.0×10^{-4} C. ما القوة المتبادلة بين الشحنتين؟

9. إذا أثرت الشحنة السالبة 6.0×10^{-6} C بقوة جذب مقدارها 65 N في شحنة ثانية تبعد عنها مسافة 0.050 m فما مقدار الشحنة الثانية؟

10. في المثال 1، إذا أصبحت شحنة الكرة B تساوي 3.0 µC+ فارسم الحالة الجديدة للمثال، وأوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.

11. وضعت كرة A شحنتها 2.0×10^{-6} C + عند نقطة الأصل، في حين وضعت كرة B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها 3.6×10^{-6} C عند الموقع 0.60 m+ على المحور x. أما الكرة C المشحونة بشحنة مقدارها 4.0×10^{-6} C + فقد وضعت عند الموقع 0.80 m+ على المحور x. احسب القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.

12. في المسألة السابقة، أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.

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، فقط إذا كانت الشحنة موزعة بالتساوي على سطحها أو على حجمها. فإذا كانت الكرة موصلة وقُرِّبت إليها شحنة أخرى فإن الشحنات على الكرة ستتجاذب أو تتنافر مع هذه الشحنة؛ فلا تؤثر شحنة الكرة كما لو كانت مجتمعة 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، ويبعد بعضها عن بعض مسافات كافية، بحيث يمكن اعتبارها شحنات نقطية، ما لم يذكر خلاف ذلك. أما إذا كانت الأجسام المشحونة أسلاكًا طويلة أو ألواحًا مستوية فيجب تعديل قانون كولوم ليناسب توزيعات غير نقطية من الشحنات.

الشكل 14–2 الرماد المتصاعد من المداخن نتيجة ثانوية لاحتراق الفحم. ويمكن استعمال مرشّحات الترسيب الكهروسكوني لتقليل هذا الرماد.

تطبيقات القوى الكهروسكونية

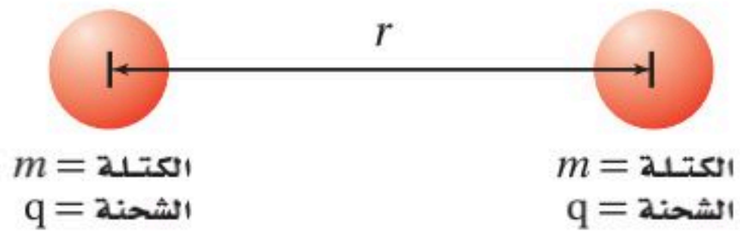
Applications of Electrostatic Forces

هناك العديد من تطبيقات القوى الكهربائية على الجسيمات. وتستطيع هذه القوى مثلاً تجميع السناج (السواد الناتج عن الدخان) من المداخن، ومن ثم تحدّ من تلوث الهواء، كما هو موضح في **الشكل 14–2**، 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. ويُعدّ تجمع الشحنات الساكنة سببًا لحدوث التلف. فمثلاً تجمع الشحنات الساكنة على فيلم قد يكون سببًا في جذب الغبار عليه مما يسبب تلفه، كما يمكن أن تتعطل معدات إلكترونية عند تفريغ الشحنة الساكنة. لذا تصمّم التطبيقات في هذه الحالات لتجنّب تراكم الشحنة الساكنة، وإزالة أي شحنة قد تتراكم بطريقة آمنة.

مسألة تحفيز

يبين الشكل المجاور كرتين لهما الكتلة نفسها m، وشحنة كل منهما $+q$، والبعد بين مركزيهما r.

1. اشتق تعبيرًا للشحنة q التي يجب أن تكون على كلتا الكرتين لتكونا في حالة اتزان. هذا يعني أن هناك اتزانًا بين قوتي التجاذب والتنافر.
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 من الكرتين 1.50 kg فحدّد قيمة الشحنة التي ينبغي أن تكون موجودة على كل منهما للحفاظ على حالة الاتزان.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

2–2 مراجعة

13. **القوة والشحنة** ما نوع العلاقة بين القوة الكهربائية والشحنة؟ صِف القوة عندما تكون الشحنات متشابهة، وعندما تكون مختلفة.

14. **القوة والمسافة** ما نوع العلاقة بين القوة الكهربائية والمسافة؟ وكيف تتغير القوة إذا زادت المسافة بين شحنتين إلى ثلاثة أمثالها؟

15. **الكشّاف الكهربائي** عند شحن كشّاف كهربائي ترتفع ورقتاه الفلزيتان لتشكّلا زاوية معينة، وتبقى الورقتان محافظتين على تلك الزاوية. لماذا لا ترتفع الورقتان أكثر من ذلك؟

16. **شحن كشّاف كهربائي** اشرح كيف يمكن شحن كشّاف كهربائي بشحنة موجبة باستخدام:

    a. قضيب موجب.

    b. قضيب سالب.

17. **جذب الأجسام المتعادلة** ما الخاصيتان اللتان تفسّران انجذاب جسم متعادل إلى كل من الأجسام المشحونة بشحنة موجبة والأجسام المشحونة بشحنة سالبة؟

18. **الشحن بالحث** ماذا يحدث عند شحن كشّاف كهربائي بالحث، وإبعاد قضيب الشحن قبل فصل تأريض الكرة؟

19. **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.

20. **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. وعند تقريب الكرتين إحداهما إلى الأخرى وُجد أن القوة بينهما أصغر مما هو متوقع من قانون كولوم. وضح ذلك.

مختبر الفيزياء

الأجسام المشحونة

لاحظت في هذا الفصل ودرست ظواهر تنتج عن فصل الشحنات الكهربائية. وتعلّمت أن كلًّا من المطاط الصلب والبلاستيك يميل إلى أن تصبح شحنته سالبة بعد الدلك، في حين يميل كل من الصوف والزجاج إلى يصبح موجب الشـــحنة. ولكن ماذا يحدث إذا دلكت جسمين معًا يميل كل منهما إلى أن يصبح سالب الشـــحنة؟ هل تنتقل الإلكترونـــات؟ وإذا كان الأمر كذلك فأي المادتين ستكتســـب إلكترونات، وأيهما ستفقدها؟ ستصمّم في هذه التجربة إجراءات وخطوات لمزيد من الاستقصاءات حول الشحنات الموجبة والسالبة.

سؤال التجربة

كيف يمكنك اختبار قدرة المواد على اكتساب أو فقد الشحنات السالبة؟

الأهـــداف

- **تلاحظ** أن المواد المختلفة تميل إلى أن تُشحن بشحنة موجبة أو تُشحن بشحنة سالبة.
- **تقارن** بين قدرة المواد على اكتســـاب الشـــحنات الســـالبة والشحنات الموجبة والاحتفاظ بها.
- **تفسّـر البيانـات** لترتّب قائمة بالمواد من الأكثر ميلاً لتصبح سالبة الشحنة إلى الأكثر ميلاً لتصبح موجبة الشحنة.

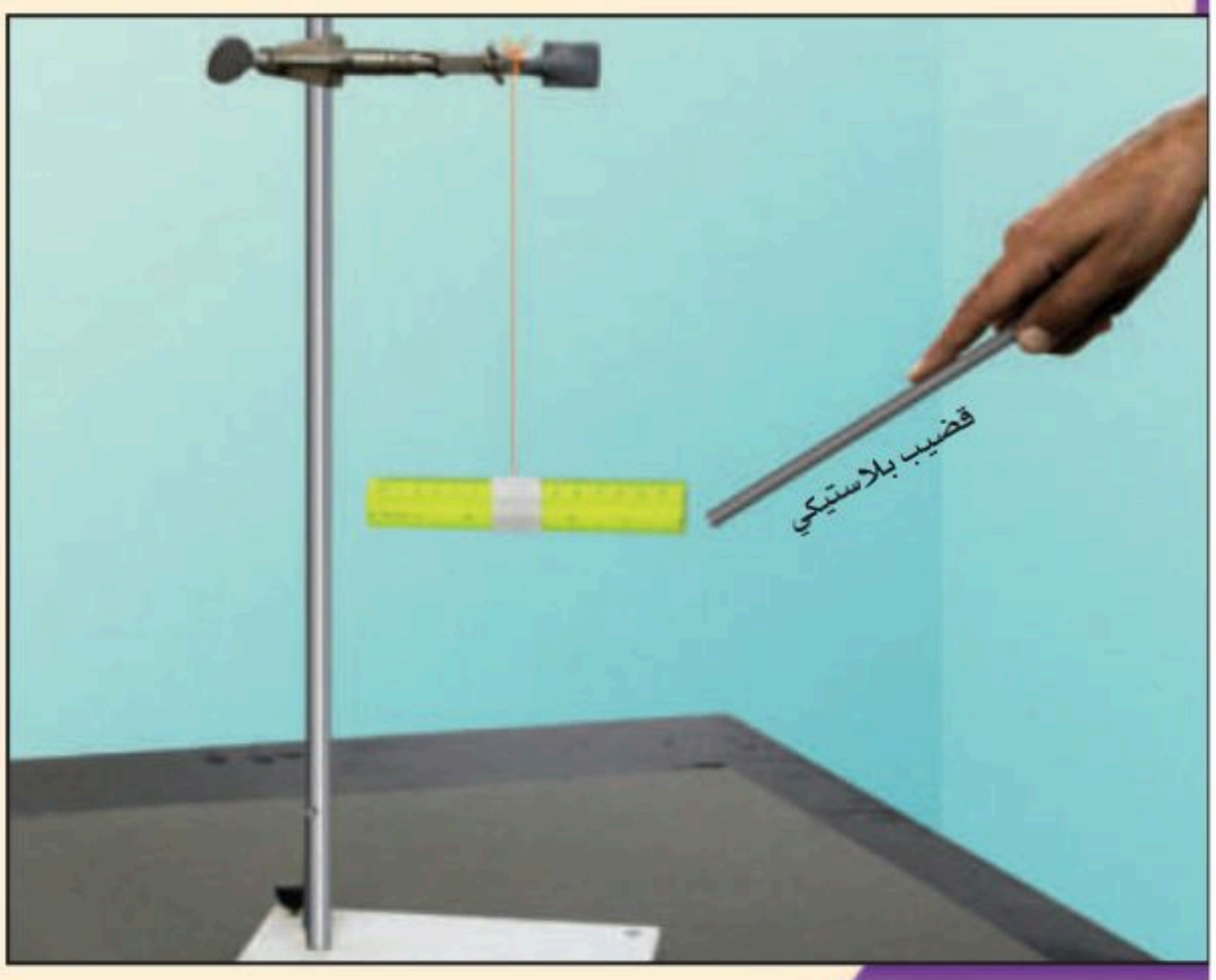
احتياطات السلامة

المواد والأدوات

مسطرة بلاستيكية طولها 15 cm
خيط
حامل
شريط لاصق
مـــواد قابلـــة للشـــحن، مثل: قضيـــب مطاطـــي، وقضيب بلاســـتيكي، وقضيب زجاجي، وأنبوب البولي فينيل كلورايد PVC، وأنبوب نحـــاسي، وأنبوب فولاذي، وأقلام رصاص، وأقلام حـــبر، وقطعة صوف، وقطعة حريـــر، وغلاف طعام بلاستيكي، وأكياس بلاستيكية، وورق زبد، وورق ألومنيوم.

الخطوات

1. انظر إلى الصورة المجاورة لتســـتفيد منها في تعليق المسطرة البلاســـتيكية. يُفضّل غســـل المســـطرة بالماء والصابون، وتجفيفها تمامًا قبل كل اســـتعمال، وخصوصًا إذا كان الجو رطبًا. اربط الخيط بمنتصف المســـطرة، على أن يفصل بينه وبين المسطرة لفة إلى ثلاث لفات من الشريط اللاصق.
2. اســـتخدم الحالتين الآتيتين مرجعًا لأنواع الشحنات التي يمكن أن تكون للمواد: (1) عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف تشـــحن المسطرة البلاستيكية بشحنة سالبة، أما قطعة الصوف فتشـــحن بشحنة موجبة. (2) عند دلك مسطرة بلاستيكية بغلاف طعام بلاستيكي تشحن المسطرة البلاستيكية بشحنة موجبة، أما غلاف الطعام البلاستيكي فيشحن بشحنة سالبة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

جدول البيانات					
المادة1	المادة2	الشحنة على المسطرة (0، −، +)	ملاحظات على حركة المسطرة	الشحنة على المادة1 (0، −، +)	الشحنة على المادة 2 (0، −، +)

3. صمّم خطـوات وإجـراءات لمعرفة أي الأجسـام تميل إلى أن تُشـحن بشـحنة سـالبة، وأيها تميل إلى أن تُشحن بشـحنة موجبة. جرّب مجموعات مختلفة من المواد، ودوّن ملاحظاتك في جدول البيانات.
4. طوّر اختبارًا لتكشـف ما إذا كان جسم ما متعادلًا أم لا. وتذكّر أن المسطرة المشحونة قد تنجذب إلى جسم متعادل إذا عملت على فصل شحنات هذا الجسم بالحث.
5. تأكد من أن معلمك قد تفحّص تجربتك، وعليك الحصول على موافقته قبل متابعة تنفيذ النشاط.

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** عندما قرّبت مواد مشـحونة بعضها إلى بعض، هل لاحظت وجود قوة بين هذه المواد المشـحونة؟ صِف هذه القوة.
2. **صياغة النماذج** أنشئ رسمًا لتوزيع الشحنة على المادتين في إحدى المحاولات. واستخدم الرسم لتوضيح لماذا أثرت المادتان إحداهما في الأخرى بتلك الطريقة خلال تجربتك؟
3. **استخلص النتائج** أي المواد احتفظت بشحنة فائضة، وأيها لم تحتفظ بالشحنة جيدًا؟
4. **استخلص النتائج** أي المواد لها ميل لتشحن بشحنة سالبة، وأيها لها ميل لتشحن بشحنة موجبة؟
5. **فسّر البيانات** اسـتخدم جدول بياناتك لتعدّ قائمة بالميول النسبية للمواد لتصبح موجبة الشحنة أو سالبتها.

الاستنتاج والتطبيق

1. وضّح المقصود بتعبير الشـحنة الفائضة، وعدم التوازن في الشحنة عند الإشارة إلى الكهرباء الساكنة.
2. هل تبقى الشـحنة الفائضـة في المادة أم تنتقـل مع مرور الوقت؟
3. هل يمكنك إكمال هذا النشـاط باسـتخدام قضيب فلزي بدلاً من المسطرة البلاستيكية المعلّقة؟ وضّح إجابتك.
4. تسـتعمل الأغلفة البلاسـتيكية الشـفافة لتغطية أوعية الطعام، فلماذا يلتصق الغلاف البلاستيكي الشفاف بعضه ببعض بعد سحبه عن أوعية الطعام التي كان يغطيها؟

التوسع في البحث

راجع المعلومات في كتابك حول الكشّـاف الكهربائي. وأعِد تصميم النشاط على أن تستعمل الكشّاف الكهربائي بدلًا من المسطرة البلاسـتيكية المعلّقة؛ لتفحص نوع الشحنة التي على الجسم.

الفيزياء في الحياة

للشـاحنات غالبًا حزام مطاطي أو سلسلة متدلية منها تتصل بسطح الطريق. لماذا؟

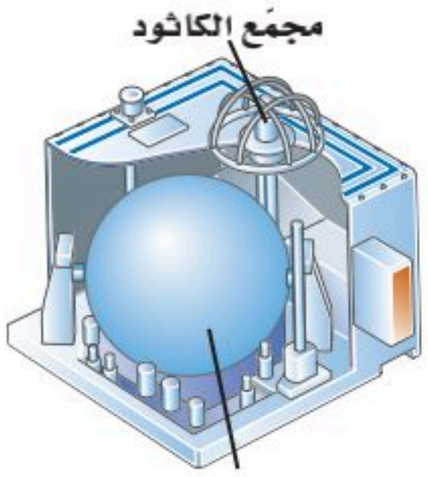
تقنية المستقبل

المركبة الفضائية والكهرباء الساكنة Spacecraft and Static Electricity

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

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

وحدة قواطع البلازما



نموذج PCU

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

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

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

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

التوسع

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

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

2–1 الشحنة الكهربائية Electric Charge

المفردات

- الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)
- الذرة المتعادلة
- مادة عازلة
- مادة موصلة

المفاهيم الرئيسة

- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: الشحنات الموجبة والشحنات السالبة، وتفاعلات هذه الشحنات معًا توضح التجاذب والتنافر الذي لوحظ في الأشرطة اللاصقة.
- الشحنة الكهربائية لا تفنى ولا تستحدث؛ أي أنها محفوظة. والشحن ما هو إلا عملية فصل للشحنات، وليس إنتاج شحنات كهربائية جديدة.
- يمكن شحن الأجسام عن طريق نقل الإلكترونات؛ فالمناطق التي فيها فائض في الإلكترونات يكون صافي شحنتها سالبًا، أما المناطق التي فيها نقص في الإلكترونات فيكون صافي شحنتها موجبًا.
- الشحنات التي تضاف إلى جزء أو موقع ما من مادة عازلة تبقى على ذلك الموقع أو الجزء. ومن المواد العازلة الزجاج، والخشب الجاف، والمواد البلاستيكية، والهواء الجاف.
- الشحنات التي تضاف إلى مادة موصلة تتوزع بسرعة على سطح الجسم كاملاً. ومن المواد الموصلة الجرافيت، والفلزات، والمادة عندما تكون في حالة البلازما.
- تحت ظروف معيَّنة، يمكن أن تنتقل شحنات خلال مادة معروفة على أنها مادة عازلة. ويعدّ البرق الذي يتحرك خلال الهواء أحد الأمثلة على ذلك.

2–2 القوة الكهربائية Electric Force

المفردات

- الكشّاف الكهربائي
- الشحن بالتوصيل
- الشحن بالحث
- التأريض
- قانون كولوم
- الكولوم
- الشحنة الأساسية

المفاهيم الرئيسة

- عند شحن كشّاف كهربائي تؤدي القوة الكهربائية إلى انفراج ورقتيه.
- يمكن شحن جسم ما بالتوصيل بملامسته جسمًا آخر مشحونًا.
- يحث جسم مشحون شحناتِ موصلٍ متعادلٍ على الانفصال عند تقريبه إليه، وتحدث هذه العملية نتيجة قوة التجاذب بين الجسم المشحون والموصل المتعادل.
- لشحن جسم موصل بالحث يقرّب إليه جسم مشحون، فيؤدي ذلك إلى انفصال شحنات الجسم الموصل المراد شحنه؛ أي تتجمّع الشحنات الموجبة عند أحد الطرفين، والشحنات السالبة عند الطرف الآخر.
- التأريض عملية التخلص من الشحنات الفائضة عن طريق ملامسة الجسم للأرض. ويستخدم التأريض في عمليات شحن كشّاف كهربائي بالحث.
- ينص قانون كولوم على أن القوة بين جسيمين مشحونين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب مقداري شحنتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما. $F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$

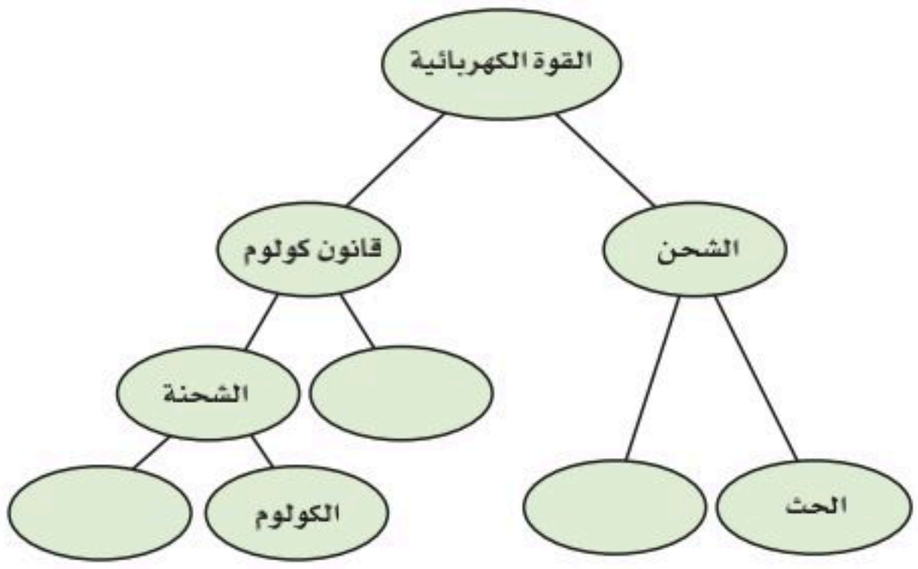
لتحديد اتجاه القوة تذكر القاعدة الآتية: الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.

- 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، وتساوي $1.6\times10^{-19}\,C$.

الفصل 2 التقويم

خريطة المفاهيم

21. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: التوصيل، المسافة، الشحنة الأساسية.



إتقان المفاهيم

22. إذا مشّطت شعرك في يوم جاف فسوف يُشحن المشط بشحنة موجبة. هل يمكن أن يبقى شعرك متعادلاً؟ وضّح إجابتك. (1- 2)

23. أعدّ قائمة ببعض المواد العازلة والمواد الموصلة. (1- 2)

24. ما الخاصية التي تجعل الفلز موصلًا جيدًا، والمطاط عازلًا جيدًا؟ (1- 2)

25. غسّالة الملابس عندما نخرج الجوارب من مجفّفة الملابس تكون أحيانًا ملتصقة بملابس أخرى. لماذا؟ (2- 2)

26. الأقراص المدمجة لماذا يجذب قرص مدمج الغبار إذا مسحته بقطعة قماش نظيفة؟ (2- 2)

27. عملات معدنية مجموع شحنة جميع إلكترونات عملة مصنوعة من النيكل تصل إلى $10^6 C$. هل يخبرنا هذا بشيء عن صافي الشحنة على هذه العملة؟ وضح إجابتك. (2- 2)

28. كيف تؤثر المسافة بين شحنتين في القوة المتبادلة بينهما؟ وإذا قلّت المسافة وبقي مقدار الشحنتين كما هو فماذا يحدث للقوة؟ (2- 2)

29. اشرح كيف يمكنك شحن موصل بشحنة سالبة إذا كان لديك قضيب موجب الشحنة فقط. (2- 2)

تطبيق المفاهيم

30. فيم تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون؟ وفيم تتشابهان؟

31. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كان جسم ما موصلاً أم لا، باستخدام قضيب مشحون وكشّاف كهربائي؟

32. قُرّب قضيب مشحون إلى مجموعة كرات بلاستيكية صغيرة جدًّا، فانجذبت بعض الكرات إلى القضيب، إلا أنها لحظة ملامستها للقضيب اندفعت مبتعدة عنه في اتجاهات مختلفة. فسّر ذلك.

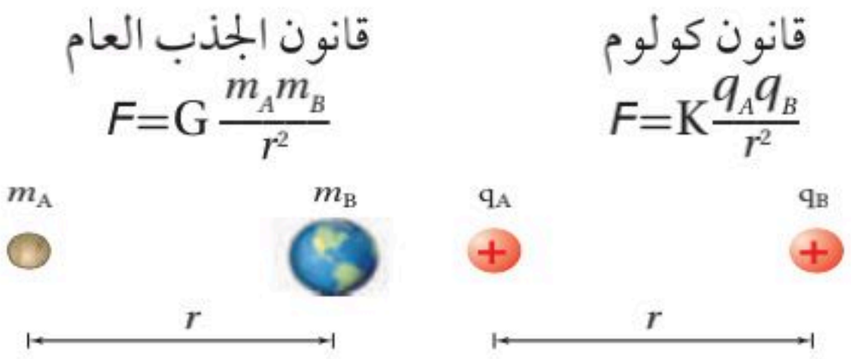
33. البرق يحدث البرق عادة عندما تنتقل الشحنات السالبة في الغيوم إلى الأرض. فإذا كان سطح الأرض متعادلاً فما الذي يوفر قوة الجذب المسؤولة عن سحب الإلكترونات نحو الأرض؟

34. وضّح ما يحدث لورقتي كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة عند تقريب قضيب مشحون بالشحنات الآتية إليه، مع مراعاة عدم لمس القضيب للكشّاف الكهربائي:

a. شحنة موجبة.

b. شحنة سالبة.

35. يبدو أن قانون كولوم وقانون نيوتن في الجذب العام متشابهان، كما هو موضح في **الشكل 15-2**. فيم تتشابه القوة الكهربائية وقوة الجاذبية؟ وفيم تختلفان؟



■ **الشكل 15-2** (الرسم ليس وفق مقياس رسم)

تقويم الفصل 2

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

37. وَصَف هذا الفصل طريقة كولوم لشحن كرتين A و B، بحيث تكون الشحنة على الكرة B نصف الشحنة على الكرة A تمامًا. اقترح طريقة تطبقها لتصبح شحنة الكرة B مساوية ثلث شحنة الكرة A.

38. قاس كولوم انحراف الكرة A عندما كان للكرتين A و B الشحنة نفسها، وتبعد إحداهما عن الأخرى مسافة مقدارها r. ثم جعل شحنة الكرة B تساوي ثلث شحنة الكرة A. كم يجب أن تكون المسافة الجديدة بين الكرتين بحيث تنحرف الكرة A بمقدار مساوٍ لانحرافها السابق؟

39. يؤثر جسمان مشحونان أحدهما في الآخر بقوة مقدارها 0.145 N عندما كانا على بُعد معيّن أحدهما من الآخر. فإذا قُرِّب أحدهما إلى الآخر بحيث أصبحت المسافة بينهما رُبع المسافة السابقة فما 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.

إتقان حل المسائل

2–2 القوة الكهربائية

41. 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 الآتية:

a. مضاعفة الشحنة q_A مرتين.

b. تقليل الشحنتين q_A و q_B إلى النصف.

c. مضاعفة r ثلاث أمثالها.

d. تقليل r إلى النصف.

e. مضاعفة q_A ثلاث أمثالها وr إلى المثلين.

42. **البرق** إذا نقلت صاعقة برق قوية شحنة مقدارها 25 C إلى الأرض فما عدد الإلكترونات المنقولة؟

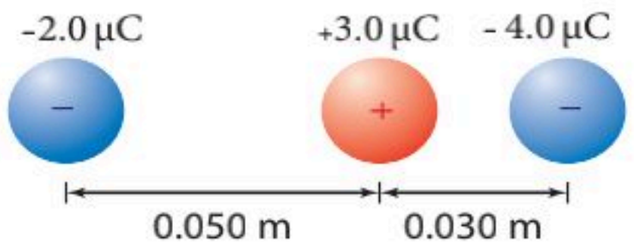
43. **الذرات** إذا كانت المسافة بين إلكترونين في ذرة 1.5×10^{-10} m فما مقدار القوة الكهربائية بينهما؟

44. شحنتان كهربائيتان مقدار كل منهما 2.5×10^{-5} C، والمسافة بينهما 15 cm. أوجد القوة التي تؤثر في كل منهما؟

45. إذا كانت القوة التي تؤثر في كل من الشحنتين 8.0×10^{-5} C و3.0×10^{-5} C تساوي 2.4×10^{2} N فاحسب مقدار المسافة بينهما.

46. إذا أثّرت شحنتان موجبتان متماثلتان كل منهما في الأخرى بقوة تنافر مقدارها 6.4×10^{-9} N، عندما كانت إحداهما تبعد عن الأخرى مسافة 3.8×10^{-10} m، فاحسب مقدار شحنة كل منهما.

47. تُسحب شحنة موجبة مقدارها 3.0 μC بشحنتين سالبتين، كما هو موضح في **الشكل 16–2**. فإذا كانت إحدى الشحنتين 2.0 μC – تبعد مسافة 0.050 m إلى الغرب، وتبعد الشحنة الأخرى 4.0 μC – مسافة 0.030 m إلى الشرق فما مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة الموجبة؟



الشكل 16–2

تقويم الفصل 2

48. يوضح **الشكل 17-2** كرتين مشحونتين بشحنتين موجبتين، شحنة إحداهما تساوي ثلاثة أمثال شحنة الأخرى، والمسافة بين مركزيهما 16 cm. إذا كانت القوة المتبادلة بينهما 0.28 N فما مقدار الشحنة على كل منهما؟

■ **الشكل 17-2**

49. **الشحنة على عملة نقدية** ما مقدار الشحنة المقيسة بالكولوم للإلكترونات الموجودة في قطعة نقدية مصنوعة من النيكل؟ استخدم الطريقة الآتية لتجد الإجابة:

a. أوجد عدد الذرات في قطعة النقد إذا كانت كتلة القطعة 5g، منها 75% نحاس، أما الـ 25% المتبقية فمن النيكل، لذا تكون كتلة كل مول من ذرات القطعة 62 g.

b. أوجد عدد الإلكترونات في قطعة النقد، علمًا أن متوسط عدد الإلكترونات لكل ذرة يساوي 28.75.

c. أوجد شحنة الإلكترونات بالكولوم.

مراجعة عامة

50. إذا لامَسَت كرة فلزية صغيرة شحنتها 1.2×10^{-5} C كرة مماثلة متعادلة، ثم وُضعت على بُعد 0.15 m منها فما القوة الكهربائية بين الكرتين؟

51. **الذرات** ما القوة الكهربائية بين إلكترون وبروتون يبعد أحدهما عن الآخر 5.3×10^{-11} m؟ (هذه المسافة تساوي نصف القطر التقريبي لذرة الهيدروجين).

52. 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؟

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

54. في التجربة المستخدم فيها جهاز كولوم، يبعد مركز كرة شحنتها 3.6×10^{-8} C مسافة 1.4 cm عن مركز كرة ثانية غير معلومة الشحنة. إذا كانت القوة بين الكرتين 2.7×10^{-2} N فما شحنة الكرة الثانية؟

55. إذا كانت القوة بين بروتون وإلكترون 3.5×10^{-10} N فما المسافة بين الجسيمين؟

التفكير الناقد

56. **تطبيق المفاهيم** احسب نسبة القوة الكهربائية إلى قوة الجاذبية بين الإلكترون والبروتون في ذرة الهيدروجين.

57. **حلّل واستنتج** وضعت الكرة A التي تحمل شحنة مقدارها +64 μC عند نقطة الأصل، ووضعت كرة ثانية B تحمل شحنة سالبة مقدارها 16 μC عند النقطة +1.00 m على محور x. أجب عن الأسئلة الآتية:

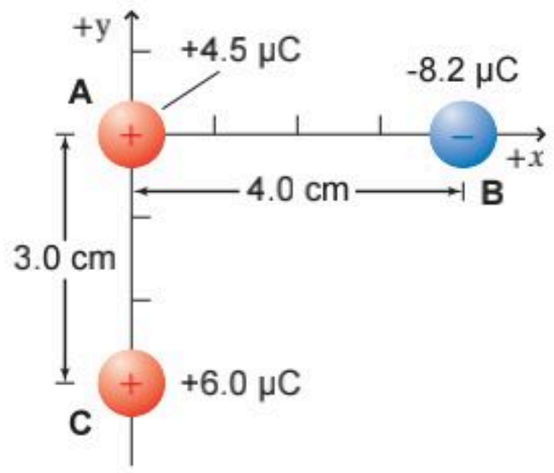
a. أين يجب وضع كرة ثالثة C شحنتها +12 μC بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفرًا؟

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

c. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة سالبة ومقدارها 12 μC، فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

تقويم الفصل 2

58. وضعت ثلاث كرات مشحونة، كما هو موضح في الشكل **18–2**. أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.



■ **الشكل 18–2**

59. يوضح **الشكل 19–2** كرتي 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. إذا اتزنت الكرة المعلّقة عندما شكّل الخيط العازل الذي يحملها زاوية مقدارها 30.0° مع الرأسي فاحسب كلًّا مما يأتي:

a. F_g المؤثرة في الكرة المعلّقة.

b. F_E المؤثرة في الكرة المعلّقة.

c. الشحنة على كل من الكرتين.

■ **الشكل 19–2**

60. وضعت شحنتان نقطيتان ساكنتان q_A و q_B بالقرب من شحنة اختبار موجبة، q_T، مقدارها $+7.2\ \mu C$.

إذا كانت الشحنة الأولى q_A موجبة وتساوي $3.6\ \mu C$ وتقع على بُعد $2.5\ cm$ من شحنة الاختبار q_T عند زاوية $35°$، والشحنة الثانية q_B سالبة ومقدارها $-6.6\ \mu C$ وتقع على بُعد $6.8\ cm$ من شحنة الاختبار عند زاوية $125°$:

a. فحدّد مقدار كل قوة من القوتين اللتين تؤثران في شحنة الاختبار q_T.

b. ارسم مخطّط القوة.

c. حدّد بالرسم القوة المحصلة المؤثرة في شحنة الاختبار q_T.

الكتابة في الفيزياء

61. **تاريخ العلم** ابحث في الأجهزة المختلفة التي كانت تستخدم في القرنين السابع عشر والثامن عشر في دراسة الكهرباء الساكنة. قد تتطرق مثلاً إلى قارورة ليدن وآلة ويمشورست. ناقش كيف تم بناؤهما، ومبدأ عمل كل منهما.

62. هناك قوى بين جزيئات الماء تؤدي إلى أن يكون الماء أكبر كثافة عندما يكون سائلًا بين 0 °C و4 °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.

مراجعة تراكمية

63. إذا أثّرت شحنتان $2.0\times10^{-5}\ C$ و $8.0\times10^{-6}\ C$ إحداهما في الأخرى بقوة مقدارها $9.0\ N$ فاحسب مقدار البعد بينهما. (الفصل 2)

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ما عدد الإلكترونات المنتقلة من كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة إذا كان صافي شحنته 7.5×10^{-11} C؟

(A) 7.5×10^{-11} إلكترون

(B) 2.1×10^{-9} إلكترون

(C) 1.2×10^{8} إلكترون

(D) 4.7×10^{8} إلكترون

2. إذا كانت القوة المؤثرة في جسيم شحنته 5.0×10^{-9} C نتيجة تأثير جسيم آخر يبعد عنه 4 cm تساوي 8.4×10^{-5} N فما شحنة الجسيم الثاني؟

(A) 4.2×10^{-13} C

(B) 2.0×10^{-9} C

(C) 3.0×10^{-9} C

(D) 6.0×10^{-5} C

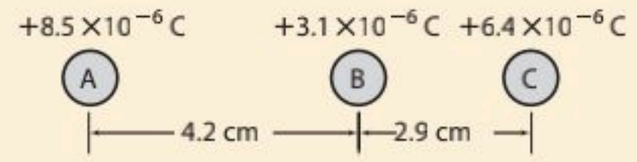
3. إذا وُضِعت ثلاث شحنات A وB وC، على خط واحد، كما هو موضح أدناه، فما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة B؟

(A) 78 N في اتجاه A

(B) 78 N في اتجاه C

(C) 130 N في اتجاه A

(D) 210 N في اتجاه C



4. ما شحنة كشّاف كهربائي إذا كان عدد الإلكترونات الفائضة عليه 4.8×10^{10} إلكترون؟

(A) 3.3×10^{-30} C

(B) 4.8×10^{-10} C

(C) 7.7×10^{-9} C

(D) 4.8×10^{10} C

5. القوة الكهربائية المتبادلة بين جسمين مشحونين تساوي 86 N. إذا حُرّك الجسمان بحيث أصبحا على بُعد يساوي ستة أمثال البعد الذي كانا عليه سابقًا فما القوة الجديدة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر؟

(A) 2.4 N

(B) 14 N

(C) 86 N

(D) 5.2×10^{2} N

6. جسمان مشحونان بالمقدار نفسه من الشحنة، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها 90 N، فإذا استبدلنا بأحدهما جسمًا آخر له الحجم نفسه إلا أن شحنته أكبر من الجسم السابق ثلاث مرات فما القوة الجديدة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر؟

(A) 10 N

(B) 30 N

(C) 2.7×10^{2} N

(D) 8.1×10^{2} N

7. إذا كانت كتلة جسيم ألفا 6.68×10^{-27} kg وشحنته 3.2×10^{-19} C فما النسبة بين القوة الكهروسكونية وقوة الجاذبية بين جسيمين من جسيمات ألفا؟

(A) 1

(B) 4.8×10^{7}

(C) 2.3×10^{15}

(D) 3.1×10^{35}

8. تسمى عملية شحن جسم متعادل عن طريق ملامسته بجسم مشحون ..... .

(A) التوصيل

(B) الحث

(C) التأريض

(D) التفريغ

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

9. دلك أحمد بالونًا بقطعة صوف، فشُحِن البالون بشحنة سالبة ومقدارها 8.9×10^{-14} C. ما القوة المتبادلة بين البالون وكرة فلزية مشحونة بـ 25 C وتبعد 2 km عنه؟

(A) 8.9×10^{-15} N

(B) 5.0×10^{-9} N

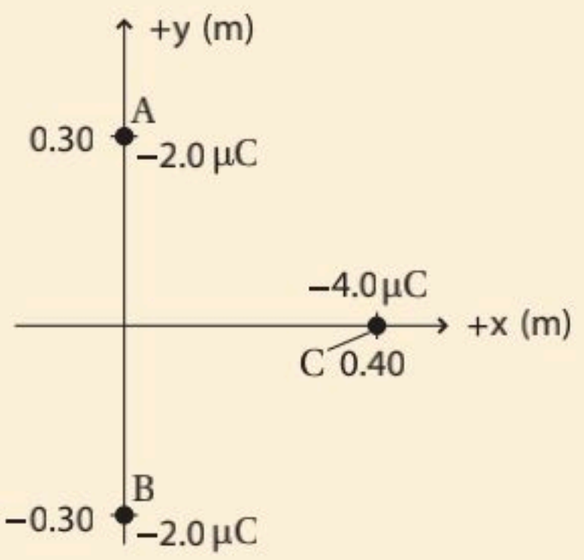
(C) 2.2×10^{-12} N

(D) 5.6×10^{4} N

الأسئلة الممتدة

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

$F_{C\text{ في }A}$ و $F_{C\text{ في }B}$ و $F_{\text{المحصلة}}$



✓ إرشاد

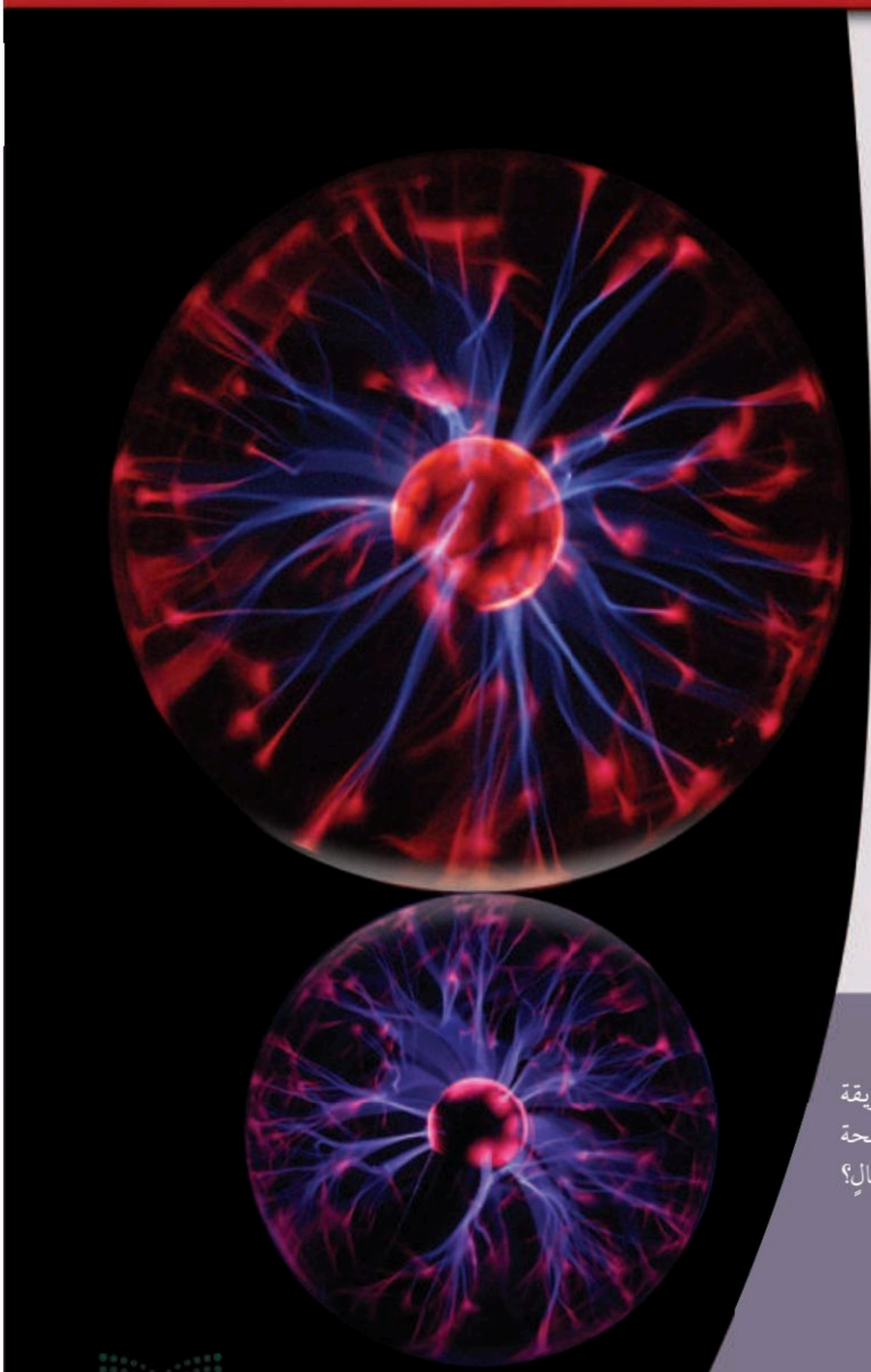
أجب بتأنٍ

تأكد من أنك أجبت عن السؤال الذي تطرحه المسألة. اقرأ الأسئلة والخيارات برويّة وتأنٍّ. وتذكّر أن حل معظم المسائل بصورة صحيحة أفضل من أن تحلها جميعها ويكون معظمها غير صحيح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الفصل 3

المجالات الكهربائية
Electric Fields



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- ربط المجالات الكهربائية مع القوى الكهربائية، والتمييز بينهما.
- ربط فرق الجهد الكهربائي مع الطاقة والشغل.
- وصف كيفية توزيع الشحنات على الموصلات.
- توضيح كيف تخزّن المكثّفات الشحنات الكهربائية.

الأهمية

تعدّ الكهرباء الشكل الرئيس للطاقة بالنسبة للمجتمعات الحديثة.

تفريغ الطاقة الكبيرة يُحدث مولّد جهد عالٍ التوهّجَ الذي تشاهده داخل كرات التفريغ المجاورة.

فكّر ◄

لماذا لا يتوهّج مصباح كهربائي عادي بالطريقة نفسها التي تتوهّج بها كرات التفريغ الموضّحة في الصورة المجاورة عند وصلها بمولّد جهد عالٍ؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف تتفاعل الأجسام المشحونة عن بُعد؟

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

الخطوات

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

التحليل

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

التفكير الناقد اذكر جسمين آخرين (غير البالونين) أثّر أحدهما في الآخر عن بُعد بالطريقة نفسها التي أثر بها كل من البالونين على الآخر.

3–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

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؟ لاحظ مايكل فاراداي أنّ الجسم المشحون كهربائيا وليكن A يؤثر بقوة في جسم آخر مشحون كهربائيا وليكن B عندما يكون موضوعًا في أي مكان في الفراغ أو الوسط، واقترح تفسيرًا لذلك أن الجسم A يجب أن يغيّر بطريقةٍ ما من خصائص ذلك الوسط. وسيشعر الجسم B بذلك التغير في الفراغ أو الوسط، وسيتأثر بقوة ناجمة عن التغير في خصائص الوسط في موقعه. وأطلق على تغير خاصية الوسط اسم **المجال الكهربائي**. والمجال الكهربائي لا يعني التفاعل بين جسمين عن بُعد، بل يعني التفاعل بين الجسم الموضوع في المجال والمجال الكهربائي عند ذلك الموضع فيه.

ويمكن للقوى التي تؤثر بها المجالات الكهربائية أن تبذل شغلًا، فتنتقل الطاقة من المجال إلى جسم آخر مشحون. وأنت تستخدم هذه الطاقة يوميًّا؛ سواء وصلت جهازًا كهربائيًّا بمقبس، أو استعملت جهازًا كهربائيًّا متنقلًا يعمل ببطارية.

الأهداف

- **تُعرّف** المجال الكهربائي.
- **تحل** مسائل متعلقة بالشحنة والمجالات والقوى الكهربائية.
- **ترسم** خطوط المجال الكهربائي.

المفردات

المجال الكهربائي

شحنة الاختبار

خط المجال الكهربائي

المجال الكهربائي The Electric Field

دلالة الألوان

- خطـوط المجـال الكهربائـي باللون النيلي.
- الشحنة الموجبة باللون الأحمر.
- الشحنة السالبة باللون الأزرق.

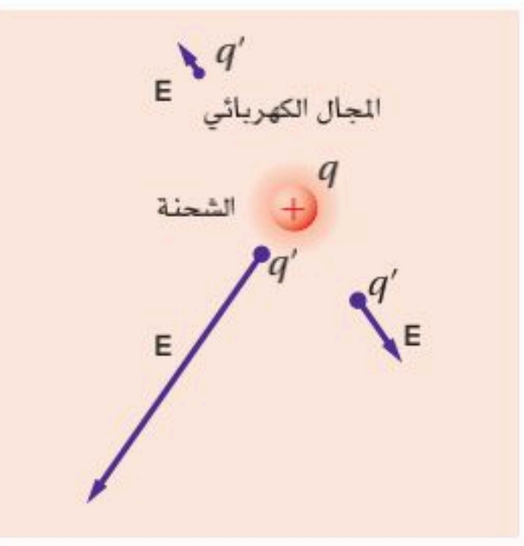
كيف يمكن قياس شـدة المجال الكهربائي؟ ضع جسـيمًا صغيرًا مشحونًا في موقع معين. إذا كان هناك أي قوة كهربائية تؤثر فيه فسـوف يكون هناك مجال كهربائي في ذلك الموقع. (هذه الشحنة الموجودة على الجسيم الصغير والتي استعملت لاختبار المجال تسمى **شحنة الاختبـار**). ويجب أن تكون هذه الشـحنة موجبة وصغيرة بحيث لا تؤثر في الشـحنات الأخرى.

لاحظ **الشكل 1–3** الذي يوضّح جسمًا مشحونًا بشحنة مقدارها q. وافترض أنك وضعت شحنة الاختبار الموجبة في نقطة معينة، ولتكن النقطة A مثلًا، ثم حسبت القوة $\boldsymbol{F}$. ستتناسب هذه القوة طرديًّا مع مقدار شحنة الاختبار q'، وذلك وفق قانون كولوم؛ أي أنه إذا تضاعفت الشحنة سـتتضاعف القوة كذلك، لذا تبقى النسبة بين القوة والشحنة ثابتة. وإذا قسمت القوة $\boldsymbol{F}$ على شحنة الاختبار q' فستحصل على كمية متجهة $\boldsymbol{F}/q'$. وهذه الكمية لا تعتمد على شـحنة الاختبار، وإنما تعتمد فقط على كل من القوة $\boldsymbol{F}$ والمسافة بين الشحنة وشحنة الاختبار A. ويعبّر عن شـدة المجال الكهربائي عند النقطة A؛ أي النقطة التي تمثل موقع شحنة الاختبار بالمعادلة الآتية:

شدة المجال الكهربائي

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

شـدة المجال الكهربائي تسـاوي مقدار القوة المؤثرة في شـحنة اختبار موجبة مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.



الشكل 1–3 تُستخدم الأسهم لتمثيل مقدار المجال الكهربائي المتولّد حول شحنة كهربائية عند مواقع مختلفة، واتجاهه.

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

يمكن تكوين صورة لشدة المجال الكهربائي باسـتعمال الأسهم لتمثيل متجهات المجال عند مواقع مختلفة، كما هو موضح في **الشكل 1–3**؛ حيث يستخدم طول السهم لبيان شدة المجال، أما اتجاه السـهم فيمثل اتجاه المجال. ولإيجاد شـدة المجال الكهربائي الناشئ عن شـحنتين عند نقطةٍ يتم إيجاد شدة المجال الكهربائي الناشئ عن كل شحنة على انفراد عند تلك النقطة، ثم يُجمع هذان المجالان جمعًا اتجاهيا. وتسـتخدم شحنة اختبار لرسم المجال الناشـئ عن أي تجمّع للشـحنات. ويوضح **الجدول 1–3** قيم شدة المجالات الكهربائية المثالية الناتجة عن تجمعات معينة للشحنات.

يجب قياس شدة المجال الكهربائي باستخدام شحنة اختبار صغيرة جدًّا فقط؛ وذلك لأن شـحنة الاختبار تؤثر أيضًا بقوة في الشـحنة q. ومن المهم ألّا تـؤدي القوة التي تؤثر بها شحنة الاختبار إلى إعادة توزيع شحنات الموصل، مما يسبّب تحرك الشحنة q إلى موقع آخر عليه، فيؤدي ذلك إلى تغيّر القوة المؤثرة في q'، ومن ثَم تغيّر شـدة المجال الكهربائي الذي يتم قياسه. لذا يجب أن تكون شحنة الاختبار صغيرة جدًّا، بحيث يمكن إهمال تأثيرها في الشحنة q.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

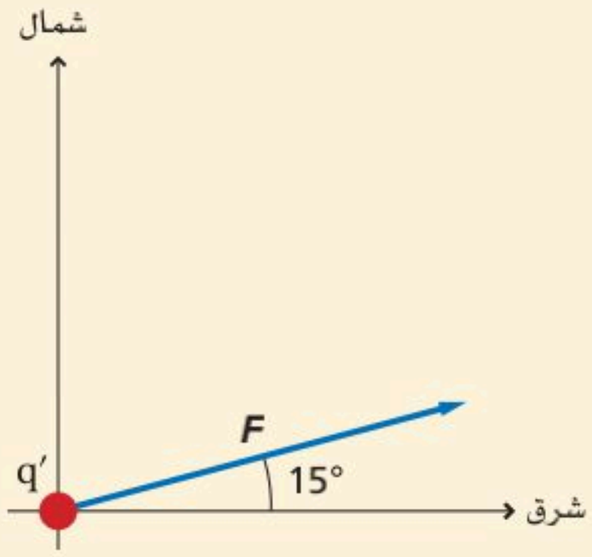
الجدول 1-3	
القيم التقريبية لمجالات كهربائية مثالية	
المجال	**المقدار (N/C)**
بالقرب من قضيب مطاط صلب ومشحون	1×10^{3}
في أنبوب الأشعة المهبطية في التلفاز	1×10^{5}
الضروري لإحداث شرارة كهربائية في الهواء	3×10^{6}
عند مدار إلكترون ذرة الهيدروجين	3×10^{11}

مثـــــال 1

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

$q' = +3.0\times10^{-6}\ C$

بزاوية $15°$ شمال الشرق، $F = 0.12\ N$

المجهول

$E = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

بالتعويض عن $F = 0.12\ N$، $q' = 3.0\times10^{-6}\ C$

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

$$= \frac{0.12\ N}{3.0\times10^{-6}\ C}$$

$$= 4.0\times10^{4}\ N/C$$

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

$E = 4.0\times10^{4}\ N/C$، ويميل بزاوية $15°$ شمال الشرق

3 تقويم الجواب

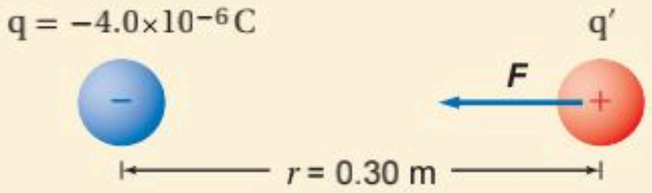
- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة قياس شدة المجال الكهربائي N/C.
- **هل للاتجاه معنى؟** اتجاه المجال في اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة نفسه؛ لأن شحنة الاختبار موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة المجال تتفق مع القيم الموجودة في **الجدول 1-3**.

مثـــال 2

شدة المجال الكهربائي ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 0.30 m تقع عن يمين كرة صغيرة مشحونة بشحنة مقدارها $-4.0\times10^{-6}\ C$؟

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
$q = -4.0\times10^{-6}\ C$	$E = ?$
$r = 0.30\ m$	

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 $q = -4.0\times10^{-6}\ C$ ، $d = 0.30\ m$ ، $K = 9.0\times10^{9}\ N.m^2/C^2$

$$= (9.0\times10^{9}\ N.m^2/C^2)\frac{(-4.0\times10^{-6}\ C)}{(0.30\ m)^2}$$

$$= -4.0\times10^{5}\ N/C$$

$E = 4.0\times10^{5}\ N/C$ في اتجاه الكرة أو في اتجاه اليسار

3 تقويم الجواب

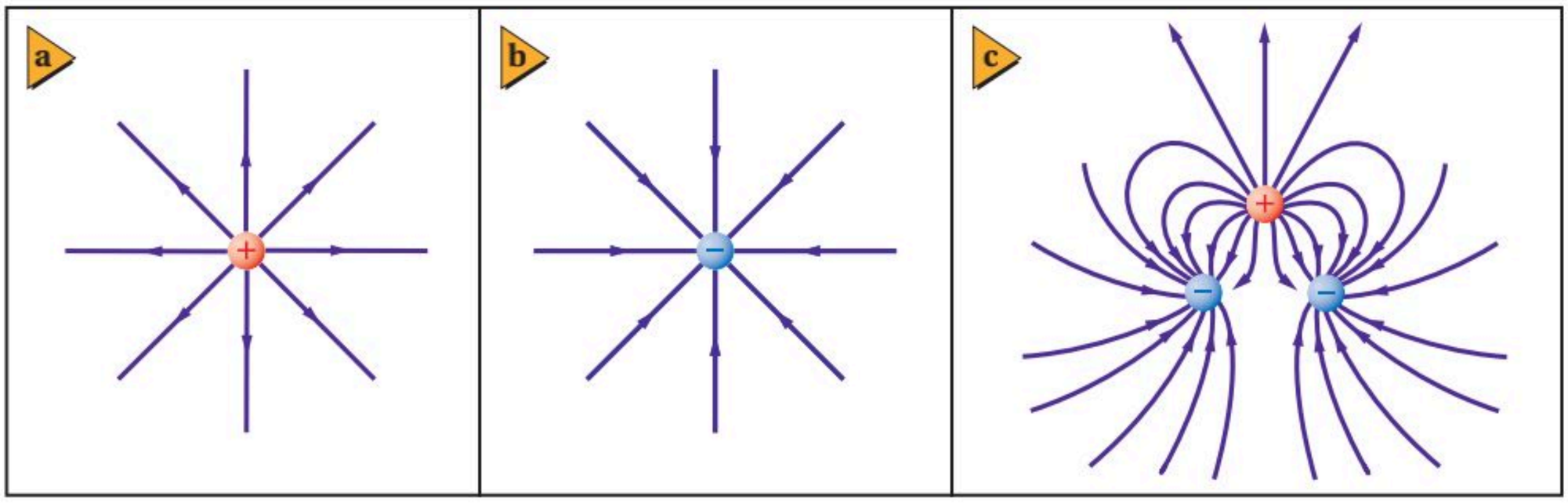
- **هل الوحدات صحيحة؟** $N/C = (N.m^2/C^2)(C)/m^2$. تكون الوحدات الناتجة N/C وهي صحيحة لشدة المجال الكهربائي.
- **هل للاتجاهات معنى؟** تشير الإشارة السالبة إلى أن شحنة الاختبار الموجبة تنجذب إلى الشحنة النقطية السالبة.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة المجال متفقة مع القيم الموجودة في **الجدول 1-3**.

مسائل تدريبية

1. يؤثر مجال كهربائي بقوة مقدارها $2.0\times10^{-4}\ N$ في شحنة اختبار موجبة مقدارها $5.0\times10^{-6}\ C$. ما شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟
2. وُضِعت شحنة سالبة مقدارها $2.0\times10^{-8}\ C$ في مجال كهربائي، فتأثرت بقوة مقدارها 0.060 N في اتجاه اليمين. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند موقع الشحنة؟
3. وُضِعت شحنة موجبة مقدارها $3.0\times10^{-7}\ C$ في مجال كهربائي شدته 27 N/C يتجه إلى الجنوب. ما مقدار القوة المؤثرة في الشحنة؟

4. وُضِعت كرة بيلسان وزنها $2.1\times10^{-3}\ N$ في مجال كهربائي شدته $6.5\times10^{4}\ N/C$، يتجه رأسيًّا إلى أسفل. ما مقدار الشحنة التي يجب أن توضع على الكرة ونوعها، بحيث توازِن القوة الكهربائية المؤثرة فيها قوة الجاذبية الأرضية، وتبقى الكرة معلّقة في المجال؟
5. 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.
6. ما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.2 m عن شحنة نقطية مقدارها $+4.2\times10^{-6}\ C$؟
7. ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تقع على بُعد يساوي ضعف البعد عن الشحنة النقطية الواردة في المسألة السابقة؟
8. ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.6 m إلى الشرق من شحنة نقطية مقدارها $+7.2\times10^{-6}\ C$ ؟
9. إذا كانت شدة المجال الكهربائي الناشئ على بُعد 0.25 m من كرة صغيرة مشحونة يساوي 450 N /C ويتجه نحو الكرة فما مقدار ونوع شحنة الكرة؟
10. على أي بُعد من شحنة نقطية مقدارها $+4.2\times10^{-6}\ C$ يجب وضع شحنة اختبار للحصول على مجال كهربائي شدته 360 N /C؟

حسبت حتى الآن المجال الكهربائي عند نقطة مفردة. تخيّل أنك حرّكت شحنة الاختبار إلى موقع آخر. احسب مرة أخرى القوة المؤثرة فيها، ثم احسب المجال الكهربائي. كرّر هذه العملية عدة مرات إلى أن تقيس الكمية المتجهة لشدة المجال الكهربائي وتعيّنه في كل موقع من الوسط أو الفراغ المحيط بالشحنة. سيكون المجال الكهربائي موجودًا عند أي نقطة حتى لو لم يكن عندها شحنة اختبار. وستتأثر أي شحنة توضع في مجال كهربائي بقوة ناتجة عن المجال الكهربائي في ذلك الموقع، حيث يعتمد مقدار هذه القوة على مقدار كلٍّ من المجال الكهربائي $\boldsymbol{E}$ والشحنة q الموضوعة في تلك النقطة؛ أي أن $\boldsymbol{F = Eq}$. ويعتمد اتجاه هذه القوة على اتجاه المجال وعلى نوع الشحنة المتأثِّرة q.



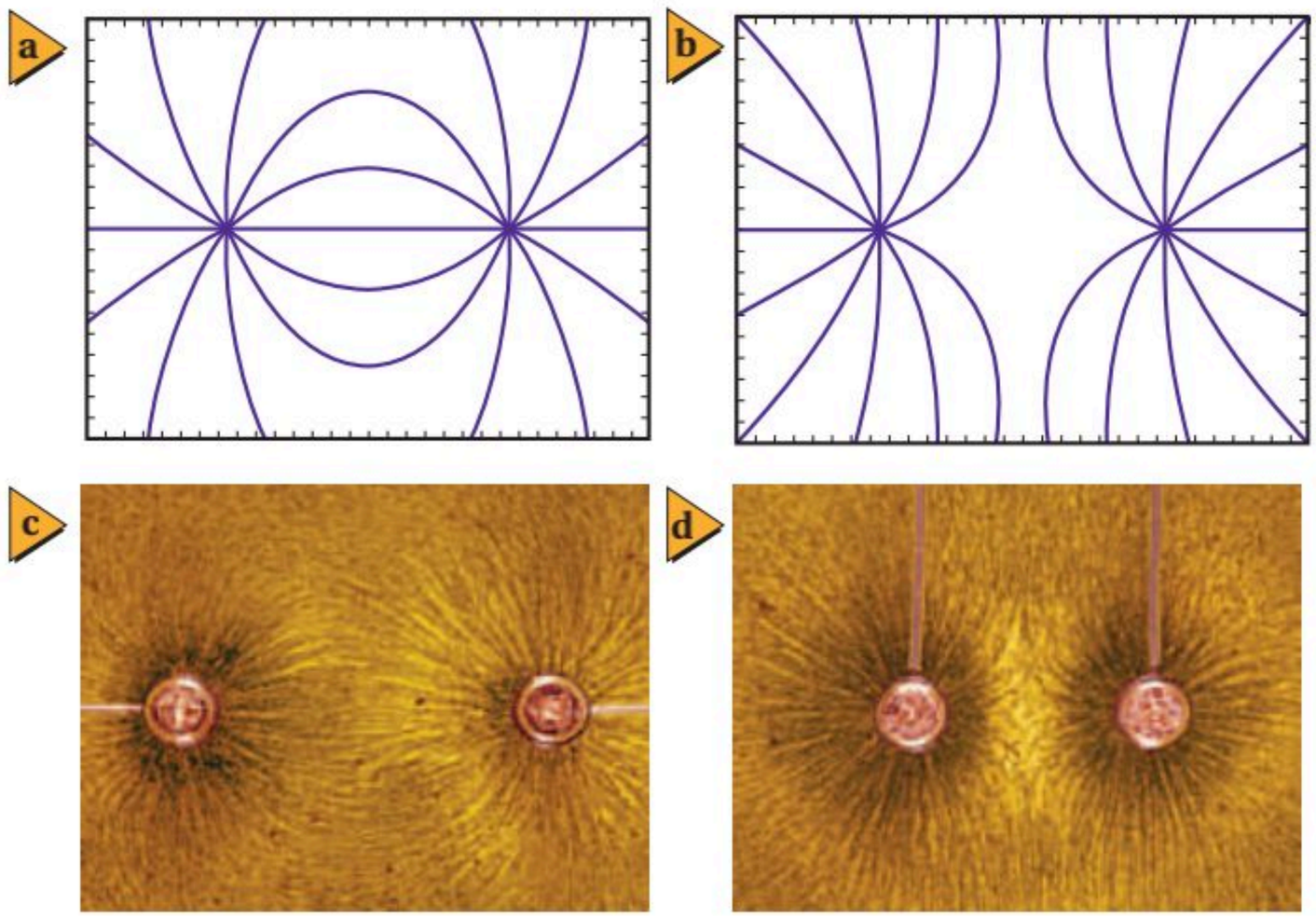
■ **الشكل 2–3** رُسمت خطوط القوى بصورة متعامدة خارجة من جسم شحنته موجبة (**a**)، ورُسمت بصورة متعامدة داخلة إلى جسم شحنته سالبة (**b**). ورُسمت خطوط المجال الكهربائي بين جسمين سالبي الشحنة وآخر شحنته موجبة (**c**).

Picturing the Electric Field تمثيل المجال الكهربائي

يُظهر الرسم في **الشكل 2–3** شكل خطوط المجال الكهربائي. وكل خط من هذه الخطوط المستخدمة لتمثيل المجال الكهربائي الفعلي في الفراغ أو الوسط المحيط بالشحنة يسمى **خط المجال الكهربائي**. 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 أقوى، وكلما كانت الخطوط متباعدة كان المجال الكهربائي أضعف. وقد مُثّلت خطوط المجال هنا في بُعدين، إلا أنها – في الحقيقة – تنتشر في ثلاثة أبعاد.

يكون اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة موجبة في اتجاه الخط المبتعد عن الشحنة الموجبة؛ أي في اتجاه الخط الخارج منها. لذا تنتشر خطوط المجال شعاعيًّا إلى الخارج كما هو موضّح في **الشكل 2a–3** مثل أسلاك عجلات الدراجة الهوائية. أما اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة سالبة فهو في اتجاه الخط المقترب من الشحنة السالبة؛ أي في اتجاه الخط الداخل إليها، كما هو موضح في **الشكل 2b–3**. وفي حالة وجود شحنتين أو أكثر يكون المجال الناتج عبارة عن الجمع الاتجاهي للمجالات الناتجة عن هذه الشحنات، وعندها تصبح خطوط المجال منحنية وأنماطها أكثر تعقيدًا، كما هو موضح في **الشكل 2c–3**. لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي تخرج دائمًا من الشحنة الموجبة وتدخل إلى الشحنة السالبة، ولا يمكن أن تتقاطع مطلقًا.

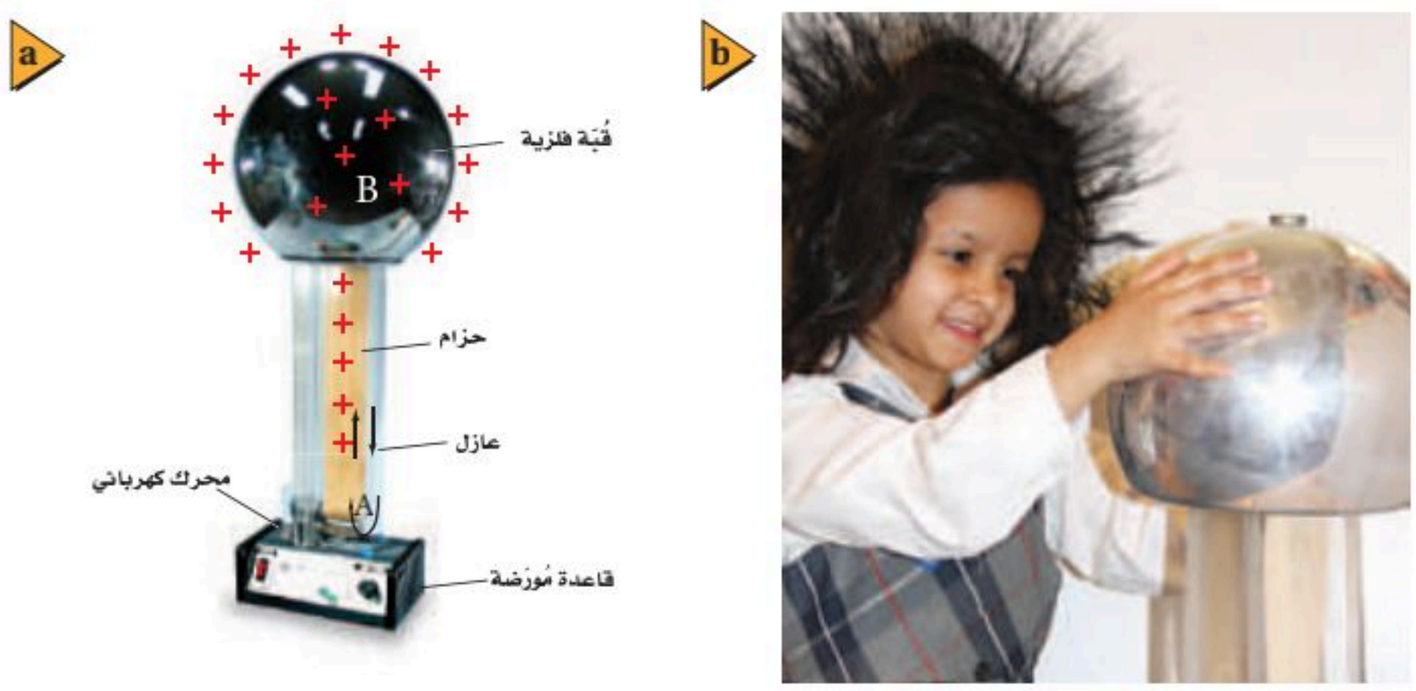
هناك طريقة أخرى لتمثيل خطوط المجال الكهربائي تتلخص في استخدام بذور أعشاب في سائل عازل، مثل الزيت المعدني. حيث تؤدي القوى الكهربائية إلى فصل الشحنة التي على كل بذرة أعشاب طويلة ورفيعة، مما يسبب دوران البذور بحيث تصطف في اتجاه المجال الكهربائي، ومن ثم تشكل نمطًا لخطوط المجال الكهربائي، كما هو موضح في **الشكل 3–3**. وخطوط المجال الكهربائي خطوط وهميّة لا وجود لها في الواقع، وهي وسيلة لتقديم نموذج للمجال الكهربائي. أما المجالات الكهربائية فهي موجودة،



الشكل 3–3 تصف خطوط القوة بين الشحنات المختلفة (**a** و**c**)، وبين الشحنات المتشابهة (**b** و**d**) سلوك جسم مشحون بشحنة موجبة في مجال كهربائي. والصورتان في الأعلى (**b** و **a**) رسم تصويري لخطوط المجال الكهربائي للصورتين السفليين تم تنفيذه بالحاسوب.

وعلى الرغم من أنها توفّر طريقة لحساب القوة المؤثرة في جسم مشحون إلا أنها لا توضح لماذا تؤثر الأجسام المشحونة بعضها في بعض بقوًى.

ابتكر روبرت فان دي جراف في ثلاثينيات القرن العشرين مولّد الكهرباء الساكنة ذا الفولتية الكبيرة الموضح في **الشكل 3–4a**. 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. ويُشحن 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 3–4b**.



الشكل 3–4 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 قبّة مولّد فان دي جراف تكون النتائج مثيرة (**b**).

3–1 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 تحدِّد اتجاه المجال؟

12. **شدة المجال واتجاهه** تؤثر قوة كهربائية مقدارها $1.50\times10^{-3}\ N$ في اتجاه الشرق في شحنة اختبار موجبة مقدارها $2.40\times10^{-8}\ C$، أوجد المجال الكهربائي في موقع شحنة الاختبار.

13. **خطوط المجال الكهربائي** في **الشكل 3–3**، 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 3–2c** 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–2 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

إن مفهوم الطاقة مفيد جدًّا في الميكانيكا، كما تعلمت من قبل. ويُمكِّننا قانون حفظ الطاقة من حل مسائل الحركة بغير حاجة 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. ولأن موضوعات هذا الفصل تستقصي الشحنات الساكنة لذا سيتم مناقشة التغير في طاقة الوضع فقط.

الأهداف

- **تُعرّف** فرق الجهد الكهربائي.
- **تحسب** فرق الجهد من خلال الشغل اللازم لتحريك شحنة.
- **تصف** كيفية توزيع الشحنات على الموصلات المصمتة والجوفاء.
- **تحل** بعض المسائل على السعة الكهربائية.

المفردات

فرق الجهد الكهربائي

الفولت

سطح تساوي الجهد

المكثف الكهربائي

السعة الكهربائية

الطاقة والجهد الكهربائيان Energy and Electric Potential

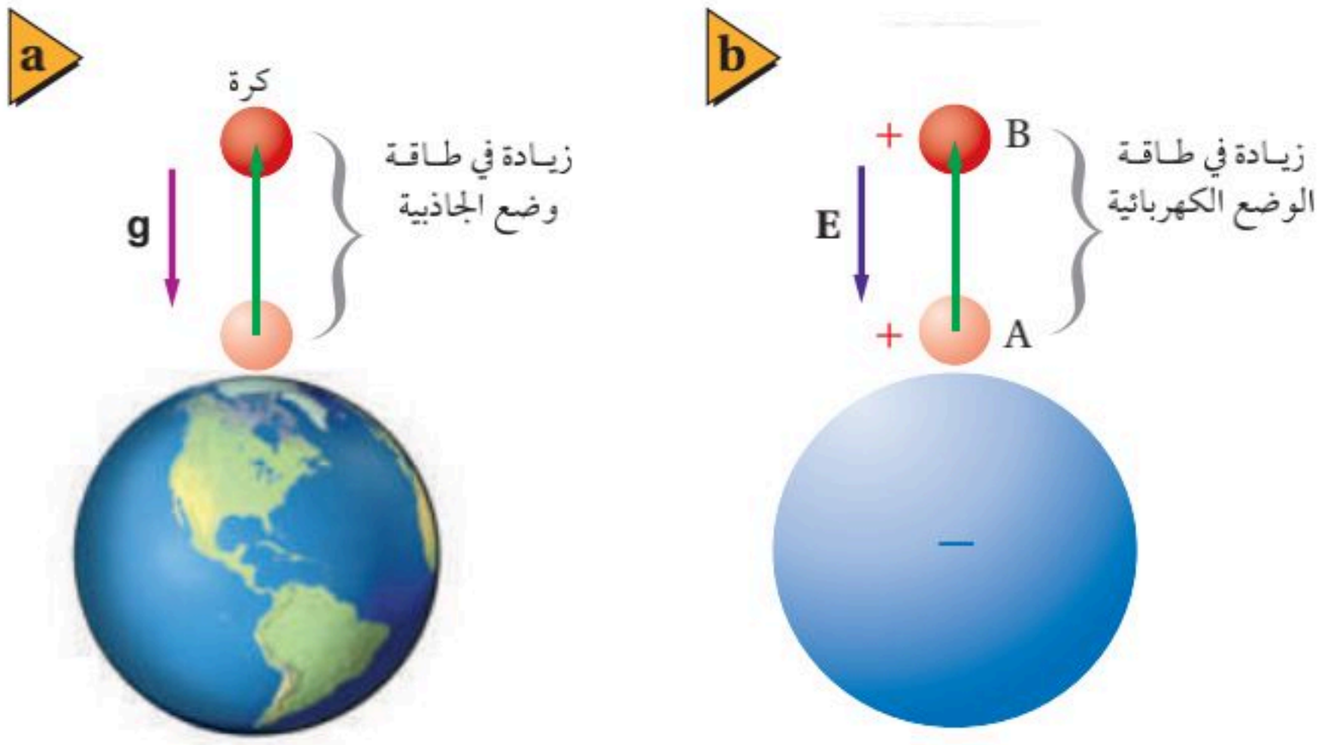
تذكّر التغير في طاقة وضع الجاذبية لكرة عند رفعها، كما هو موضّح في **الشكل 5–3**. إن كلًّا من قوة الجاذبية F ومجال الجاذبية $g = \frac{F}{m}$ يتجه نحو الأرض. فإذا رفعت كرة في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية فإنك تبذل شغلًا عليها، مما يؤدي إلى زيادة طاقة وضعها.

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

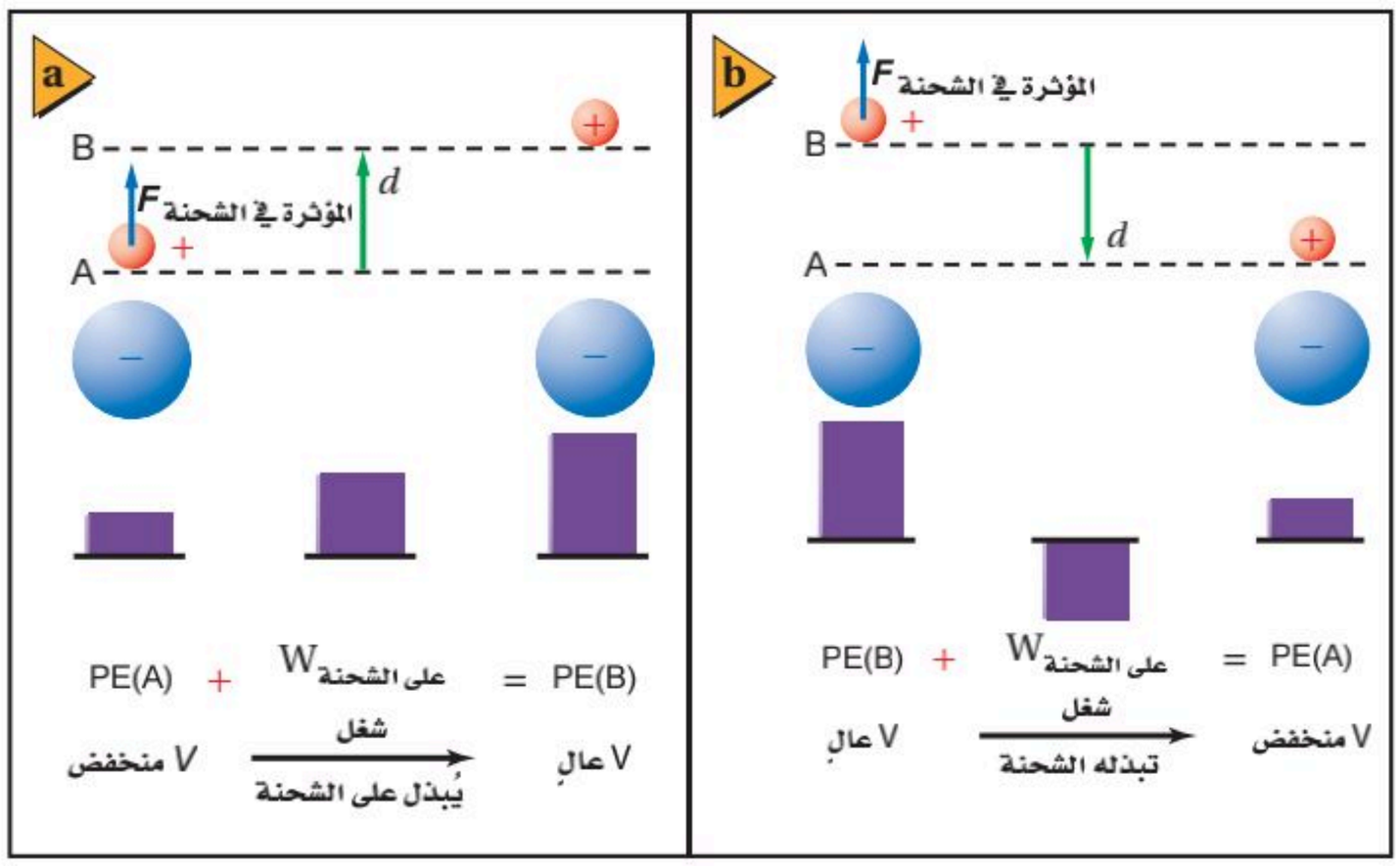
على الرغم من اعتماد القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار q' على مقدارها، إلا أن المجال الكهربائي في موقعها لا يعتمد عليه؛ حيث إن المجال الكهربائي $E = \frac{F}{q'}$ هو القوة لكل وحدة شحنة. وبطريقة مشابهة يُعرّف **فرق الجهد الكهربائي** ΔV بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بين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

فرق الجهد الكهربائي $\Delta V = -\frac{W_{q'}}{q'}$

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



الشكل 5–3 هناك حاجة إلى بذل شغل لتحريك جسم في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية الأرضية (a)، وفي اتجاه معاكس لاتجاه القوة الكهربائية (b). وفي كلتا الحالتين ستزداد طاقة وضع الجسم.



الشكل 6–3 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**).

ويقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة جول لكل كولوم، ويسمّى الجول الواحد لكل كولوم **الفولت**، ويعبَّر عنه بالرموز $V = J/C$.

ادرس الحالة الموضّحة في **الشكل 6-3**، حيث تُولّد الشحنة السالبة مجالًا كهربائيًّا متجهًا نحوها. افترض أنك وضعت شحنة اختبار صغيرة موجبة عند النقطة A، ستتأثر عندها الشحنة بقوة في اتجاه المجال. وإذا حرّكت الآن شحنة الاختبار الموجبة بعيدًا عن الشحنة السالبة إلى النقطة B، كما هو موضّح في **الشكل 6a–3**، فعليك التأثير فيها بقوة ***F***. ولأن اتجاه القوة التي أثرت بها في شحنة الاختبار في اتجاه الإزاحة نفسه لذا يكون 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.

افترض أنك حرّكت شحنة الاختبار مرة أخرى من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضّح في **الشكل 6b–3**، فسيكون 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. ولا يعتمد فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين على المسار الذي يُسلك للحركة من نقطة إلى أخرى، بل يعتمد على موقع النقطتين.

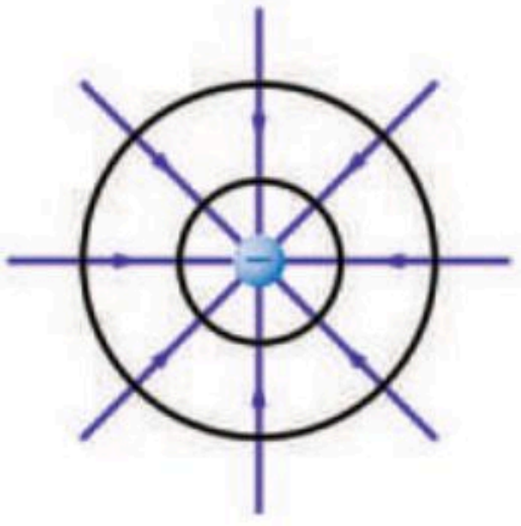
هل هناك دائمًا فرق جهد كهربائي بين نقطتين؟ افترض أنك حرّكت شحنة الاختبار في مسار دائري حول الشحنة السالبة. ويُحدث المجال الكهربائي قوة يؤثر بها في شحنة الاختبار ويكون المجال دائمًا عموديًّا على اتجاه حركة القوة، ولذلك لا تبذل شغلاً في تحريك الشحنة، لذا فإن فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على المسار الدائري يساوي

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 متصلًا بسلك، وأن يتصل الطرف الآخر للسلك بقطعة فلزية مؤرَّضة؛ حيث يعمل السوار الفلزي على تفريغ الشحنات الزائدة على الفني في الأرض، ويزيل أي فرق جهد كهربائي قد يتكون مع المعدات المؤرَّضة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

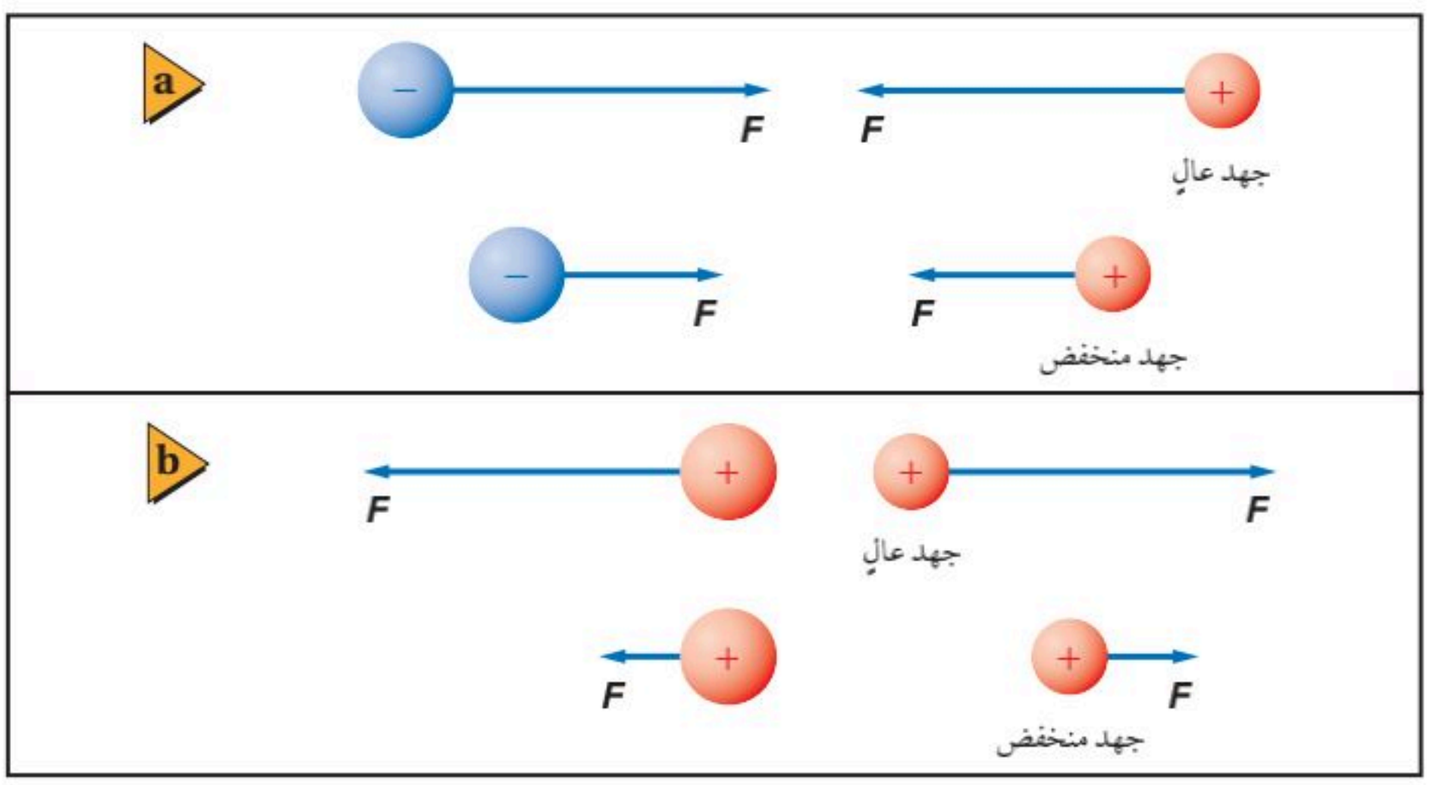
صفرًا. وعندما يكون فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين أو أكثر يساوي صفرًا نسمي هذه النقاط **سطح تساوي الجهد**، كما هو موضح في **الشكل 7-3**.



الشكل 7-3 فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على أي مسار دائري حول شحنة يساوي صفر.

يمكن قياس التغيرات في طاقة الوضع الكهربائية فقط. وينطبق الشيء نفسه على الجهد الكهربائي، لذا تكون التغيرات في الجهد الكهربائي هي المهمة فقط. ويعرّف فرق الجهد الكهربائي عند الحركة من النقطة A إلى النقطة B على أنه $\Delta V = V_B - V_A$، ويقاس بجهاز الفولتمتر. ويُسمّى فرق الجهد الكهربائي أحيانًا الجهد الكهربائي أو الفولتية؛ وذلك على سبيل التبسيط. ويجب التفريق بين فرق الجهد الكهربائي ΔV ووحدة قياسه فولت V.

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 8-3**.

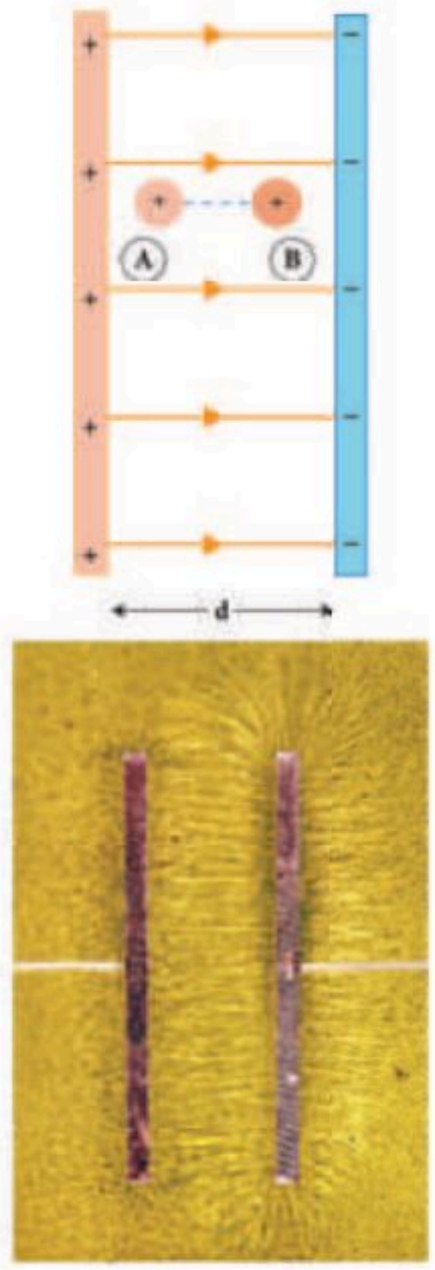


الشكل 8-3 في أثناء تقريب شحنة اختبار إلى شحنة مخالفة لها في النوع يقل الجهد عند مواقع شحنة الاختبار (**a**)، في حين يزداد الجهد عند مواقع شحنة الاختبار في أثناء تقريبها إلى شحنة مماثلة لها في النوع (**b**).

تعلمت سابقًا أنه يمكن تعريف مقدار طاقة الوضع لنظام ما بأنها تساوي صفرًا عند أي نقطة إسناد. وبالطريقة نفسها يمكن تعريف مقدار الجهد الكهربائي لأي نقطة بأنه يساوي صفرًا. وسيكون مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطة A والنقطة B هو نفسه دائمًا، بغض النظر عن نقطة الإسناد المختارة.

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

يمكننا الحصـــول على قوةٍ كهربائية ثابتـــة ومجالٍ كهربائي منتظـــم بوضع لوحين موصلين مســـتويين أحدهما موازٍ للآخر، على أن يُشـــحن أحدهما بشـــحنة موجبة، ويُشحن الآخر بشـــحنة ســـالبة. يكون المجال الكهربائي بين اللوحـــين ثابتًا مقدارًا واتجاهًـــا عند النقاط جميعها ما عدا النقاط التي تكـــون عند حواف اللوحين، ويكون اتجاه المجال الكهربائي من اللوح الموجب إلى اللوح الســـالب. ويُمثّل النمط المُتشـــكّل من بذور الأعشاب الموضّح في **الشكل 9–3** المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين.



الشـكل 9–3 تمثيل لمجال كهربائي بين لوحين متوازيين.

إذا حُرّكت شـــحنة اختبار موجبة q' مســـافة d في عكس اتجاه المجال الكهربائي من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضح في **الشـــكل 9–3** فإنه يمكننا حســـاب الشغل المبذول عليها بالعلاقـــة الآتية: $W_{\text{على } q'} = Fd$. لذا يكون فرق الجهد الكهربائي؛ أي الشـــغل المبذول لكل وحدة شـــحنة، مســـاويًا d $\frac{F}{q'} = \frac{Fd}{q'} = \Delta V$. ولكن شدة المجال الكهربائي هي القوة لكل وحدة شـــحنة $E = \frac{F}{q'}$ ، لذا يُعبّر عن فرق الجهد الكهربائي (ΔV) بين نقطتين المسافة بينهما d في مجال كهربائي منتظم E بالمعادلة الآتية:

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

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

يزداد الجهد الكهربائي كلما تحركنا في اتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي؛ أي أن الجهد الكهربائي لشحنة اختبار موجبة يكون أكبر بالقرب من اللوح الموجب. وباستخدام تحليل الوحدات يكون حاصل ضرب وحدة E في وحدة d هو (N /C) (m)، وهذا يكافئ 1 J /C، الذي يُعدّ تعريفًا لـ 1 V.

مثـــال 3

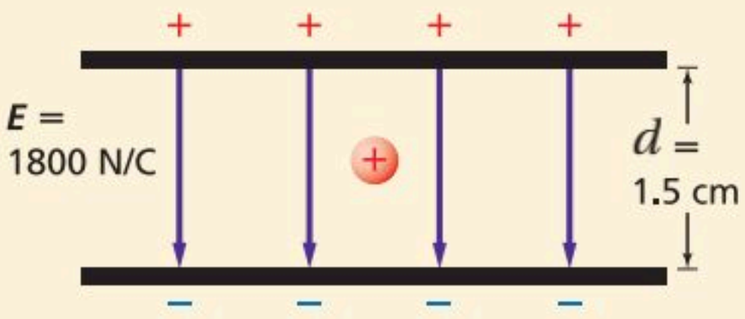
الشغل المبذول لنقل بروتون بين لوحين متوازيين مشحونين لوحان متوازيان مشحونان المسافة بينهما 1.5 cm، ومقدار المجال الكهربائي بينهما 1800 N /C. احسب مقدار:

a. فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين.

b. الشغل المبذول لنقل بروتون من اللوح السالب الشحنة إلى اللوح الموجب الشحنة.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم اللوحين على أن يكون البعد بينهما 1.5 cm
- ميّز اللوحين بوضع شـــحنات موجبة على أحدهما، وشـــحنات سالبة على الآخر.
- ارســـم خطوط المجال الكهربائي، على أن تكون المســـافات 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
$E = 1800\ \text{N/C}$	$\Delta V = ?$
$d = 1.5\ \text{cm}$	$W = ?$
$q = 1.60\times10^{-19}\ \text{C}$	

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها العلمية

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 $\Delta V = 27\ \text{V}$، $q = 1.60\times10^{-19}\ \text{C}$

$$\Delta V = \frac{W}{q}$$
$$W = q\Delta V$$
$$= (1.60\times10^{-19}\ \text{C})(27\ \text{V})$$
$$= 4.3\times10^{-18}\ \text{J}$$

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

16. شدة المجال الكهربائي بين لوحين فلزيين واسعين متوازيين ومشحونين $6000\ \text{N/C}$، والمسافة بينهما $0.05\ \text{m}$. احسب فرق الجهد الكهربائي بينهما.

17. إذا كانت قراءة فولتمتر متصل بلوحين متوازيين مشحونين $400\ \text{V}$ عندما كانت المسافة بينهما $0.020\ \text{m}$، فاحسب شدة المجال الكهربائي بينهما.

18. عندما طُبّق فرق جهد كهربائي مقداره $125\ \text{V}$ على لوحين متوازيين تولّد بينهما مجال كهربائي شدته $4.25\times10^{3}\ \text{N/C}$. ما البعد بين اللوحين؟

19. ما الشغل المبذول لتحريك شحنة $3.0\ \text{C}$ خلال فرق جهد كهربائي مقداره $1.5\ \text{V}$؟

20. يمكن لبطارية سيارة جهدها $12\ \text{V}$ ومشحونة بصورة كاملة أن تختزن شحنة مقدارها $1.44\times10^{6}\ \text{C}$. ما مقدار الشغل الذي يمكن أن تبذله البطارية قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها؟

21. يتحرك إلكترون خلال أنبوب الأشعة المهبطية لتلفاز، فتعرّض لفرق جهد مقداره $18000\ \text{V}$. ما مقدار الشغل المبذول على الإلكترون عند عبوره فرق الجهد هذا؟

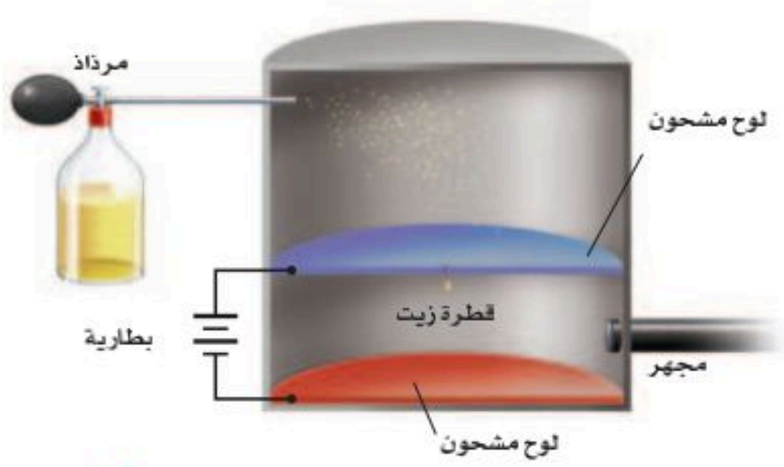
22. إذا كانت شدة المجال الكهربائي في مُسارِع جسيمات يساوي $4.5\times10^{5}\ \text{N/C}$، فما مقدار الشغل المبذول لتحريك بروتون مسافة $25\ \text{cm}$ خلال هذا المجال؟

تجربة قطرة الزيت لمَلّيكان
Millikan's Oil–Drop Experiment

يُعدّ قياس شـــحنة الإلكترون من أهم التطبيقات على المجال الكهربائي المنتظم بين لوحين متوازيين. وأول من قاس شـــحنة الإلكترون بهذه الطريقـــة الفيزيائي الأمريكي روبرت ملّيكان عام 1909م. ويبين **الشكل 10–3** الطريقة التي استخدمها ملّيكان لقياس الشحنة التي يحملها إلكترون مفرد. في البداية يُرش في الهواء قطرات زيت دقيقة بمرذاذ، فتُشـــحن هـــذه القطرات بســـبب احتكاكها بالمرذاذ عند رشّـــها، وتؤثر الجاذبيـــة الأرضية في هذه القطرات مسبّبة سقوطها إلى أســـفل، فيدخل بعض هذه القطرات في الفتحة الموجودة في اللوح العلوي داخل الجهاز. ومن ثم يُطبّق فرق جهد كهربائي بين اللوحين، ليؤثر المجال الكهربائي الناشئ بين اللوحين بقوة في القطرات المشحونة. وعندما يُصبح اللوح العلوي موجبًا بدرجة كافية تُســـبّب القوة الكهربائية ارتفاع القطرات المشحونة بشحنة سالبة إلى أعلى. ويتم ضبط فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؛ لتعليق قطرة زيت مشحونة في الهواء بين اللوحين. وعند هذه اللحظة تكون قـــوة مجال الجاذبية الأرضية المؤثرة في هذه القطرة إلى أسفل مساوية في المقدار للقوة الناتجة عن المجال الكهربائي، المؤثرة في القطرة إلى أعلى.

لقد تم تحديد مقدار المجال الكهربائي E من خلال فرق الجهد بين اللوحين. ويتعين إجراء قياس آخر لإيجاد وزن القطرة باســـتخدام العلاقة mg، والذي يكون صغيرًا جدًّا بحيث لا يمكن قياســـه بالطرائق العادية. ولإجراء هذا القياس تم تعليق القطرة أولاً، ثم إيقاف المجال الكهربائي بين اللوحين، وقِيس معدل سقوط القطرة؛ حيث تصل القطرة إلى السرعة الحدية خلال زمن قصير بســـبب الاحتكاك مع جزيئات الهواء. وتعتمد هذه السرعة على كتلة القطرة من خلال معادلة معقدة. ويمكن حساب مقدار الشحنة q باستخدام السرعة الحدية المقيسة لحساب المقدار mg، وبمعرفة مقدار المجال الكهربائي E.

شحنة الإلكترون وجد ملّيكان قدرًا كبيرًا من الاختلاف في شحنات القطرات، فعندما استخدم الأشعة السينية (X rays) من أجل تأيين الهواء وإضافة إلكترونات إلى القطرات أو إزالتها عنها، لاحظ أن التغير في مقدار الشـــحنة عـــلى القطرات يكون دائمًا مضروبًا في المقدار $1.60\times10^{-19}\,C$. وكان سبب التغيرات إضافة إلكترون واحد أو أكثر إلى القطرات، أو إزالتـــه منهـــا. ومن هنا اســـتنتج أن أقل تغيّر حدث في مقدار الشـــحنة كان يســـاوي مقدار شـــحنة إلكترون واحد، لذا افترض أن كل إلكترون له دائمًا الشـــحنة نفسها وهي $1.60\times10^{-19}\,C$. وقد بيّنت تجربة مليكان أن الشحنة مكمّاة؛ وهذا يعني أن شحنة أيّ جسم هي فقط مضاعفات صحيحة لشحنة الإلكترون.



الشكل 10–3 يوضّح هذا الشكل مقطعًا عرضيًّا للجهاز الذي استخدمه ملّيكان في حساب شحنة الإلكترون.

تجربة

المجالات الكهربائية

اربط كرة بيلسان بخيط نايلون طوله 20 cm، واربط الطرف الآخر في منتصف ماصة عصير بلاستيكية. أمسك الماصة أفقيًا، وتحقق من أن الكرة معلقة ومتدلية رأسيًا إلى أسفل. ثم استخدم قطعة صوف لشحن كل من الكرة ولوح بلاستيكي مربع الشكل أبعاده 30 cm × 30 cm بالدلك، وثبّت اللوح البلاستيكي رأسيًا، ثم أمسك الماصة ولامس الكرة لقطعة الصوف.

1. **توقع** ماذا يحدث عند تقريب الكرة من اللوح البلاستيكي؟
2. **اختبر** توقعك بتقريب الكرة ببطء إلى اللوح البلاستيكي.
3. **توقع** سلوك الكرة في مواقع مختلفة حول اللوح، واختبر توقعاتك.
4. **لاحظ** زاوية ميلان الخيط عند تحريك الكرة إلى مناطق مختلفة حول اللوح.

التحليل والاستنتاج

5. **وضّح** بدلالة المجال الكهربائي، لماذا تتأرجح الكرة في اتجاه اللوح البلاستيكي المشحون؟
6. **قارن** بين زوايا ميلان الخيط في نقاط متعددة حول اللوح، ولماذا تتغير زوايا الميلان؟
7. **استنتج** ما الذي تشير إليه زاوية ميلان الخيط فيما يتعلق بشدة المجال الكهربائي واتجاهه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

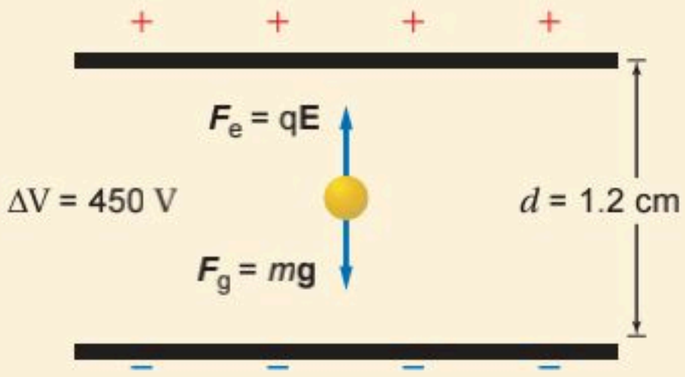
مثـــال 4

إيجاد شحنة قطرة زيت في تجربة قطرة الزيت لملّيكان، وُجِد أن وزن قطرة زيت $2.4\times10^{-14}\ N$، والمسافة بين اللوحين $1.2\ cm$، وعندما أصبح فرق الجهد بين اللوحين $450\ V$ تعلّقت قطرة الزيت في الهواء بلا حركة.

a. ما مقدار شحنة قطرة الزيت؟

b. إذا كانت شحنة اللوح العلوي موجبة فما عدد فائض الإلكترونات على قطرة الزيت؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم اللوحين وقطرة الزيت معلّقة بينهما.
- ارسم المتجهات التي تمثّل القوى، وسمِّها.
- بيّن فرق الجهد والمسافة بين اللوحين.

المعلوم	المجهول
$\Delta V = 450\ V$	شحنة قطرة الزيت ؟ $= q$
$F_g = 2.4\times10^{-14}\ N$	عدد الإلكترونات ؟ $= n$
$d = 1.2\ cm$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لتعليق قطرة الزيت في الهواء يجب أن تُوازِن القوةُ الكهربائية قوةَ الجاذبية الأرضية.

$$F_e = F_g$$

دليل الرياضيات
فصل المتغير

$$qE = F_g$$

بالتعويض عن $F_e = qE$

$$\frac{q\Delta V}{d} = F_g$$

بالتعويض عن $E = \frac{\Delta V}{d}$

حل لإيجاد q:

$$q = \frac{F_g\, d}{\Delta V}$$

بالتعويض عن $\Delta V = 450\ V$، $d = 0.012\ m$، $F_g = 2.4\times10^{-14}\ N$

$$= \frac{(2.4\times10^{-14}\ N)(0.012\ m)}{450\ V}$$

$$= 6.4\times10^{-19}\ C$$

b. لإيجاد عدد الإلكترونات على القطرة:

$$n = \frac{q}{e}$$

بالتعويض عن $q = 6.4\times10^{-19}\ C$، $e = 1.6\times10^{-19}\ C$

$$= \frac{(6.4\times10^{-19}\ C)}{(1.6\times10^{-19}\ C)}$$

$$= 4$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة الشحنة $C = (J/C)/J = N.m/V$.
- **هل الجواب منطقي؟** النتيجة عدد صحيح وصغير من مضاعفات الشحنة الأساسية.

مسائل تدريبية

23. تسقط قطرة زيت في جهاز ملّيكان مع عدم وجود مجال كهربائي. ما القوى المؤثرة فيها؟ وإذا سقطت القطرة بسرعة متجهة ثابتة فصِف القوى المؤثرة فيها.

24. إذا عُلّقت قطرة زيت وزنها $1.9\times10^{-15}\ N$ في مجال كهربائي شدته $6.0\times10^{3}\ N/C$ فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد فائض الإلكترونات التي تحملها القطرة؟

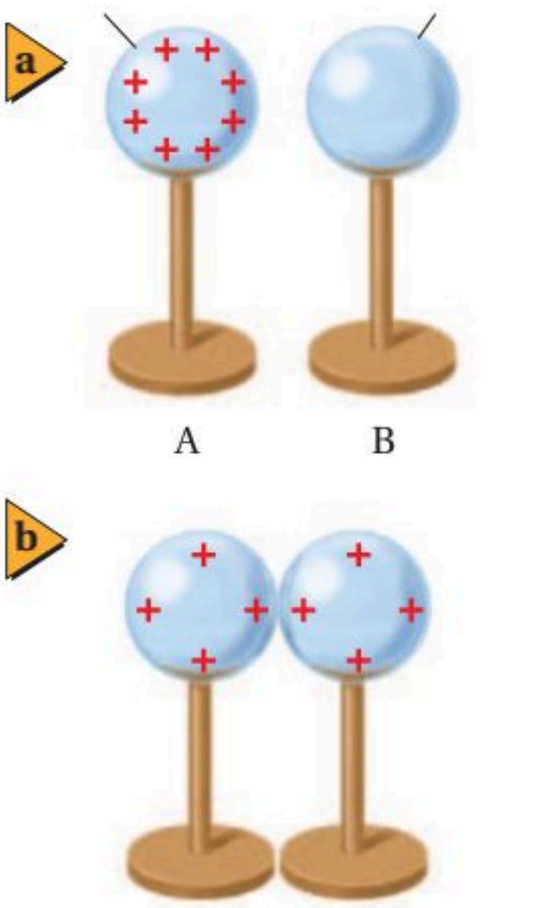
25. قطرة زيت وزنها $6.4\times10^{-15}\ N$ تحمل إلكترونًا فائضًا واحدًا. ما شدة المجال الكهربائي اللازم لتعليق القطرة ومنعها من الحركة؟

26. عُلّقت قطرة زيت مشحونة بشحنة موجبة وزنها $1.2\times10^{-14}\ N$ بين لوحين متوازيين البعد بينهما $0.64\ cm$. إذا كان فرق الجهد بين اللوحين $240\ V$ فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد الإلكترونات التي فقدتها لتكتسب هذه الشحنة؟

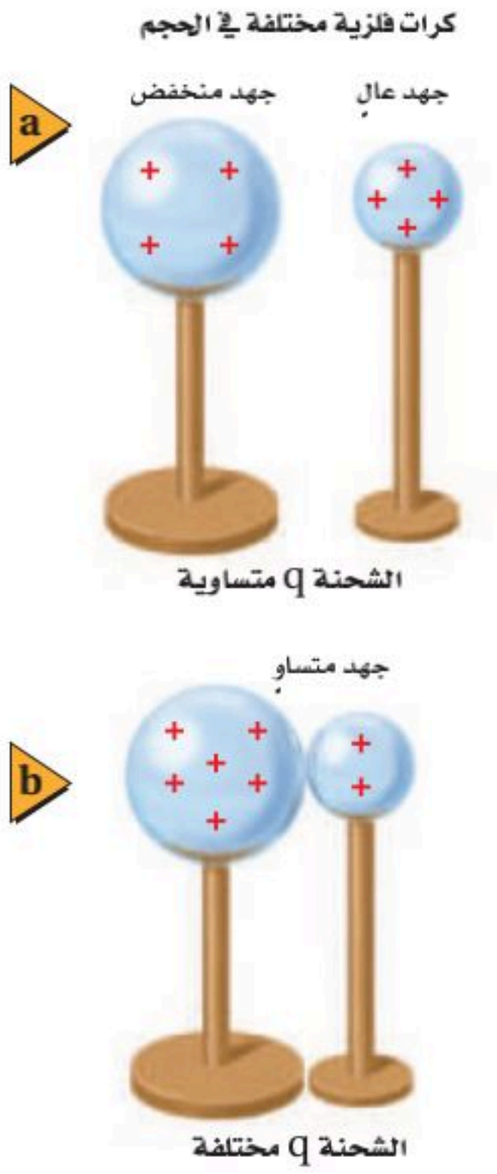
توزيع الشحنات Sharing of Charges

يؤول أيّ نظام إلى الاتزان عندما تصبح طاقته أقل ما يمكن. فإذا وضعت كرة على قمة تل مثلًا فإنها تصل 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 11-3**.

إن الشحنات الفائضة على الكرة A يتنافر بعضها مع بعض، لذا فعندما تلامس الكرة المتعادلة B سطح الكرة A 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 شغلًا سالبًا عليها، 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 تكون القوة التي تدفع الشحنة من A إلى B مساوية لقوة 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 الآتية لنقلها من A إلى B، وهذا لا يحدث تلقائيًّا، بل يتطلب زيادة في طاقة النظام. وإذا استمر 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 11-3 عندما تلمس كرة فلزية مشحونة كرة فلزية أخرى متعادلة مساوية لها في الحجم تتوزع الشحنات على الكرتين بالتساوي.



■ **الشكل 12–3** تنتقل الشحنات من الكرة ذات الجهد الأعلى إلى الكرة ذات الجهد الأخفض عند تلامسهما، ويستمر انتقال الشحنات إلى أن ينعدم فرق الجهد بينهما.

كرات بأحجام مختلفة افترض أن الكرتين الموصلتين مختلفتان في الحجم، كما هو موضّح في **الشكل 12–3**. 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. وإذا 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 ينعدم فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين. 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. وبما أن القوة المحصلة المؤثرة في كل شحنة على سطح الموصل تساوي صفرًا فإنه لا يوجد مجال كهربائي أو مركِّبة له موازية لسطح هذا الموصل، لذا لا يوجد فرق في الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على سطحه، ولذلك يكون سطح الموصل المشحون متساوي الجهد ويسمى سطح تساوي جهد.

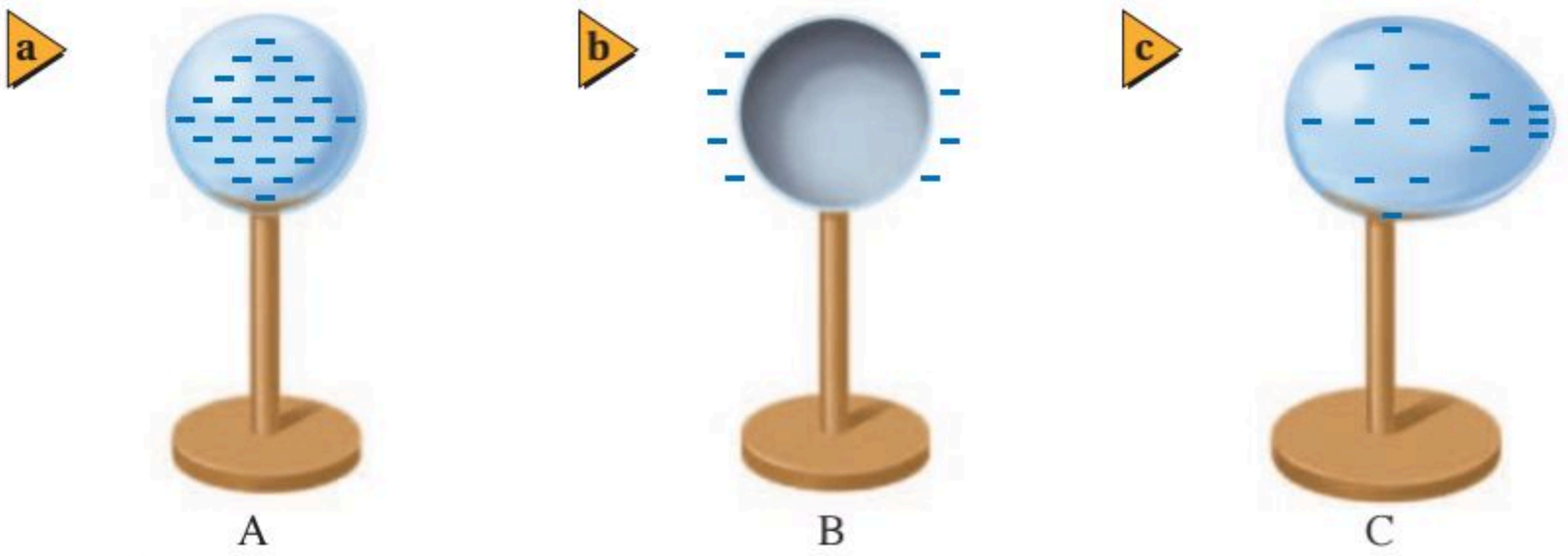
إذا تم تأريض جسم مشحون بوصله بالأرض فستنتقل غالبًا أي كمية شحنة عليه إلى الأرض إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الجسم والأرض صفرًا. فيمكن مثلًا أن تُشحن صهاريج نقل البنزين عن طريق الاحتكاك، وإذا انتقلت الشحنات الزائدة الموجودة على صهريج بنزين إلى الأرض من خلال بخار البنزين فستُحدث انفجارًا. ولتفادي حدوث ذلك يوصل سلك فلزي بالصهريج حتى يوصل الشحنات ويُفرّغها في الأرض بطريقة آمنة، كما يوضح **الشكل 13–3**. 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 13–3** سلك التأريض المتصل بصهريج نفط يمنع اشتعال بخار البنزين.

المجالات الكهربائية بالقرب من الموصلات
Electric Fields Near Conductors

تتوزّع الشـــحنات الكهربائية على موصل مشـــحون مبتعدًا بعضها عـــن بعض أقصى ما يمكن، بحيث تكون طاقة النظام أقل ما يمكن، مما يؤدي إلى توزع الشحنات الفائضة على ســـطح الموصل المُصمت، وكذا الحال مع الموصل الأجوف. إذا شُحن وعاء فلزي أجوف فســـتتوزع الشـــحنات على ســـطحه الخارجي، ولن يكون هناك أي شحنات على سطحه الداخلي، وبهذه الطريقة يعمل الوعاء الفلزي المغلق عمل درع واقية تحمي ما بداخلها من المجالات الكهربائية. فمثلًا يكون الناس داخل الســـيارة محميين من المجالات الكهربائية الناتجة عن البرق، وبالمثل بالنســـبة لعلبة مشروبات غازية مفتوحة سيكون عدد الشحنات داخل العلبة صغيرًا جدًّا، ولا توجد شـــحنات بالقرب مـــن قاعدة العلبة، حتى 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.

لا يكـــون المجـــال الكهربائي خارج موصل مشـــحون صفرًا غالبًا. وعـــلى الرغم من أن ســـطح الموصل يعدّ سطح تساوي جهد إلا أن المجال الكهربائي خارجه يعتمد على شكل الموصل، كما يعتمد على فرق الجهد الكهربائي بين الموصل والأرض. وتكون الشـــحنات أكثر تقاربًا عند الرؤوس المدبَّبة من ســـطح الموصل، وتكون كثافتها كبيرة، كما هو موضح في **الشـــكل 14–3**؛ لذا تكون خطوط المجال الكهربائي عند هـــذه الرؤوس أكثر تقاربًا، ويكون المجال الكهربائي أكبر. وإذا أصبحت شـــدة هذا المجـــال كبيرة بدرجة كافية فإنه يكون قادرًا على مسارعة الإلكترونات والأيونات الناتجة عن مرور الأشعة الكونية خلال الذرات، فتصطدم هـــذه الإلكترونات والأيونات بذرات أخرى، مما يؤدي إلى تأين المزيد من الذرات. وتظهر هذه السلســـلة من التفاعـــلات في صورة وهج وردي اللون، كالذي يُشاهد داخل كرة التفريغ الكهربائي التي تحوي غازات. وإذا كان المجال الكهربائي كبيرًا بصورة كافية فســـتنتج حزمة أو تيار من الأيونات والإلكترونات التي تشـــكل البلازما– وهي مادة موصلة– عندما تصطدم الجسيمات بجزيئات أخرى، وتصدر شرارة كهربائية، أما في الحالات الشـــديدة فينتج البرق. وللتقليل من عمليات التفريغ الكهربائي وحدوث الشرارة الكهربائية تُجعل الموصلات ذات الشـــحنة الكبيرة أو التي تعمل تحت فروق جهد كبيرة ملساء وانسيابية الشكل لتقليل المجالات الكهربائية.



الشكل 14–3 تتوزع الشحنات على سطح الكرة الموصلة بانتظام (a). أما الكرة الجوفاء (b) فتستقر الشحنات دائمًا على سطحها الخارجي. وأما في الأشكال غير المنتظمة (c) فتقترب الشحنات بعضها من بعض عند الأطراف المدببة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

أما في مانعــة الصواعق فيُثبّت قضيب بطريقة تجعل المجــال الكهربائي كبيرًا بالقرب من طرفه، ومع استمرار تسريع المجال الكهربائي للإلكترونات والأيونات، يبدأ تشكّل مسار موصــل من طرف القضيب إلى الغيوم أو العكس. ونتيجة لشــكل القضيب المدبب جدًّا تُفرّغ شــحنات الغيمة في صورة شرارة في قضيب مانعة الصواعق بدلاً من تفريغها في أي نقطة مرتفعة من المنزل أو البناية. ثم تنتقل الشــحنات من قضيــب مانعة الصواعق عبر موصل لتتفرّغ بصورة آمنة في الأرض.

يتطلــب حدوث البرق عادة فرق جهد كبيرًا بــين غيمتين أو بين الأرض والغيوم في حالة الصاعقة يصل إلى ملايين الفولتات. وعلى الرغم من أن تشغيل أنبوب التفريغ الكهربائي الصغير الــذي يحتوي على الغــاز يتطلــب آلاف الفولتات، إلا أن أســلاك التمديدات الكهربائية في المنازل لا تحمل عادة فرق جهد كافيًا لإحداث مثل هذا التفريغ الكهربائي.

تخزين الشحنات: المُكثّف
Storing Charges: The Capacitor

عند رفع كتاب عن ســطح الأرض تزداد طاقة وضع جاذبية الكتاب. ويمكن تفسير ذلك عــلى أنه تخزين للطاقة في مجــال الجاذبية الأرضي. وبطريقة مماثلــة يمكن تخزين الطاقة في المجال الكهربائي؛ ففي عام 1746م اخترع الفيزيائي الهولندي بيترفان مسجنبروك جهازًا صغيرًا يمكنه تخزين كمية كبيرة من الشــحنات الكهربائية. وتكريمًا لمدينة ليدن التي عمل بها هذا العالم سُــمي هذا الجهاز زجاجة (قارورة) ليدن. واستخدم العالم بنيامين فرانكلين زجاجة ليدن لتخزين الشحنات الكهربائية الناتجة عن البرق، كما استخدمها في عدة تجارب أخرى. وأصبح لهذا الجهاز الذي يعمل على تخزين الشحنات شكل جديد، بحيث أصبح أصغر حجمًا، ويسمّى **المكثف الكهربائي**.

عند إضافة شــحنات كهربائية إلى جســم يزداد فرق الجهد الكهربائي بين ذلك الجســم والأرض. وإذا كان شــكل الجسم وحجمه ثابتين تبقى النســبة بين الشحنة المخزنة على الجســم وفرق الجهد الكهربائي $q / \Delta V$ ثابتة، وتســمى تلك النسبة **السعة الكهربائية** C. وعند إضافة كمية من الشحنة ولو كانت قليلة إلى كرة صغيرة بعيدة عن الأرض يزداد فرق الجهد الكهربائي بينها وبين الأرض؛ لكون C صغيرة. أما الكرة الكبيرة فيمكنها أن تخزن كمية شحنات أكبر عند فرق الجهد نفسه، وبذلك تكون سعتها الكهربائية أكبر.

تجربة عملية
هل يمكن تخزين كميات كبيرة من الشحنات؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

■ **الشكل 15–3** تبيّن الصورة المجاورة أنواعًا مختلفة من المكثفات.

صُمّمت المكثفات ليكون لها سعات كهربائية محدّدة. وتتكون المكثفات جميعها من موصلين يفصل بينهما مادة عازلة. وللموصلين شحنتان متساويتان في المقدار لكنهما مختلفتان في النوع. وتستخدم المكثفات في أيامنا هذه في الدوائر الكهربائية لتخزين الشحنات. ويوضّح **الشكل 15–3** مجموعة من المكثفات التجارية التي تحوي عادة شرائط من الألومنيوم مفصولة بطبقة رقيقة من البلاستيك، ثم تلف بصورة أسطوانية حتى يقل حجمها ولا تشغل حيّزًا كبيرًا.

كيف يمكن قياس السعة الكهربائية لمكثف؟ بما أن السعة الكهربائية للمكثف لا تعتمد على شحنته فيمكن قياسها بوضع شحنة $q+$ على أحد اللوحين وشحنة أخرى $q-$ على اللوح الآخر، ثم قياس فرق الجهد الكهربائي الناتج بين اللوحين ΔV، ثم نحسب السعة الكهربائية من خلال العلاقة أدناه، وتكون وحدة قياس السعة الكهربائية هي الفاراد F.

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

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

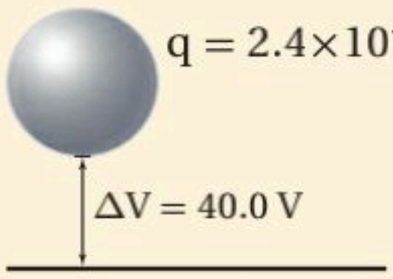
وحدة قياس السعة الكهربائية: (الفاراد) تُقاس السعة الكهربائية بوحدة الفاراد، وقد سميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم مايكل فارادي. والفاراد الواحد عبارة عن واحد كولوم لكل فولت (C/V). وكما أسلفنا أن 1 C وحدة كبيرة جدًّا لقياس الشحنة، فإن 1 F وحدة كبيرة جدًّا أيضًا لقياس السعة الكهربائية؛ فأغلب المكثّفات المستخدمة في الإلكترونيات الحديثة لها سعات كهربائية تتراوح بين 10 بيكوفاراد (10×10^{-12} F) و 500 ميكروفاراد (500×10^{-6} F). أما المكثفات التي تستخدم في ذاكرة الحاسوب لمنع الفقد 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؛ لأن سعة المكثف لا تعتمد على الشحنة q، وإنما تعتمد على الأبعاد الهندسية للمكثف فقط.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مثـــــال 5

إيجاد السعة الكهربائية إذا كان فرق الجهد الكهربائي بين كرة موصلة والأرض يساوي 40.0 V عند شحنها بشحنة مقدارها $2.4\times10^{-6}\ C$ فما مقدار سعتها الكهربائية؟

1 تحليل المسألة ورسمها



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

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

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

$$C = q/\Delta V$$

$$C = \frac{2.4\times10^{-6}\ C}{40.0\ V}$$

$$= 6.0\times10^{-8}\ F$$

$$= 0.060\ \mu F$$

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

27. مكثـف كهربائي سـعته 27 μF وفرق الجهد الكهربائي بـين لوحيه 45 V. ما مقدار شحنة المكثف؟

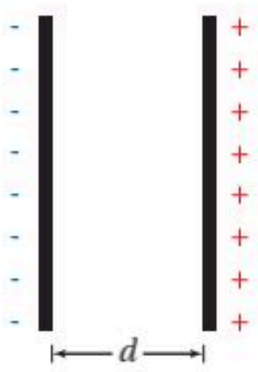
28. مكثفان؛ سعة الأول 3.3 μF، وسعة الآخر 6.8 μF. إذا وصل كل منهما بفرق جهد 24 V فأي المكثفين له شحنة أكبر؟ وما مقدارها؟

29. إذا شحن كل من المكثفين في المسألة السابقة بشحنة مقدارها $3.5\times10^{-4}\ C$ فأيهما له فرق جهد كهربائي أكبر بين طرفيه؟ وما مقداره؟

30. شـحن مكثف كهربائي سـعته 2.2 μF حتى أصبح فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 6.0 V. ما مقدار الشـحنة الإضافية التي يتطلبهـا رفع فرق الجهد بين طرفيه إلى 15.0 V؟

31. عند إضافة شحنة مقدارها $2.5\times10^{-5}\ C$ إلى مكثف يزداد فرق الجهد بين لوحيه من 12.0 V إلى 14.5 V. احسب مقدار سعة المكثف.

مسألة تحفيز



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

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 بأشكال وأحجام مختلفة، كما يوضّح **الشكل 15-3**؛ فبعض المكثفات كبيرة وضخمة جدًّا حتى إنها 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 المليون 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 سبب التحذير من نزع غطاء جهاز التلفاز القديم أو غطاء شاشة جهاز الحاسوب القديم حتى لو لم تكن متصلة بمصدر جهد كهربائي.

يمكن التحكم في السعة الكهربائية لمكثف بتغيير المساحة السطحية للموصلين، أو اللوحين الفلزيين داخل المكثف، أو تغيير المسافة بين اللوحين، أو تغيير طبيعة المادة العازلة بينهما. وتسمّى المكثفات بحسب نوع العازل الذي يفصل بين اللوحين، مثل السيراميك والمايكا والبوليستر والورق والهواء. ويمكن الحصول على سعة كهربائية كبيرة لمكثف بزيادة المساحة السطحية للوحين الفلزيين وتقليل المسافة بينهما. ولبعض المواد العازلة القدرة على عزل الشحنات الموجودة على لوحي المكثف بفاعلية وكفاءة، بحيث تسمح بتخزين كمية أكبر من الشحنة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

2–3 مراجعة

32. **فرق الجهد الكهربائي** ما الفرق بين طاقة الوضع الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي؟

33. **المجال الكهربائي وفرق الجهد** بيّن أن الفولت لكل متر هو نفسه نيوتن لكل كولوم.

34. **تجربة مليكان** عندما تتغير شحنة قطرة الزيت المعلّقة داخل جهاز مليكان تبدأ القطرة في السقوط. كيف يجب تغيير فرق الجهد بين اللوحين لجعل القطرة تعود إلى الاتزان من جديد؟

35. **الشحنة وفرق الجهد** إذا كان التغير في فرق الجهد الكهربائي في المسألة السابقة لا يؤثر في القطرة الساقطة فعلامَ يدل ذلك بشأن الشحنة الجديدة على القطرة؟

36. **السعة الكهربائية** ما مقدار الشحنة المختزنة في مكثف سعته $0.47\ \mu F$ عندما يُطبّق عليه فرق جهد مقداره $12\ V$؟

37. **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.

38. **التفكير الناقد** بالرجوع إلى **الشكل 3–4a**، وضح كيف تستمر الشحنات في التراكم على القُبّة الفلزية لمولّد فان دي جراف، ولماذا لا تتنافر الشحنات لتعود إلى الحزام عند النقطة B؟

مختبر الفيزياء

شحن المكثّفات

المكثّف الكهربائي جهاز مكوّن مـن موصلين، أو لوحين فلزيين يفصل بينهما مادة عازلة، ويُصمّم ليكون له سـعة كهربائية محدّدة. وتعتمد السـعة الكهربائيـة للمكثف على خصائصه الفيزيائية (نفاذية الوسـط الكهربائية)، والأبعاد الهندسية للموصلين والعازل. وفي الرسم التخطيطي للدائرة الكهربائية يبدو المكثف أنه ينشـئ دائرة مفتوحة، حتى عندما يكون المفتاح الكهربائي مغلقًا. إلا أنه عند إغلاق المفتاح الكهربائي تنتقل الشحنات الكهربائية من البطارية (مصدر جهد مستمر) إلى المكثف؛ فيُشحن لوحا المكثف بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع، ويتولّد فرق جهد كهربائي بينهما. وكلما زادت كمية الشحنة المتراكمة على المكثف ازداد فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه. وفي هذه التجربة ستختبر شحن عدة مكثفات مختلفة.

سؤال التجربة

ما الزمن اللازم لشحن مكثفات مختلفة السعة الكهربائية؟

الأهـــداف

- **تجمع البيانات وتنظّمها** حول المعدل الزمني اللازم لشحن مكثفات مختلفة.
- **تقارن** بين المعدلات الزمنية اللازمة لشحن مكثفات مختلفة.
- **تنشئ رسومًا بيانية وتسـتخدمها** لفرق الجهد مقابل زمن شحن عدة مكثفات.

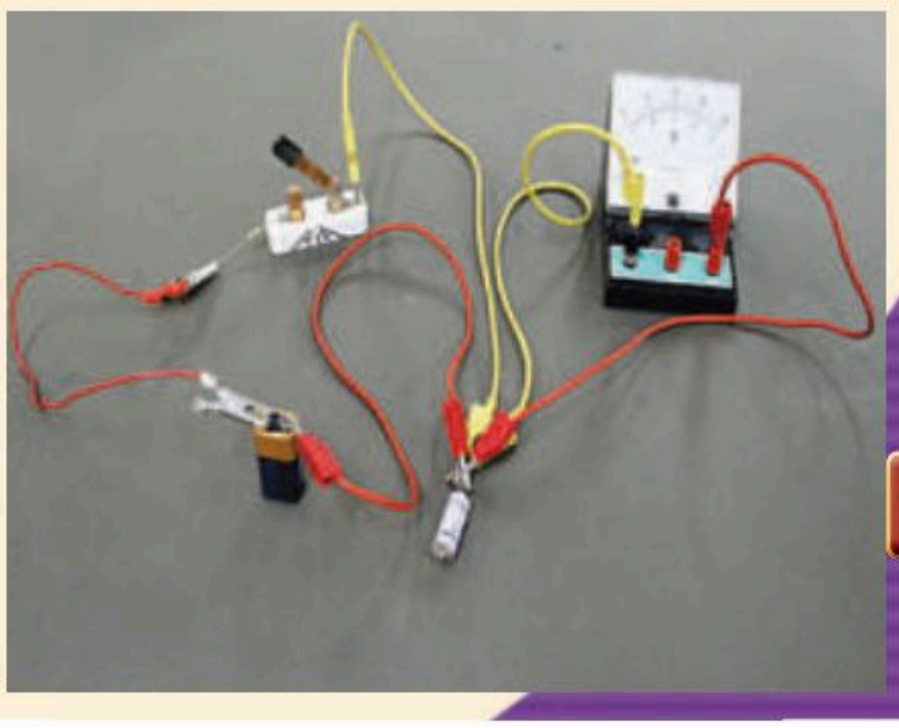
احتياطات السلامة

المـواد والأدوات

بطارية 9 V، وفولتمتر، ومشابك أو مرابط خاصة ببطارية 9 V، ومقاومة كهربائية 47 kΩ، وأسلاك توصيل، وساعة إيقاف، ومفتاح كهربائي، ومكثفات 1000 µF و500 µF و240 µF

الخطـــوات

1. قبل بـــدء تنفيذ التجربة دع المفتاح الكهربائي مفتوحًا، ولا تصل البطارية. **تحذير: كن حذرًا وتجنّب تكوّن دائرة قصْر كهربائية، وخصوصًا عند تلامس السلكين الموصولين بقطبي البطارية معًا.** ركّب الدائرة كـما هو موضّح في الصورة، وذلك بتوصيل أحد طرفي المقاومة بطرف المفتاح الكهربائي، حيث تستخدم المقاومة لتقليل شحن المكثف إلى معدل يكـون فيه قابلًا للقياس، ثم صِل الطرف الآخر للمقاومة مع القطب السـالب للبطارية 9 V. ثـم تفحّص المكثف 1000 µF؛ لتحدّد أيّ طرفيه قد عُلّم بإشـارة سـالبة، أو سَهْم مع إشارة سـالبة عليه، حيث يُشير ذلك إلى الطرف الذي سيوصل مع القطب السالب للبطارية، ثم صِل هذا القطب بالطرف الآخر للمفتاح الكهربائي. وصِل الطرف الموجب للمكثف مع الطرف الموجب للبطارية.
2. صِل الطـرف الموجـب للفولتمتر مع الطـرف الموجب للمكثف، والطرف السالب للفولتمتر مع الطرف السالب للمكثـف، ثم قـارن بين الدائـرة التي ركّبتهـا والدائرة الموضحـة في الصـورة لتتأكـد من صحـة توصيلاتك. ولا تصل البطاريـة إلا بعد أن يتحقـق المعلم من صحة التوصيلات.
3. جهّز جدول بيانات على أن تخصّص أعمدة للزمن وأخرى لفرق الجهد لكل من المكثّفات الثلاثة المختلفة.
4. يراقب أحد الطلاب الزمن الذي تقيسه ساعة الإيقاف، بينما يُسجّل طالب آخر فرق الجهد عند الوقت المناسب. أغلق المفتاح الكهربائي، ثم قس فرق الجهد خلال فترات زمنية مقدارها 5 s. افتح المفتاح الكهربائي بعد جمع البيانات.
5. عند الانتهاء من المحاولة، خذ سلكًا معزولًا وصله بطرفي المكثف. سيعمل هذا على تفريغ المكثف.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

جدول البيانات							
الزمن (s)	فرق الجهد (V) عبر 1000 µF	فرق الجهد (V) عبر 500 µF	فرق الجهد (V) عبر 240 µF	الزمن (s)	فرق الجهد (V) عبر 1000 µF	فرق الجهد (V) عبر 500 µF	فرق الجهد (V) عبر 240 µF
0				55			
5				60			
10				65			
15				70			
20				75			
25				80			
30				85			
35				90			
40				95			
45				100			
50				105			

6. ضع المكثف 500 µF بدلًا من المكثف 1000 µF، وكرّر الخطوتين 4 و5، ودوّن البيانات في الجدول في العمود الخاص بالمكثف 500 µF
7. ضع المكثف 240 µF بدلًا من المكثف 500 µF، وكرّر الخطوات 4 و5، ودوّن البيانات في الجدول في العمود الخاص بالمكثف 240 µF

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** هل شحن كل مكثف بحيث أصبح فرق الجهد بين طرفيه 9 V؟ اقترح تفسيرًا للسلوك الملاحظ.
2. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** أعدّ رسمًا بيانيًّا على أن يكون الزمن على المحور الأفقي(x)، وفرق الجهد على المحور الرأسي(y). ارسم خطًّا بيانيًّا منفصلًا خاصًّا بكل مكثف.

الاستنتاج والتطبيق

1. **فسّر البيانات** هل يصل جهد المكثف لحظيًّا إلى جهد مساوٍ لفرق الجهد بين طرفي البطارية (9 V)؟ وضّح سبب السلوك الملاحظ.
2. **استنتج** هل يحتاج المكثف الأكبر سعة إلى زمن أكبر حتى يُشحَن تمامًا؟ ولماذا؟

التوسع في البحث

1. يعتمد الزمن اللازم لشحن مكثف - أي حتى يصل فرق الجهد بين طرفيه إلى فرق الجهد بين طرفي البطارية - على سعته ومقاومته لتدفق الشحنات خلال الدائرة. في هذه التجربة ضُبِطت مقاومة تدفق الشحنات عن طريق توصيل مقاومة مقدارها 47 kΩ في الدائرة. في الدوائر الكهربائية التي تتضمن مكثفًا ومقاومة مثل الدائرة الواردة في هذه التجربة فإن الزمن -مقيسًا بالثانية- اللازم لشحن المكثف بنسبة 63.3 % من الجهد المطبّق يساوي حاصل ضرب السعة في المقاومة، و يسمّى هذا ثابت الزمن. لذا فإن T = RC؛ حيث T مقيسة بالثواني، وR مقيسة بالأوم، وC مقيسة بالفاراد. احسب ثابت الزمن لكل مكثف عند توصيله بالمقاومة 47 kΩ.
2. قارن بين ثابت الزمن الذي حصلت عليه والقيم التي حصلت عليها من الرسم البياني.

الفيزياء في الحياة

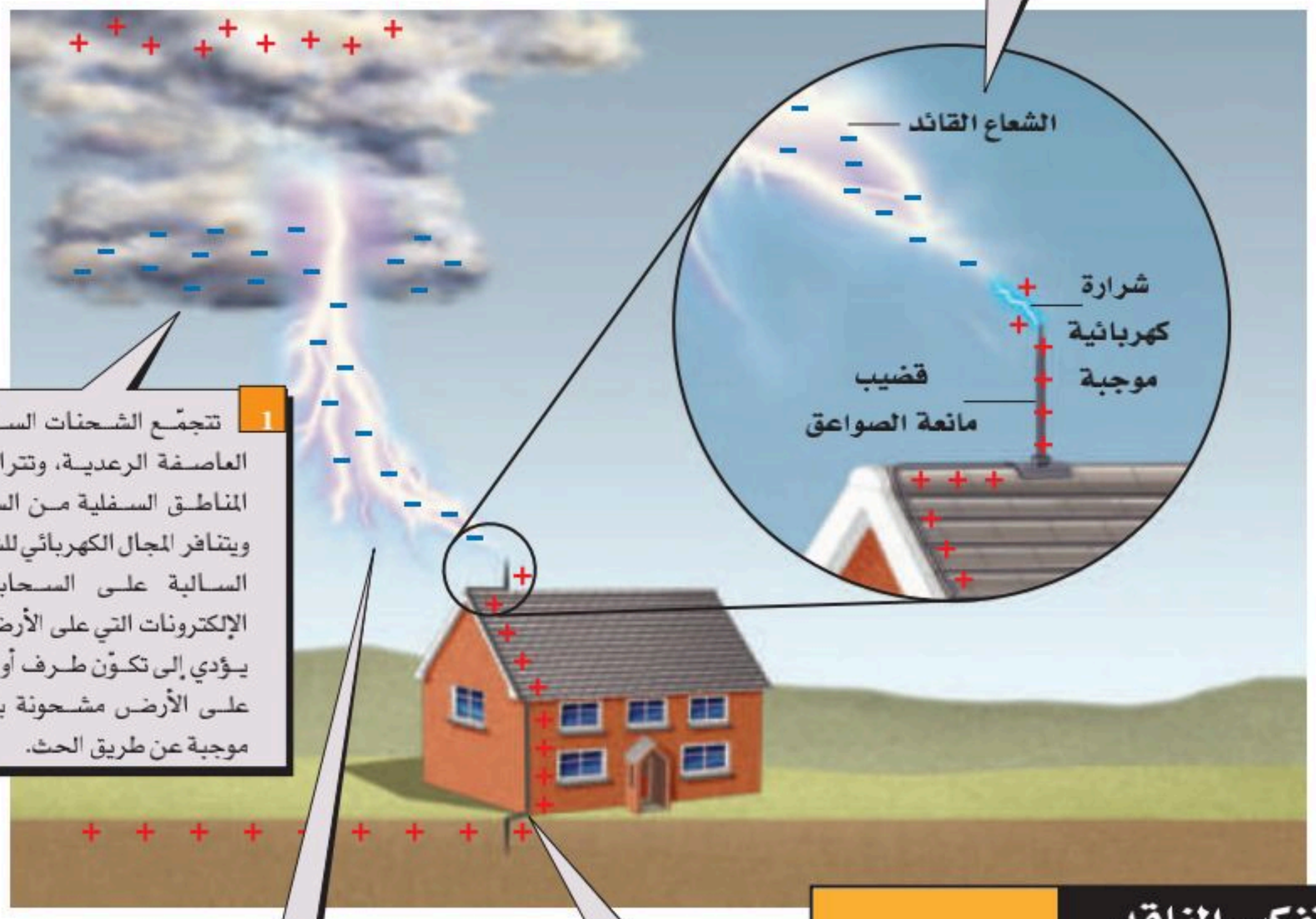
وضّح آلات التصوير (الكاميرات) الصغيرة المُزوّدة بوامض (فلاش) مخصَّص للاستعمال مرة واحدة فقط، ووحدات الفلاش الإلكترونية العادية تحتاج إلى مرور زمن معين حتى يصبح الفلاش جاهزًا للاستعمال، حيث يعمل المكثف فيها على تخزين الطاقة لعمل الفلاش. وضّح ما يحدث خلال الزمن الذي يجب أن تنتظره لأخذ الصور الثانية بهذا النوع من الكاميرات.

كيف تعمل

How it Works

مانعة الصواعق؟ lightning Rods?

قد يكون البرق مدمّـرًا بصورة كبيرة؛ إذ ينتج عنه تيارات كهربائية كبـيرة جدًّا في مـواد رديئة التوصيـل؛ مما يـؤدي إلى توليد كمية كبيرة من الحرارة. لذا تسـتخدم مانعة الصواعق لحماية الأبنية عن طريق تبديد بعض الشـحنات قبل حدوث ضربة الصاعقة؛ حيث توفّر قضبان مانعة الصواعق مسـارًا آمنًا للتيار الكهربائي؛ وذلك لأنها موصلات جيدة. وقد اخترع مانعـةَ الصواعق العالم بنيامين فرانكلين في خمسينات القرن الثامن عشر.



3 تنطلق الشحنات الموجبة في صورة شرارة خارجة من قضيب مانعة الصواعق لتقابل الشعاع القائد، فيكتمل المسار الموصل، ويعمل التيار على معادلة الشحنات المنفصلة. وحتى إذا لم تضرب الشرارة قضيب مانعة الصواعق مباشرة فسيبقى التيار الهائل قادرًا على الوصول إلى قضيب مانعة الصواعق، وهو المسار الأقل ممانعة (مقاومة) إلى الأرض.

1 تتجمّع الشحنات السالبة في العاصفة الرعدية، وتتراكم في المناطق السفلية من السحب، ويتنافر المجال الكهربائي للشحنات السالبة على السحابة مع الإلكترونات التي على الأرض، مما يؤدي إلى تكوّن طرف أو منطقة على الأرض مشحونة بشحنة موجبة عن طريق الحث.

2 يُسرّع المجال الكهربائي الكبير الإلكترونات والأيونات، مما يسبب سلسلة من التفاعلات في الهواء مكوّنًا البلازما. ويعدّ الهواء المتأين مادة موصلة، حيث يتفرع خارجًا من الغيوم مكونًا ما يسمى عتبات قيادة التفريـغ (الشعـاع القائد step leaders).

4 ينتقل التيار الكهربائي بأمان خلال الموصل إلى سطح الأرض.

التفكير الناقد

1. **كوِّن فرضية** ما المسار الذي يسلكه التيار الكهربائي ليصل إلى الأرض إذا لم يكن المنزل مزودًا بمانعة صواعق في أثناء ضربة الصاعقة؟
2. **قوّم** هل يجب أن تكون المقاومة بين نهاية سلك مانعة الصواعق المتصل بالأرض والأرض كبيرة أم صغيرة؟
3. **استنتج** ما المخاطر الناتجة عن التركيب غير الصحيح لنظام مانعة الصواعق؟

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

3–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

المفردات

- المجال الكهربائي
- شحنة الاختبار
- خط المجال الكهربائي

المفاهيم الرئيسة

- يوجد مجال كهربائي حول أي جسم مشحون، ويؤثر هذا المجال بقوى في الأجسام المشحونة الأخرى.
- المجال الكهربائي يساوي القوة الكهربائية المؤثرة 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 وداخلة إلى الشحنة السالبة، ولا تتقاطع مطلقًا، وترتبط كثافتها بشدة المجال.

3–2 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

المفردات

- فرق الجهد الكهربائي
- الفولت
- سطح تساوي الجهد
- المكثف الكهربائي
- السعة الكهربائية

المفاهيم الرئيسة

- فرق الجهد الكهربائي يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات الكهربائية في المجال الكهربائي.

$$\Delta V = \frac{W}{q'}$$

- يُقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة الفولت.
- يكون المجال الكهربائي بين لوحين مشحونين متوازيين منتظمًا ما عدا النقاط التي تكون عند أطراف اللوحين؛ فيكون المجال عندها غير منتظم. ويرتبط فرق الجهد مع شدة المجال الكهربائي من خلال العلاقة الآتية:

$$\Delta V = Ed$$

- بيّنت تجربة ملّيكان أن الشحنة الكهربائية مكمّاة.
- بيّن مليكان أيضًا أن مقدار الشحنة السالبة التي يحملها الإلكترون تساوي $1.6\times10^{-19}\ C$.
- تتحرك الشحنات على سطح موصل حتى يصبح الجهد الكهربائي متساويًا في جميع النقاط على سطحه.
- يعمل التأريض على جعل فرق الجهد بين الجسم والأرض صفرًا.
- يمنع التأريض حدوث الشرارة الكهربائية الناتجة عن ملامسة 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.

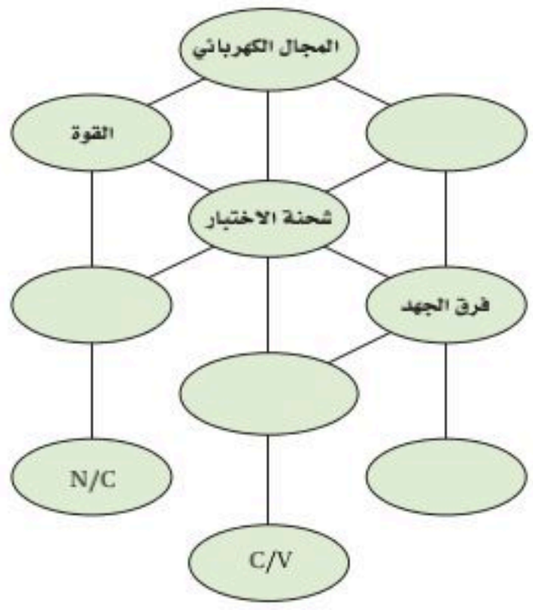
$$C = \frac{q}{\Delta V}$$

- لا تعتمد السعة الكهربائية على شحنة الجسم ولا على فرق الجهد عليه.
- يستخدم المكثّف الكهربائي في تخزين الشحنات الكهربائية.

تقويم الفصل 3

خريطة المفاهيم

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



إتقان المفاهيم

40. ما الخاصيتان اللتان يجب أن تكونا لشحنة الاختبار؟ (1 -3)

41. كيف يحدّد اتجاه المجال الكهربائي؟ (1- 3)

42. ما المقصود بخطوط المجال الكهربائي؟ (1- 3)

43. ارسم بعض خطوط المجال الكهربائي لكل من الحالات الآتية: (1- 3)

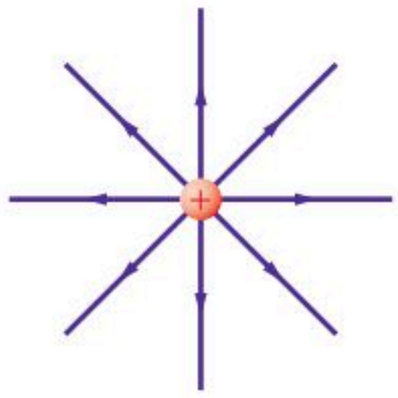
a. شحنتين متساويتين في المقدار ومتماثلتين في النوع.

b. شحنتين مختلفتين في النوع ولهما المقدار نفسه.

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

d. لوحين متوازيين مختلفين في الشحنة.

44. في **الشكل 16-3**، أين تنتهي خطوط المجال الكهربائي الخارجة من الشحنة الموجبة؟ (1- 3)



■ **الشكل 16-3**

45. كيف يتم الإشارة لشدة المجال الكهربائي من خلال خطوط المجال الكهربائي؟ (1- 3)

46. ما وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائية؟ وما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي، وفْق النظام الدولي للوحدات SI؟ (2- 3)

47. عرّف الفولت بدلالة التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة تتحرك في مجال كهربائي. (2- 3)

48. لماذا يفقد الجسم المشحون شحنته عند وصله بالأرض؟ (2- 3)

49. وضع قضيب مطاطي مشحون على طاولة فحافظ على شحنته بعض الوقت. لماذا لا تُفرّغ شحنة القضيب المشحون مباشرة؟ (2- 3)

50. شُحن صندوق فلزي. قارن بين تركيز الشحنة على زوايا الصندوق وتركيزها على جوانب الصندوق. (2- 3)

51. **أجهزة الحاسوب** لماذا توضع الأجزاء الدقيقة في الأجهزة الإلكترونية - كتلك الموضحة في **الشكل 17-3**- داخل صندوق فلزي موضوع داخل صندوق آخر بلاستيكي؟ (2- 3)

■ **الشكل 17-3**

تطبيق المفاهيم

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

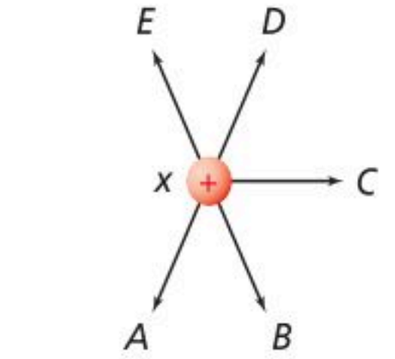
53. هل يلزم طاقة أكبر أم طاقة أقل لتحريك شحنة موجبة ثابتة خلال مجال كهربائي متزايد؟

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 3

55. يبيّن **الشكل 18–3** ثلاث كرات مشحونة بالمقدار نفسه. بالشحنات الموضّحة في الشكل. الكرتان y وz ثابتتان في مكانيهما، والكرة x حرة الحركة. والمسافة بين الكرة x وكل من الكرتين y وz في البداية متساوية. حدّد المسار الذي ستبدأ الكرة x في سلوكه، مفترضًا أنه لا يوجد أي قوى أخرى تؤثر في الكرات.



■ **الشكل 18–3**

56. ما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي بدلالة m، kg، s، C؟

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

58. **تجربة قطرة الزيت لمَلِيكان** يفضل عند إجراء هذه التجربة استخدام قطرات زيت لها شحنات صغيرة. هل يتعين عليك البحث عن القطرات التي تتحرك سريعًا أو تلك التي تتحرك ببطء عندما يتم تشغيل المجال الكهربائي؟ وضّح إجابتك.

59. في تجربة ملّيكان تم تثبيت قطرتي زيت في المجال الكهربائي.

a. هل يمكنك استنتاج أن شحنتيهما متماثلتان؟

b. أيّ خصائص قطرتي الزيت نِسبُها متساوية؟

60. يقف زيد وأخيه يوسف على سطح مستوٍ معزول متلامسين بالأيدي عندما تم إكسابهما شحنة، كما هو موضّح في **الشكل 19–3**. إذا كانت المساحة السطحية لجسم زيد أكبر من أخيه فمن منهما يكون له كمية أكبر من الشحنات، أم سيكون لهما المقدار نفسه منها؟

■ **الشكل 19–3**

61. إذا كان قطرا كرتي ألومنيوم 1 cm و10 cm فأيّ الكرتين لها سعة أكبر؟

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

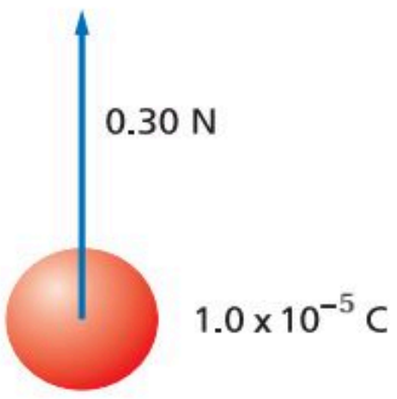
إتقان حل المسائل

3–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها

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

63. ما مقدار شحنة اختبار إذا تعرضت لقوة مقدارها $1.4\times10^{-8}\ N$ عند نقطة شدة المجال الكهربائي فيها $5.0\times10^{-4}\ N/C$؟

64. يوضّح **الشكل 20–3** 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 20–3**

تقويم الفصل 3

65. إذا كان المجال الكهربائي في الغلاف الجوي يساوي 150 N /C تقريبًا، ويتجه إلى أسفل، فأجب عما يأتي:

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

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

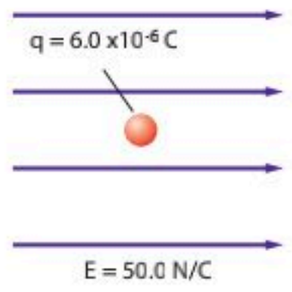
c. قارن بين القوة في الفرع **b** وقوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الإلكترون نفسه. (كتلة الإلكترون تساوي 9.1×10^{-31} kg)

66. ارسم بدقة الحالات الآتية:

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

b. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة $+2.0\ \mu C$ (اجعل عدد خطوط المجال متناسبًا مع التغير في مقدار الشحنة).

67. وضعت شحنة اختبار موجبة مقدارها 6.0×10^{-6} C في مجال كهربائي شدته 50.0 N /C، كما هو موضّح في **الشكل 3–21**. ما مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار؟



الشكل 3–21

68. ثلاث شحنات: X وY و Z يبعد بعضها عن بعض مسافات متساوية. إذا كان مقدار الشحنة X يساوي $+1.0\ \mu C$، ومقدار الشحنة Y يساوي $+2.0\ \mu C$، والشحنة Z صغيرة وسالبة:

a. فارسم سهمًا يُمثّل القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة Z.

b. إذا كانت الشحنة Z موجبة وصغيرة فارسم سهمًا يمثّل القوة المحصلة المؤثرة فيها.

69. تتسارع الإلكترونات في أنبوب الأشعة المهبطية في تلفاز نتيجة مجال كهربائي مقداره 1.00×10^{5} N /C. احسب ما يأتي:

a. القوة المؤثرة في الإلكترون.

b. تسارع الإلكترون إذا كان المجال منتظمًا. افترض أن كتلة الإلكترون 9.11×10^{-31} kg

70. أوجد شدة المجال الكهربائي على بُعد 20.0 cm من شحنة نقطية مقدارها $+8\times10^{-7}$ C.

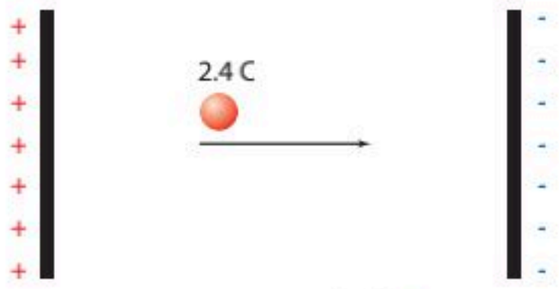
71. شحنة نواة ذرة رصاص تساوي شحنة 82 بروتونًا.

a. أوجد مقدار واتجاه المجال الكهربائي على بُعد 1.0×10^{-10} m من النواة.

b. أوجد مقدار واتجاه القوة المؤثرة في إلكترون موضوع على البعد السابق من النواة.

3–2 تطبيقات المجالات الكهربائية

72. إذا بُذل شغل مقداره 120 J لتحريك شحنة مقدارها 2.4 C من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، كما هو موضّح في **الشكل 3–22**، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؟



الشكل 3–22

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

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

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 3

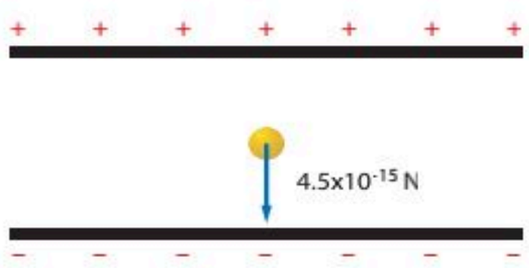
76. تبيّن قراءة فولتمتر أن فرق الجهد الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين 70.0 V. إذا كان البعد بين اللوحين 0.020 m فما شدة المجال الكهربائي بينهما؟

77. يختزن مكثف موصول بمصدر جهد 45.0 V شحنة مقدارها 90.0 μC. ما مقدار سعة المكثف؟

78. تم تثبيت قطرة الزيت الموضحة في **الشكل 23–3** والمشحونة بشحنة سالبة في مجال كهربائي شدته 5.6×10^{3} N /C. إذا كان وزن القطرة 4.5×10^{-15} N:

a. فما مقدار الشحنة التي تحملها القطرة؟

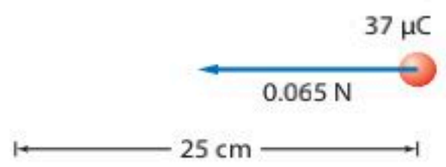
b. وما عدد الإلكترونات الفائضة التي تحملها القطرة؟



■ **الشكل 23–3**

79. ما شحنة مكثف سعته 15.0 pF عند توصيله بمصدر جهد 45.0 V؟

80. إذا لزم قوة مقدارها 0.065 N لتحريك شحنة مقدارها 37 μC مسافة 25 cm في مجال كهربائي منتظم، كما يوضّح **الشكل 24–3**، فما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين؟



■ **الشكل 24–3**

81. **آلة التصوير** يعبر عن الطاقة المختزنة في مكثف سعته C، وفرق الجهد الكهربائي بين طرفيه ΔV كما يأتي: $W = \frac{1}{2} C\Delta V^2$. ومن التطبيقات على ذلك آلة التصوير الإلكترونية ذات الفلاش الضوئي، كالتي تظهر في **الشكل 25–3**. إذا شُحن مكثف في آلة تصوير مماثلة سعته 10.0 μF، إلى أن أصبح فرق الجهد عليه 3.0×10^{2} V، فما مقدار الطاقة المختزنة في المكثف؟

■ **الشكل 25–3**

82. افترض أن شحن المكثف في المسألة السابقة استغرق 25 s، وأجب عما يأتي:

a. أوجد متوسط القدرة اللازمة لشحن المكثف خلال هذا الزمن.

b. عند تفريغ شحنة هذا المكثف خلال مصباح الفلاش يفقد طاقته كاملة خلال زمن مقداره 1.0×10^{-4} s. أوجد القدرة التي تصل إلى مصباح الفلاش.

c. ما أكبر قيمة ممكنة للقدرة؟

83. **الليزر** تستخدم أجهزة الليزر لمحاولة إنتاج تفاعلات اندماج نووي مسيطر عليها. ويتطلب تشغيل هذه الليزرات نبضات صغيرة من الطاقة تُخزّن في غرف كبيرة مملوءة بالمكثفات. وتقدّر السعة الكهربائية لغرفة واحدة بـ 61×10^{-3} F تشحن حتى يبلغ فرق الجهد عليها 10.0 kV.

a. إذا علمت أن $W = \frac{1}{2} C\Delta V^2$ فأوجد الطاقة المختزنة في المكثفات.

b. إذا تم تفريغ المكثفات خلال 10 ns (أي 1.0×10^{-8} s) فما مقدار الطاقة الناتجة؟

c. إذا تم شحن المكثفات بمولّد قدرته 1.0 kW، فما الزمن بالثواني اللازم لشحن المكثفات؟

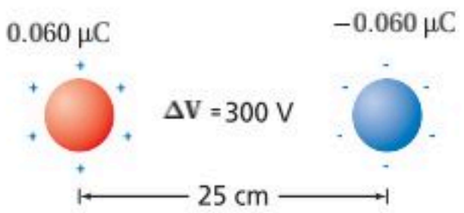
تقويم الفصل 3

مراجعة عامة

84. 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؟

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

86. يبين **الشكل 3–26** كرتين فلزيتين صغيرتين متماثلتين، البعد بينهما 25 cm، وتحملان شحنتين مختلفتين في النوع، مقدار كل منهما 0.060 μC. إذا كان فرق الجهد بينهما 300 V فما مقدار السعة الكهربائية للنظام؟



الشكل 3–26

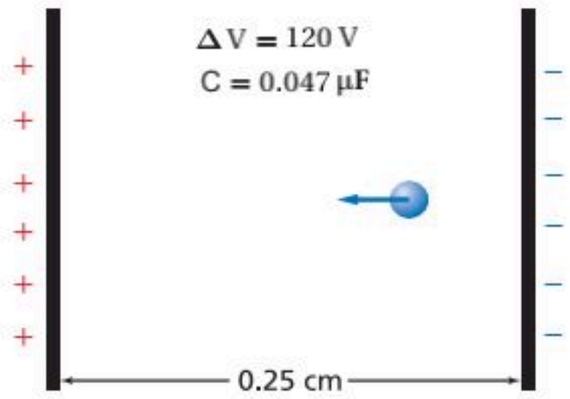
ارجع إلى المكثف الموضح في ***الشكل 3–27*** *عند حل المسائل* ***87–90****.*

87. إذا شُحن هذا المكثف حتى أصبح فرق الجهد بين لوحيه 120 V فما مقدار الشحنة المختزنة فيه؟

88. ما مقدار شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف؟

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

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



الشكل 3–27

ارجع إلى الرسم البياني الموضح في ***الشكل 3–28****، الذي يمثل الشحنة المختزنة في مكثف في أثناء زيادة فرق الجهد عليه، عند حل المسائل* ***91–95****.*

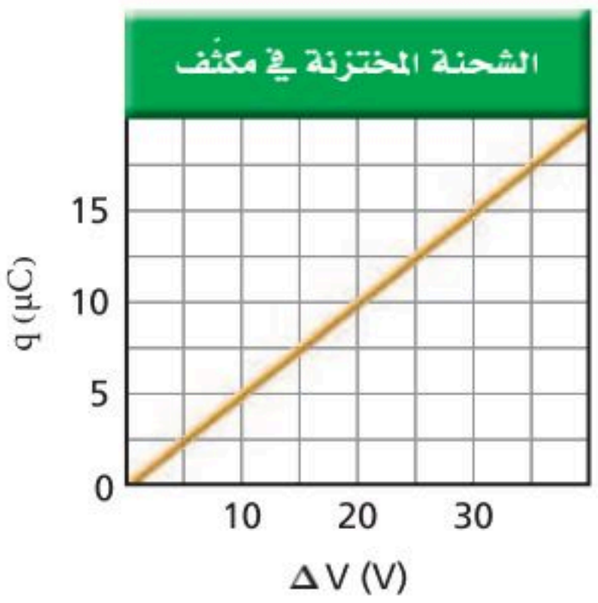
91. ماذا يمثّل ميل الخط الموضّح على الرسم البياني؟

92. ما سعة المكثف الممثّل في هذا الشكل؟

93. ماذا تمثّل المساحة تحت الخط البياني؟

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

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



الشكل 3–28

96. مثّل بيانيًّا شدة المجال الكهربائي الناشئ بالقرب من شحنة نقطية موجبة، على شكل دالة رياضية في البعد عنها.

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

98. ما شدة المجال الكهربائي على بُعد 0 m من شحنة نقطية؟ هل هناك شيء يشبه الشحنة النقطية تمامًا؟

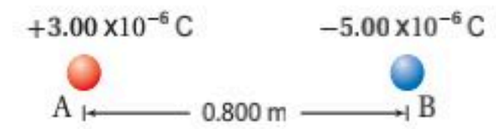
التفكير الناقد

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 3

100. حلّل واستنتج وُضِعت الكرتان الصغيرتان A وB على محور x، كما هو موضح في **الشكل 29–3**. 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 29–3

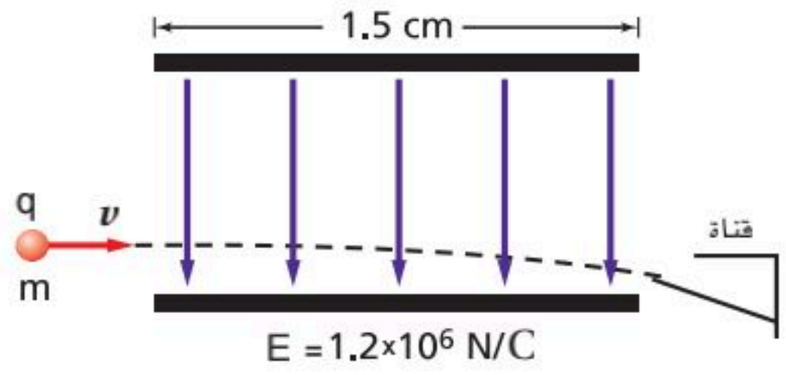
101. حلّل واستنتج في طابعة نفث الحبر، تُعطى قطرات الحبر كمية معيّنة من الشحنة قبل أن تتحرك بين لوحين كبيرين متوازيين، الهدف منهما توجيه الشحنات بحيث يتم إيقافها لتتحرك في قناة؛ لكي لا تصل إلى الورقة، كما هو موضّح في **الشكل 30–3**. ويبلغ طول كل لوح $1.5\ cm$، ويتولد بينهما مجال كهربائي مقداره $1.2\times10^{6}\ N/C$. فإذا تحركت قطرات حبر، كتلة كل منها $0.10\ ng$، وشحنتها $1.0\times10^{-16}\ C$، أفقيًّا بسرعة $15\ m/s$ في اتجاه موازٍ للوحين، كما في الشكل، فما مقدار الإزاحة الرأسية للقطرات لحظة مغادرتها اللوحين؟ لمساعدتك على إجابة السؤال أجب عن الأسئلة الآتية:

a. ما القوة الرأسية المؤثرة في القطرات؟

b. ما مقدار التسارع الرأسي للقطرات؟

c. ما الزمن الذي بقيت فيه القطرات بين اللوحين؟

d. ما إزاحة القطرات؟



الشكل 30–3

102. تطبيق المفاهيم افترض أن القمر يحمل شحنة فائضة تساوي $-q$، وأن الأرض تحمل شحنة فائضة تساوي $+10\,q$، ما مقدار الشحنة q التي تنتج مقدار القوة نفسه الناتج عن قوة الجاذبية بين كتلتيهما؟

الكتابة في الفيزياء

103. 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 مناقشة العمل الذي برّر إطلاق اسمه على تلك الوحدة.

مراجعة تراكمية

104. إذا كانت القوة بين شحنتين Q و q تساوي F عندما كانت المسافة بينهما r، فأوجد مقدار القوة الجديدة التي تنتج في كل حالة من الحالات الآتية: (الفصل 2)

a. مضاعفة r ثلاث مرات.

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

c. مضاعفة كل من r، وQ ثلاث مرات.

d. مضاعفة كل من r، وQ مرتين.

e. مضاعفة كل من r، وQ، وq ثلاث مرات.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. 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 بوصفه شحنة اختبار، وشحنة الإلكترونات صغيرة.

2. إذا تأثرت شحنة مقدارها $2.1\times10^{-9}\ C$ بقوة مقدارها $14\ N$، فما مقدار المجال الكهربائي المؤثر؟

(A) $0.15\times10^{-9}\ N/C$

(B) $6.7\times10^{-9}\ N/C$

(C) $29\times10^{-9}\ N/C$

(D) $6.7\times10^{9}\ N/C$

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

(A) $7.0\times10^{-8}\ N/C$، $24°$ شمال الشرق.

(B) $1.7\times10^{-6}\ N/C$، $24°$ جنوب الغرب.

(C) $1.1\times10^{-3}\ N/C$، $24°$ غرب الجنوب.

(D) $9.3\times10^{-1}\ N/C$، $24°$ شمال الشرق.

4. ما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين لوحين يبعد أحدهما عن الآخر $18\ cm$، والمجال الكهربائي بينهما $4.8\times10^{3}\ N/C$؟

(A) $27\ V$

(B) $86\ V$

(C) $0.86\ kV$

(D) $27\ kV$

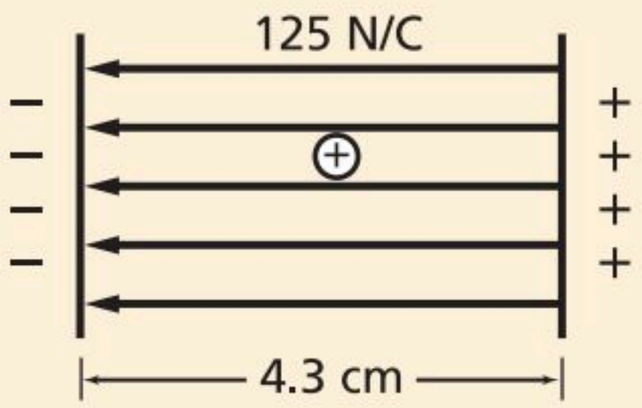
5. ما مقدار الشغل المبذول على بروتون عند نقله من لوح سالب الشحنة إلى لوح موجب الشحنة، إذا كانت المسافة بين اللوحين $4.3\ cm$، والمجال الكهربائي بينهما $125\ N/C$؟

(A) $5.5\times10^{-23}\ J$

(B) $8.6\times10^{-19}\ J$

(C) $1.1\times10^{-16}\ J$

(D) $5.4\ J$



6. كيف تم تحديد قيمة المجال الكهربائي في تجربة قطرة الزيت لملّيكان؟

(A) باستخدام مغناطيس كهربائي قابل للقياس.

(B) من خلال فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين.

(C) من خلال مقدار الشحنة.

(D) بمقياس كهربائي.

7. في تجربة قطرة الزيت، تم تثبيت قطرة زيت وزنها $1.9\times10^{-14}\ N$ عندما كان فرق الجهد بين اللوحين $0.78\ kV$، والبعد بينهما $63\ mm$، كما هو موضح في الشكل في الصفحة الآتية. ما مقدار الشحنة على القطرة؟

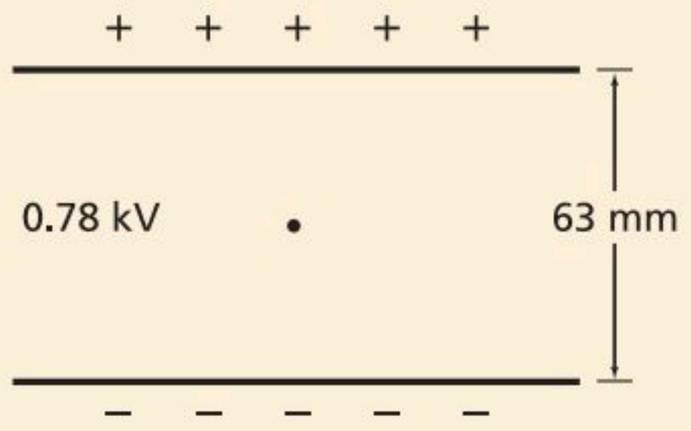
(A) $-1.5\times10^{-18}\ C$

(B) $-3.9\times10^{-16}\ C$

(C) $-1.2\times10^{-15}\ C$

(D) $-9.3\times10^{-13}\ C$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



8. مكثف سعته 0.093 μF. إذا كانت شحنته 58 μC فما مقدار فرق الجهد الكهربائي عليه؟

(A) 5.4×10^{-12} V

(B) 1.6×10^{-6} V

(C) 6.2×10^{2} V

(D) 5.4×10^{3} V

الأسئلة الممتدة

9. افترض أن قطرة زيت تحمل 18 إلكترونًا إضافيًّا. احسب شحنة قطرة الزيت، واحسب فرق الجهد الكهربائي اللازم لتثبيتها بين لوحين فلزيين متوازيين ومشحونين البعد بينهما 14.1 mm، إذا كان وزنها 6.12×10^{-14} N.

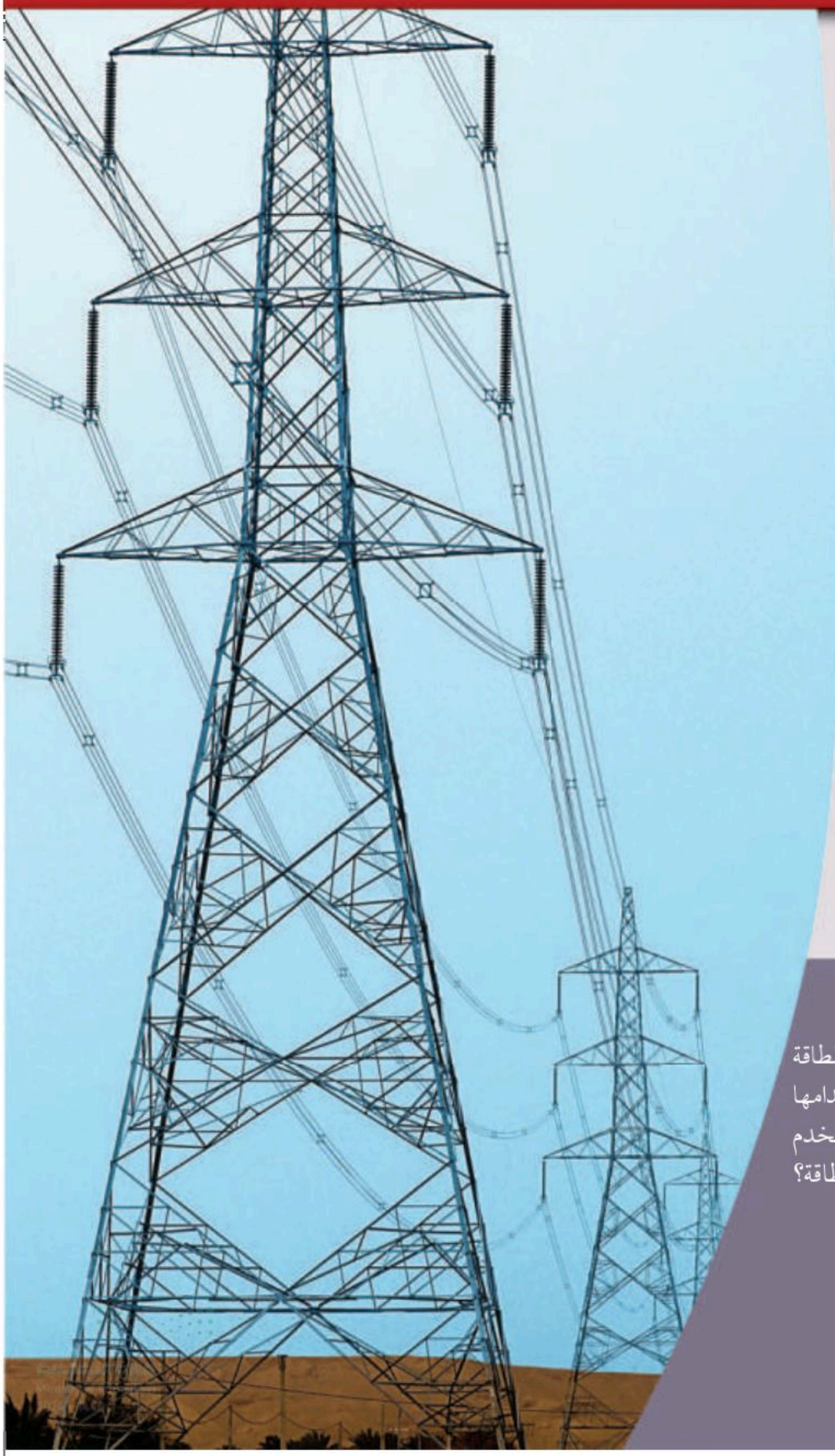
✓ إرشاد

استعمل نظام الأصدقاء

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

الفصل 4

الكهرباء التيارية
Current Electricity



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- توضيح تحوّلات الطاقة في الدوائر الكهربائية.
- حل مسائل تتضمن التيار الكهربائي وفرق الجهد والمقاومة.
- رسم دوائر كهربائية بسيطة.

الأهمية

يعتمد مبدأ عمل الأدوات والأجهزة الكهربائية التي تستعملها على مقدرة الدوائر الكهربائية فيها على نقل الطاقة الناتجة عن فرق الجهد، ومن ثم إنجاز شغل.

أسلاك نقل القدرة تنتشر شبكة أسلاك نقل الطاقة الكهربائية في طول البلاد وعرضها لنقل الطاقة إلى الأماكن التي تحتاج إليها. وتتم عملية النقل هذه عند فروق جهد كبيرة، تصل غالبًا إلى 500,000 V.

فكّر ◄

تكون فروق الجهد (الفولتيات) في 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؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

هل يمكنك إنارة مصباح كهربائي؟

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

الخطوات

1. احصل من معلمك على مصباح كهربائي وسلك وبطارية، ثم حاول إيجاد الطرائق الممكنة لإنارة المصباح. ***تحذير: السلك حاد، وقد يجرح الجلد، كما أنه يسخن إذا وُصلت نهايتاه بقطبي بطارية.***
2. أنشئ رسمًا تخطيطيًّا لطريقتين يُمكنك بهما إنارة المصباح. تأكد من كتابة أسماء الأجزاء؛ البطارية والسلك والمصباح على الرسم.
3. أنشئ رسمًا تخطيطيًّا لثلاث طرائق على الأقل لا يُمكنك استعمالها في إنارة المصباح.

التحليل

كيف يمكنك معرفة ما إذا كان التيار الكهربائي يسري 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 سريان الكهرباء في المصباح؟

4–1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية Current and Circuits

لا يمكن الاستغناء عن الطاقة الكهربائية في حياتنا اليومية؛ وهي لا تفنى بل تتحول إلى أشكال أخرى بسهولة. فهناك أمثلة كثيرة على ذلك؛ ففي منزلك تساعدك الأنوار على القراءة، كما يعتمد عمل الحواسيب على الكهرباء. أما خارج المنزل فمصابيح إنارة الشوارع والإشارات الضوئية تستخدم تدفق الشحنات الكهربائية. وستتعلم في هذا الفصل كيف يرتبط فرق الجهد، والمقاومة، والتيار معًا، وستتعرّف أيضًا القدرة الكهربائية وتحولات الطاقة.

تعلم أن للماء المتدفق من أعلى شلال طاقة وضع وطاقة حركية. ورغم توافر كمية كبيرة من طاقتي الوضع والحركة الطبيعيتين في بعض المصادر الطبيعية كما في الشلالات وموجات البحر مثلًا، وبسبب بُعد هذه المصادر عن مناطق السكن والمصانع فنضطر إلى نقلها بكفاءة. وتعدّ الطاقة الكهربائية الوسيلة الأمثل لنقل كميات كبيرة من الطاقة مسافات كبيرة دون فقد جزء كبير منها. وتتم عملية النقل هذه عادة عند فروق جهد كبيرة عبر أسلاك نقل القدرة، كتلك الموضحة في الصفحة السابقة. 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.

الأهداف

- **تصف** الشروط اللازمة لسريان تيار كهربائي في دائرة كهربائية.
- **توضح** قانون أوم.
- **تُصمّم** دوائر كهربائية مغلقة.
- **تُفرّق** بين القدرة والطاقة في دائرة كهربائية.

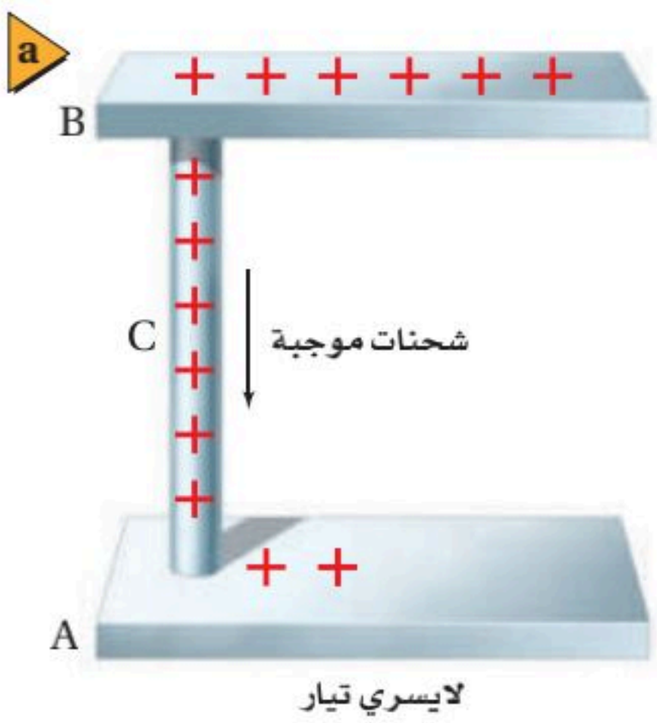
المفردات

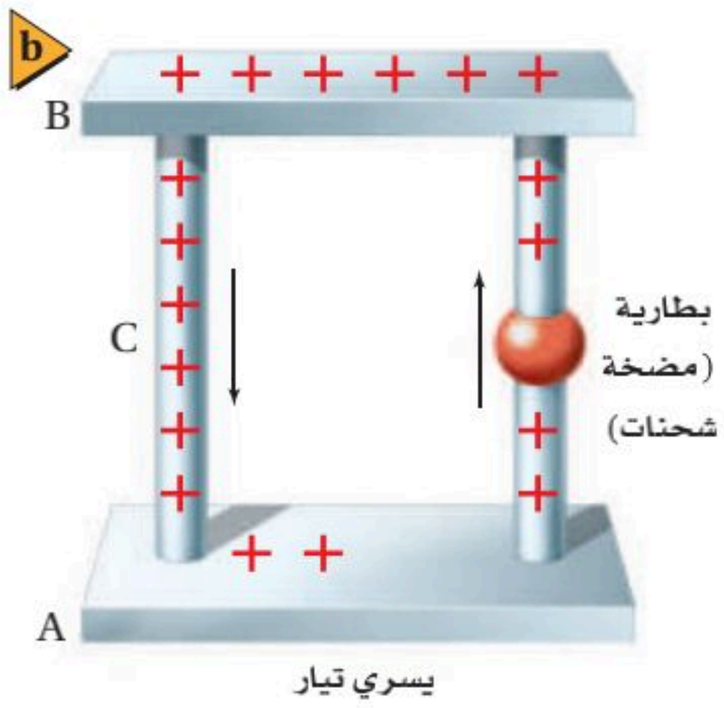
التيار الكهربائي	التيار الاصطلاحي
البطارية	الدائرة الكهربائية
حفظ الشحنة	الأمبير
المقاومة الكهربائية	التوصيل على التوازي
التوصيل على التوالي	

توليد التيار الكهربائي Producing Electric Current

تعلمت سابقًا أنه عند تلامس كرتين موصلتين تتدفق الشحنات من الكرة ذات الجهد الأعلى إلى الكرة ذات الجهد المنخفض، ويستمر التدفق حتى يتلاشى فرق الجهد بينهما.

ويسمّى المعدل الزمني لتدفق الشحنة الكهربائية **التيار الكهربائي**. ويوضح **الشكل 1a–4** لوحين موصلين A و B، تم توصيلهما بسلك موصل C. ولأن جهد B أكبر من جهد A فإن الشحنات تتدفق من B إلى A عبر السلك C. ويسمّى تدفق الشحنات الموجبة **التيار الاصطلاحي**. ويتوقف التدفق عندما يصبح فرق الجهد بين A و B و C صفرًا. ويمكنك المحافظة أو الإبقاء على وجود فرق جهد كهربائي بين A وB عن طريق ضخ جسيمات مشحونة من اللوح A لتعود إلى اللوح B، كما هو موضّح في **الشكل 1b–4**. ولأن المضخة (مصدر الجهد) تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات فإنها تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي حتى تعمل. ولهذه الطاقة مصادر متنوعة؛ فمثلًا تعد الخلية الفولتية، أو الخلية الجلفانية (البطارية الجافة الشائعة)، أحد هذه المصادر المألوفة؛ إذ تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية. وعند 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.





الشكل 1–4 يُعرّف التيار الاصطلاحي بأنه تدفق الشحنات الموجبة من اللوح الموجب إلى اللوح السالب (a). ويضخ المولّد الشحنات الموجبة لتعود إلى اللوح الموجب، مما يؤدي إلى استمرار سريان التيار (b). وفي أغلب الفلزات تتدفق الإلكترونات ذات الشحنة السالبة من اللوح السالب إلى اللوح الموجب، مما يجعل الشحنات الموجبة تبدو وكأنها تتحرك في الاتجاه المعاكس.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الدوائر الكهربائية Electric Circuits

تتحرك الشحنات الموضحة في **الشكل 1b–4** في مسـار مغلق، بحيث تتحرك في دورة تبدأ من البطارية (المضخة)، ثم تصل إلى اللوح B من خلال الموصل C، وتصل بعد ذلك إلى الـلوح A لتعود إلى المضخة مرة أخرى. وتسمى أي حلقة مغلقة أو مسار موصل يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية **الدائرةَ الكهربائية**. وتحتوي الدائرة على بطارية (مضخة للشحنات)، تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من A إلى B، كما تحتوي أيضًا على أداة تقلل من طاقة الوضـع الكهربائية للشـحنات المتدفقة من B إلى A. وتتحول عادة طاقـة الوضع التي تفقدها الشحنات المتحركة (qV) بهذه الأداة إلى أشكال أخرى للطاقة. فمثلاً يعمل المحرك على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية، ويحوّل المصبـاح الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية، وتحوّل المدفأة الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

فدور البطارية هو تزويد الشحنات الكهربائية بطاقة تمكنها من التدفق في الدائرة مشكلة تيارا كهربائيًّا.

حفظ الشـحنة الشحنات لا تفنى ولا تسـتحدث، ولكن يمكن فصلها؛ لذا فإن الكمية الكلية للشـحنة – عدد الإلكترونات السـالبة والأيونـات الموجبة – في الدائـرة لا تتغير. فإذا تدفق كولوم واحد من الشـحنات الكهربائية خلال ثانية واحدة في جزء من الدائرة الكهربائية المغلقة فسـيتدفق المقدار نفسه من الشـحنات في جميع أجزاء الدائرة نفسـها، لذا تكون كمية الشحنة محفوظة. كما تكون الطاقة محفوظة أيضًا؛ حيث إن التغير في الطاقة الكهربائية ΔE يسـاوي qV. ولأن q محفوظة فإن التغير الكلي في طاقة الوضع للشـحنات التي تحركت دورة كاملة في الدائرة الكهربائية يسـاوي صفرًا. وتكون الزيـادة في فرق الجهد في جزء من دائرة كهربائية مسـاوية للنقصان في فرق الجهد خلال الأجزاء الأخرى منها.

معدل تدفق الشحنة ومعدل تحول الطاقة
Rates of Charge Flow and Energy Transfers

تمثّل القـدرة المعـدل الزمني لتحوّل الطاقـة، وتُقاس بوحـدة الواطW. فإذا حـوّل مولّد كهربائـي 1 J من الطاقـة الحركية إلى طاقـة كهربائيـة في كل ثانية فعندئذ يمكننـا القول إن المولـد يحول الطاقـة بمعـدل 1 J /s أو 1 W. وتعتمد الطاقـة التي يحملها التيـار الكهربائي على كمية الشـحنات المنقولـة q، كما تعتمد أيضًا عـلى فرق الجهد V بين طرفي المسـار الذي يتحرك فيـه التيـار؛ أي أن $E = qV$. ويسـمّى معدل تدفق الشـحنة الكهربائية q/t شـدة التيـار الكهربائـي، ويقـاس بوحدة كولوم لـكل ثانية؛ حيـث وحدة قياس كمية الشـحنة الكهربائية هي الكولوم، كما درسـت سـابقًا. ويُرمـز إلى التيار الكهربائي بالرمـز I، لذا فإن $I = q/t$. ويسـمّى تدفق 1 C /s **الأمبير**، ويرمز له بالرمز A. وهي الوحدة المعيارية لشـدة التيار الكهربائي في النظام الدولي للوحدات SI.

ترتبط الطاقة التي يحملها التيار الكهربائي مع الجهد الكهربائي من خلال العلاقة $E = qV$. وحيث إن التيار $I = q/t$ يمثّل المعدل الزمني لتدفق الشحنة فإنه يمكن تحديد القدرة، $P = E/t$، لجهاز كهربائي بضرب الجهد في التيار. ولاشتقاق هذه الصورة المألوفة لمعادلة القدرة الكهربائية الواصلة إلى جهاز كهربائي يمكنك استخدام العلاقة $P = E/t$، ثم تعوّض فيها العلاقتين الآتيتين $E = qV$ و $q = It$.

القدرة $P = IV$

القدرة تساوي شدة التيار مضروبًا في فرق الجهد.

إذا كان التيار المار في محرّك كهربائي 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.

مثال 1

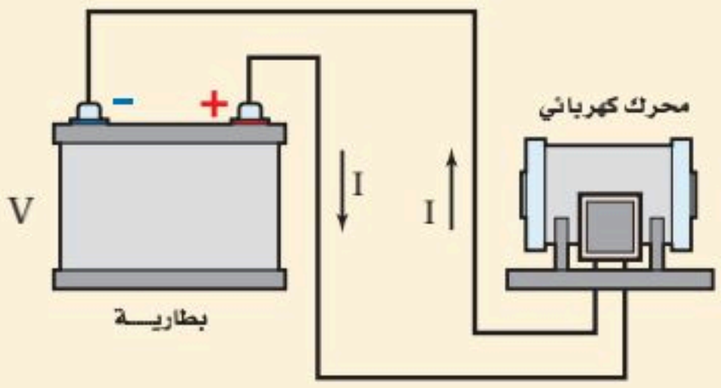
القدرة الكهربائية والطاقة ولّدت بطارية جهدها 6.0 V تيارًا مقداره 0.50 A في محرك كهربائي عند وصله بطرفيها. احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة إلى المحرك.

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

1 تحليل المسألة ورسمها

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



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

دليل الرياضيات

الأرقام المعنوية

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

بالتعويض عن $I = 0.50\ A$، $V = 6.0\ V$

$$P = IV$$
$$= (0.50\ A)(6.0\ V)$$
$$= 3.0\ W$$

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

$$E = Pt$$

بالتعويض عن $P = 3.0\ W$، $t = 5.0\ min$

$$= (3.0\ J/s)(5.0\ min)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$

$$= 9.0\times10^{2}\ J$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس القدرة بالواط، والطاقة بالجول.
- **هل الجواب منطقي؟** مقدار التيار والجهد قليلان نسبيًّا، لذا يكون المقدار القليل للقدرة منطقيًّا.

مسائل تدريبية

1. إذا مرّ تيـــار كهربائي مقداره 0.50 A في مصباح كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 125 V، فـــما المعدل الزمني لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية؟ افترض أن كفاءة المصباح 100%.
2. تَوَلّـــد تيار مقـــداره 2.0 A في مصباح متصل ببطارية ســـيارة. ما مقدار القدرة المستهلكة في المصباح إذا كان فرق الجهد عليه 12 V؟
3. ما مقـــدار التيار الكهربائي المار في مصباح قدرتـــه 75 W متصل بمصدر جهد مقداره 125 V؟
4. يمرّ تيار كهربائي مقداره 210 A في جهاز بدء التشغيل في محرك سيارة. فإذا كان فرق الجهد بين قطبـــي البطارية 12 V فما مقدار الطاقة الكهربائية التي تصل إلى جهاز بدء التشغيل خلال 10.0 s؟
5. مصـباح كهربائي كُتب عليه 0.90 W. إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 3.0 V فما مقدار شدة التيار المار فيه؟

المقاومة الكهربائية وقانون أوم Resistance and Ohm's Law

درس العـــالم أوم(1854–1787) العلاقة بين التيار وفرق الجهـــد، وتوصل إلى أن التيار الكهربائي يتناسب طرديًّا مع فرق الجهد، وعُرفت هذه النتيجة باسم قانون أوم. افترض أن هناك فرق جهد كهربائي بين موصلين، فإذا وصلا بقضيب نحاسي، فسينتج عن ذلك تيار كهربائي كبير. أما عند وضع قضيب زجاجي بينهما فغالبًا لن يسري تيار كهربائي. وتسمّى الخاصية التي تحدد مقدار التيار الذي سيمر **المقاومة الكهربائية**. يحتوي **الجدول 1–4** على قائمة لبعض العوامل التي تؤثر في المقاومة، حيث يتم قياس المقاومة بتطبيق فرق جهد على طرفي الموصل، ثم قسمة الجهد على التيار المتولّد. وتعرّف المقاومة R بأنها نسبة فرق الجهد الكهربائي V إلى التيار الكهربائي I.

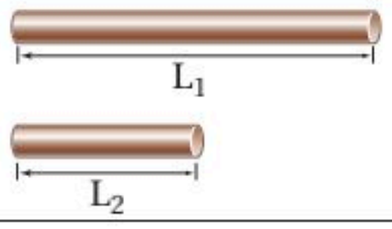
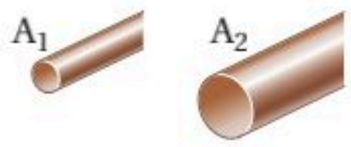
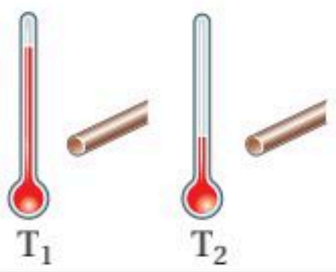
المقاومة $R = \frac{V}{I}$

المقاومة تساوي فرق الجهد الكهربائي مقسومًا على شدة التيار.

تُقاس مقاومـــة موصل R بوحدة الأوم، ويعرّف الأوم الواحد (1 Ω) بأنه مقاومة موصل

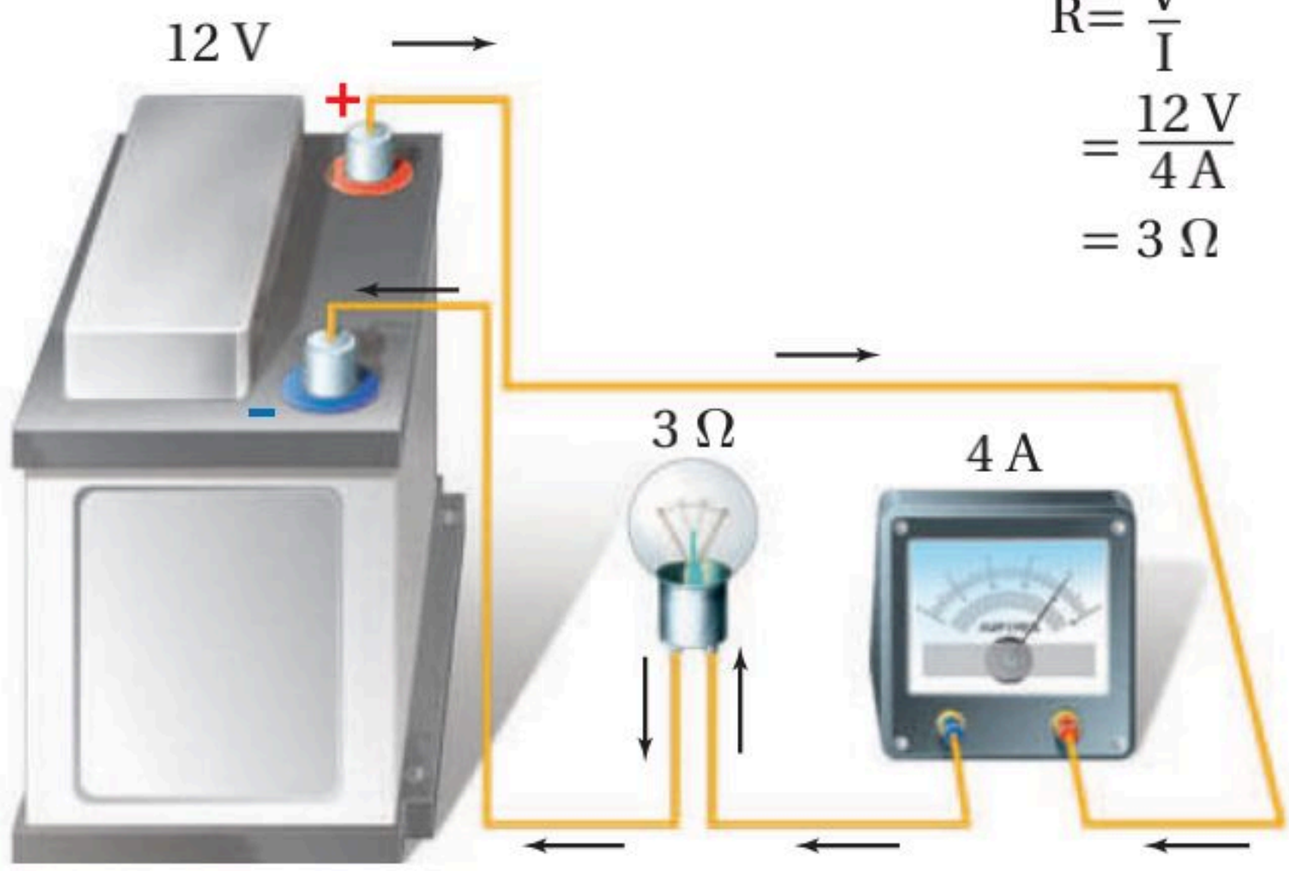
الجدول 1-4

تغير المقاومة

العامل	كيفية تغيُّر 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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

$$R = \frac{V}{I}$$
$$= \frac{12\ V}{4\ A}$$
$$= 3\ \Omega$$



■ **الشكل 2–4** يعُرَّف الأوم الواحد (1 Ω) بأنه 1 V/A. يمر تيار كهربائي مقداره 4 A في دائرة كهربائية تحوي مقاومة كهربائية مقدارها 3 Ω عند وصلها ببطارية فرق الجهد بين قطبيها 12 V.

يمر فيه تيار شدته 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V. ويوضّح **الشكل 2–4** دائرة كهربائية بسيطة تربط بين المقاومة والتيار والجهد. وقد أكملت الدائرة الكهربائية بتوصيل أميتر بها؛ وهو جهاز يقيس شدة التيار الكهربائي.

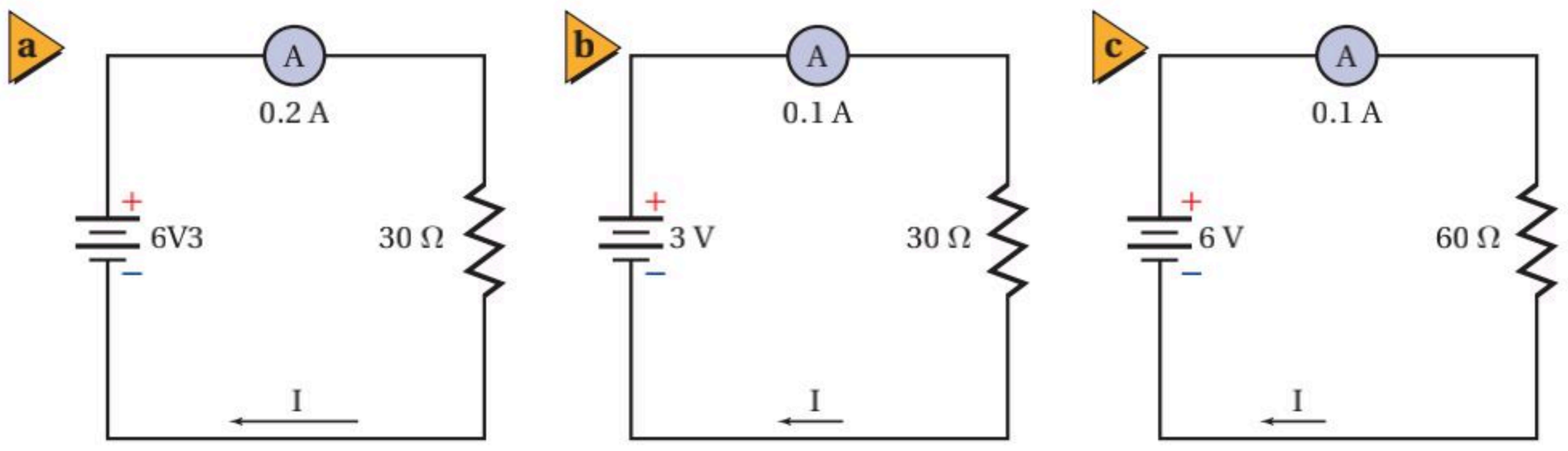
وقد سُمّيت وحدة المقاومة الأوم نسبة إلى العالم الألماني جورج سيمون أوم، الذي وجد أن النسبة بين فرق الجهد بين طرفي موصل وشدة التيار المار فيه ثابتة للموصل الواحد. ولا تتغير مقاومة معظم الموصلات بتغير مقدار أو اتجاه الجهد المُطبّق عليها. ويُقال عن الموصل إنه يُحقّق قانون أوم إذا كانت مقاومته ثابتة لا تعتمد على فرق الجهد بين طرفيه.

وتُحقّق 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 لا تُحقّق قانون أوم. فالمذياع والآلة الحاسبة يحتويان عددًا من الترانزستورات والصمامات الثنائية (الدايودات)، وحتى المصباح الكهربائي له أيضًا مقاومة تعتمد على درجة حرارته، كما أنه لا يُحقّق قانون أوم.

إن مقاومة الأسلاك المستخدمة في توصيل الأجهزة الكهربائية قليلة. فمقاومة سلك 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 متر من طولها. ولأن مقاومة هذه الأسلاك قليلة جدًّا فإنه لا يحدث – غالبًا – نقصان أو هبوط للجهد خلالها. ولإنتاج هبوط أكبر في الجهد يلزم وجود مقاومة كبيرة مُتركِّزة في حجم صغير. ويمكن صنع المقاومات من الجرافيت أو أشباه الموصلات أو باستعمال أسلاك طويلة ورفيعة.

تطبيق الفيزياء

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

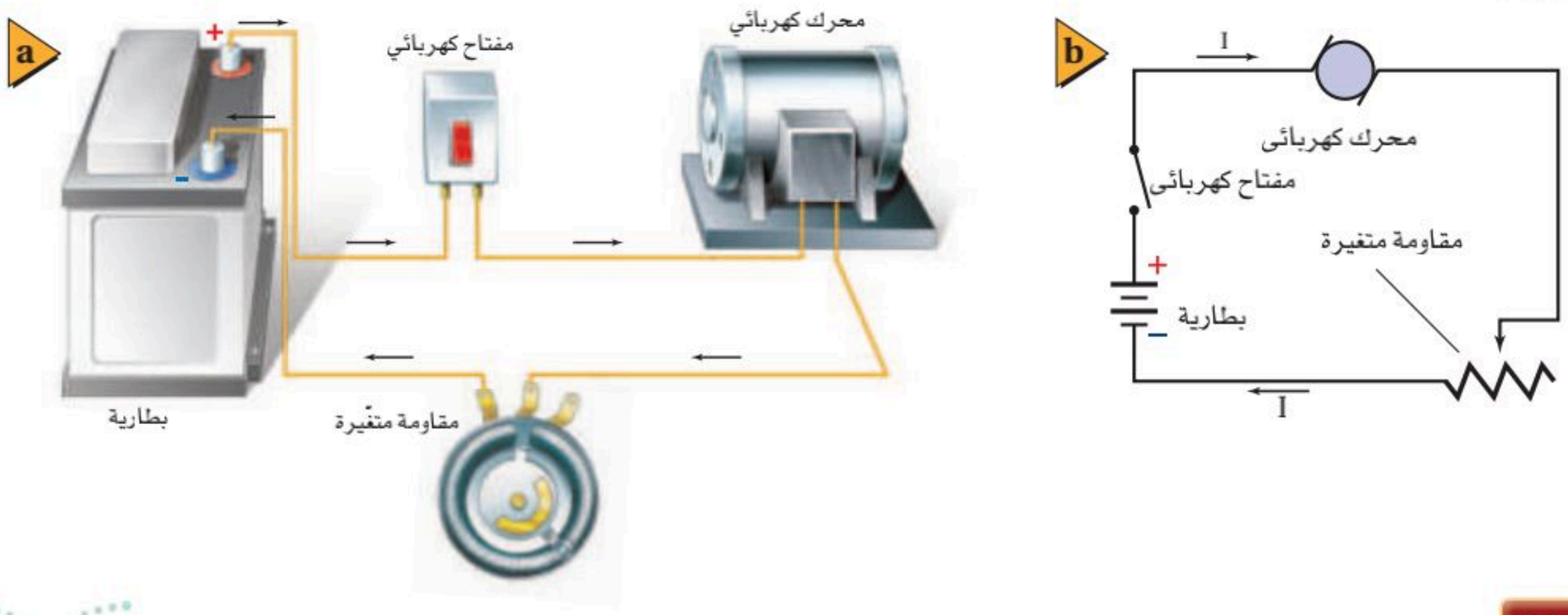


الشكل 3–4 يمكن التحكم في التيار المار في الدائرة البسيطة الموضحة في الشكل (**a**) عن طريق إزالة بعض الخلايا الجافة (**b**) أو بزيادة مقاومة الدائرة (**c**).

وهناك طريقتان للتحكم في شدة التيار المار في دائرة كهربائية؛ حيث يمكن التحكم في شدة التيار الكهربائي I عن طريق تغيير V أو R أو كليهما؛ وذلك لأن $I = V/R$. ويوضّح **الشكل 3a–4** 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 مقاومة زادت شدة التيار الكهربائي المار فيه، أما إذا قلّ فرق الجهد المُطبّق على المقاومة إلى النصف فسوف تقل شدة التيار المار فيه إلى النصف أيضًا. ويوضح **الشكل 3b–4** أن الجهد المُطبّق على طرفي المقاومة 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 مقاومة 60 Ω بدلاً من المقاومة 30 Ω، كما هو موضّح في **الشكل 3c–4**.

وتُستخدم المقاومات 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 تُستخدم مقاومة متغيرة. ويوضح **الشكل 4–4** دائرة كهربائية تحتوي على مقاومة متغيرة. وتتكون بعض المقاومات المتغيرة من ملف مصنوع من سلك

الشكل 4–4 يمكن استعمال مقاومة متغيرة للتحكم في التيار المار في دائرة كهربائية.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

فلزي ونقطــة اتصال منزلقة (متحركة). وبتحريك نقطــة الاتصال إلى مواقع مختلفة على الملف يتغير طول الســلك الذي يصبح ضمن الدائرة الكهربائية؛ فبزيادة طول الســلك في الدائــرة تزداد مقاومة الدائرة، لذا يتغير التيار وفــق المعادلة $I = V/R$. وبهذه الطريقة يمكن تعديل سرعة محرك من دوران سريع عندما يكون طول الســلك في الدائرة قصيرًا، ليصبح دورانه بطيئًا عند زيادة طول السلك في الدائرة. وهناك أمثلة أخرى على استخدام المقاومات المتغيرة للتحكم في مســتويات الطاقــة الكهربائية في التلفــاز وضبطها، مثل التحكم في الصوت ودرجة سطوع الصورة وتباينها والألوان، وتعدّ جميع أدوات الضبط هذه مقاومات متغيرة.

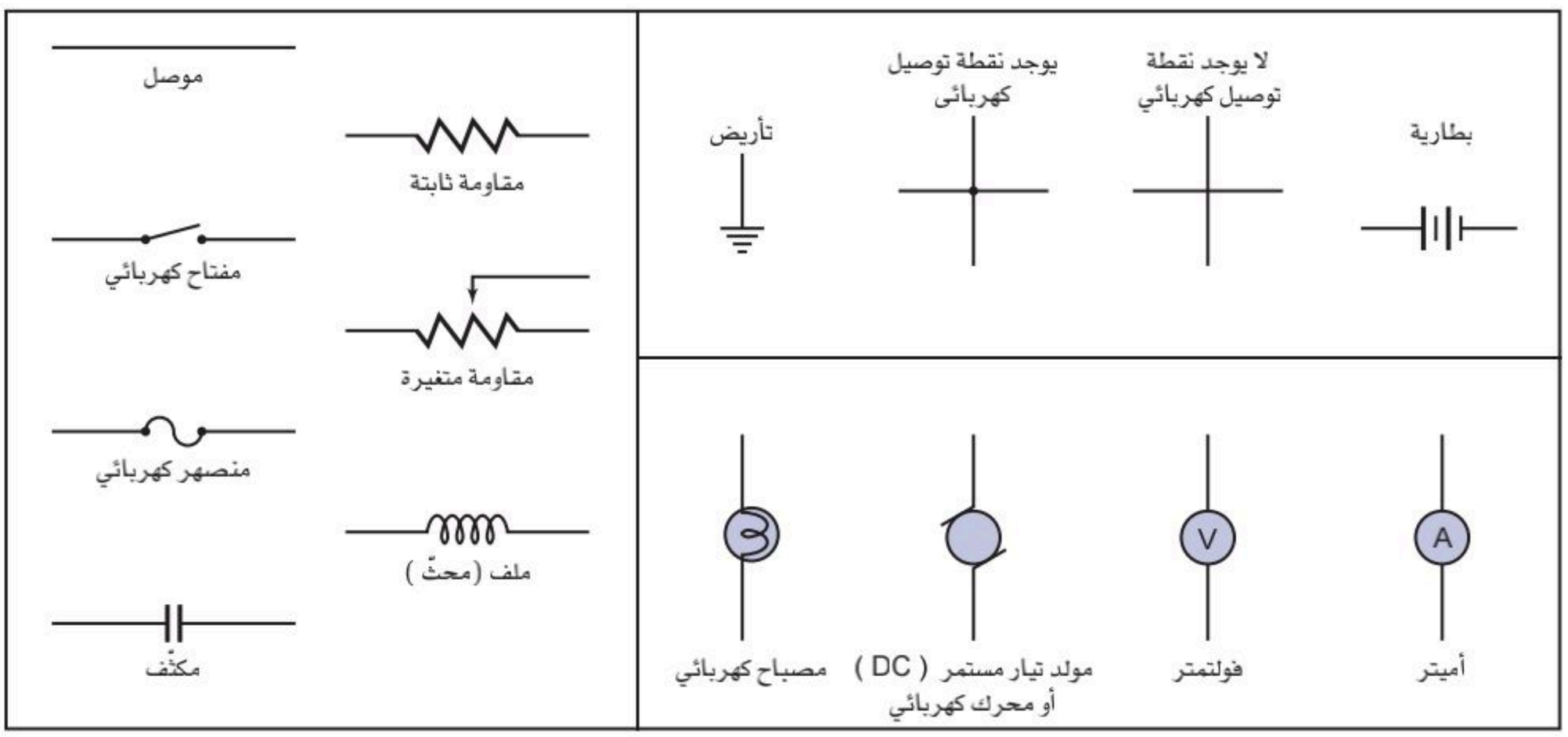
الربــط مــع الأحيــاء

جســم الإنســان يؤثر جســم الإنســان بوصفه مقاومة متغيرة؛ 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 الســيطرة على العضلات. في حين أن التيــارات التي مقاديرها قريبة من 100 mA قد تؤدي إلى الموت.

تمثيل الدوائر الكهربائية Diagramming Circuits

يمكن وصف دائرة كهربائية بســيطة بالكلمات، كما يمكن أيضًا تصويرها فوتوجرافيًّا أو بالرسم الفني لأجزائها. وترســم الدوائر الكهربائية غالبًا باستخدام رموز معينة لأجزاء الدائرة، ومثل هذا الرســم يسمّى الرسم التخطيطي للدائرة. ويوضح **الشكل 5–4** بعض الرموز المستخدمة في الرسوم التخطيطيّة للدوائر الكهربائية.

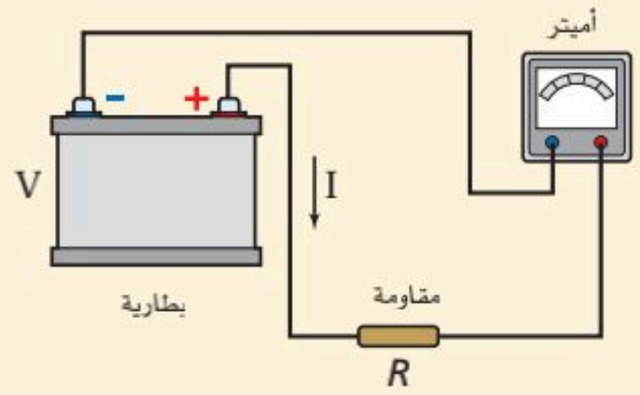
■ **الشكل 5–4** تستخدم هذه الرموز عادةً للرسم التخطيطي للدوائر الكهربائية.



مثـــال 2

التيار المار في مقاومة وصلت بطارية فرق الجهد بين قطبيها 30.0 V بمقاومة مقدارها 10.0 Ω. ما مقدار التيار المار في الدائرة؟

1 تحليل المسألة ورسمها



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

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم المعادلة $I = V/R$، لإيجاد التيار:

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

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

بالتعويض عن $V = 30.0\ V$، $R = 10.0\ \Omega$

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

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

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

6. إذا وُصل محرك بمصدر جهد، وكانت مقاومة المحرك في أثناء تشغيله 33 Ω، ومقدار التيار المار في تلك الدائرة 3.8 A، فما مقدار جهد المصدر؟

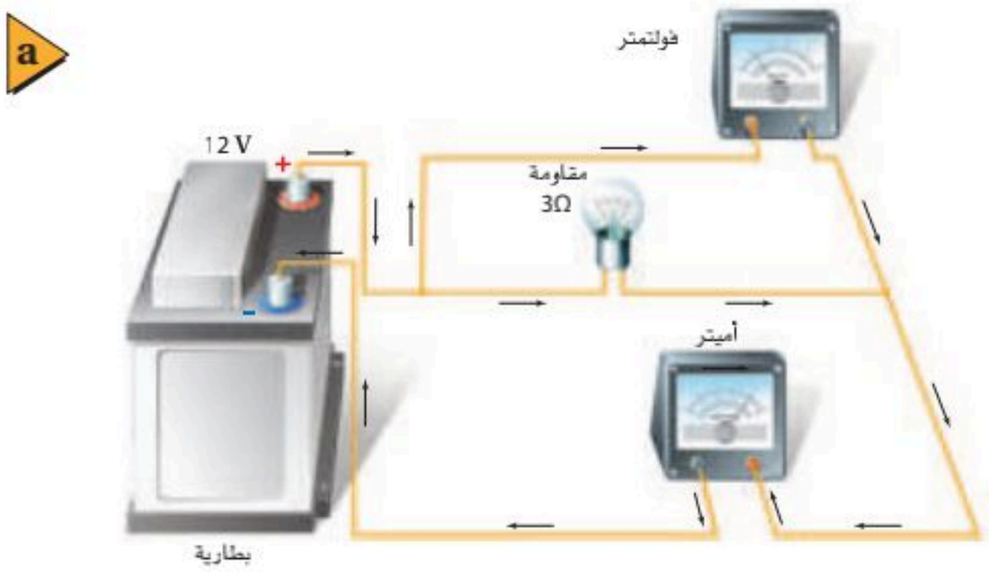
7. يمر تيار مقداره $2.0\times10^{-4}\ A$ في مجسّ عند تشغيله ببطارية جهدها 3.0 V. ما مقدار مقاومة دائرة جهاز المجسّ؟

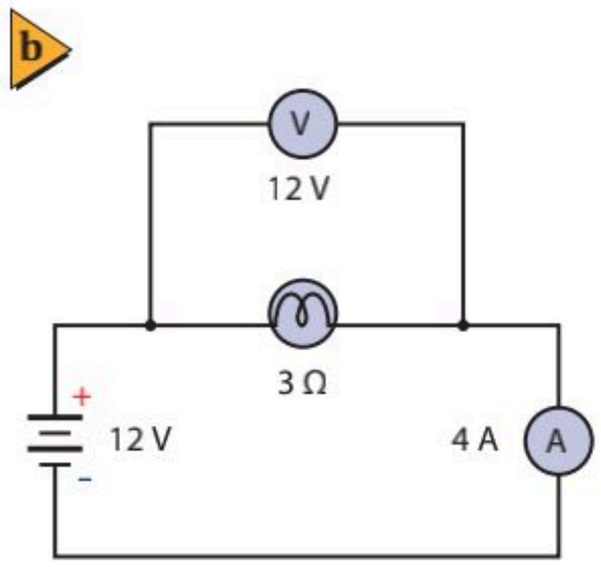
8. يسحب مصباح تيارًا مقداره 0.50 A عند توصيله بمصدر جهد مقداره 120 V. احسب مقدار:
a. مقاومة المصباح. **b.** القدرة الكهربائية المستهلكة في المصباح.

9. وصِل مصباح كُتب عليه 75 W بمصدر جهد 125 V، احسب مقدار:
a. التيار المار في المصباح. **b.** مقاومة المصباح.

10. في المسألة السابقة، إذا أُضيفت مقاومة للمصباح لتقليل التيار المار فيه إلى نصف قيمته الأصلية، فما مقدار:
a. فرق الجهد بين طرفي المصباح؟
b. المقاومة التي أُضيفت إلى الدائرة؟
c. القدرة الكهربائية التي يستهلكها المصباح الآن؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446





■ **الشكل 6–4** تمثيل تصويري لدائرة بسيطة (**a**)، وتمثيل آخر تخطيطي (**b**).

يوضح **الشـــكلان 6a–4** و **6b–4** الدائرة نفسها بالرسم التصويري والرسم التخطيطي. ولعلك تلاحظ أن الشحنة الكهربائية في كلا الشكلين تتدفق خارجةً من القطب الموجب للبطارية. ولإنشاء الرسوم التخطيطية للدوائر الكهربائية استخدم استراتيجية حل المسألة أدناه، وحدّد دائمًا اتجاه التيار الاصطلاحي.

تعلمت أن الأميتر يقيس التيار، والفولتمتر يقيس فرق الجهد. ولكل جهاز طرفان يميَّزان عادة بـ + و – لأجهزة قياس التيار المستمر. يقيس الفولتمتر فرق الجهد على أيٍّ من أجزاء الدائرة أو عناصرها. ولقياس فرق الجهد الكهربائي على أيّ عنصر في الدائرة، يوصل دائمًا طرف الفولتمتر الموجب + بطرف العنصر الأقرب إلى القطب الموجب للبطارية، ويوصل الطرف الآخر للفولتمتر بالطرف الآخر للعنصر.

استراتيجيات حل المسألة

إنشاء الرسوم التخطيطية

اتبع هذه الخطوات عند إعداد الرسوم التخطيطية:

1. ارســم رمز البطارية أو رمز أي مصدر آخــر للطاقة الكهربائيــة، مثل البطارية الموضّحــة في الجانب الأيسر من أعلى الصفحة، واجعــل الطرف الموجب، وهو الخط الأكبر، في الأعلى.
2. ارسم ســلكًا خارجًا من الطرف الموجب للبطارية، وعند الوصول إلى مقاومة أو أيّ مكون (عنصر) آخر، ارسم الرمز الخاص به.
3. عنــد الوصول إلى نقطة يكون عندها مســاران للتيار الكهربائــي، كتلك النقطة الموصول عندها الفولتمتر، نرســم 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، ولكنه أقصر.
5. تحقّــق من صحة عملك، وأنه تضمن كل الأجزاء، وأن المســارات مكتملة ليمر التيار.

تجــربة

تأثيرات التيار الكهربائي

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

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

التحليل والاستنتاج

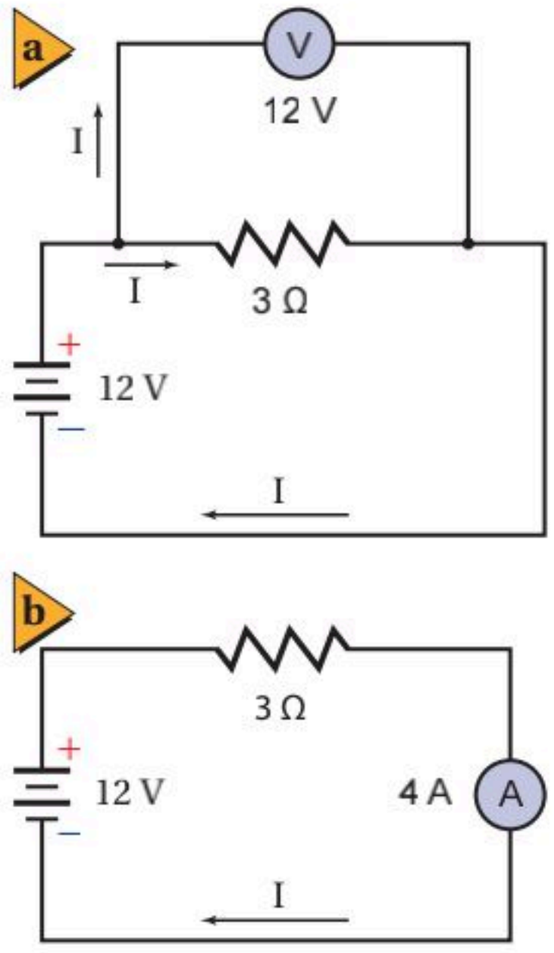
4. توقع هل يكون التيار بين المصباحين أكبر من التيار الذي يكون قبلهما، أو أقل منه، أو يبقى ثابتًا؟ وضّح إجابتك.
5. **اختبر توقعك** عن طريق تركيب الدوائر الكهربائية. ***تحذير: السلك حاد، وقد يجرح الجلد.***

مسائل تدريبية

11. ارسم رسـمًا تخطيطيًّا لدائرة توالٍ تحتوي على بطارية فـرق الجهد بين طرفيها 60.0 V، وأميتر، ومقاومة مقدارها 12.5 Ω، وأوجد قراءة الأميتر، وحدّد اتجاه التيار.

12. أضف فولتمتر إلى الرسـم التخطيطي للدائرة الكهربائية في المسـألة السـابقة لقياس فرق الجهد بين طرفي المقاومتين، ثم أعد حلّها.

13. ارسم دائرة على أن تستخدم بطارية ومصباحًا ومفتاحًا كهربائيًّا ومقاومة متغيرة لتعديل سطوع المصباح.



الشكل 7–4 يبين هذان الرسمان التخطيطيان دائرة توازٍ (**a**) ودائرة توالٍ (**b**) كهربائيتين.

عنـد توصيل فولتمتر بـين طرفي عنـصر في دائرة كهربائيـة فإن هذا التوصيل يسـمّى **التوصيل على التوازي**، كما هو موضّح في **الشـكل 7a–4**. ويُسـمّى أيّ توصيل كهربائي يتفرّع فيه التيار إلى مسـارين أو أكثر التوصيلَ على *التوازي*. ويكون فرق الجهد بين طرفي الفولتمتر مسـاويًا لفرق الجهد بين طرفي العنصر في الدائرة، لذا يرافق حالة التوصيل على التوازي دائمًا العبارة الآتية: "*الجهد متساوٍ*".

يقيـس الأميتر التيار المار في عنصر في الدائرة. والتيار نفسـه الذي يمر في العنصر يجب أن يمر في الأميتر، لذا يكون هناك مسـار واحد فقط للتيار. ويسمّى التوصيل في حالة وجود مسار واحد فقط للتيار في الدائرة **التوصيلَ على التوالي**، كما هو موضّح في **الشكل 7b–4**. ولإضافة أميتر إلى دائرة كهربائية يجب فصل أحد السلكين الموصولين بعنصر الدائرة، ومن ثم يوصل ذلك السلك بالأميتر، ثم يتم توصيل سلك آخر من الطرف الثاني للأميتر بعنصر الدائرة. ويكون هناك مسار واحد فقط للتيار في دائرة التوالي، لذا يرافق حالة التوصيل على التوالي دائمًا العبارة الآتية: "*التيار متساوٍ*".

4–1 مراجعة

14. **رسـم تخطيطي** ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة كهربائية تحتوي على بطارية ومصباح كهربائي، وتأكد من أن المصباح الكهربائي سيضيء في هذه الدائرة .

15. **المقاومة الكهربائية** يدَّعي طارق أن المقاومة ستزداد بزيادة فرق الجهد؛ وذلـك لأن $R = V/I$. فهل ما يدعيه طارق صحيح؟ فسر ذلك.

16. **المقاومـة الكهربائيـة** إذا أردت قيـاس مقاومة سـلك طويل فبيّن كيف تركّب دائرة كهربائية باستخدام بطارية وفولتمتر وأميتر والسـلك الذي تريد قياس مقاومته. حدّد ما الذي ستقيسه؟ وبيّن كيف تحسب المقاومة؟

17. **القـدرة** تتصـل دائـرة كهربائيـة مقاومتها 12 Ω ببطاريـة جهدها 12 V. حدّد التغـير في القدرة إذا قلّت المقاومة إلى 9.0 Ω؟

18. **الطاقـة** تحـوِّل دائـرة كهربائيـة طاقـة مقدارهـا 2.2×10^3 J عندما تُشغّل ثلاث دقائق. حدّد مقدار الطاقة التي ستحوّلها عندما تشغل مدة ساعة واحدة.

19. **التفكير الناقد** نقول إن القدرة تستهلك وتُستنفد في مقاومة. والاسـتنفاد يعني الاستخدام، أو الضياع. فما (الاسـتخدام) عند مرور شـحنات في مقاومة كهربائية؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–2 استخدام الطاقة الكهربائية Using Electric Energy

تعمــل العديد من الأجهزة الكهربائيــة المنزلية المألوفة على تحويــل الطاقة الكهربائية إلى أشــكال أخرى للطاقة؛ مثل الضــوء أو الطاقة الحركية أو الصــوت أو الطاقة الحرارية. فعند تشغيل أحد هذه الأجهزة تُغلق الدائرة الكهربائية ويبدأ تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى. ستتعلّم في هذا البند كيفية تحديد معدل تحويل الطاقة وكمية الطاقة المُحوّلة.

الأهداف

- **توضّح كيف تُحوَّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.**
- **تستكشف طرائق نقل الطاقة الكهربائية.**
- **تُعرّف الكيلوواط.ساعة.**

المفردات

الموصل الفائق 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 (حركية ووضع)، ويحوّل المصباح الطاقة الكهربائية إلى ضــوء. ولا تتحوّل جميع الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك أو المصباح إلى شــكل مفيد للطاقة؛ فالمصابيح الكهربائية – وبخاصة المتوهّجة منها – تســخن، كما ترتفع غالبًا درجة حــرارة المحركات إلى درجة يتعذَّر معها لمســها، وفي كلتا الحالتين يتحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. وستتفحّص الآن بعض الأدوات التي صُمِّمت لتحول أكبر كمية ممكنة من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

تسخين مقاومة عند مرور تيار كهربائي في مقاومة فإنه يســخن؛ وذلك بســبب تصادم الإلكترونات مع ذرات المقاومــة؛ حيث تعمل هذه التصادمات على زيادة الطاقة الحركية للذرات، ونتيجة لذلك ترتفع درجة حرارة المقاومة. لقد صُمّمت كل من المدفأة الحرارية وصفيحة التسخين وعنصر التســخين في مجفّف الشعر لتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. هذه التطبيقات وغيرها من التطبيقــــات المنزليــــة – كتلك الموضّحــة في **الشكل 8–4** – تعمل عمل مقاومات عند وصلها بدائرة كهربائية. فعندما تتحرك شحنة q خلال مقاومة يقل فرق جهدها بمقدار V. وكما تعلمت سابقًا، فإن التغير في الطاقة يعبَّر عنه بالعلاقة qV. كما تعبّر القــدرة $(P = E/t)$ عن المعدل الزمني لتحوّل الطاقة، وهي ذات أهمية كبيرة في التطبيقات العملية. وتعلمت أيضًــا أن التيار الكهربائي هو المعدل الزمني لتدفق الشحنات $(I = q/t)$، وأن القدرة المستنفدة في مقاومة تمثَّــل بالعــلاقة $P = IV$، وأن فــرق جهد المقاومة يُعبَّر عنه بالعلاقة $V = IR$. لــذا، إذا علمت مقدار كلٍّ من I و R

الشكل 8–4 صُمّمت هذه الأجهزة لتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

الربط مع رؤية 2030

رؤيــة VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

اقتصاد مزدهر

من أهداف الرؤية:

3.2.4 زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

تجربة عملية

هل الطاقة محفوظة في عملية تسخين الماء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

كفاءة

المركز السعودي لكفاءة الطاقة
Saudi Energy Efficiency Center

من أبرز مهام المركز السعودي لكفاءة الطاقة إعداد برنامج وطني لترشيد ورفع كفاءة استهلاك الطاقة

أمكنك تعويض $V = IR$ في معادلة القدرة الكهربائية للحصول على المعادلة الآتية:

القدرة $P = I^2R$

القدرة تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة.

لذا تتناسب القدرة المستهلكة في مقاومة مع كل من مربع التيار المار فيه ومقدار مقاومته. فإذا علمت مقداري كل من V و R، ولم تعلم مقدار I أمكنك عندئذ تعويض المعادلة $I = V/R$ في المعادلة $P = IV$ للحصول على المعادلة الآتية:

القدرة $P = \frac{V^2}{R}$

القدرة تساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة.

القدرة الكهربائية عبارة عن المعدل الزمني لتحول الطاقة من شكل إلى آخر، حيث تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية، ومن ثم ترتفع درجة حرارة المقاومة. فإذا كانت المقاومة مُسخِّنًا مغمورًا أو صفيحة تسخين في قمّة موقد كهربائي مثلًا فسوف تتدفق الحرارة إلى الماء البارد بسرعة تكون كافية لإيصاله إلى درجة الغليان في دقائق قليلة.

وإذا استمر استهلاك القدرة بمعدل منتظم فإن الطاقة المتحولة إلى طاقة حرارية بعد فترة زمنية t ستساوي $E = Pt$. ولأن $P = I^2R$ و $P = V^2/R$ فإن الطاقة الكلية التي سيتم تحويلها إلى طاقة حرارية يمكن التعبير عنها، كما في المعادلات الآتية:

الطاقة الحرارية

$$E = Pt$$

$$E = I^2Rt$$

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

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

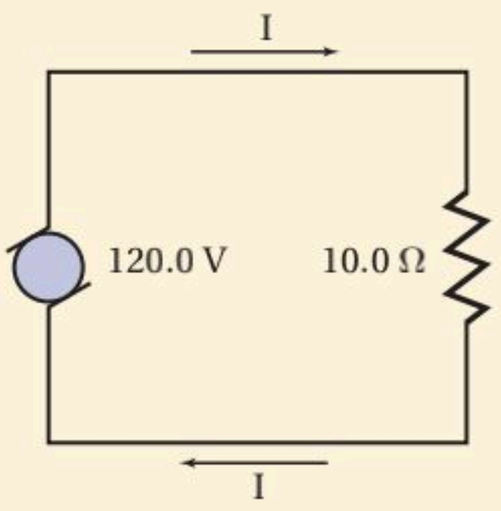
مثال 3

التسخين الكهربائي يعمل سخّان كهربائي مقاومته $10.0\ \Omega$ على فرق جهد مقداره $120.0\ V$. احسب مقدار:

a. القدرة التي يستهلكها السخان الكهربائي. **b.** الطاقة الحرارية التي ينتجها السخان خلال $10.0\ s$.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الحالة.
- عيّن عناصر الدائرة المعلومة، وهي مصدر فرق جهد مقداره $120.0\ V$، ومقاومة $10.0\ \Omega$



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

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لأن مقداري R و V معلومان فإننا نستخدم المعادلة $P = V^2 / R$.

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

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

دليل الرياضيات
الأسس

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؟** للقدرة: $10^3 = 10^{-1} \times 10^2 \times 10^2$ ، لذلك فإن مقدار القدرة منطقي. أما للطاقة: $10^4 = 10^1 \times 10^3$، لذا فإن المقدار 10000 جول منطقي.

مسائل تدريبية

20. يعمل سخّان كهربائي مقاومته $15\ \Omega$ على فرق جهد مقداره $120\ V$. احسب مقدار:
- **a.** التيار المار في مقاومة السخان.
- **b.** الطاقة المستهلكة في مقاومة السخان خلال $30.0\ s$.
- **c.** الطاقة الحرارية الناتجة في هذه المدة.

21. إذا وُصِلت مقاومة مقدارها $39\ \Omega$ ببطارية جهدها $45\ V$ فاحسب مقدار:
- **a.** التيار المار في الدائرة.
- **b.** الطاقة المستهلكة في المقاومة خلال $5.0\ min$.

22. مصباح كهربائي قدرته $100.0\ W$، وكفاءته 22%؛ أي أن 22% فقط من الطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة ضوئية.
- **a.** ما مقدار الطاقة الحرارية التي ينتجها المصباح الكهربائي كل دقيقة؟
- **b.** ما مقدار الطاقة التي يحوّلها المصباح إلى ضوء كل دقيقة في أثناء إضاءته؟

23. تبلغ مقاومة عنصر التسخين في طبّاخ كهربائي عند درجة حرارة تشغيله $11\ \Omega$.
- **a.** إذا تم توصيل الطبّاخ بمصدر جهد مقداره $220\ V$ فما مقدار التيار الكهربائي المار في عنصر التسخين؟
- **b.** ما مقدار الطاقة التي يحوّلها هذا العنصر إلى طاقة حرارية خلال $30.0\ s$؟
- **c.** استخدم العنصر في تسخين غلاية تحتوي على $1.20\ kg$ من الماء. افترض أن الماء امتص 65% من الحرارة الناتجة، فما مقدار الارتفاع في درجة حرارته خلال $30.0\ s$؟

24. استغرق سخان ماء كهربائي جهده $127\ V$ زمنًا مقداره $2.2\ h$ لتسخين حجم معيّن من الماء إلى درجة الحرارة المطلوبة. احسب المدة اللازمة لإنجاز المهمة نفسها، وذلك باستخدام سخّان آخر جهده $220\ V$ مع بقاء التيار نفسه.

الموصلات الفائقة التوصيل **الموصل الفائق التوصيل** مادة مقاومتها صفر، حيث لا يوجد تقييد للتيار في تلك المواد، لذا ليس هناك فرق في الجهد V خلالها. ولأن القدرة المستنفدة في موصل تعطى من ناتج I V فإنه يمكن للموصل الفائق التوصيلِ 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. ومن الاستعمالات العملية للموصلات الفائقة التوصيل صناعة المغانط المستخدمة في أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي MRI، وفي السنكروترون (مسرّع الجسيمات)؛ حيث تستخدم تيارات كهربائية ضخمة، كما يمكن المحافظة عليها عند درجات حرارة قريبة من 0 K.

نقل الطاقة الكهربائية Transmission of Electric Energy

إن المنشآت الكهرومائية- كالسد العالي في مصر الموضح في **الشكل 9-4**، ومحطات التوليد الكهربائية في كافة الدول- 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.

الشكل 9-4 يُزوّد السد العالي مصر بجزء من احتياجاتها من الطاقة الكهربائية.

كيف تصل الكهرباء إلى منازلنا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

■ **الشكل 10–4** يستخدم مقياس الواط.ساعة في قياس مقدار الطاقة الكهربائية التي يستهلكها المستخدم. وتستعمل قراءة المقياس لحساب تكلفة الطاقة المستهلكة.

لجميع أسلاك التوصيل مقاومة، إلا أن مقاومتها صغيرة؛ فمقاومة السلك المستعمل لنقل التيار الكهربائي إلى بيت تساوي $0.20\ \Omega$ 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:

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

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

ويتم تحويل كل هذه القدرة إلى طاقة حرارية، لذا فإنها تُفقد. ويمكن تقليل هذا الفَقْد إلى أقل كمية ممكنة بتقليل المقاومة. ويتم ذلك باستعمال أسلاك ذات موصلية كبيرة وقطر كبير، فتكون مقاومتها قليلة. إلا أن مثل هذه الأسلاك تكون باهظة الثمن وثقيلة. كما يمكن أيضًا تقليل القدرة الضائعة في أسلاك نقل الكهرباء 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 مسافات طويلة تستخدم الشركة السعودية للكهرباء خطوط نقل القدرة الكهربائية جهودا تصل إلى $132\ KV$ ؛ حيث يقلّل التيار المنخفض المار في الأسلاك من ضياع I^2R فيها، وذلك بالإبقاء على قيمة المعامل I^2 قليلة. تكون الجهود المُطبّقة 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 $13.8\ KV$، ثم يقلل الجهد مرة أخرى إلى $220\ V$ أو إلى $127\ V$ وفق النظام المعتمد في المملكة العربية السعودية قبل أن يستخدم في المنازل. وقد صدر قرار مجلس الوزراء الموقر رقم (324) وتاريخ 20/ 9/ 1431 هـ، القاضي بموافقة على خطة متدرجة لتغيير جهد توزيع الكهرباء في المناطق السكنية والتجارية في المملكة العربية السعودية من الجهد الحالي (127/ 220) فولت إلى الجهد الدولي (230/ 400) فولت، وأن يتم التغيير على مراحل بحيث يبدأ في المناطق الجديدة والمشتركين الجدد في المناطق القائمة اعتباراً من تاريخ نفاذ القرار، ويكون التغير إلى الجهد الجديد في المناطق القائمة خلال المدة (25) سنة من تاريخ نفاذ القرار، وتقسم المدة على مرحلتين تمهيدية مدتها (10) سنوات، والثانية تنفيذية مدتها (15) سنة.

الكيلو واط.ساعة The Kilowatt–Hour

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 10–4** – 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 – الذي 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 تساوي عددًا كبيرًا من الجولات، وتسمّى هذه الوحدة كيلوواط.ساعة (kWh). **والكيلوواط.ساعة** يساوي قدرة مقدارها 1000 Watt تصل بشكل مستمر لمدة (1 h) 3600 s؛ 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 والمكيّفات الكهربائية والطبّاخات ومجفّفات 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. يوضح **الجدول 2—4** كمية وقيمة استهلاك الطاقة الكهربائية في المسكن على مستوى المناطق الإدارية في المملكة العربية السعودية.

تعلمت طرائق متعددة تستخدمها شركات الكهرباء لحل المشكلات 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.

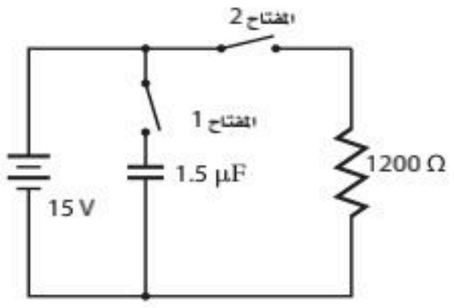
كمية وقيمة استهلاك الطاقة الكهربائية في المسكن على مستوى المناطق الإدارية

	المنطقة الإدارية	خلال فصل الشتاء		خلال باقي السنة	
		الكمية (ت . و . س)	القيمة (بالريال)	الكمية (ت . و . س)	القيمة (بالريال)
1	الرياض	9,656,113,095	646,321,545	19,437,069,620	5,000,680,818
2	مكة المكرمة	10,225,556,784	673,039,064	18,317,035,855	5,151,689,961
3	المدينة المنورة	2,458,903,536	161,679,183	4,311,665,079	1,155,048,654
4	القصيم	1,682,430,848	115,254,648	2,900,687,425	714,747,363
5	المنطقة الشرقية	5,262,775,052	359,183,065	10,242,576,697	3,165,695,573
6	عسير	4,146,428,089	275,512,195	6,821,368,789	1,969,645,445
7	تبوك	1,111,825,199	73,810,717	1,528,415,281	360,078,967
8	حائل	1,056,543,109	73,455,021	1,308,623,766	321,251,274
9	الحدود الشمالية	461,492,447	28,935,954	560,224,252	124,393,718
10	جازان	2,324,786,701	148,979,131	4,110,099,155	1,136,274,519
11	نجران	767,280,686	54,296,995	1,341,351,903	451,502,210
12	الباحة	633,322,853	42,419,719	814,935,380	202,643,572
13	الجوف	1,047,155,811	53,629,863	1,513,843,770	243,302,753
	إجمالي المملكة	40,834,614,211	2,707,317,160	73,207,896,971	19,996,954,830

* المصدر: مسح الطاقة المنزلي الهيئة العامة للإحصاء جدول 2-4

مسألة تحفيز

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 المقاومة بعد إغلاق المفتاح 2 مباشرة؟
4. مع مرور الوقت، ماذا يحدث لجهد المكثف والتيار المار في المقاومة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مسائل تدريبية

25. يمر تيار كهربائي مقــداره 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 تشغيلها مدة 30 يومًا، إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال.

26. تبلغ مقاومة ساعة رقمية 12,000 Ω، وهي موصولة بمصدر فرق جهد مقداره 115 V. احسب:

a. مقدار التيار الذي يمر فيها.

b. مقدار القدرة الكهربائية التي تستهلكها الساعة.

c. تكلفـة تشـغيل السـاعة 30 يومًا، إذا كان ثـمن الكيلـوواط.ساعة 0.18 ريال.

27. تنتج بطارية سـيارة تيـارًا مقداره 55 A لمدة 1.0 h، وذلــك عندما يكون فرق جهدها 12 V. ويتطلب إعادة شحنها طاقة أكبر 1.3 مرّة من الطاقة التي تزوّدنا بها؛ لأن كفاءتهــا أقل من الكفــاءة المثالية. ما الزمن اللازم لشــحن البطارية باســتخدام تيار مقداره 7.5 A؟ افترض أن فرق جهد الشــحن هو نفسه فرق جهد التفريغ.

2–4 مراجعة

28. **الطاقة** يُشغّل محركُ السيارة المولدَ الكهربائي، الذي يولّد بدوره التيار الكهربائي اللازم لعمل السيارة، ويُخــزّن شــحنات كهربائيــة في بطارية الســيارة. وتَســتخدم المصابيح الرئيسة في الســيارة الشحنةَ الكهربائية المختزنة في بطارية الســيارة. جهّز قائمة بأشكال الطاقة في العمليات السابقة.

29. **المقاومـة الكهربائيـة** يتم تشــغيل مجفّف الشــعر بوصله بمصدر جهــد 120 V، ويكون فيه خياران: حار ودافئ. في أيّ الخيارين تكون المقاومة أصغر؟ ولماذا؟

30. **القدرة** حدّد مقدار التغير في القدرة في دائرة كهربائية إذا قل الجهد المُطبّق إلى النصف.

31. **الكفاءة** قوِّم أثر البحث لتحسين خطوط نقل القدرة الكهربائية في المجتمع والبيئة.

32. **الجهد** لماذا يتم توصيل الطبّاخ الكهربائي وســخّان الماء الكهربائي بدائرة جهدها 220 V بدلاً من دائرة جهدها 127 V؟

33. **التفكير الناقـد** عندما يرتفع معدل استهلاك القدرة الكهربائيــة تقوم شركات الكهربــاء أحيانًا بتقليل الجهد، مما يؤدي إلى خفوت الأضواء. ما الذي يبقى محفوظًا ولا يتغير؟

مختبر الفيزياء

الجهد والتيار والمقاومة

درســت في هذا الفصل العلاقات بين الجهد والتيار والمقاومة في دوائر كهربائية بســيطة. فالجهد هو فرق الجهد الــذي يدفع التيار خلال الدائرة، في حــين تحدّد المقاومة التيار الذي يمــر عند تطبيق فرق جهد. وستجمع في هذه التجربة البيانات، وتعد رسومًا بيانيّة لاستقصاء العلاقات الرياضية بين الجهد والتيار، وكذلك بين المقاومة والتيار.

سؤال التجربة

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

الأهــداف

- **تقيس** التيار وفقًا للنظام الدولي SI.
- **تصف** العلاقة بين مقاومة دائرة كهربائية والتيار الكهربائي الكلي المار فيها.
- **تصف** العلاقــة بين الجهــد والتيار الكلي المــار في الدائرة الكهربائية.
- **تنشئ رسومًا بيانيــة وتســتخدمها** لتبين العلاقة بين التيار والمقاومة، وبين التيار والجهد.

احتياطات السلامة

- ***تحذير: قد تسخن الدوائر الكهربائية والمقاومات.***
- ***تحذير: الأسلاك حادة، وقد تجرح الجلد.***

المواد والأدوات

أربع بطاريات من نوع D جهد كل منها 1.5 V، وأربع حوامل للبطاريات، وأميــتر 500 μA، ومقاومــة 10 kΩ، ومقاومة 20 kΩ، ومقاومة 30 kΩ، ومقاومة40 kΩ، وخمســة أسلاك مزوّدة بمشابك فم التمساح.

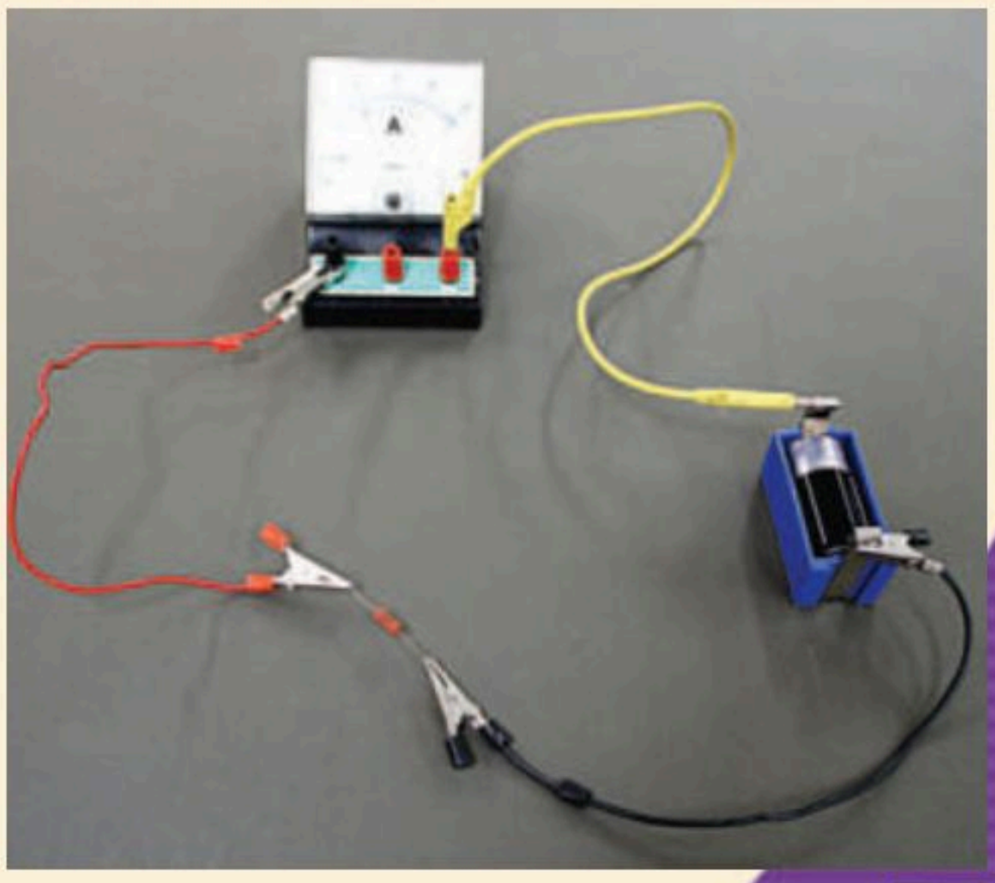
الخطوات

الجزء A

1. ضع البطارية في حاملها.
2. ركّب دائرة تحتوي عــلى بطارية، ومقاومة 10 kΩ، وأميتر 500 μA.
3. دوّن مقداري المقاومة والتيار في جدول البيانات1، على أن تدوّن مقدار المقاومة في عمــود المقاومة، أما لعمود التيار فاستخدم قراءة الأميتر.
4. ضع المقاومة 20 kΩ بدلًا من المقاومة 10 kΩ.
5. دوّن مقداري المقاومة والتيار في جدول البيانات 1.
6. كرّر الخطوتين 4 و5، على أن تضع المقاومة 30 kΩ بدلًا من المقاومة 20 kΩ.
7. كرّر الخطوتين 4 و5، على أن تضع المقاومة 40 kΩ بدلًا من المقاومة 30 kΩ.

الجزء B

8. أعد تركيب الدائرة التي ركّبتها في الخطوة 2، ثم تحقق من مــرور التيار في الدائرة، ودوّن مقــداري الجهد والتيار في جدول البيانات 2.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

جدول البيانات 1		
الجهد (V)	المقاومة (kΩ)	التيار (μA)
1.5		
1.5		
1.5		
1.5		

جدول البيانات 2		
الجهد (V)	المقاومة (kΩ)	التيار (μA)
	10	
	10	
	10	
	10	

9. أضـف بطارية ثانية جهدهـا 1.5 V إلى الدائـرة، ودوّن مقداري الجهـد والتيار في جـدول البيانـات 2. عندما تسـتعمل أكثـر من بطاريـة واحدة دوّن مجمـوع جهود البطاريات بوصفها قيمة للجهد في جدول البيانات 2.

10. كرّر الخطوة 9 مع ثلاث بطاريات جهد كلّ منها 1.5 V.

11. كرّر الخطوة 9 مع أربع بطاريات جهد كلّ منها 1.5 V.

التحليل

1. **أنشئ رسومًا بيانيّة واستخدمها** ارسم التيار بوصفه متغيرًا مقابل المقاومة، على أن تضع المقاومة على المحور x، والتيار على المحور y.

2. **أنشئ رسومًا بيانيّة واستخدمها** ارسم التيار بوصفه متغيرًا مقابـل الجهد، على أن تضع الجهد عـلى المحور x، والتيار على المحور y.

3. **حلّل الخطأ** ما العوامـل التي تؤثر في التيـار في الجزء A إضافـة إلى قيم المقاومات؟ وكيف يمكن التقليل من تأثير هذه العوامل؟

4. **حلّل الخطأ** ما العوامل التي تؤثر في التيار في الجزء B إضافة إلى البطاريات المضافة؟ وكيف يمكن التقليل من تأثير هذه العوامل؟

الاستنتاج والتطبيق

1. صِف العلاقة بين المقاومة والتيار بالنظر إلى الرسـم البياني الأول الذي أنشأته؟

2. لماذا افترضت وجود هذه العلاقة بين المقاومة والتيار؟

3. كيـف يمكنك وصف العلاقة بين الجهد والتيار بالنظر إلى الرسم البياني الثاني الذي أنشأته؟

4. لماذا افترضت وجود هذه العلاقة بين الجهد والتيار؟

التوسع في البحث

1. ما مقدار التيـار الكهربائي الذي يمر في دائرة كهربائية إذا كان الجهـد 3.0 V والمقاومـة 20 kΩ؟ كيف حدّدت هذا التيار؟

2. بالاسـتعانة ببياناتك التـي حصلت عليهـا في التجربة، هل يمكنك اشـتقاق علاقة بين الجهد والتيار والمقاومة؟ *مسـاعدة: انظر إلى العلاقة البيانية بين التيار وفرق الجهد، وافترض أنها خط مستقيم تمر في نقطة الأصل.*

3. كيف تتفق بياناتك مع هذه العلاقة؟ وضح إجابتك.

الفيزياء في الحياة

1. اذكر بعض التطبيقات الشـائعة التي تستخدم فرق جهد 220 V، بدلاً من 127 V.

2. لماذا تحتاج التطبيقات التي ذكرتها إلى 220 V؟ وما العواقب التـي تـترتب عـلى تشغيـل مثـل هـذه التطبيقات على جهد 127 V؟

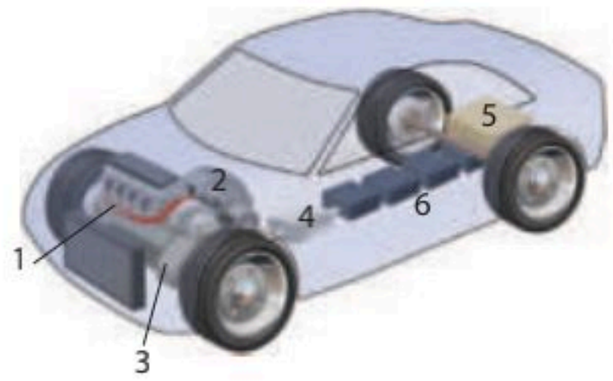
التقنية والمجتمع

السيارات المهجّنة Hybrid Cars

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

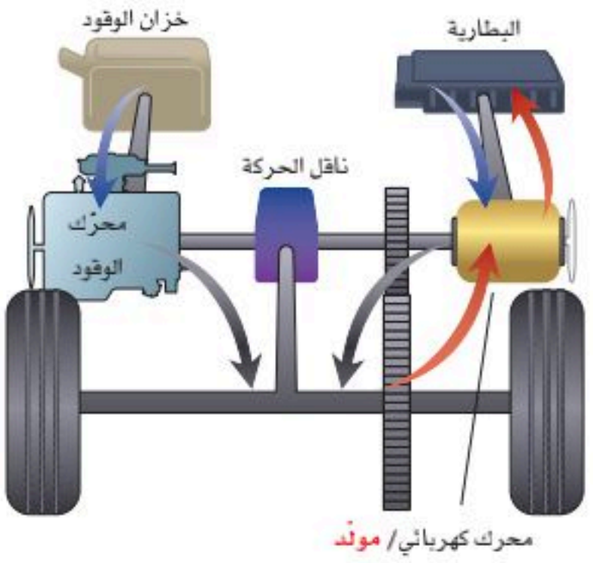
لماذا تسمّى المهجّنة؟ يطلق على السيارة اسم مهجّنة إذا كانت تستخدم مصدرين أو أكثر من مصادر الطاقة. فمثلًا يُطلق على قاطرات الديزل الكهربائية اسم العربات المهجّنة. ولكن مصطلح السيارة المهجّنة يُطلق عادة على السيارة التي تستخدم الوقود والكهرباء.

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 المهجّنة التي يكون وزن محرك البنزين فيها قليلاً وأكثر فاعلية، مما يجعله يلبي معظم احتياجات القيادة وضروراتها. وعند الحاجة إلى مزيد من الطاقة يمكن الحصول عليها من الكهرباء المخزنة في البطاريات القابلة لإعادة الشحن.



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

ولا يحتاج هذا النوع من التهجين إلى مصدر قدرة خارجي إلى جانب الوقود في خزان الوقود (5)؛ فأنت لا تحتاج إلى توصيل السيارة المهجنة بمصدر كهربائي لإعادة شحن البطاريات (6)، بخلاف السيارة الكهربائية. وبدلًا من ذلك يتم إعادة شحن



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

طاقة وضع من الوقود والبطارية

يدوِّر محرك الوقود والمحرك الكهربائي العجلات

تعمل الطاقة الحركية على إعادة شحن البطاريات

البطاريات بعملية تسمّى الكبح المتجدّد، كما هو موضّح في الرسم التخطيطي. حيث يعمل المحرك الكهربائي فيها مولّدًا. فعندما يعمل المحرك الكهربائي على إبطاء حركة السيارة يتم تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية، تعمل بدورها على إعادة شحن البطاريات.

هل تفيد السيارات المهجّنة المجتمع؟ زادت السيارات المهجّنة من المسافات التي تقطعها السيارات بكمية معيّنة من الوقود، لذا 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 المشكلات البيئية كالضبخن (الضباب الدخاني). ولأن السيارات المهجّنة تزيد المسافات المقطوعة وتقلل الغازات المنبعثة من العوادم، فإن الكثير من الناس يشعرون أن استخدام هذه السيارات من الطرائق الفعّالة للمساعدة على حماية الهواء من التلوث، بالإضافة إلى المحافظة على مصادر الوقود.

التوسع

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

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

4–1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية Current and Circuits

المفردات

- التيار الكهربائي
- التيار الاصطلاحي
- البطارية
- الدائرة الكهربائية
- الأمبير
- حفظ الشحنة
- المقاومة الكهربائية
- التوصيل على التوازي
- التوصيل على التوالي

المفاهيم الرئيسة

- يعرّف التيار الاصطلاحي بأنه 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 المقاومات نقصًا في طاقة وضعها 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.

4–2 استخدام الطاقة الكهربائية Using Electric Energy

المفردات

- الموصل الفائق التوصيل
- الكيلوواط.ساعة

المفاهيم الرئيسة

- 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 كما يأتي:

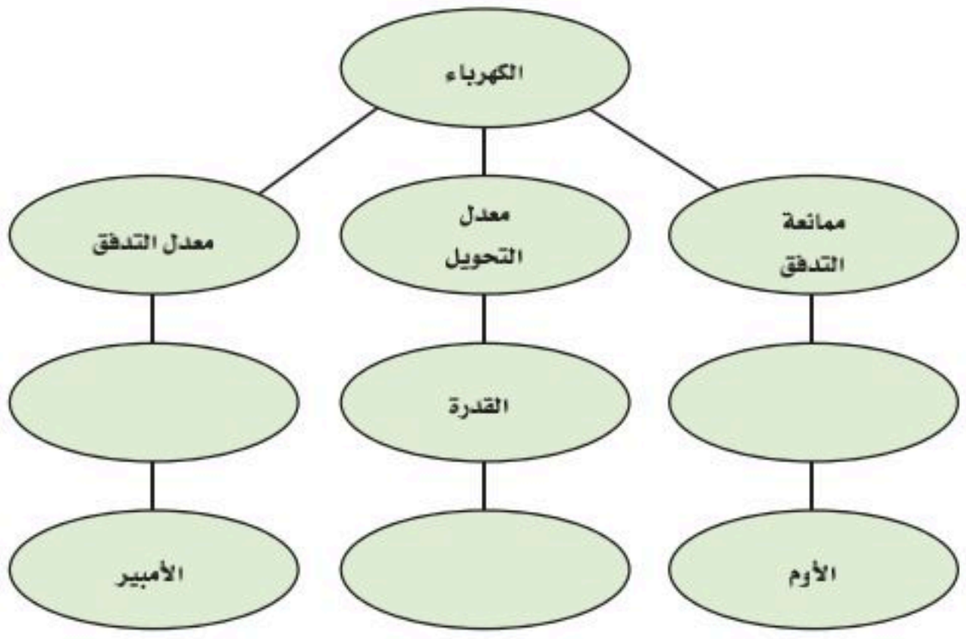
$$E = Pt$$
$$= I^2Rt$$
$$= \frac{V^2}{R}t$$

- الموصلات الفائقة 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 I^2R. وأفضل طريقة لتقليل ضياع أو فَقْد I^2R إلى أقل حدّ هي تقليل قيمة التيار المار في أسلاك التوصيل. ويمكن تقليل قيمة التيار المار في أسلاك التوصيل دون تقليل القدرة من خلال نقل الكهرباء عند جهود عالية.
- الكيلوواط.ساعة (kWh) وحدة طاقة تساوي 3.6×10^6 J .

الفصل 4
التقويم

خريطة المفاهيم

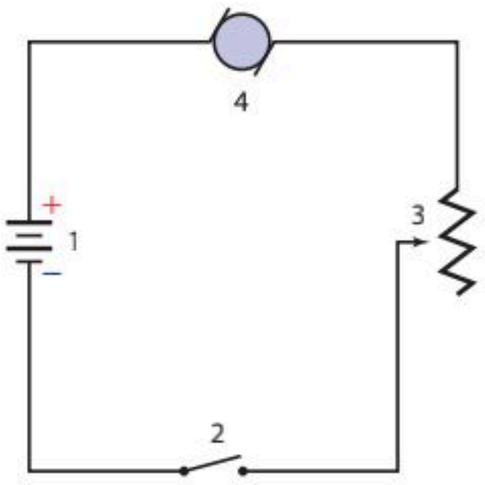
34. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الواط، التيار، المقاومة.



إتقان المفاهيم

35. عرّف وحدة قياس التيار الكهربائي بدلالة النظام الدولي للوحدات SI. (1– 4)

ارجع إلى **الشكل 11–4** للإجابة عن الأسئلة **39–36**. (1– 4)



الشكل 11–4

36. كيف يجب وصل فولتمتر في الشكل لقياس جهد المحرك؟

37. كيف يجب وصل أميتر في الشكل لقياس تيار المحرك؟

38. ما اتجاه التيار الاصطلاحي في المحرك؟

39. ما رقم الأداة التي:

a. تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية؟

b. تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية؟

c. تعمل على فتح الدائرة وإغلاقها؟

d. تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية؟

40. صف تحوّلات الطاقة التي تحدث في الأدوات الآتية: (1– 4)

a. مصباح كهربائي متوهّج.

b. مجفّفة ملابس.

c. مذياع رقمي مزوّد بساعة.

41. أي السلكين يوصل الكهرباء بمقاومة أقل: سلك مساحة مقطعه العرضي كبيرة، أم سلك مساحة مقطعه العرضي صغيرة؟ (1– 4)

42. لماذا يكون عدد المصابيح التي تحترق لحظة إضاءتها أكبر كثيرًا من عدد المصابيح التي تحترق وهي مُضاءة؟ (2– 4)

43. عند عمل دائرة قصر لبطارية بوصل طرفي سلك نحاسي بقطبي البطارية ترتفع درجة حرارة السلك. فسّر لماذا يحدث ذلك؟ (2– 4)

44. ما الكميَّات الكهربائية التي يجب المحافظة على مقاديرها قليلة عند نقل الطاقة الكهربائية مسافات طويلة بصورة اقتصادية؟ (2– 4)

45. عرف وحدة القدرة الكهربائية بدلالة النظام الدولي للوحدات SI. (2– 4)

تطبيق المفاهيم

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

47. صِف طريقتين لزيادة التيار في دائرة كهربائية.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1446

تقويم الفصل 4

49. إذا ثُبّت فرق الجهد في دائرة كهربائية، وتم مضاعفة مقدار المقاومة، فما تأثير ذلك في تيار الدائرة؟

50. ما تأثير مضاعفة كل من الجهد والمقاومة في تيار دائرة كهربائية؟ وضّح إجابتك.

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

52. إذا غُيّر موقع الأميتر المبين في **الشكل 4-3a** ليُصبح أسفل الشكل، فهل تبقى قراءة الأميتر هي نفسها؟ وضّح ذلك.

53. سلكان أحدهما مقاومته كبيرة والآخر مقاومته صغيرة. إذا وصِل كل منهما بقطبي بطارية جهدها 6.0 V، فأي السلكين ينتج طاقة بمعدل أكبر؟ ولماذا؟

إتقان حل المسائل

4-1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية

54. وصل محرك ببطارية جهدها 12 V كما هو موضّح في **الشكل 12-4**. احسب مقدار:

a. القدرة التي تصل إلى المحرك.

b. الطاقة المُحوَّلة إذا تم تشغيل المحرك 15 min.

■ **الشكل 12-4**

55. 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.

56. **مجفّفات الملابس** وُصِلت مجفّفة ملابس قدرتها 4200 W بدائرة كهربائية جهدها 220 V، احسب مقدار التيار المار فيها.

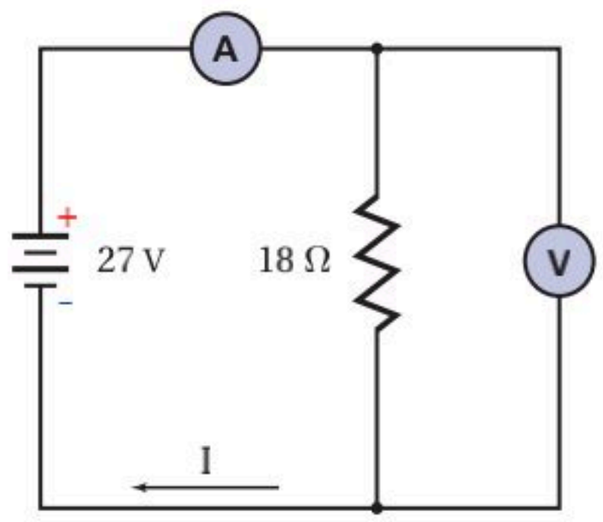
57. ارجع إلى **الشكل 13-4** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. ما قراءة الأميتر؟

b. ما قراءة الفولتمتر؟

c. ما مقدار القدرة الواصلة إلى المقاومة؟

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



■ **الشكل 13-4**

58. **المصابيح اليدوية** إذا وصِل مصباح يدوي بفرق جهد 3.0 V، فمرّ فيه تيار مقداره 1.5 A:

a. فما معدل الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصباح؟

b. ما مقدار الطاقة الكهربائية التي يحولها المصباح خلال 11 min؟

59. ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة توالٍ كهربائية تحوي مقاومة مقدارها 16 Ω، وبطارية، مع أميتر قراءته 1.75 A، حدّد كلًّا من الطرف الموجب للبطارية وجهدها، والطرف الموجب للأميتر، واتجاه التيار الاصطلاحي.

60. 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 الآتية:

تقويم الفصل 4

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؟

61. يمر تيار مقداره 0.40 A في مصباح موصول بمصدر جهد 120 V، أجب عما يأتي:

a. ما مقدار مقاومة المصباح في 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؟

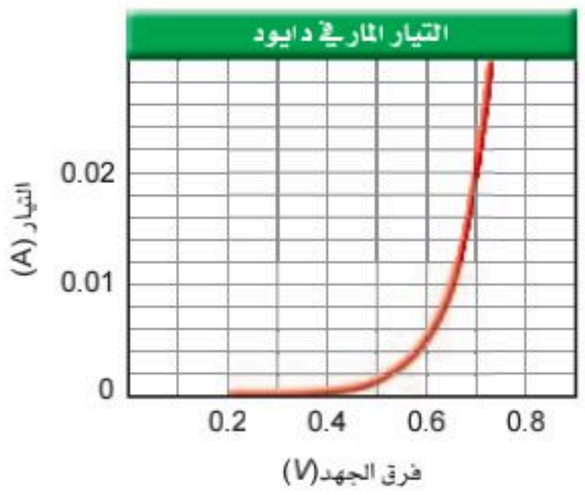
62. **المصابيح الكهربائية** ما مقدار الطاقة المستنفدة في مصباح قدرته 60.0 W خلال نصف ساعة؟ وإذا حوّل المصباح 12% من الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية فما مقدار الطاقة الحرارية التي يولّدها خلال نصف ساعة؟

63. يمثل الرسم البياني في **الشكل 14–4** العلاقة بين فرق الجهد والتيار المار في جهاز يسمى الصمام الثنائي (الدايود) وهو مصنوع من السليكون. أجب عن الأسئلة الآتية:

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 14–4**

4–2 استخدام الطاقة الكهربائية

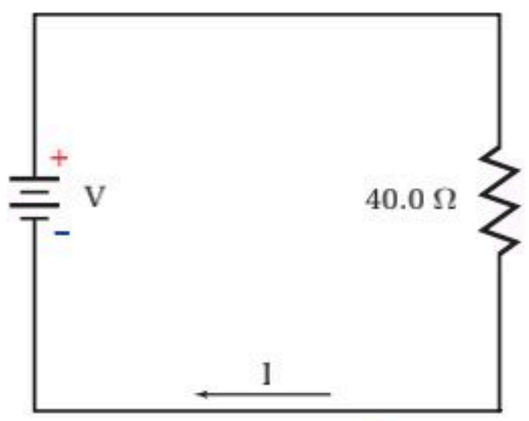
64. **البطاريات** يبلغ ثمن بطارية جهدها 9.0 V تقريبًا 10.00 ريالات، وتولّد هذه البطارية تيارًا مقداره 0.0250 A مدة 26.0 h قبل أن يتم تغييرها. احسب تكلفة كل kWh تُزوِّدنا به هذه البطارية.

65. ما مقدار أكبر تيار ينتج عن قدرة كهربائية مقدارها 5.0 W في مقاومة مقدارها 220 Ω ؟

66. يمر تيار مقداره 3.0 A في مكواة كهربائية جهدها 110 V. ما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة عن المكواة خلال ساعة؟

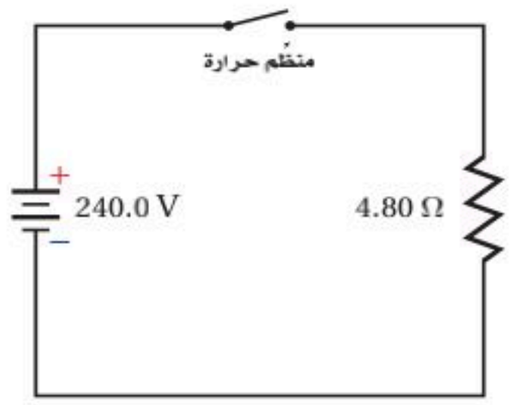
67. في الدائرة الموضّحة في **الشكل 15–4** تبلغ أكبر قدرة كهربائية آمنة 50.0 W. استخدم الشكل لإيجاد كل مما يأتي:

a. أكبر تيار آمن. **b.** أكبر جهد آمن.



■ **الشكل 15–4**

68. يمثل **الشكل 16–4** دائرة فرن كهربائي. احسب قيمة الفاتورة الشهرية (30 يومًا) إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال، وتم ضبط منظّم الحرارة ليشتغل الفرن 6 ساعات يوميًّا.



■ **الشكل 16–4**

تقويم الفصل 4

69. التطبيقات يُكلّف تشغيل مُكيّف هواء 50 ريالًا خلال 30 يومًا، وذلك على اعتبار أن المُكيّف يعمل 12 ساعة يوميًّا، وثمن كل kWh هو 0.18 ريال. احسب التيار الذي يمر في المكيّف عند تشغيله على فرق جهد مقداره 120 V؟

70. المذياع يتم تشغيل مذياع ببطارية جهدها 9.0 V، بحيث تزوِّده بتيار مقداره 50.0 mA.

a. إذا كان ثمن البطارية 10.00 ريالات، وتعمل لمدة 300.0 h فاحسب تكلفة كل kWh تُزوِّدنا به هذه البطارية عند تشغيل المذياع هذه الفترة.

b. إذا تم تشغيل المذياع نفسه بمحوِّل موصول بدائرة المنزل، وكان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال، فاحسب تكلفة تشغيل المذياع مدة 300.0 h.

مراجعة عامة

71. يمر تيار مقداره 1.2 A في مقاومة مقدارها 50.0 Ω مدة 5.0 min، احسب مقدار الحرارة المتولدة في المقاومة خلال هذه الفترة.

72. وصِلت مقاومة مقدارها 6.0 Ω ببطارية جهدها 15 V

a. ما مقدار التيار المار في الدائرة؟

b. ما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال 10.0 min؟

73. المصابيح الكهربائية تبلغ مقاومة مصباح كهربائي متوهّج 10.0 Ω قبل إنارته، وتُصبح 40.0 Ω عند إنارته بتوصيله بمصدر جهد 120 V. أجب عن الأسئلة الآتية:

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

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

c. متى يَستهلِك المصباح أكبر قدرة كهربائية؟

74. تستخدم مقاومة مُتغيّرة للتحكم في سرعة محرك كهربائي جهده 12 V. عند ضَبط المقاومة ليتحرك المحرك بأقل سرعة يمر فيه تيار مقداره 0.02 A، وعندما تضبط المقاومة ليتحرك المحرك بأكبر سرعة يمر فيه تيار مقداره 1.2 A، ما مدى المقاومة المتغيرة؟

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

a. التيار المار في المحرك؟

b. كفاءة المحرك؟

76. ملف تسخين مقاومته 4.0 Ω ، ويعمل على جهد مقداره 120 V، أجب عما يأتي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الملف عند تشغيله؟

b. ما مقدار الطاقة الواصلة إلى الملف خلال 5.0 min؟

c. إذا غُمر الملف في وعاء عازل يحتوي على 20.0 kg من الماء فما مقدار الزيادة في درجة حرارة الماء؟ افترض أن الماء امتص الحرارة الناتجة بنسبة 100 %.

d. إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال فما تكلفة تشغيل الملف 30 min في اليوم مدة 30 يومًا؟

77. التطبيقات مدفأة كهربائية تصل قدرتها إلى 500 W. أجب عما يأتي:

a. ما مقدار الطاقة الواصلة إلى المدفأة في نصف ساعة؟

b. تستخدم المدفأة لتدفئة غرفة تحتوي على 50 kg من الهواء، فإذا كانت الحرارة النوعية للهواء 1.10 kJ /kg.°C، و50% من الطاقة الحرارية الناتجة تعمل على تسخين الهواء في الغرفة، فما مقدار التغير في درجة هواء الغرفة خلال نصف ساعة؟

c. إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال، فما تكلفة تشغيل المدفأة 6.0 h في اليوم مدة 30 يومًا؟

تقويم الفصل 4

التفكير الناقد

78. **تصميم النماذج** ما مقدار الطاقة المختزنة في مكثف؟ يُعبَّر عن الطاقة اللازمة لزيادة فرق الجهد للشحنة q بالعلاقة: $E = qV$، ويحسب فرق الجهد في مكثف بالعلاقة: $V = q/C$. لذا كلما زادت الشحنة على المكثف ازداد 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. وما مقدار فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ وإذا كانت المساحة تحت المنحنى تمثّل الطاقة المختزنة في المكثف فأوجد هذه الطاقة بوحدة الجول، وتحقق مما إذا كانت تساوي الشحنة الكلية مضروبة في فرق الجهد النهائي أم لا. وضّح إجابتك.

79. **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% فأجب عما يأتي:

a. ارسم نموذجًا تخطيطيًّا للقدرة الكهربائية. ميّز وظيفة كلّ جزء منه وفقًا للجولات الكلية لكل ثانية.

b. اشتق معادلة لمعدل الزيادة في درجة الحرارة $(\Delta T/s)$ لمادة موضوعة في الميكروويف مستعينًا بالمعادلة $\Delta Q = m\,C\,\Delta T$، حيث ΔQ التغير في الطاقة الحرارية للمادة، و m كتلتها، و C حرارتها النوعية، و ΔT التغير في درجة حرارتها.

c. استخدم المعادلة التي توصلت إليها لإيجاد معدل الارتفاع في درجة الحرارة بوحدة سلسيوس لكل ثانية، وذلك عند استخدام هذا الفرن لتسخين 250 g من الماء إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة.

d. راجع حساباتك جيدًا وانتبه إلى الوحدات المستخدمة، وبين ما إذا كانت إجابتك صحيحة.

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

f. ناقش لماذا يجب عدم تشغيل أفران الميكروويف وهي فارغة؟

80. **تطبيق المفاهيم** تتراوح أحجام مقاومة مقدارها 10 Ω بين رأس دبوس إلى وعاء حساء. وضح ذلك.

81. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** الرسم البياني للصمام الثنائي (الدايود) الموضّح في **الشكل 14-4** أكثر فائدة من رسم بياني مشابه للمقاومة يحقّق قانون أوم. وضح ذلك.

الكتابة في الفيزياء

82. هناك ثلاثة 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. قبل أن تبدأ ابحث في التصنيفات الثلاثة للمعادلات المعطاة أعلاه.

83. تتمدد المادة عند تسخينها. ابحث في العلاقة بين التمدد الحراري وأسلاك التوصيل المستخدمة لنقل الجهد العالي.

مراجعة تراكمية

84. تبعد شحنة مقدارها $+3.0\times10^{-6}$ C مسافة 2.0 m عن شحنة أخرى مقدارها $+6.0\times10^{-5}$ C، احسب مقدار القوة المتبادلة بينهما. (الفصل 2)

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

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

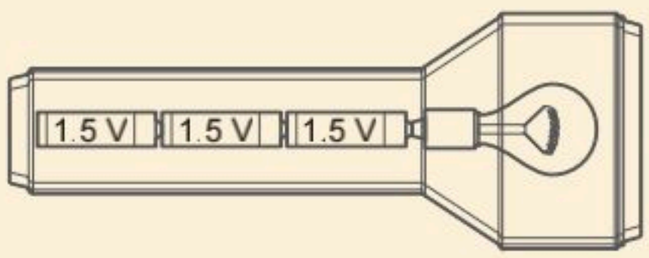
(A) 0.8 A (C) 1.2 A
(B) 1 A (D) 2 A

2. إذا وصلت مقاومة مقدارها 5.0 Ω ببطارية جهدها 9.0 V فما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال 7.5 min؟

(A) 1.2×10^{2} J (C) 3.0×10^{3} J
(B) 1.3×10^{3} J (D) 7.3×10^{3} J

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

(A) 0.11 W (C) 2.3 W
(B) 1.1 W (D) 4.5 W



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

(A) 6.9 J (C) 2.0×10^{2} J
(B) 14 J (D) 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؟

(A) 4.8×10^{1} J (C) 2.9×10^{3} J
(B) 2.0×10^{1} J (D) 1.7×10^{5} J

6. إذا مرّ تيار مقداره 5.00 mA في مقاومة مقدارها 50.0 Ω في دائرة كهربائية موصولة مع بطارية فما مقدار القدرة الكهربائية المستنفدة في الدائرة؟

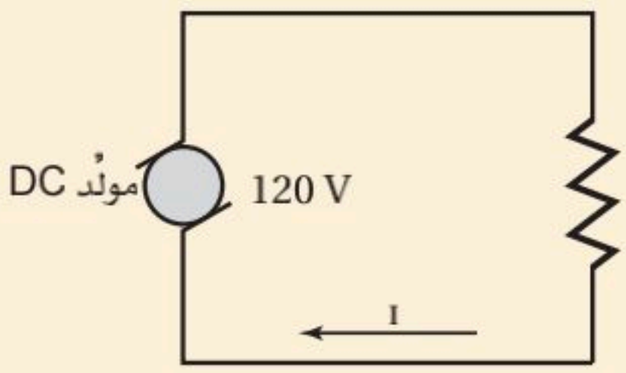
(A) 1.00×10^{-2} W (C) 1.25×10^{-3} W
(B) 1.00×10^{-3} W (D) 2.50×10^{-3} W

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

(A) 4.2×10^{-2} J (C) 1.5×10^{2} J
(B) 2.4×10^{1} J (D) 5.4×10^{5} J

الأسئلة الممتدة

8. يبين الرسم أدناه دائرة كهربائية بسيطة تحتوي على مولّد DC، ومقاومةً. فإذا كانت المقاومة في الرسم تمثل مُخفّف شعر مقاومته 8.5 Ω فما مقدار التيار المار في الدائرة؟ وما مقدار الطاقة التي يستهلكها مجفف الشعر إذا تم تشغيله 2.5 min؟



✓ إرشاد

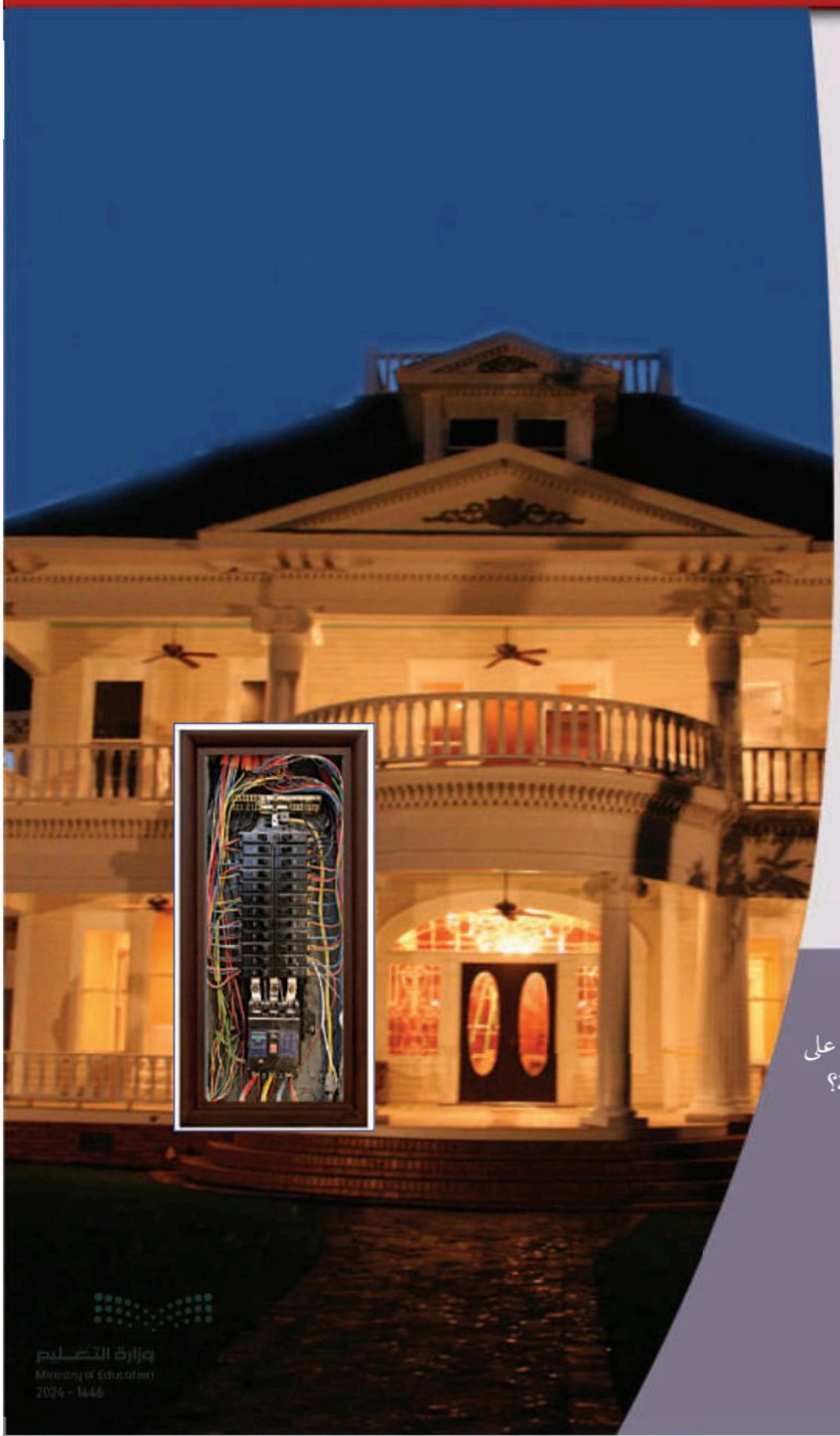
أكثر من رسم بياني

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

الفصل 5

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية

Series and Parallel Circuits



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- التمييز بين دوائر التوالي ودوائر التوازي والدوائر المُركّبة، وتحل مسائل عليها.
- توضيح وظيفة كل من المنصهر الكهربائي، والقواطع الكهربائية، وقواطع التفريغ الأرضي الخاطئ، وتصف كيفية استعمال الأميتر والفولتمتر في الدوائر الكهربائية.

الأهمية

تعدّ الدوائر الكهربائية أساس عمل الأجهزة الكهربائية جميعها. وستساعدك معرفة كيفية عمل الدوائر الكهربائية على فهم وظيفة العدد الذي لا يحصى من الأجهزة الكهربائية.

مراكز الحمل الكهربائي تُشكّل مراكز الحمل الكهربائي نقاط الوصل بين الأسلاك الرئيسة الواصلة من شركة الكهرباء والدوائر الكهربائية في المبنى. ويحتوي مركز الحِمل الكهربائي على مجموعة من القواطع الكهربائية يحمي كلّ منها دائرة مفردة خاصة به تحتوي على أحمالٍ مختلفة موصولة على التوازي.

فكِّر

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف تحمي المُنصهِراتُ الكهربائية الدوائرَ الكهربائية؟

سؤال التجربة كيف يحمي منصهرٌ كهربائي دائرةً كهربائية عند مرور تيار كهربائي كبير فيها؟

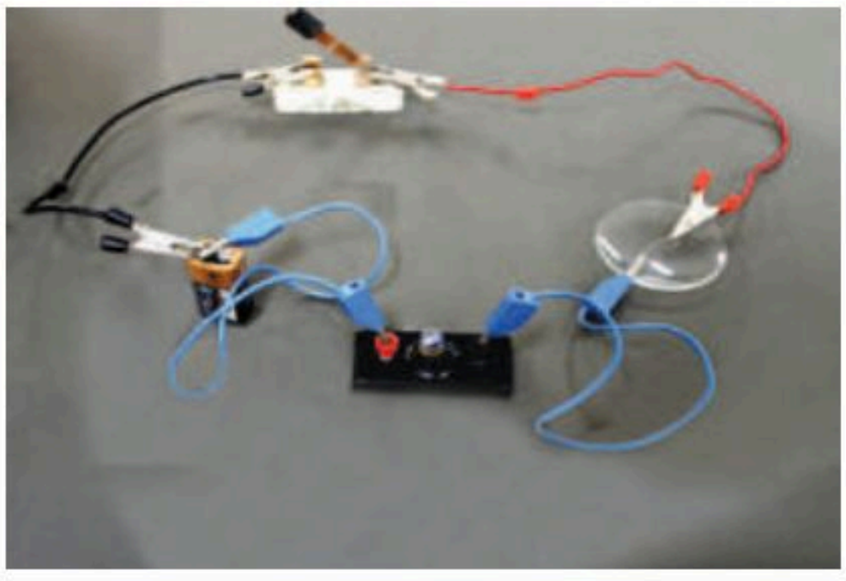
الخطوات

1. صِل القطب السالب لبطارية جهدها 9 V بأحد طرفي قاعدة مصباح باستخدام سلك توصيل. ***تحذير: قد تكون نهايتا السلك النحاسي حادتين، وقد يجرح الجلد.***
2. صِل الطرف الآخر لقاعدة المصباح بسلك مواعين باستعمال سلك توصيل، وتأكد من تعليق سلك المواعين فوق وعاء زجاجي صغير.
3. صِل الطرف الثاني لسلك المواعين بمفتاح كهربائي باستعمال سلك توصيل آخر، وتأكد من أن المفتاح الكهربائي مفتوح.
4. صِل الطرف الثاني للمفتاح الكهربائي بالقطب الموجب للبطارية.
5. **كوِّن فرضية** توقع ما يحدث عند إغلاق المفتاح الكهربائي.
6. **لاحظ** أغلق المفتاح الكهربائي، ولاحظ ما يحدث لسلك المواعين. ***تحذير: لا تلمس سلك المواعين بعد إغلاق المفتاح.***
7. كرّر الخطوات 6-1 باستعمال سلك مواعين أكثر سمكًا أو لفّ عدة أسلاك من سلك المواعين معًا لتصبح سلكًا واحدًا سميكًا، ولاحظ ما يحدث.

التحليل

وضّح العلاقة بين سُمك 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 منصهر جديد محل المنصهر الكهربائي التالف في دوائر المنازل والسيارات، بحيث يكون له مقدار التيار نفسه؟



5-1 الدوائر الكهربائية البسيطة Simple Circuits

يمكن اعتبار النهر الجبلي نموذجًا لتوضيح التوصيلات الكهربائية لدائرة كهربائية، حيث ينحدر ماء النهر من أعلى الجبل إلى سفحه، ويكون التغير في الارتفاع عند جريان الماء من قمة الجبل حتى وصوله إلى 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 تبقى ثابتة؛ أي أن كمية الماء المتدفق لا تتأثر بالمسار الذي تسلكه.

الأهداف

- **تصف** دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.
- **تحسب** كلًّا من التيارات، والهبوط في الجهد، والمقاومة المكافئة في دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.

المفردات

دائرة التوالي — المقاومة المكافئة

مجزّئ الجهد — دائرة التوازي

الشكل 1–5 تبقى كمية الماء ومقدار الانحدار في الارتفاع هي نفسها، بغض النظر عن المسار الذي يسلكه النهر عند انحداره من قمة الجبل.

كيف يشكل مسار ماء النهر في **الشكل 1–5** نموذجًا لدائرة كهربائية؟ إن الارتفاع الذي ينحدر منه النهر مشابهة لفرق الجهد في دائرة كهربائية، وكمية الماء المتدفق مشابهة للتيار الكهربائي المار في الدائرة، والمنحدرات الضيقة التي تعوق 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.

دوائر التوالي الكهربائية Series Circuits

وَصَل ثلاثة طلاب مصباحين متماثلين بطرفي بطارية، كما هو موضّح في **الشكل 2–5**. 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. وتوقع الطالب الثاني أن المصباح الأول سيستهلك جزءًا من التيار، وأن المصباح الثاني سيتوهج، ولكن بسطوع أقل من المصباح الأول. أما الطالب الثالث فتوقع أن يكون سطوعَا المصباحين متساويين؛ لأن التيار عبارة عن تدفق للشحنات، والشحنات التي تخرج من المصباح الأول لا تجد لها أي منفذ آخر للحركة في الدائرة الكهربائية إلا من خلال المصباح الثاني. وأضاف الطالب الثالث: لأن التيار نفسه سيمر في كلٍّ من المصباحين فإن سطوعيهما سيكونان متساويين. كيف تتوقع أنت أن يكون سطوع المصباحين؟

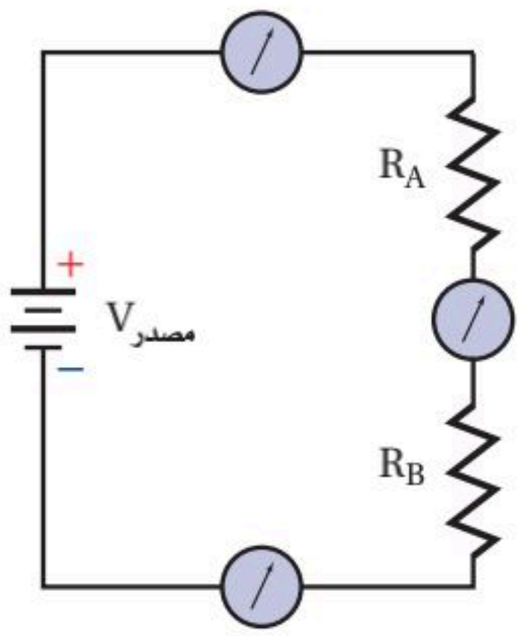
إذا فكّرت في نموذج النهر الجبلي وقارنته بهذه الدائرة الكهربائية فستدرك أن توقع الطالب الثالث هو التوقع الصحيح. تذكّر ممّا تعلمته سابقًا أن الشحنة لا تفنى ولا تستحدث. ولأن للشحنة مسارًا واحدًا فقط تسلكه في هذه الدائرة الكهربائية، وهي لا تفنى، فإنه يجب أن تكون كمية الشحنة التي تدخل الدائرة الكهربائية مساوية للكمية التي تخرج منها؛ وهذا يعني أن التيار يكون هو نفسه في أيّ جزء من أجزاء الدائرة. فإذا وُصِلت ثلاثة أجهزة أميتر

الشكل 2–5 ما توقعك بشأن سطوع المصباحين بعد إغلاق الدائرة الكهربائية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

في الدائرة، كما هو موضّح في **الشكل 3–5**، فإن قراءات الأجهزة جميعها ستكون متساوية. وتسمّى مثل هذه الدائرة التي يمر التيار نفسه في كلِّ جزء من أجزائها **دائرة التوالي**.

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



■ **الشكل 3–5** تبين قراءة أجهزة الأميتر أن التيار يكون متساويًا في جميع أجزاء دائرة التوالي.

التيار والمقاومة في دائرة التوالي تعلمت من نموذج النهر الجبلي أن مجموع الانحدارات في الارتفاع يساوي الانحدار الكلي من قمة الجبل حتى الوصول إلى سفحِه. وكذلك الأمر في الدائرة الكهربائية؛ حيث تكون الزيادة في الجهد الذي يوفّره المولد أو أيّ مصدر طاقة $V_{مصدر}$، مساويةً مجموع الهبوط (النقصان) في فرق الجهد في كلا المصباحين A و B، ويمكن تمثيلها بالمعادلة: $V_{مصدر} = V_A + V_B$

ولإيجاد الهبوط في الجهد عبر مقاومة، اضرب مقدار التيار المار في الدائرة الكهربائية في مقدار تلك المقاومة. ولأن التيار المار في كلا المصباحين هو نفسه فإن $V_A = IR_A$ و $V_B = IR_B$، لذا يكون $V_{مصدر} = IR_A + IR_B$ أو $V_{مصدر} = I(R_A + R_B)$. ويمكن إيجاد التيار من خلال المعادلة:

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$$

يمكن استخدام الفكرة نفسها لتشمل أي عدد من المقاومات المتصلة على التوالي، وليس مقاومتين فقط. وسيمر التيار نفسه في هذه الدائرة الكهربائية إذا وضعنا فيها مقاومة واحدة R تساوي مجموع مقاومتي المصباحين، وتسمى مثل هذه المقاومة **المقاومة المكافئة** للدائرة الكهربائية. إذًا المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة على التوالي هي مجموع المقاومات المفردة، ويُعبّر عنها بالمعادلة الآتية:

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

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

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

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

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

مسائل تدريبية

1. وصِلت المقاومات 5 Ω و15 Ω و10 Ω في دائرة توالٍ كهربائية ببطارية جهدها 90 V. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟ وما مقدار التيار المار فيها؟
2. وصِلت بطارية جهدها 9 V بثلاث مقاومات موصولة على التوالي في دائرة كهربائية. إذا زاد مقدار إحدى المقاومات فأجب عما يأتي:
   a. كيف تتغير المقاومة المكافئة؟
   b. ماذا يحدث للتيار؟
   c. هل يكون هناك أي تغير في جهد البطارية؟
3. وصِل طرفا سلك زينة فيه عشرة مصابيح ذات مقاومات متساوية ومتصلة على التوالي بمصدر جهد 120 V، فإذا كان التيار المار في المصابيح 0.06 A فاحسب مقدار:
   a. المقاومة المكافئة للدائرة.
   b. مقاومة كل مصباح.
4. احسب الهبوط في الجهد خلال المقاومات الثلاث الواردة في المسألة **1**، ثم تحقق من أن مجموع الهبوط في الجهد عبر المصابيح الثلاثة يساوي جهد البطارية.

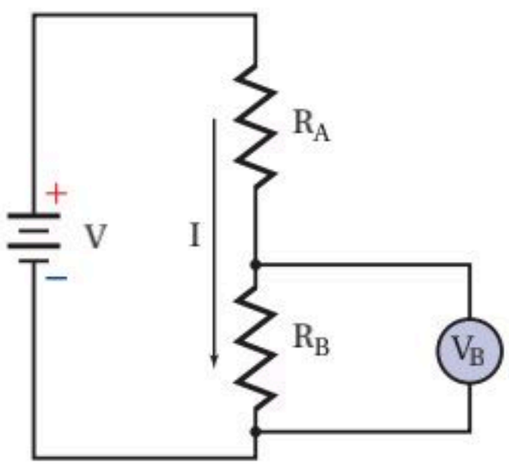
الهبوط (النقصان) في فرق الجهد في دائرة التوالي عند مرور تيار كهربائي في أيّ دائرة كهربائية يجب أن يكون مجموع التغيرات في الجهد عبر كل عناصر الدائرة صفرًا؛ وذلك لأن مصدر الطاقة الكهربائية للدائرة؛ أي البطارية أو المولّد الكهربائي، يعمل على رفع الجهد بمقدار يساوي مجموع الهبوط في الجهد الناتج عن مرور التيار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

ومن التطبيقات المهمة على دوائر التوالي دائرة تسمّى **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 5 V. انظر الدائرة الموضّحة في **الشكل 4–5** ولاحظ أن المقاومتين R_A وR_B متصلتان على التوالي ببطارية جهدها V، لذا تكون المقاومة المكافئة للدائرة $R = R_A + R_B$. أما التيار فيحسب بالمعادلة الآتية:

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

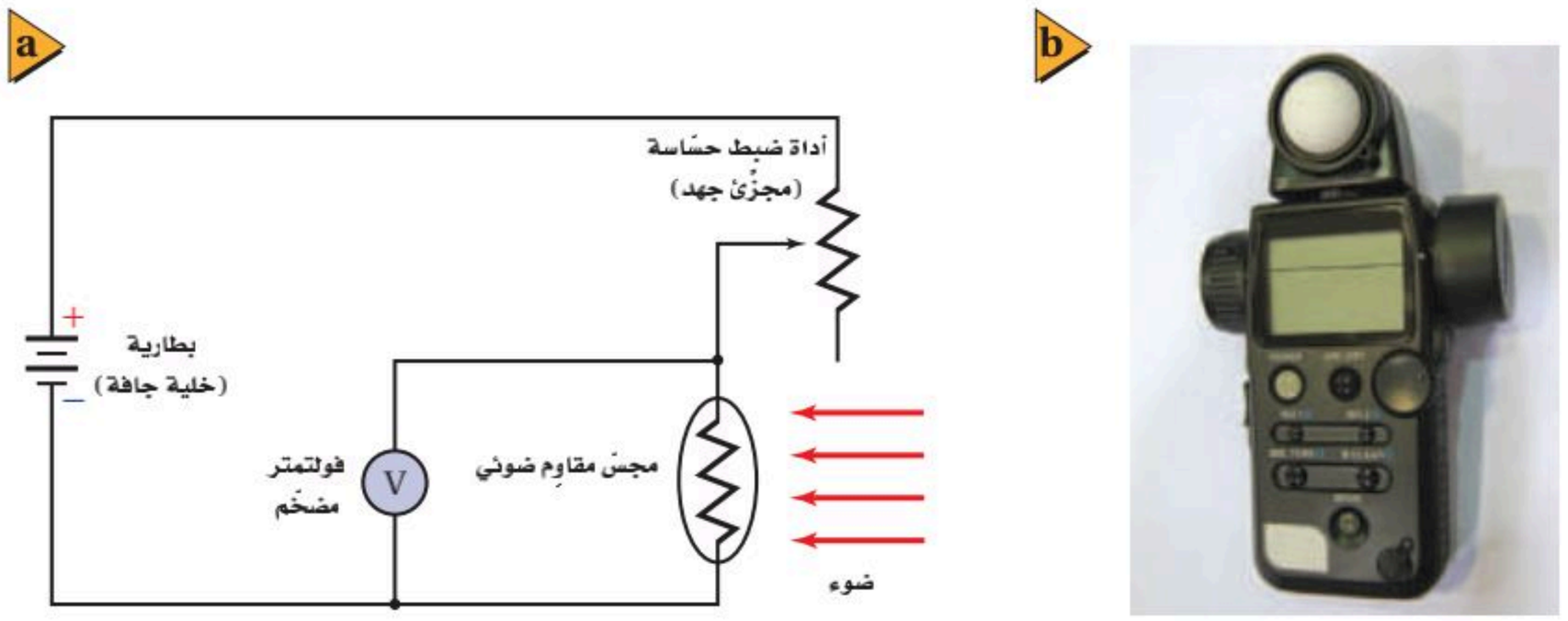
القيمة المطلوبة للجهد 5 V، وهي هنا تساوي الهبوط في الجهد V_B عبر المقاومة R_B: $V_B = IR_B$، وباستخدام هذه المعادلة، وقيمة التيار (المعادلة السابقة) نحصل على:

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



الشكل 4–5 في دائرة مجزئ الجهد هذه اختيرت قيمتا المقاومتين R_A وR_B بحيث يكون الهبوط في الجهد خلال المقاومة R_B مساويًا الجهد المطلوب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



■ **الشكل 5–5** الجهد الناتج عن مجزئ الجهد يعتمد على كمية الضوء التي تسقط على مجسّ المقاومة الضوئية (a). تستفيد أجهزة قياس كمية الضوء المستخدمة في التصوير الفوتوجرافي من مجزئ الجهد (b).

تُستخدم عادة مجزِّئات الجهد مع المجسّات؛ مثل المقاومات الضوئية؛ حيث تعتمد المقاومة الضوئية على كمية الضوء التي تسقط عليه، وهو يُصنع عادة من مواد شبه موصلة؛ مثل السليكون أو السيلينيوم أو كبريتيد الكادميوم. وتتغير مقاومة ضوئية مثالية من 400 Ω عند سقوط ضوء عليه إلى 400,000 Ω عندما تكون المقاومة في مكان معتم. ويعتمد الجهد الناتج عن مجزئ الجهد المستخدم في المقاومة الضوئية على كمية الضوء التي تسقط على مجسّ المقاومة، ويمكن استعمال هذه الدائرة مقياسًا لكمية الضوء، كما هو موضّح في **الشكل 5–5**؛ حيث تكشف دائرة إلكترونية في هذا الجهاز فرق الجهد وتحوّله إلى قياس للاستضاءة يمكن قراءته على شاشة رقمية. وستقل قراءة الفولتمتر المضخّم عند زيادة الاستضاءة.

مثـــال 1

الهبوط في الجهد في دائرة التوالي وصِلت مقاومتان كلٌّ منهما 47.0 Ω و82.0 Ω على التوالي بقطبي بطارية جهدها 45.0 V، أجب عما يأتي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

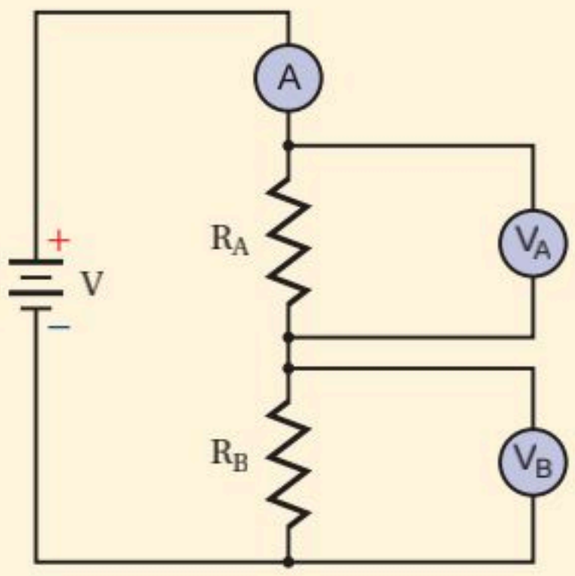
b. ما مقدار الهبوط في الجهد في كل مقاومة؟

c. إذا وضِعت مقاومة مقدارها 39.0 Ω بدلًا من المقاومة 47.0 Ω فهل تزداد شدة التيار أم تقل أم تبقى ثابتة؟

d. ما مقدار الهبوط الجديد في الجهد في المقاومة 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.

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

بالتعويض عن $R = R_A + R_B$

بالتعويض عن

$R_B = 82.0\ \Omega$ ، $R_A = 47.0\ \Omega$ ، $V_{مصدر} = 45.0\ V$

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

$$= \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$$

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

b. استخدم المعادلة $V = IR$ لكل مقاومة.

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

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

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

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

c. احسب التيار المار في الدائرة باستخدام المقاومة $39.0\ \Omega$ بوصفها قيمة جديدة لـ R_A

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$$

بالتعويض عن

$R_A = 39.0\ \Omega$ ، $R_B = 82.0\ \Omega$ ، $V_{مصدر} = 45.0\ V$

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

d. أوجد الهبوط الجديد في الجهد في R_B

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

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

3 تقويم الجواب

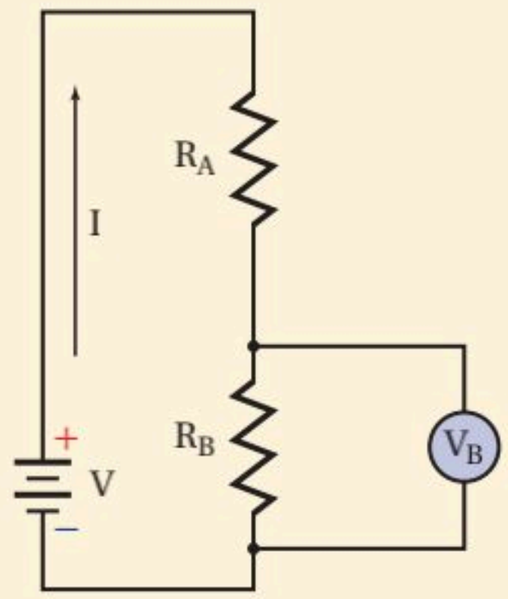
- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة التيار الكهربائي عبارة عن $A = V/\Omega$، ووحدة الجهد $V = A.\Omega$
- **هل الجواب منطقي؟** بالنسبة للتيار إذا كان $R > V$ فإن $I < 1$. كذلك فإن الهبوط في الجهد عبر أي مقاومة يجب أن يكون أقل من جهد الدائرة (المصدر)، ومقدارا V_B في الحالتين أقل من $V_{مصدر}$ التي تساوي $45.0\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

مثـــال 2

مجزئ الجهد وصِلت بطارية جهدها $9.0\ V$ بمقاومتين: $390\ \Omega$ و $470\ \Omega$، على شكل مجزئ جهد. ما مقدار جهد المقاومة $470\ \Omega$؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم البطارية والمقاومتين في دائرة توالٍ كهربائية.



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

2 إيجاد الكمية المجهولة

لحساب التيار نجد أولاً المقاومة المكافئة للدائرة.

$$R = R_A + R_B$$

بالتعويض عن $R = R_A + R_B$

احسب جهد المقاومة R_B

بالتعويض عن

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

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R}$$

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$$

$$V_B = IR_B$$

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

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

$$= 4.9\ V$$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

5. إذا أظهرت الدائرة الموضّحة في المثال 1 النتائج الآتية: قراءة الأميتر 0 A، وقراءة V_A تساوي 0 V، وقراءة V_B تساوي 45 V، فما الذي حدث؟

6. افترض أن قيم عناصر الدائرة الكهربائية الموضّحة في المثال 1 هي: $R_A = 255\ \Omega$ و $R_B = 292\ \Omega$ و $V_A = 17.0\ V$، وليس هناك أيّ معلومات أخرى، فأجب عما يأتي:

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 مقاومة؟

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

7. توصل مصابيح أسلاك الزينة غالبًا على التوالي، وضح لماذا تستخدم مصابيح خاصة تشكّل دائرة قصر عندما يحترق فتيلها إذا ازداد جهد المصباح ليصل إلى جهد الخط؟ ولماذا تحترق المنصهرات الكهربائية الخاصة بمجموعات المصابيح تلك بعد احتراق عدد من هذه المصابيح؟

8. تتكوّن دائرة توالٍ كهربائية من بطارية جهدها 12.0 V وثلاث مقاومات. فإذا كان جهد إحدى المقاومات 1.21 V، وجهد مقاومة ثانية 3.33 V، فما مقدار جهد المقاومة الثالثة؟

9. وصِلت المقاومتان $22\ \Omega$ و $33\ \Omega$ في دائرة توالٍ كهربائية بفرق جهد مقداره 120 V. احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

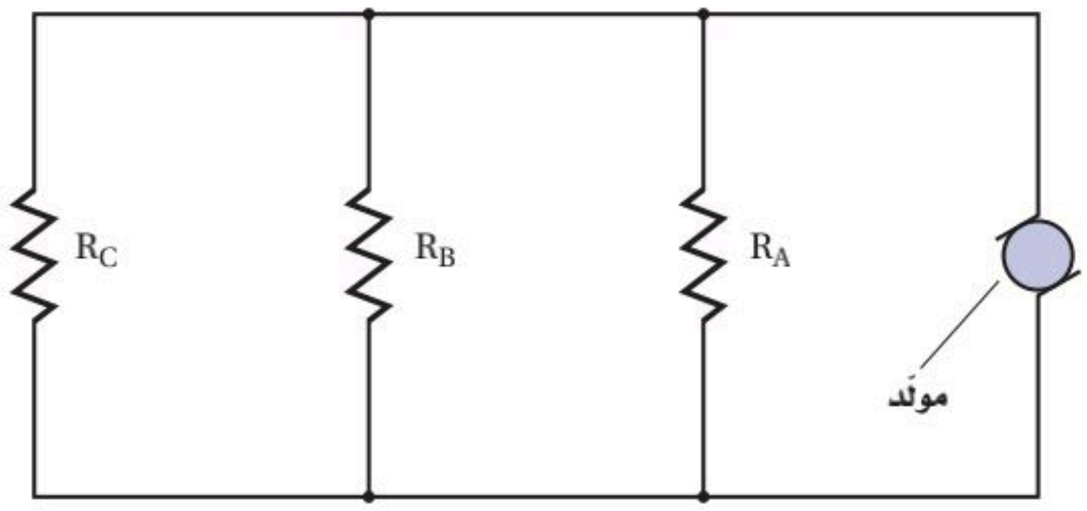
b. التيار المار في الدائرة.

c. الهبوط في الجهد عبر كل مقاومة.

d. الهبوط في الجهد عبر المقاومتين معًا.

10. قام طالب بعمل مجزئ جهد يتكوّن من بطارية جهدها 45 V ومقاومتين قيمتاهما: $475\ k\Omega$ و $235\ k\Omega$. إذا قيس الجهد الناتج عبر المقاومة الصغرى فما مقدار هذا الجهد؟

11. ما مقدار المقاومة التي يمكن استخدامها عنصرًا في دائرة مجزئ جهد مع مقاومة أخرى مقدارها $1.2\ k\Omega$، بحيث يكون الهبوط في الجهد عبر المقاومة $1.2\ k\Omega$ مساويًا 2.2 V عندما يكون جهد المصدر 12 V؟



الشكل 6–5 تكون المسارات المتوازية للتيار الكهربائي في هذا المخطط مماثلة للمسارات المتعددة التي يمكن أن يسلكها الماء في أثناء انحداره من قمة جبل.

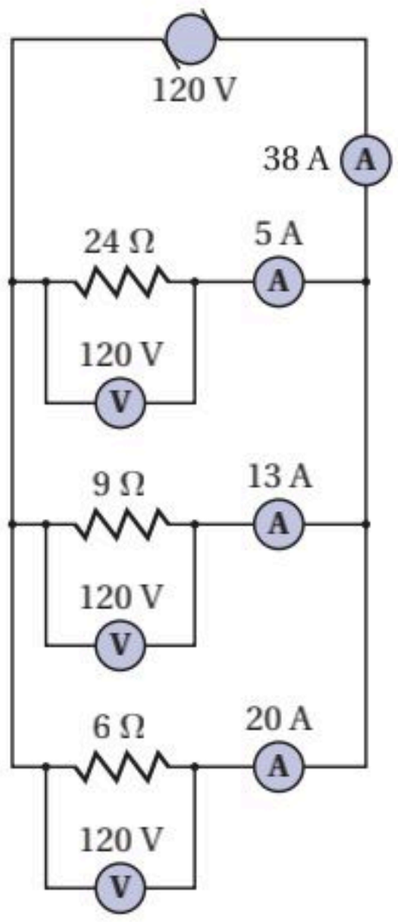
دوائر التوازي الكهربائية Parallel Circuits

انظر إلى الدائرة الكهربائية الموضّحة في **الشكل 6–5**. ما عدد مسارات التيار فيها؟ يمكن أن يمر التيار الخارج من المولّد في أي من المقاومات الثلاث. وتسمّى مثل هذه الدائرة التي تحتوي على مسارات متعددة للتيار الكهربائي **دائرة التوازي**. 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 بعِدّة 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 أقل، ولكن يظل التدفق الكلي مساويًا مجموع التدفُّقات في كل المسارات. إضافة إلى ذلك يكون مقدار الانحدار في الارتفاع هو نفسه بغض النظر عن المسار الذي يتدفق فيه الماء. وبالمثل يكون التيار الكلي في دائرة التوازي الكهربائية مساويًا مجموعَ التيارات التي تمر في كل المسارات. أما فرق الجهد فيكون هو نفسه في كل مسار؛ أي أن الجهد متساوٍ في كل المسارات.

تجربة عملية
كيف تعمل المقاومات الموصولة معًا على التوازي؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

ما مقدار التيار المار في كل مقاومة في دائرة توازٍ كهربائية؟ يعتمد مقدار التيار المارّ في كل مقاومة على مقدار مقاومتها. ففي **الشكل 7–5** مثلًا يكون فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة 120 V، ويعطى التيار المار في كل مقاومة بالعلاقة $I = V/R$، لذا يمكنك حساب التيار المار في المقاومة 24 Ω كما يأتي: $I = (120\ V)/(24\ \Omega) = 5.0\ A$، ثم تحسب التيار المار في كل من المقاومتين الأخريين. ويكون التيار الكلي المار في المولّد مساويًا مجموع التيارات في المسارات الثلاثة، ويساوي في هذه الحالة 38 A.

الشكل 7–5 التيار الكلي في دائرة توازٍ كهربائية يساوي مجموع التيارات في المسارات المفردة.



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

المقاومة في دائرة التوازي كيف يمكن إيجاد المقاومة المكافئة لدائرة توازٍ كهربائية؟ مقدار التيار الكلي المار في المولّد الموضّح في **الشكل 7–5** يساوي 38 A، لذا فإن قيمة المقاومة المُفردة التي يمر فيها تيار مقداره 38 A عند توصيلها بفرق جهد مقداره 120 V هي:

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

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

$$= 3.2\ \Omega$$

لاحظ أن هذه المقاومة تكون أقل من أي مقاومة من المقاومات الثلاث الموصولة على التوازي. فتوصيل مقاومتين أو أكثر على التوازي يقلّل دائمًا من المقاومة المكافئة للدائرة؛ وذلك لأن كل مقاومة جديدة توصل على التوازي تُضيف مسارًا جديدًا للتيار، وهذا يزيد من قيمة التيار الكلي مع بقاء فرق الجهد ثابتًا.

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

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

وبقسمة طرفي المعادلة على V، نوجد المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث المتصلة على التوازي.

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة معًا على التوازي

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

مقلوب المقاومة المكافئة يساوي مجموع مقلوب المقاومات المفردة.

ويمكن استخدام هذه المعادلة لإيجاد المقاومة المكافئة لأيّ عدد من المقاومات الموصولة على التوازي.

تطبيق الفيزياء

اختبار قياس المقاومة

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

تجربة

مقاومة التوازي

ركّب دائرة كهربائية تتكوّن من مصدر قدرة، ومقاومة، وأميتر.

1. **توقع** ماذا يحدث للتيار في الدائرة الكهربائية عند توصيل مقاومة أخرى مماثلة للمقاومة الأولى على التوازي معه؟
2. **اختبر** توقعك.
3. **توقع** مقداري التيارين إذا تضمنت الدائرة ثلاث أو أربع مقاومات متماثلة موصولة على التوازي.
4. **اختبر** توقعك.

التحليل والاستنتاج

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

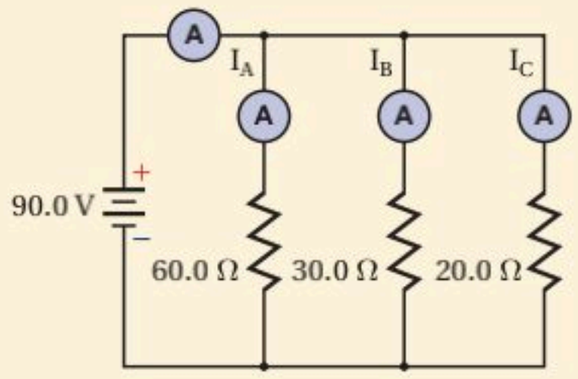
مثـــــال 3

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

a. التيار المار في كل فرع في الدائرة الكهربائية.

b. المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية.

c. التيار المار في البطارية.



1 تحليل المسألة ورسمها

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

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

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

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

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

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

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

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

b. استخدم معادلة المقاومة المكافئة لدوائر التوازي.

دليل الرياضيات

الكسور

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

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

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

$$R = 10.0\ \Omega$$

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

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

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

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

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

12. وصِلت ثلاث مقاومات مقاديرها 120.0 Ω و 60.0 Ω و 40.0 Ω على التوازي مع بطارية جهدها 12.0 V، احسب مقدار كل من:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

b. التيار الكهربائي الكلي المار في الدائرة.

c. التيار المار في كل مقاومة.

13. إذا أردنا تغيير مقاومة فرع في دائرة كهربائية من 150 Ω إلى 93 Ω فيجب إضافة مقاومة إلى هذا الفرع. ما مقدار المقاومة التي يجب إضافتها؟ وكيف يتم توصيلها؟

14. وُصلت مقاومة مقدارها 12 Ω وقدرتها 2 W على التوازي بمقاومة أخرى مقدارها 6.0 Ω وقدرتها 4 W. أيهما يسخّن أكثر إذا زاد فرق الجهد بين طرفيهما باستمرار؟

تختلف توصيلات التوالي والتوازي في كيفية تأثيرها في دوائر الإضاءة. تخيّل مصباحين كهربائيين قدرة الأول 60 W، وقدرة الثاني 100 W استخدما في دائرة إضاءة. تذكر أن سطوع إضاءة المصباح يتناسب طرديًّا مع القدرة المستنفدة، وأن $P=I^2R$. عند وصل المصباحين على التوازي بجهد 120 V يكون سطوع المصباح الذي قدرته 100 W أكبر. وعند وصلهما على التوالي يكون التيار المار في كل منهما متساويًا. ولأن مقاومة المصباح الذي قدرته 60 W أكبر من مقاومة المصباح الذي قدرته 100 W لذا تكون القدرة المستنفدة فيه أكبر؛ أي أن سطوع المصباح الذي قدرته 60 W سيكون أكبر.

1–5 مراجعة

15. **أنواع الدوائر الكهربائية** قارن بين الجهود والتيارات في دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.

16. **التيار الكلي** دائرة توازٍ فيها أربعة أفرع للتيار، قيم التيارات فيها: 120 mA و 250 mA و 380 mA و 2.1 A، ما مقدار التيار الذي يُولِّده المصدر؟

17. **التيار الكلي** تحتوي دائرة توالٍ على أربع مقاومات. إذا كان التيار المار في إحدى المقاومات يساوي 810 mA فاحسب مقدار التيار الذي يُولِّده المصدر.

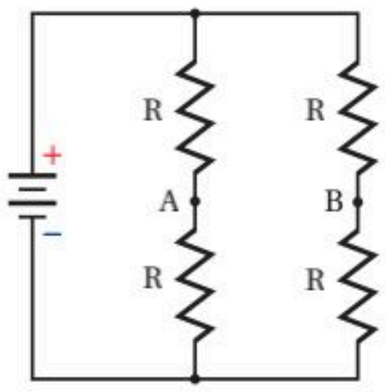
18. **التفكير الناقد** تحتوي الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل 8–5 على أربع مقاومات متماثلة. افترض أن سلكًا استُخدم لوصل النقطتين A و B، وأجب عن الأسئلة الآتية مع توضيح السبب:

a. ما مقدار التيار المار في السلك؟

b. ماذا يحدث للتيار المار في كل مقاومة؟

c. ماذا يحدث للتيار الخارج من البطارية؟

d. ماذا يحدث لفرق الجهد بين طرفي كل مقاومة؟



الشكل 8–5

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية Applications of Circuits

الأهداف

- توضّح كيف تعمل المنصهرات، وقواطع الدوائر الكهربائية، وقواطع التفريغ الأرضي الخاطئ على حماية أسلاك التوصيلات الكهربائية في المنازل.
- تُحلّل وتحلّ مسائل تتضمّن دوائر كهربائية مُركبّة.
- توضّح كيفية توصيل كلٍّ من الفولتمتر والأميتر في الدوائر الكهربائية.

المفردات

دائرة القصر

المنصهر الكهربائي

قاطع الدائرة الكهربائية

قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ

دائرة كهربائية مُركّبة

الأميتر

الفولتمتر

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

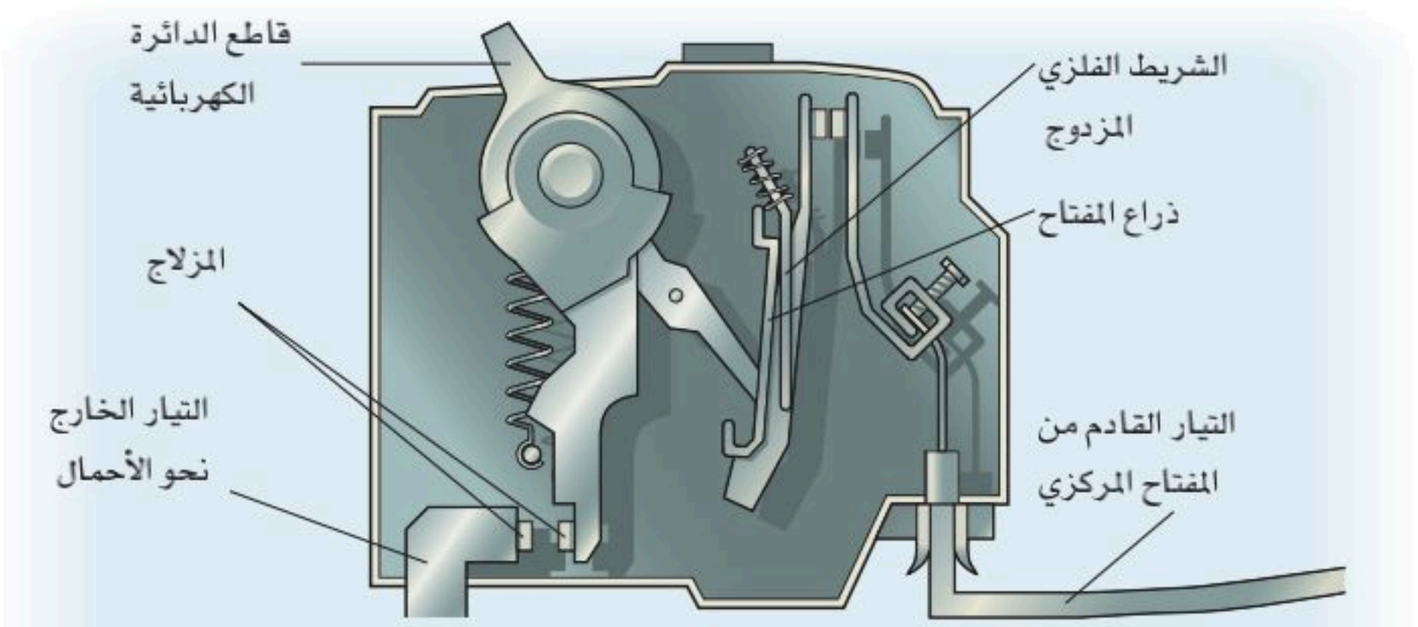
أدوات السلامة Safety Devices

تعمل المنصهرات وقواطع الدوائر الكهربائية أدوات حماية وسلامة، تمنع حدوث حمل زائد في الدائرة قد 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 قد تُحدث حريقًا.

أما **المنصهر الكهربائي** فهو قطعة قصيرة من فلز تنصهر عندما يمرّ فيها تيار كبير. ويحدد سمك هذه القطعة 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 9–5** **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 حملاً 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 في الجهاز أو سقوطه في الماء إلى تكوّن مسار آخر للتيار. وإذا كان الشخص المستخدم للجهاز جزءًا من هذا المسار فإن مرور التيار فيه يُسبّب إصابة خطيرة له؛ فقد يؤدي مرور تيار صغير مقداره 5 mA خلال شخص إلى موته بالصدمة أو بالصعقة الكهربائية. ووجود **قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ** في مقبس

قاطع الدائرة الكهربائية



الشكل 9–5 عند مرور تيار كبير خلال الشريط الفلزي المزدوج يسخن الشريط ويتقوس؛ لأنه مصنوع من فلزين مختلفين، فيتحرر المزلاج، ويتحرك ذراع المفتاح إلى وضع فتح الدائرة الكهربائية، فتنفتح.

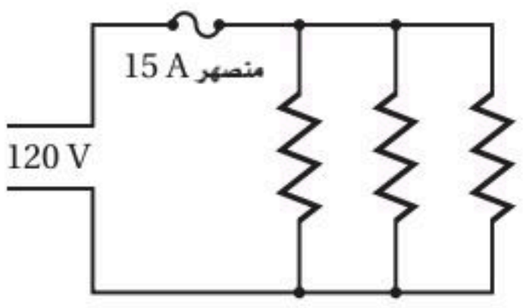
وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

يمنع حدوث مثل هذه الإصابات؛ لأنه يحتوي على دائرة إلكترونية تكشف الفروق البسيطة في التيار الكهربائي الناجمة عن مسار إضافي للتيار، فتعمل تلك القواطع على فتح الدائرة الكهربائية. ومن الاشتراطات الكهربائية المتعلقة بالبناء والتشييد لضمان السلامة والصحة العامة في المملكة العربية السعودية، ألزم كود البناء السعودي بتزويد المقابس المركبة في الأماكن الرطبة بجهاز حماية يعمل بالتيار المتبقي Device Circuit Residual (RCD).

التطبيقات المنزلية يوضح **الشكل 10–5** دائرة توازٍ كهربائية تستخدم في التمديدات المنزلية، ويوضح الشكل أيضًا بعض الأجهزة التي توصل على التوازي؛ حيث لا يعتمد التيار المار في أيٍّ منها على التيارات المارة في الجهاز الآخر عند وصلها معًا. افترض مثلًا أنه تم وصل تلفاز قدرته 240 W بمصدر جهد 120 V. فبحسب العلاقة $I = P/V$ يكون التيار المار في التلفاز $I=\frac{240\ W}{120\ V} = 2.0\ A$. وعند وصل مكواة كهربائية قدرتها 720 W بمصدر الجهد نفسه يكون التيار المار فيها $I=\frac{720\ W}{120\ V}=6.0\ A$. وأخيرًا، إذا وصِل مجفّف شعر قدرته 1440 W بمصدر الجهد نفسه أيضًا فسوف يمر فيه تيار مقداره $I=\frac{1440\ W}{120\ V}=12\ A$. ويمكن حساب مقاومة كل جهاز بالعلاقة $R = V/I$. وتحسب المقاومة المكافئة للأجهزة الثلاثة كما يأتي:

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{60\ \Omega}+\frac{1}{20\ \Omega}+\frac{1}{10\ \Omega}=\frac{1}{6\ \Omega}$$

$$R=6\ \Omega$$



الشكل 10–5 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 فقد يؤدي ذلك إلى انصهار المنصهر الكهربائي.

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

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

$$= \frac{120\ V}{6\ \Omega}$$

$$= 20\ A$$

فإذا كان أكبر تيار يتحمله المنصهر هو 15 A فإن التيار 20 A يكون أكبر من قدرة تحمل المنصهر الكهربائي، مما يؤدي إلى صهره أو احتراقه، فتفتح الدائرة الكهربائية.

توفّر المنصهرات والقواطع الكهربائية الحماية من التيارات الكهربائية الكبيرة، وبخاصة تلك التيارات الناتجة عن حدوث دوائر القصر. وفي حال عدم استعمال منصهر أو قاطع فإنه يمكن للتيار الناتج عن حدوث دائرة قصر أن يحدث حريقًا. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تحدث دائرة قصر إذا أصبحت الطبقة العازلة للسلكين الموصولين بمصباح كهربائي هشة وتالفة؛ لأنه قد يتلامس السلكان، فينتج عن ذلك مقاومة مقدارها 0.010 Ω تقريبًا، مما يؤدي إلى مرور تيار كهربائي كبير جدًّا.

$$I = V/R$$

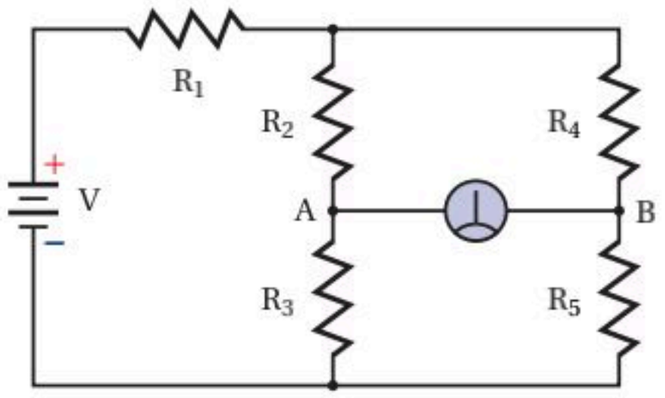
$$= \frac{120\ V}{0.010\ \Omega}$$

$$= 12000\ A$$

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 إشعال الحريق.

مسألة تحفيز

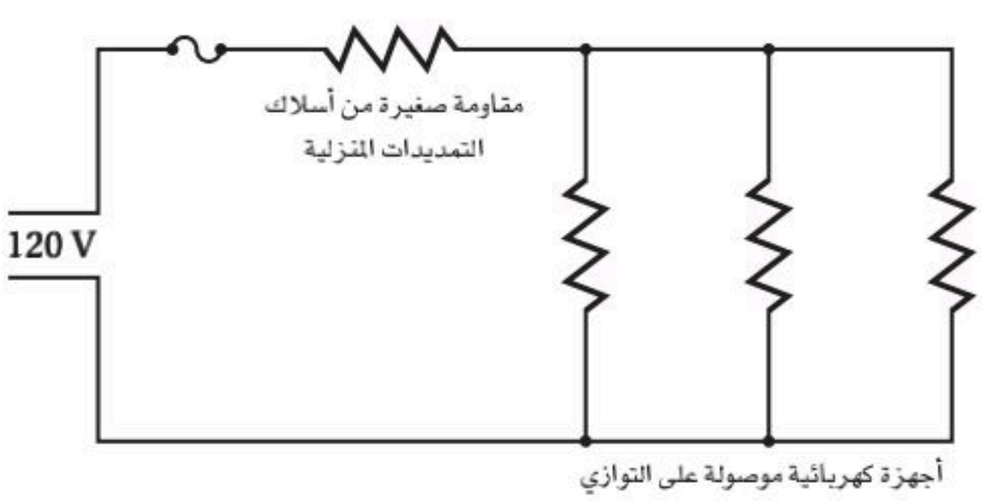
الجلفانومتر جهاز يستخدم لقياس التيارات الكهربائية وفروق الجهد الصغيرة جدًّا. وعندما تكون قراءة الجلفانومتر الموضح في الدائرة المجاورة صفرًا نقول إن الدائرة مُتزنة.



1. يقول زميلك في المختبر إن الطريقة الوحيدة لجعل الدائرة مُتزنة هي جعل جميع المقاومات 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 المقاومات يمكن أن نضع مكانها مقاومةً متغيرةً لكي تستخدم أداة في ضبط الدائرة وموازنتها؟
4. أيّ المقاومات يمكن أن نضع مكانها مقاومةً متغيرةً لكي تستخدم أداة تحكّم وضبط حسّاسة؟ ولماذا يكون ذلك ضروريًّا؟ وكيف يمكن استخدامه عمليًّا؟

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 120 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 أسلاك التمديدات المنزلية لها مقاومة صغيرة. وكما هو موضّح في **الشكل 11–5** فإن هذه المقاومة موصولة على التوالي مع دائرة التوازي. وتسمى الدائرة التي تحتوي على نوعي التوصيل التوالي والتوازي معًا **دائرةً كهربائية مُركّبة**. وتستخدم الاستراتيجية الآتية لتحليل مثل هذه الدوائر.



الشكل 11–5 تتصل المقاومة الصغيرة لأسلاك التمديدات الكهربائية على التوالي بالأجهزة الكهربائية الموصولة على التوازي في التوصيلات المنزلية.

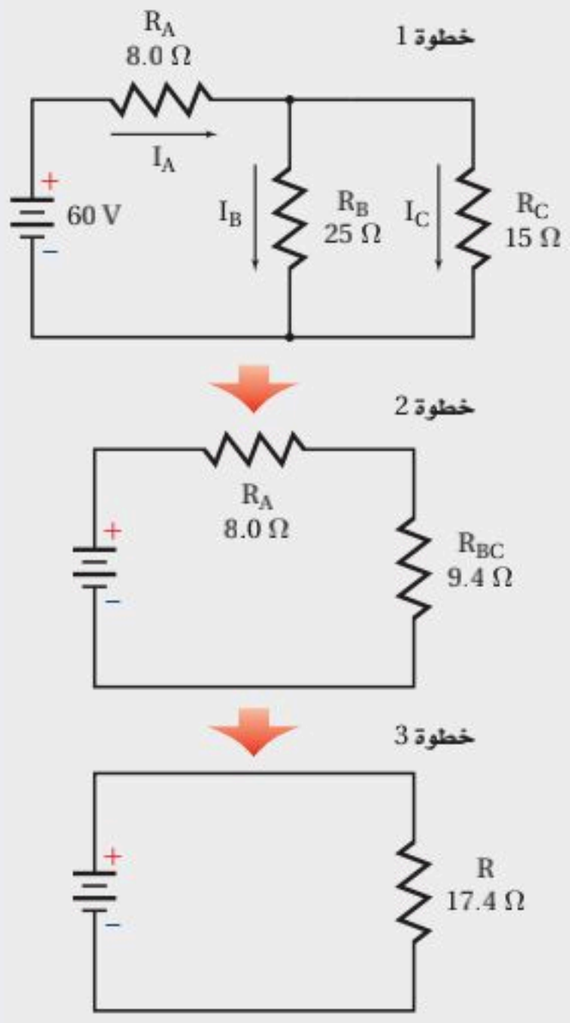
استراتيجيات حل المسألة

الدوائر الكهربائية المُركّبة

عند *تحليل دائرة كهربائية مُركّبة نستخدم الخطوات الآتية لتبسيط المسألة:*

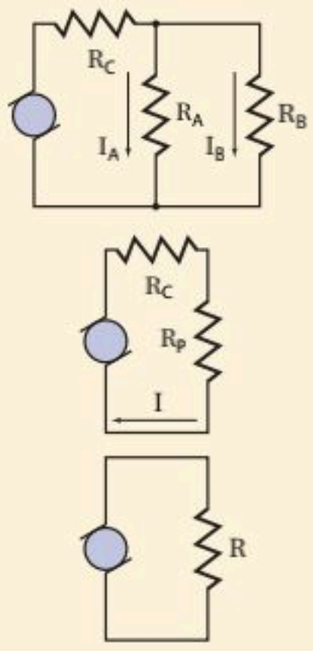
1. ارسم رسمًا تخطيطيًّا للدائرة الكهربائية.
2. حدّد المقاومات الموصولة معًا على التوازي. تعمل مقاومات التوازي على تجزئة التيار، ويكون لها فرق الجهد نفسه. احسب المقاومة المكافئة لهذه المقاومات. ثم ارسم رسمًا تخطيطيًّا جديدًا يحتوي على المقاومة المكافئة لمقاومات التوازي.
3. هل المقاومات الآن -ومنها المقاومة 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 مقاومة واحدة. أوجد تيار الدائرة الكلي، ثم ارجع في المسألة عكسيًّا لحساب التيار وفرق الجهد لكل مقاومة.

مخطّطات اختزال دائرة كهربائية



مثـــال 4

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



1 تحليل المسألة ورسمها

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

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 $R_A = 125\ \Omega$، $R_B = 12.0\ \Omega$

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

$$R_p = 10.9\ \Omega$$

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

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

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

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

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

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

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

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

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

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

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

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

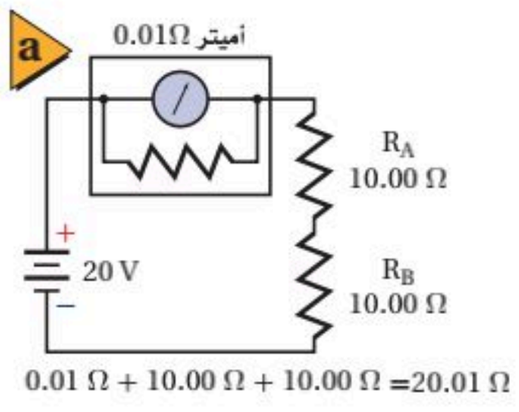
19. تحتوي دائرة كهربائية مُركّبة على ثلاثة مقاومات. تستنفد المقاومة الأولى قدرة مقدارها 2.0 W، وتستنفد الثانية قدرة مقدارها 3.0 W، وتستنفد الثالثة قدرة مقدارها 1.5 W. ما مقدار التيار الذي تسحبه الدائرة من بطارية جهدها 12.0 V؟

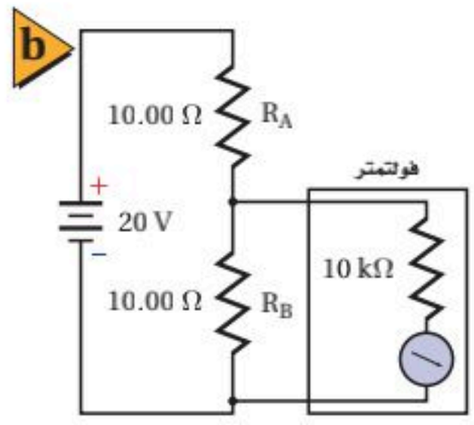
20. يتصل 11 مصباحًا كهربائيًّا معًا على التوالي، وتتصل المجموعة على التوالي بمصباحين كهربائيين يتصلان على التوازي. فإذا كانت المصابيح جميعها متماثلة، فأيها يكون سطوعه أكبر؟

21. ماذا يحدث للدائرة الموصوفة في المسألة السابقة، إذا احترق أحد المصباحين المتصلين على التوازي؟

22. ماذا يحدث للدائرة الموصوفة في المسألة 20 إذا حدث دائرة قصر لأحد المصباحين المتصلين على التوازي؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446





■ **الشكل 12–5** يتصل أميتر على التوالي بمقاومتين (**a**). غَيرت المقاومة الصغيرة للأميتر التيار بمقدار صغير جدًا. ويتصل الفولتمتر بمقاومة على التوازي (**b**). سيكون التغير في تيار الدائرة وجهدها مهملاً بسبب المقاومة الكبيرة للفولتمتر.

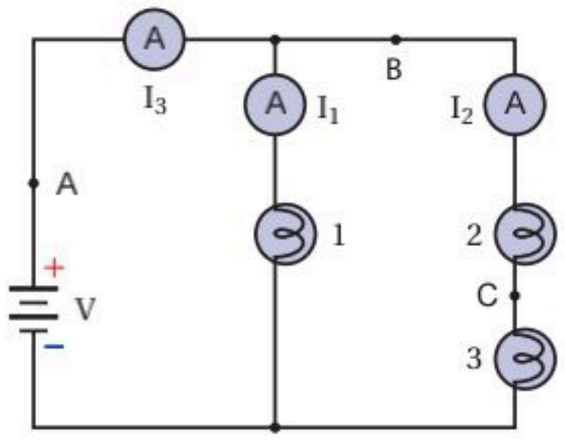
الأميترات والفولتمترات Ammeters and Voltmeters

الأميتر جهاز يستخدم لقياس التيار الكهربائي في أي فرع أو جزء من دائرة كهربائية. فإذا أردت قياس التيار الكهربائي المار في مقاومة فعليك أن تصل جهاز الأميتر على التوالي بهذه المقاومة، وهذا يتطلب قطع مسار التيار وإدخال الأميتر. وفي الحالات المثالية يجب ألا يؤثر استخدام الأميتر في قيمة التيار المار في المقاومة. لذا يُصمّم الأميتر بحيث تكون مقاومته أقل ما يمكن؛ وذلك لأن التيار سيقل إذا عمل الأميتر على زيادة مقاومة الدائرة الكهربائية. لذا يوصل مع ملفه مقاومة صغيرة على التوازي، ويوصل الأميتر على التوالي في الدوائر الكهربائية، لاحظ **الشكل 12a–5**.

وهناك جهاز آخر يسمى **الفولتمتر** يُستخدم لقياس الهبوط في الجهد عبر جزء من دائرة كهربائية. ولقياس الهبوط في الجهد عبر مقاومة يتم وصل الفولتمتر مع هذه المقاومة على التوازي. ويُصمّم الفولتمتر بحيث تكون مقاومته كبيرة جدًّا؛ وذلك حتى يكون التغير في التيارات وفروق الجهد في الدائرة الكهربائية أقل ما يمكن. لذا يوصل مع ملفه مقاومة كبيرة على التوالي، ويوصل الفولتمتر على التوازي في الدوائر الكهربائية، لاحظ **الشكل 12b–5** .

2–5 مراجعة

*ارجع إلى الشكل **13–5** للإجابة عن الأسئلة **28 – 23**، افترض أن جميع المصابيح في الدائرة الكهربائية متماثلة للأسئلة **25 – 23**.*



الشكل 13–5

23. السطوع قارن بين سطوع المصابيح.

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

25. دوائر التوالي الكهربائية إذا فُصِل السلك عند النقطة C، ووُصِلت مقاومة صغيرة على التوالي بالمصباحين 2 و3 فماذا يحدث لسطوع كل منهما؟

26. 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؟

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

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

مختبر الفيزياء

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية

يوجـد في كل دائرة كهربائية علاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة. سـوف تسـتقصي في هذه التجربة العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دوائر التوالي الكهربائية، وتقارنها بالعلاقة الخاصة بها في دوائر التوازي الكهربائية.

سؤال التجربة

ما العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دوائر التوالي مقارنة بالعلاقة بينها في دوائر التوازي؟

الأهـداف

- **تصف** العلاقـة بين التيار وفرق الجهـد والمقاومة في دائرة التوالي الكهربائية.
- **تلخّص** العلاقة بين التيار وفـرق الجهد والمقاومة في دائرة التوازي الكهربائية.
- **تجمع بيانات** حـول التيار وفرق الجهد باسـتعمال أجهزة القياس الكهربائية.
- **تحسب** مقاومة مصباح كهربائي من خـلال بيانات فرق الجهد والتيار.

احتياطات السلامة

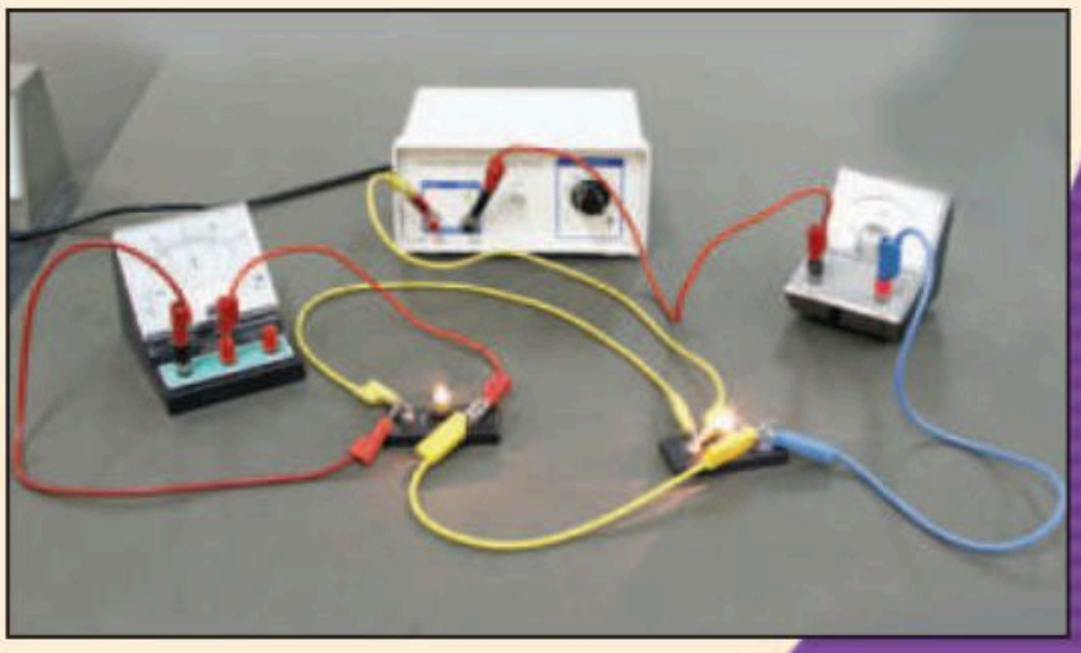
- **الخطورة الناجمة عن الصدمة الكهربائية قليلة؛ لأن التيارات الكهربائية المستخدمة في هذه التجربة صغيرة. يجب ألا تنفذ هذه التجربة باستخدام تيار مُتناوب؛ لأن هذا التيار قاتل.**
- **أمسك أطراف الأسلاك بحذر؛ لأنها قد تكون حادة، فتجرح جلدك.**

المواد والأدوات

مصدر قدرة قليل الجهد
قاعدتا مصباح
مصباحان كهربائيان صغيران
أميتر ذو مدى تدريج 0–500 mA
فولتمتر ذو مدى تدريج 0–30 V
عشرة أسلاك نحاسية مزوّدة بمشابك فم التمساح

الخطوات

1. صِل قاعدتي المصباح على التوالي بالأميتر ومصدر القدرة. راعِ التوصيل الصحيح للأقطاب عند وصل الأميتر.
2. ركّب المصباحين في القاعدتين، وشـغِّل مصـدر القدرة. ثم اضبط مصدر القدرة حتى تصبح إضاءة المصباحين خافتة.
3. افصـل أحد المصباحـين، ودوّن ملاحظاتـك في جدول البيانات.
4. ركّب المصباح مـرة ثانية، وأوجد فـرق الجهد بين طرفي النظام المكوّن مـن المصباحين، وذلـك بتوصيل الطرف الموجـب للفولتمتر بالطرف الموجـب للدائرة، والطرف السالب له بالطرف السالب للدائرة، ثم دوّن قياساتك في جدول البيانات.
5. أوجد فرق الجهد بين طـرفي كل مصباح بتوصيل الطرف الموجب للفولتمـتر بالطرف الموجب للمصباح، والطرف السالب للفولتمتر بالطرف السـالب للمصباح، ثم دوّن قياسـاتك في جـدول البيانات. وكـرّر تجربتك لمصابيح أخرى على التوالي.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

جدول البيانات			
الخطوة	التيار الكهربائي (mA)	فرق الجهد (V)	الملاحظات
3			
4			
5			
6			
8			
9			
10			
11			

6. صِل الأميتر بمواقع مختلفة في دائرة التوالي، ودوّن قيم هذه التيارات في جدول البيانات.
7. صِل قاعدتي المصباحين على أن تكونا متصلتين على التوازي مع مصدر الجهد نفسه، وأن تكونا متصلتين على التوالي مع الأميتر.
8. ركّب المصباحين في القاعدتين، وشغِّل مصدر القدرة. ثم اضبط مصدر القدرة حتى تصبح إضاءة المصباحين خافتة. ودوّن قراءة التيار من الأميتر في جدول البيانات.
9. أوجد فرق الجهد عبر الدائرة كلها، ثم عبْر كل مصباح، ودوّن القيم في جدول البيانات.
10. صِل طرفي الفولتمتر بطرفي أحد المصباحين، ثم افصل أحد المصباحين، ودوّن ملاحظاتك حول المصباحين، ودوّن قراءتي الأميتر والفولتمتر في جدول البيانات.
11. أعد تركيب المصباح الذي فصلته في قاعدته، وافصل المصباح الآخر، ودوّن ملاحظاتك حول المصباحين، ودوّن قراءتي الأميتر والفولتمتر في جدول البيانات.

التحليل

1. احسب المقاومة المكافئة للمصباحين في دائرة التوالي.
2. احسب مقاومة كل مصباح في دائرة التوالي.
3. ما العلاقة بين المقاومة المكافئة للمصباحين ومقدار مقاومة كل منهما؟
4. ما العلاقة بين فرق الجهد على طرفي كل مصباح وفرق الجهد على طرفي النظام المكوّن منهما عندما يكونان موصولين على التوالي؟
5. احسب مقاومة كل مصباح في دائرة التوازي، وقارن هذه القيمة مع المقاومة التي حصلت عليها للمصابيح في دائرة التوالي.

الاستنتاج والتطبيق

1. لخص العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوالي.
2. لخص العلاقة بين التيار وفرق الجهد في دائرة التوازي.

التوسع في البحث

كرّر التجربة باستخدام مصابيح ذات جهود مختلفة، 1.5 V و3.0 V و6.0 V مثلاً.

الفيزياء في الحياة

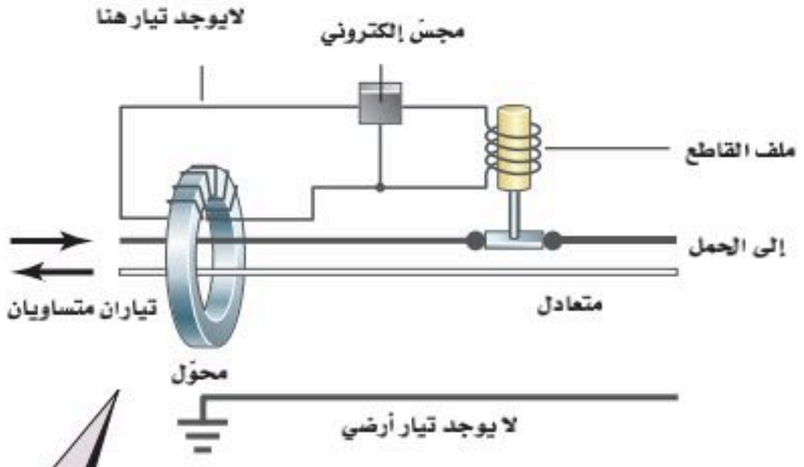
1. تعمل المصابيح في معظم المنازل على جهد 120 V بغض النظر عن عددها. كيف تتأثر مقدرتنا على استعمال أي عدد من المصابيح المتماثلة الجهد بطريقة التوصيل (توازٍ، أو توالٍ)؟
2. لماذا يخفت الضوء في المنزل عند تشغيل جهاز كهربائي يحتاج إلى تيار كبير، كالمكيّف مثلاً؟

كيف تعمل

How it Works Ground Fault Circuit Interrupter (GFCI)?

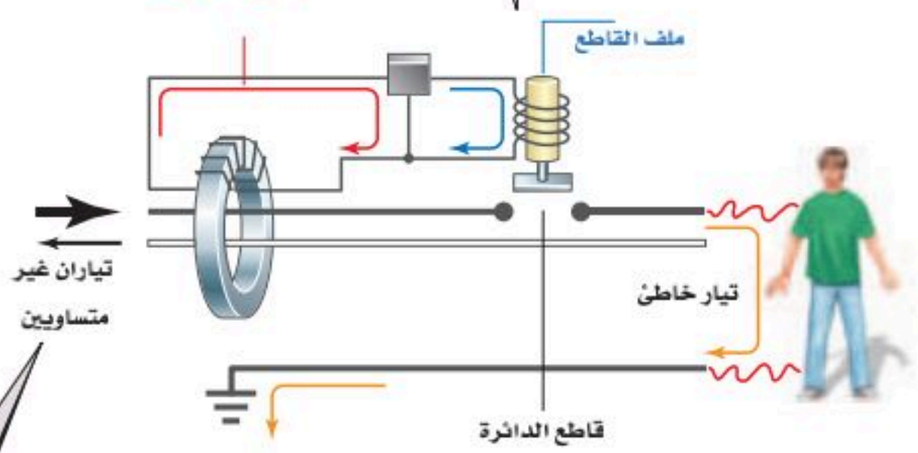
دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ؟

يحدث التفريغ الأرضي الخاطئ عندما يسلك التيار مسارًا خاطئًا نحو الأرض، كأن يمر التيار الكهربائي من خلال جسم شخص. كان 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.

3 سيولّد التيار المحصّل المار مجالًا مغناطيسيًّا مُتغيّرًا في قلب المحوّل، مما يولد تيارًا في حلقةَ المجسّ الإلكتروني. سيكشف المجسّ بدوره التيار، ويُنشّط مغناطيسًا كهربائيًّا يُسمّى الملف القاطع. وبذلك تنفتح الدائرة الكهربائية. وتستغرق هذه العملية 0.025 s.



تياران غير متساويين

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 لمحصلةالتيار المار من خلال المحوّل.

4 يُوصل زر الفحص في دائرة قاطع التَفريغ الأرضي الخاطئ مقاومة صغيرة بالدائرة الكهربائية، فينشئ مرة أخرى تيارات غير متساوية في المحوّل، ويفتح الدائرة الكهربائية.

التفكير الناقد

1. **كوِّن فرضية** يَحدث التفريغ الخاطئ عندما يقف شخص على سطح مبلل 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 مقاومة الفحص $14.75\ k\Omega$، احسب التيار المار في هذه المقاومة إذا كان فرق الجهد $115V$، هل يُعدّ هذا التيار كبيرًا؟

الفصل 5

دليل مراجعة الفصل

5–1 الدوائر الكهربائية البسيطة Simple Circuits

المفردات

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

المفاهيم الرئيسة

- التيار متساوٍ 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.

$$I = V_{\text{مصدر}} / R$$

- مجموع الهبوط في الجهد خلال مقاومات دائرة التوالي يساوي فرق الجهد المُطبّق على طرفي مجموعة المقاومات.
- مجزئ الجهد يمثل دائرة توالٍ كهربائية تستخدم في عمل مصدر جهد بقيمة معينة من بطارية ذات جهد كبير.
- الهبوط في الجهد خلال جميع أفرع دائرة التوازي الكهربائية متساوٍ.
- التيار الكلي في دائرة التوازي الكهربائية مساوٍ لمجموع تيارات أفرع الدائرة.
- مقلوب المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة على التوازي مساوٍ 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.

5–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية Applications of Circuits

المفردات

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

المفاهيم الرئيسة

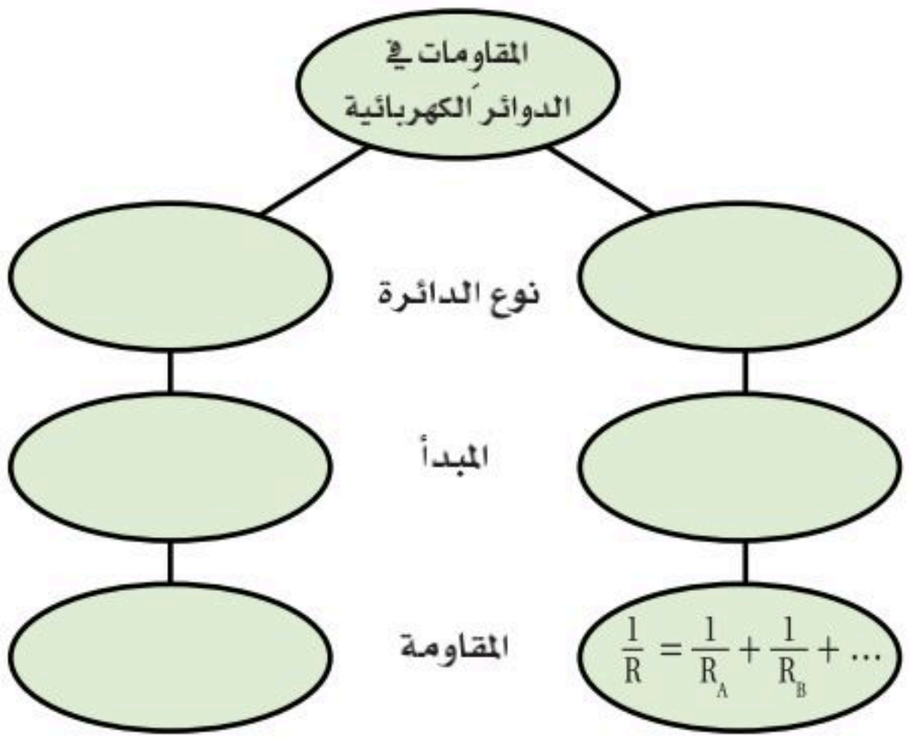
- يعمل المنصهر الكهربائي أو قاطع الدائرة الكهربائية الموصول بالجهاز على التوالي على فتح الدائرة عند مرور تيارات كهربائية كبيرة فيها خطر على الجهاز.
- تتكون الدائرة المركّبة من توصيلات التوالي والتوازي معًا. في البداية يُختزل أي تفرع توازٍ إلى مقاومة مكافئة واحدة ثم تُختزل أيّ مقاومات أخرى موصولة على 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الفصل 5
التقويم

خريطة المفاهيم

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



إتقان المفاهيم

30. لماذا تنطفئ جميع المصابيح الموصولة على التوالي إذا احترق أحدها؟ (1- 5)

31. لماذا تقل المقاومة المكافئة في دائرة التوازي كلما أضيف المزيد من المقاومات؟ (1- 5)

32. إذا وصِلت مجموعة مقاومات مختلفة في قيمها على التوازي، فكيف تُقَارن قيمة كل منها بالمقاومة المكافئة للمجموعة؟ (1- 5)

33. لماذا تكون تمديدات أسلاك الكهرباء في المنازل على التوازي، وليس على التوالي؟ (1- 5)

34. قارن بين مقدار التيار الداخل إلى نقطة تفرّع في دائرة توازٍ ومقدار التيار الخارج منها (نقطة التفرع نقطة تتصل بها ثلاثة موصلات أو أكثر). (1- 5)

35. وضّح كيف يعمل منصهر كهربائي على حماية دائرة كهربائية ما؟ (2- 5)

36. ما المقصود بدائرة القصر؟ ولماذا تكون خطيرة؟ (2- 5)

37. لماذا يُصمّم الأميتر بحيث تكون مقاومته صغيرة جدًّا؟ (2- 5)

38. لماذا يُصمّم الفولتمتر بحيث تكون مقاومته كبيرة جدًّا؟ (2- 5)

39. كيف تختلف طريقة توصيل الأميتر في دائرة كهربائية عن طريقة توصيل الفولتمتر في الدائرة نفسها؟ (2-5)

تطبيق المفاهيم

40. تحتوي دائرة كهربائية على ثلاثة مصابيح كهربائية موصولة على التوالي. ماذا يحدث للتيار المار في مصباحين من هذه المصابيح إذا احترق فتيل المصباح الثالث؟

41. افترض أن المقاومة R_A في مجزئ الجهد الموضّح في **الشكل 4-5** صُمّمت لتكون مقاومة متغيّرة، فماذا يحدث للجهد الناتج V_B في مجزئ الجهد إذا زاد مقدار المقاومة المتغيرة؟

42. تحتوي الدائرة A على ثلاث مقاومات مقدار كل منها 60 Ω موصولة على التوالي، أما الدائرة B فتحتوي على ثلاث مقاومات مقدار كل منها 60 Ω موصولة على التوازي. كيف يتغير التيار المار في المقاومة الثانية في كل دائرة منهما إذا قطع مفتاح كهربائي التيار عن المقاومة الأولى؟

43. تحتوي دائرة كهربائية على ثلاثة مصابيح كهربائية موصولة على التوازي. ماذا يحدث للتيار المار في مصباحين من هذه المصابيح إذا احترق فتيل المصباح الثالث؟

44. إذا كان 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؟

تقويم الفصل 5

45. مصباحان كهربائيّان مقاومة أحدهما أكبر من مقاومة الآخر. أجب عمّا يأتي:

a. إذا وصل المصباحان على التوازي فأيُّهما يكون سطوعه أكبر (أيْ أيُّهما يستنفد قدرة أكبر)؟

b. إذا وصِل المصباحان على التوالي فأيهما يكون سطوعه أكبر؟

46. اكتب نوع الدائرة المستخدمة (توالٍ أم توازٍ) فيما يأتي:

a. التيار متساوٍ في جميع أجزاء الدائرة الكهربائية.

b. المقاومة المكافئة تساوي مجموع المقاومات المُفردة.

c. الهبوط في الجهد عبر كل مقاومة في الدائرة الكهربائية متساوٍ.

d. الهبوط في الجهد في الدائرة الكهربائية يتناسب طرديًا مع المقاومة.

e. إضافة مقاومة إلى الدائرة يُقلّل المقاومة المكافئة.

f. إضافة مقاومة إلى الدائرة يزيد المقاومة المكافئة.

g. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاومات دائرة كهربائية صفرًا، ولم يمر تيار في جميع المقاومات الأخرى الموجودة في الدائرة.

h. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاومات دائرة كهربائية صفرًا، ولم تتغيّر مقادير التيارات الكهربائية المارة في جميع المقاومات الأخرى الموجودة في الدائرة.

i. هذا النوع من التوصيل مناسب لتمديدات الأسلاك في المنزل.

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

إتقان حل المسائل

5–1 الدوائر الكهربائية البسيطة

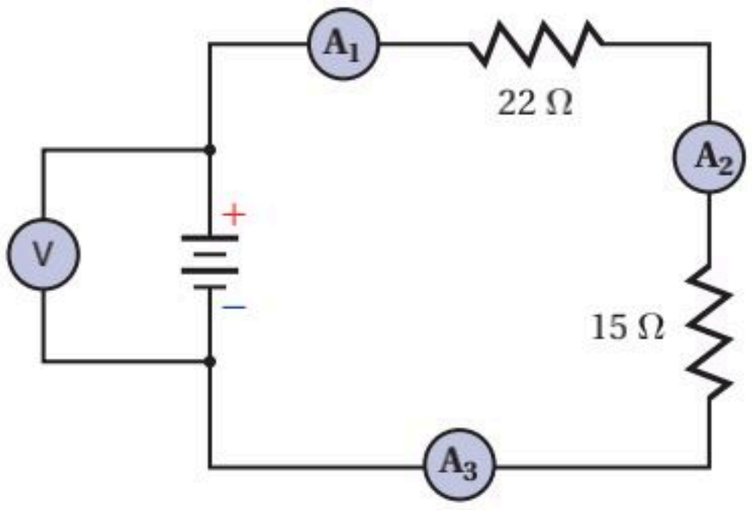
48. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات الآتية: 680 Ω و 1.1 kΩ و 10 kΩ إذا وصلت على التوالي.

49. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات الآتية: 680 Ω و 1.1 kΩ و 10.0 kΩ إذا وصلت على التوازي.

50. إذا كانت قراءة الأميتر 1 الموضح في **الشكل 14–5** تساوي 0.20 A، فما مقدار:

a. قراءة الأميتر 2؟

b. قراءة الأميتر 3؟



■ **الشكل 14–5**

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

52. 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؟

53. إذا كانت قراءة الأميتر1 في **الشكل 14–5** تساوي 0.20 A فما مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة؟

b. جهد البطارية؟

c. القدرة المستنفدة في المقاومة 22 Ω ؟

d. القدرة الناتجة عن البطارية؟

54. إذا كانت قراءة الأميتر 2 الموضّح في **الشكل 14–5** تساوي 0.50 A فاحسب مقدار:

a. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 22 Ω.

b. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 15 Ω.

c. جهد البطارية.

تقويم الفصل 5

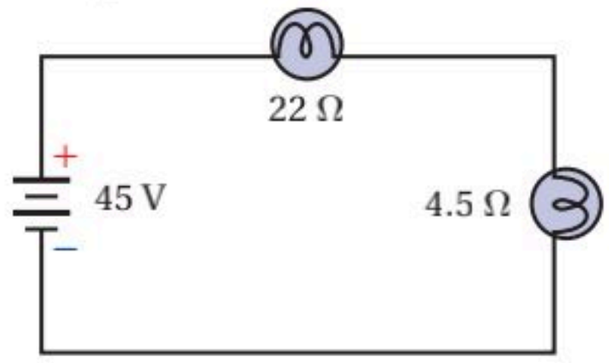
55. وصِل مصباحان مقاومــة الأول 22 Ω ومقاومة الثاني 4.5 Ω على التوالي بمصدر فرق جهد مقداره 45 V، كما هو موضّح في **الشكل 15-5**. احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

b. التيار المار في الدائرة.

c. الهبوط في الجهد في كل مصباح.

d. القدرة المستهلكة في كل مصباح.



الشكل 15–5

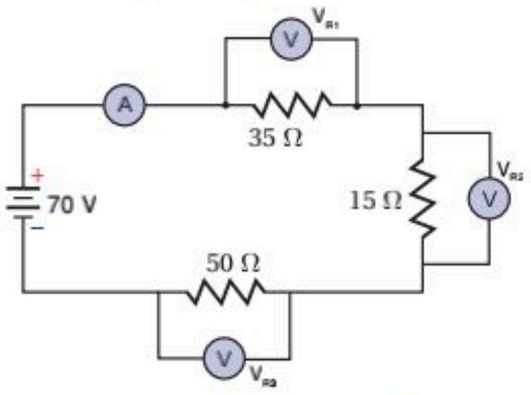
56. إذا كانت قراءة الفولتمتر الموضّح في **الشكل 16-5** تساوي 70.0 V فأجب عن الأسئلة الآتية:

a. ما مقدار قراءة الأميتر؟

b. أي المقاومات أسخن؟

c. أي المقاومات أبرد؟

d. ما مقدار القدرة المزوّدة بواسطة البطارية؟



الشكل 16–5

57. إذا كان جهد البطارية الموضحة في **الشكل 17-5** يساوي 110 V، فأجب عن الأسئلة الآتية:

a. ما مقدار قراءة الأميتر 1؟

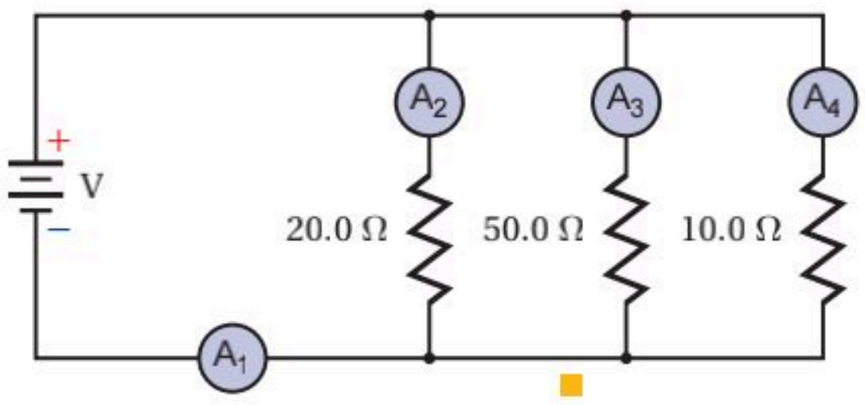
b. ما مقدار قراءة الأميتر 2؟

c. ما مقدار قراءة الأميتر 3؟

d. ما مقدار قراءة الأميتر 4؟

e. أي المقاومات أسخن؟

f. أي المقاومات أبرد؟



الشكل 17–5

58. إذا كانت قراءة الأميتر 3 الموضح في **الشكل 17-5** تساوي 0.40 A فما مقدار:

a. جهد البطارية؟

b. قراءة الأميتر 1؟

c. قراءة الأميتر 2؟

d. قراءة الأميتر 4؟

59. ما اتجاه التيار الاصطلاحي المار في المقاومة 50.0 Ω الموضّح في **الشكل 17-5**؟

60. إذا كان الحمل الموصول بطــرفي بطارية يتكون من مقاومتــين 15 Ω و47 Ω موصولتين على التوالي فما مقدار:

a. المقاومة الكلية للحمل؟

b. جهــد البطاريــة إذا كان مقدار التيــار المار في الدائرة 97 mA؟

61. **أنـوار الاحتفـالات** يتكون أحد أســلاك الزينة من 18 مصباحًــا صغيرًا متماثــلًا، موصولة على التوالي بمصــدر جهد مقــداره 120 V. فإذا كان الســلك يستنفد قدرة مقدارها 64 W، فما مقدار:

a. المقاومة المكافئة لسلك المصابيح؟

b. مقاومة كل مصباح؟

c. القدرة المستنفدة في كل مصباح؟

تقويم الفصل 5

62. إذا احترق فتيل أحد المصابيح في المسألة السابقة، وحدث فيه دائرة قصر، بحيث أصبحت مقاومته صفرًا فأجب عما يأتي:

a. ما مقدار مقاومة السلك في هذه الحالة؟

b. احسب القدرة المستنفدة في السلك.

c. هل زادت القدرة المستنفدة أم نقصت بعد احتراق المصباح؟

63. وصِلت مقاومتان 16.0 Ω و20.0 Ω، على التوازي بمصدر جهد مقداره 40.0 V، احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

b. التيار الكلي المار في الدائرة.

c. التيار المار في المقاومة 16.0 Ω.

64. صمّم فيصل مجزئ جهد باستخدام بطارية جهدها 12 V ومقاومتين. فإذا كان مقدار المقاومة R_B يساوي 82 Ω، فكم يجب أن يكون مقدار المقاومة R_A حتى يكون الجهد الناتج عبر المقاومة R_B يساوي 4.0 V؟

65. **التلفاز** يستهلك تلفاز قدرة تساوي 275 W عند وصله بمقبس 120 V.

a. احسب مقاومة التلفاز.

b. إذا شكّل التلفاز وأسلاك توصيل مقاومتها 2.5 Ω ومنصهر كهربائي دائرةَ توالٍ تعمل بوصفها مجزّئ جهد، فاحسب الهبوط في الجهد عبر التلفاز.

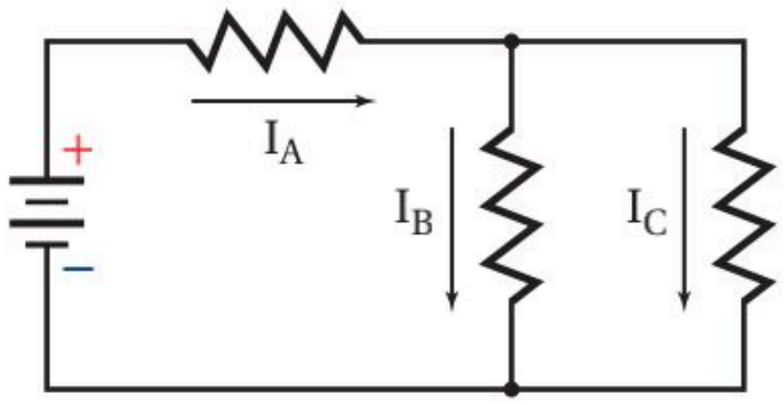
c. إذا وصِل مخفّف شعر مقاومته 12 Ω بالمقبس نفسه الذي يتصل به التلفاز، فاحسب المقاومة المكافئة للجهازين.

d. احسب الهبوط في الجهد عبر كل من التلفاز، ومخفّف الشعر.

5–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية

ارجع إلى ***الشكل 18–5*** *للإجابة عن الأسئلة* ***69–66***.

66. إذا كان مقدار كل مقاومة من المقاومات الموضّحة في الشكل يساوي 30.0 Ω فاحسب المقاومة المكافئة.



الشكل 18–5

67. إذا استنفدت كل مقاومة 120 mW فاحسب القدرة الكلية المستنفدة.

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

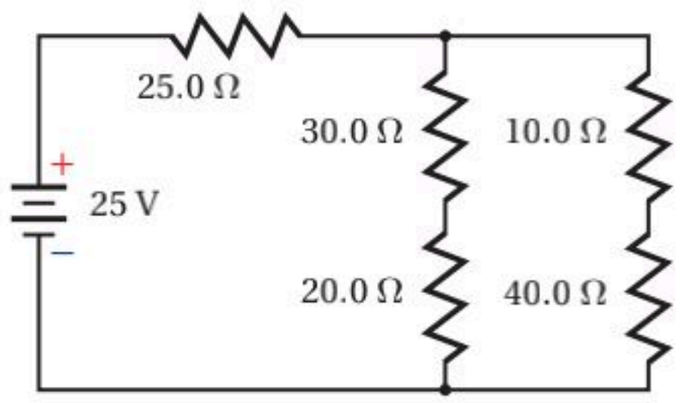
69. بافتراض أن $I_C = 1.7\ mA$ و$I_B = 13\ mA$، فما مقدار I_A؟

70. بالرجوع إلى **الشكل 19–5** أجب عما يأتي:

a. ما مقدار المقاومة المكافئة؟

b. احسب مقدار التيار المار في المقاومة 25 Ω.

c. أي المقاومات يكون أسخن، وأيها يكون أبرد؟



الشكل 19–5

71. تتكوّن دائرة كهربائية من ستة مصابيح ومدفأة كهربائية موصولة جميعها على التوازي. فإذا كانت قدرة كلّ مصباح 60 W ومقاومته 240 Ω، ومقاومة المدفأة 10.0 Ω، وفرق الجهد في الدائرة 120 V فاحسب مقدار التيار المار في الدائرة في الحالات الآتية:

a. أربعة مصابيح فقط مضاءة.

b. جميع المصابيح مضاءة.

c. المصابيح الستة والمدفأة جميعها تعمل.

تقويم الفصل 5

72. إذا احتوت الدائرة الكهربائية في المسألة السابقة على منصهر كهربائي كُتِـبَ عليه 12 A فهل ينصهر هذا المنصهر إذا شُغّلت المصابيح الستة والمدفأة؟

73. إذا زُوِّدْت خـلال اختبار عملي بـالأدوات الآتية: بطارية جهدهـا V، وعنصري تسـخين مقاومتهما صغيرة يُمكن وضعهما داخل ماء، وأميتر ذي مقاومة صغيرة جدًّا، وفولتمتر مقاومته كبيرة جدًّا، وأسلاك توصيل مقاومتها مهملة، ودورق معزول جيّدًا سعته الحرارية مهملة، و0.10 kg ماء درجة حرارته 25 °C، فوضّح بالرسم والرموز كيفية وصل هذه الأدوات معًا لتسخين الماء في أسرع وقت ممكن.

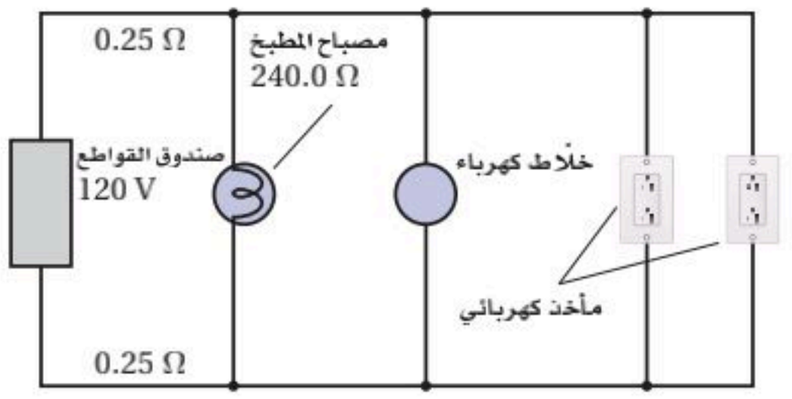
74. إذا ثُبّتت قراءة الفولتمتر المستعمل في المسألة السابقة عند 45 V، وقراءة الأميتر عند 5.0 A فاحسب الزمن (بالثواني) اللازم لتبخـير الماء الموجود في الدورق. (اسـتخدم الحرارة النوعية للماء 4.2 kJ /kg. °C، والحرارة الكامنة لتبخره 2.3×10^6 J /kg)

75. **دائرة كهربائية منزلية** يوضّح **الشكل 20–5** دائرة كهربائية منزلية، مقاومة كلّ سـلك من السـلكين الواصلـين إلى مصباح المطبـخ 0.25 Ω، ومقاومة المصباح 0.24 kΩ. على الرغـم من أن الدائرة هي دائرة توازٍ إلا أن مقاومة الأسلاك تتصل على التوالي بجميع عناصر الدائرة. أجب عما يأتي:

a. احسـب المقاومة المكافئة للدائـرة المتكونة من المصباح وخطَّي التوصيل من المصباح وإليه.

b. أوجد التيار المار في المصباح.

c. أوجد القدرة المستنفدة في المصباح.



■ **الشكل 20–5**

مراجعة عامة

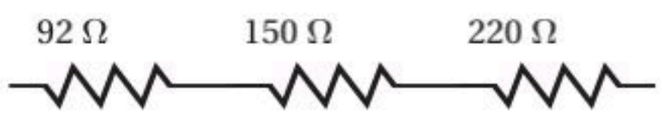
76. إذا وُجِد هبوطان في الجهـد في دائرة توالٍ كهربائية مقداراهما: 3.50 V و4.90 V فما مقدار جهد المصدر؟

77. تحتوي دائرة كهربائيـة مُركّبة على ثلاث مقاومات. فإذا كانت القدرة المستنفدة في المقاومات: 5.50 W و6.90 W و1.05 W عـلى الترتيب فما مقدار قدرة المصدر الذي يُغذِّي الدائرة؟

78. وصِلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها 150 Ω، على التوالي. فإذا كانت قدرة كل مقاومة 5 W، فاحسب القيمة العظمى للقـدرة الآمنة التي يمكن الحصول عليها.

79. وصِلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها 92 Ω على التوازي. فإذا كانت قدرة كل منها 5 W، فاحسـب القيمة العظمى للقدرة الآمنة التي يمكن الحصول عليها.

80. احسـب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاث الموصولة على التوالي، والموضّحة في **الشـكل 21–5**، إذا كانت قدرة كلٍّ منها 5.0 W



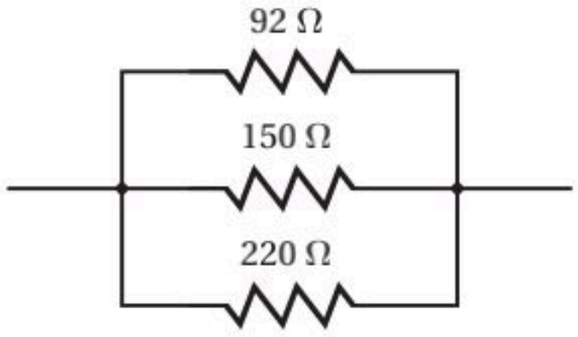
■ **الشكل 21–5**

81. احسـب القيمة العظمى للقدرة الآمنـة في الدائرة الموضّحة في المسألة السابقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 5

82. احسب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاث الموصولة على التوازي، والموضحة في **الشكل 22–5** إذا كانت قدرة كلٍّ منها 5.0 W



■ **الشكل 22–5**

التفكير الناقد

83. **تطبيق الرياضيات** اشتق علاقة لحساب المقاومة المكافئة في كل من الحالات الآتية:

a. مقاومتان متساويتان موصولتان معًا على التوازي.

b. ثلاث مقاومات متساوية موصولة معًا على التوازي.

c. عدد N من مقاومات متساوية موصولة معًا على التوازي.

84. **تطبيق المفاهيم** إذا كان لديك ثلاثة مصابيح كتلك الموضّحة في **الشكل 23–5**، وكانت قدرتها كما يأتي: 50 W و100 W و150 W، فارسم أربعة رسوم تخطيطيّة جزئية تبين من خلالها فتائل المصابيح، وأوضاع المفاتيح الكهربائية لكل مستوى سطوع، بالإضافة إلى بيان وضع الإطفاء. عنون كل رسم تخطيطيّ. (ليس هناك حاجة إلى رسم مصدر طاقة).

■ **الشكل 23–5**

85. **تطبيق المفاهيم** صمّم دائرة كهربائية يمكنها إضاءة 12 مصباحًا متماثلًا، بكامل شدتها الضوئية الصحيحة بواسطة بطارية جهدها 48 V، لكل حالة مما يأتي:

a. يقتضي التصميم A أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح تبقى المصابيح الأخرى مضيئة.

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

c. يقتضي التصميم C أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح ينطفئ مصباح آخر.

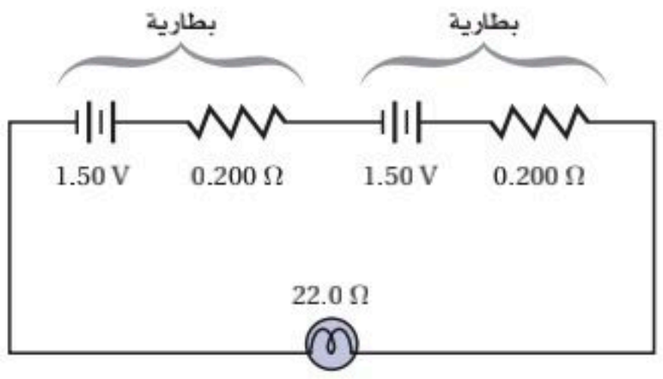
d. يقتضي التصميم D أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح فإما أن ينطفئ مصباحان أو لا ينطفئ أي مصباح في الدائرة.

86. **تطبيق المفاهيم** تتكوّن بطارية من مصدر فرق جهد مثالي يتصل بمقاومة صغيرة على التوالي. تنتج الطاقة الكهربائية للبطارية عن التفاعلات الكيميائية التي تحدث فيها، وينتج أيضًا عن هذه التفاعلات مقاومة صغيرة لا يمكن إلغاؤها بالكامل أو تجاهلها. فإذا علمت أن مصباحًا كهربائيًّا يدويًّا يحتوي على بطاريتين موصولتين على التوالي كما هو موضّح في **الشكل 24–5**، وفرق جهد كلٍّ منهما يساوي 1.50 V، ومقاومتها الداخلية 0.200 Ω، ومقاومة المصباح 22.0 Ω، فأجب عمّا يأتي:

a. ما مقدار التيار المار في المصباح؟

b. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح؟

c. إذا أُهملت المقاومة الداخلية للبطاريتين فما مقدار الزيادة في القدرة المستنفدة؟



■ **الشكل 24–5**

تقويم الفصل 5

87. تطبيق المفاهيم صُنع أميتر بتوصيل بطارية جهدها 6.0 V على التوالي بمقاومة متغيرة وأميتر مثالي، كما هو موضّح في **الشكل 25–5**، بحيث ينحرف مؤشر الأميتر إلى أقصى تدريج عندما يمر فيه تيار مقداره 1.0 mA. فإذا وصِل المِشبكان الموضّحان في الشكل معًا، وضُبطت المقاومة المتغيرة بحيث يمر تيار مقداره 1.0 mA، فأجب عمّا يأتي:

a. ما مقدار المقاومة المتغيرة؟

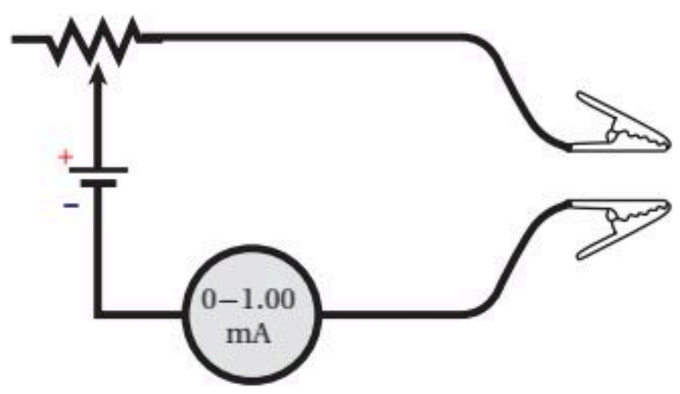
b. إذا وصِل المشبكان الموضحان في الشكل بمقاومة مجهولة فما مقدار المقاومة التي تجعل قراءة الأميتر تساوي:

1. 0.50 mA؟

2. 0.25 mA؟

3. 0.75 mA؟

c. هل تدريج الأميتر خطي؟ وضّح إجابتك.



■ **الشكل 25–5**

الكتابة في الفيزياء

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

مراجعة تراكمية

89. إذا كانت شدة المجال الكهربائي على بُعد d من شحنة نقطية Q يساوي **E**، فماذا يحدث لمقدار المجال الكهربائي في الحالات الآتية: (الفصل 3)

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.

90. 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.

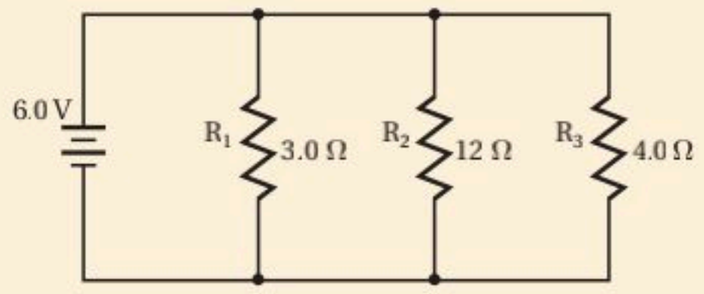
وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

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



1. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟

Ⓐ $\frac{1}{19}\ \Omega$ Ⓒ $1.5\ \Omega$

Ⓑ $1.0\ \Omega$ Ⓓ $19\ \Omega$

2. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

Ⓐ $0.32\ A$ Ⓒ $1.2\ A$

Ⓑ $0.80\ A$ Ⓓ $4.0\ A$

3. ما مقدار التيار الكهربائي المار في المقاومة R_3؟

Ⓐ $0.32\ A$ Ⓒ $2.0\ A$

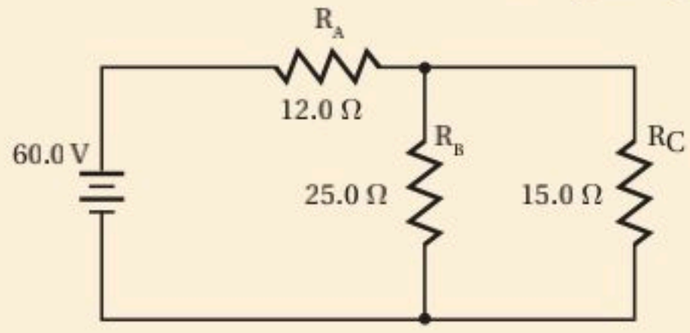
Ⓑ $1.5\ A$ Ⓓ $4.0\ A$

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

Ⓐ $0.32\ V$ Ⓒ $3.8\ V$

Ⓑ $1.5\ V$ Ⓓ $6.0\ V$

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



5. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟

Ⓐ $8.42\ \Omega$ Ⓒ $21.4\ \Omega$

Ⓑ $10.7\ \Omega$ Ⓓ $52.0\ \Omega$

6. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

Ⓐ $1.15\ A$ Ⓒ $2.80\ A$

Ⓑ $2.35\ A$ Ⓓ $5.61\ A$

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

Ⓐ $0.67\ \Omega$ Ⓒ $12\ \Omega$

Ⓑ $1.5\ \Omega$ Ⓓ $96\ \Omega$

8. أيّ العبارات الآتية صحيحة؟

Ⓐ مقاومة الأميتر المثالي كبيرة جدًّا.

Ⓑ مقاومة الفولتمتر المثالي صغيرة جدًّا.

Ⓒ مقاومة الأميترات تساوي صفرًا.

Ⓓ تُسبّب الفولتمترات تغيرات صغيرة في التيار.

الأسئلة الممتدة

9. يقيم حامد حفلاً ليليًّا، ولإضاءة الحفل وصل 15 مصباحًا كهربائيًّا كبيرًا ببطارية سيارة جهدها $12.0\ V$، وعند 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؟

10. تحتوي دائرة توالٍ كهربائية على بطارية جهدها $8.0V$ وأربع مقاومات: $R_1 = 4.0\ \Omega$ و$R_2 = 8.0\ \Omega$ و$R_3 = 13.0\ \Omega$ و$R_4 = 15.0\ \Omega$. احسب مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة، والقدرة المستنفدة في المقاومات؟

✓ إرشاد

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 6

المجالات المغناطيسية
Magnetic Fields

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تحديد قوى التنافر والتجاذب بين الأقطاب المغناطيسية.
- الربط بين المغناطيسية وكل من الشحنة الكهربائية والتيار الكهربائي.
- وصف كيفية توظيف الكهرومغناطيسية في التطبيقات العملية.

الأهمية

تعدّ المغناطيسية أساسًا للعديد من التطبيقات التقنية. فالمعلومات على قرص الحاسوب الصلب تخزن بنمط مغناطيسي.

مُحطّم الذرّة أنبوب المسارع النووي كالموضّح في الصورة محاط بمغانط فائقة التوصيل، والجسيمات ذات الطاقة الكبيرة تنتقل في مركز الأنبوب حيث لا يوجد مجال مغناطيسي. وإذا ابتعدت هذه الجسيمات عن مركز الأنبوب فإنها تتلقى دفعًا مغناطيسيًّا لإبقائها في المركز.

فكّر ◄

كيف تسبب القوى التي تبذلها المغانط تسارعًا للجسيمات؟ وهل يمكن لأي جسيم أن يتسارع؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

في أي اتجاه تؤثر المجالات المغناطيسية؟

سؤال التجربة ما اتجاه القوة التي تؤثر في جسم ممغنط موضوع في مجال مغناطيسي؟

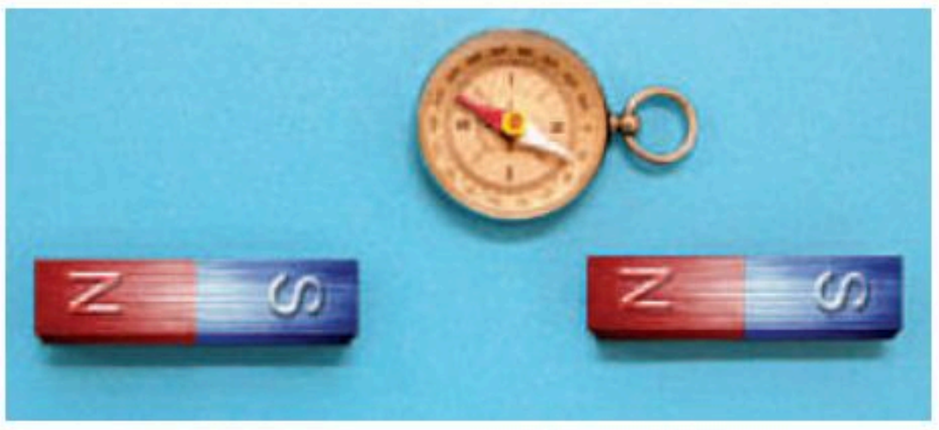
الخطوات

1. ضع أمامك قضيبًا مغناطيسيًّا أفقيًّا على أن يكون قطبه الشمالي نحو اليسار.
2. ضع قضيبًا مغناطيسيًّا آخر أفقيًّا أيضًا عن يسار القضيب الأول وعلى بُعد 5.0 cm منه بحيث يكون متاحًا وضع بوصلة بين القضيبين المغناطيسيين- على أن يكون قطبه الشمالي نحو اليسار أيضًا.
3. ارسم شكلاً توضيحيًّا لما قمت به على ورقة، وتحقق من تحديد الأقطاب عليه.
4. ضع البوصلة بالقرب من أحد القطبين وارسم الاتجاه الذي يشير إليه سهمها.
5. استمر في تغيير موضع البوصلة نحو القطب الآخر عدة مرات، وفي كل مرة ارسم الاتجاه الذي يشير إليه السهم حتى تحصل على 20-15 سهمًا.
6. كرّر الخطوات 5-3 على أن يكون القطبان الشماليان متقابلين في هذه المرة.

التحليل

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

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



6–1 المغانط: الدائمة والمؤقتة Magnets: Permanent and Temporary

عُرفت المغانط والمجالات المغناطيسية منذ أكثر من 2000 سنة مضت. واستخدم البحارة الصينيون المغانط في صورة بوصلات ملاحية قبل 900 سنة تقريبًا. ودرس العلماء منذ القدم وفي أنحاء العالم كافة الصخور المغناطيسية التي تسمى مغانط طبيعية. وللمغانط اليوم أهمية متنامية في حياتنا اليومية؛ فالمولدات الكهربائية، والمحركات الكهربائية البسيطة، وأجهزة التلفاز، وأجهزة العرض التي تعمل بالأشعة المهبطية، وأشرطة التسجيل، ومشغلات الأقراص الصلبة الموجودة داخل أجهزة الحاسوب، جميعها تعتمد على الآثار المغناطيسية للتيارات الكهربائية.

وإذا كنت قد استخدمت البوصلة يومًا ما، أو التقطت الدبابيس أو مشابك الورق بالمغناطيس فقد لاحظت بعض الآثار المغناطيسية. ولربما صنعت مغناطيسًا كهربائيًّا أيضًا، وذلك بلف سلك معزول حول مسمار، ثم وصلت طرفي السلك ببطارية. وستكون خصائص المغانط أكثر وضوحًا إذا استخدمت في تجربتك مغناطيسين. ولدراسة المغناطيسية بصورة أفضل يمكنك التجريب بالمغانط، كتلك الموضحة في **الشكل 1–6**.

الأهداف

- **تصف** خصائص المغانط ومنشأ المغناطيسية في المواد.
- **تقارن** بين المجالات المغناطيسية المختلفة.

المفردات

المستقطب	المجالات المغناطيسية
التدفق المغناطيسي	القاعدة الأولى لليد اليمنى
الملف اللولبي	المغناطيس الكهربائي
القاعدة الثانية لليد اليمنى	المنطقة المغناطيسية

الخصائص العامة للمغانط
General Properties of Magnets

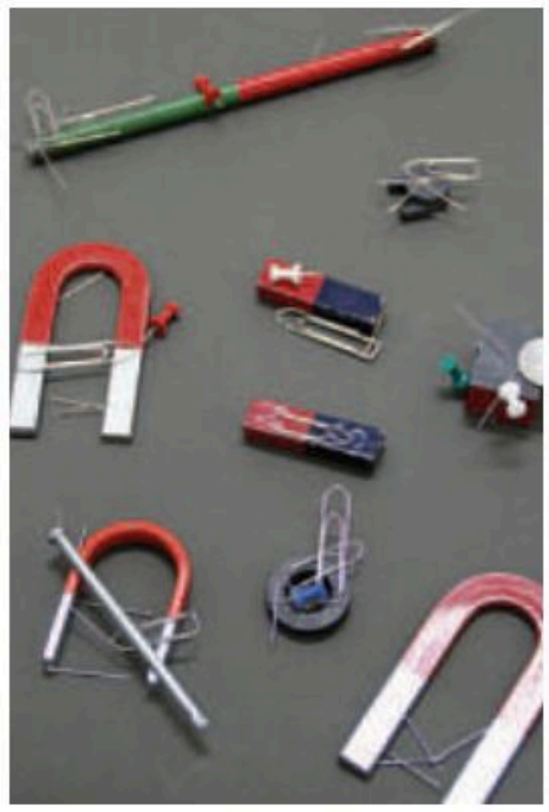
علّق مغناطيسًا بخيط، كما هو موضّح في **الشكل 2a–6**. إذا استخدمت قضيبًا مغناطيسيًّا فعليك تعليقه بسلك ينتهي بخطافين لتجعله أفقيًّا. عندما يستقر المغناطيس يتخذ اتجاهًا معينًا. حرّك المغناطيس بحيث يشير إلى اتجاه مختلف ثم اتركه. هل استقر القضيب المغناطيسي عند الاتجاه الأول نفسه؟ إذا حدث ذلك فإلى أي اتجاه يشير؟

ستجد أن القضيب المغناطيسي قد استقر في اتجاه شمال - جنوب. اكتب الحرف N عند الطرف الذي يشير إلى اتجاه الشمال بوصفه مرجعًا. يمكنك أن تستنتج من خلال هذه التجربة البسيطة أن المغناطيس **مستقطب**، أي له قطبان متميزان متعاكسان،أحدهما القطب الباحث عن الشمال الجغرافي للأرض، ويسمى القطب الشمالي. والآخر القطب الباحث عن الجنوب الجغرافي للأرض، ويسمى القطب الجنوبي. والبوصلة ليست أكثر من مغناطيس صغير حر الدوران.

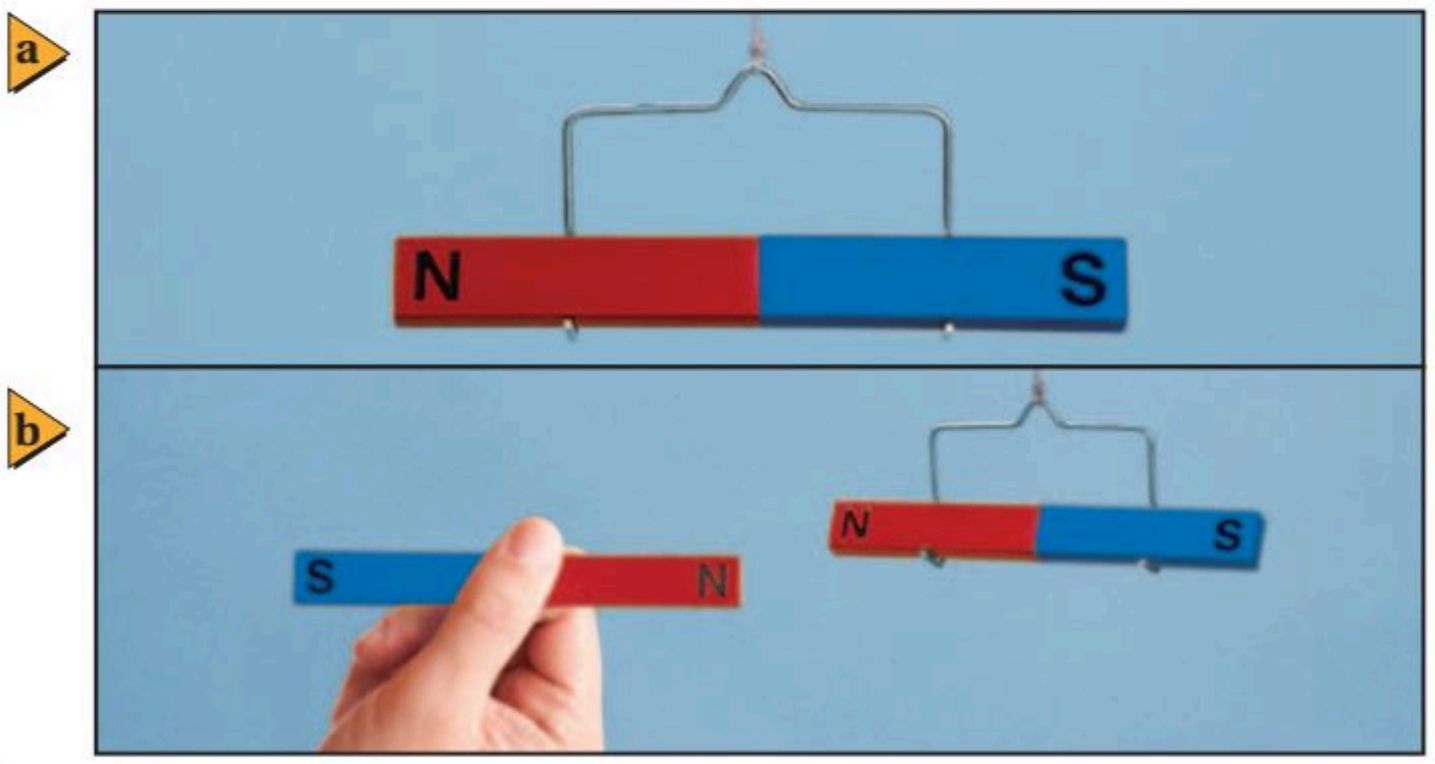
علّق مغناطيسًا آخر بالطريقة نفسها، وحدد القطب الشمالي له كما فعلت مع المغناطيس الأول. ولاحظ تفاعل المغناطيسين؛ وذلك بتقريب أحدهما إلى الآخر، كما هو موضح في **الشكل 2b–6**. ماذا يحدث عند تقريب القطبين الشماليين أحدهما إلى الآخر؟ حاول ذلك مع الأقطاب الجنوبية. وأخيرًا ماذا يحدث عند تقريب القطبين المختلفين 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 نصفين فسينتج مغناطيسان جديدان، 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.

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

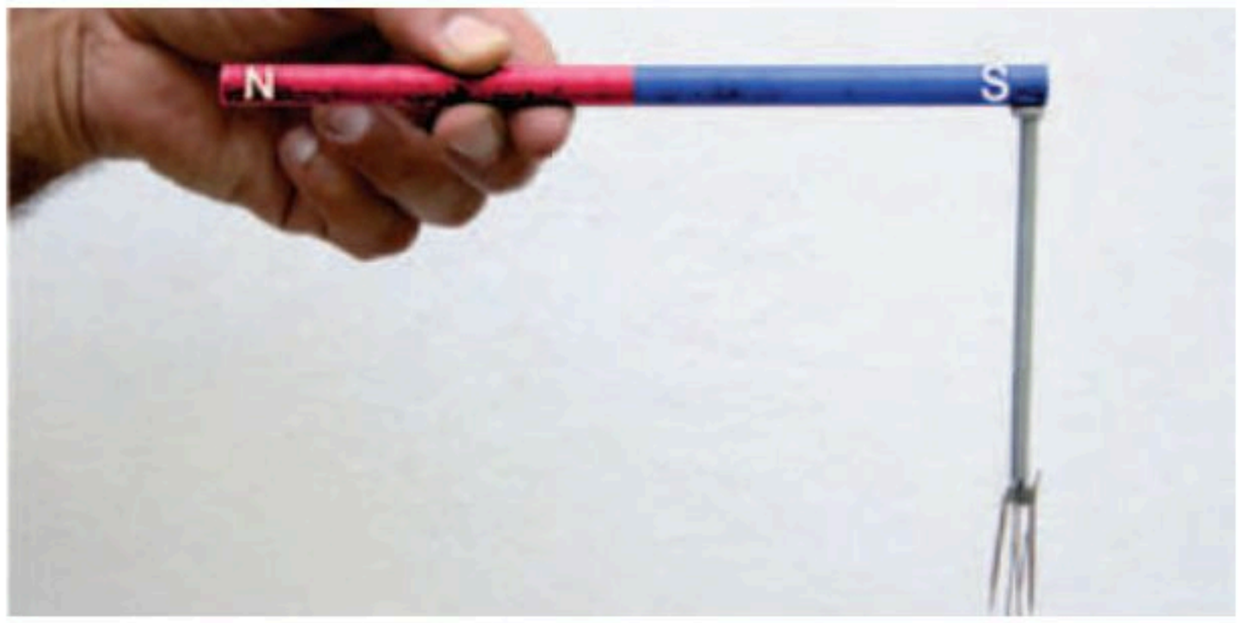


الشكل 1–6 المغانط الشائعة التي تباع في معظم محال الأدوات المنزلية والمكتبات.



الشكل 2–6 إذا علّقت مغناطيسًا بخيط فإن المغناطيس سيتخذ اتجاهًا 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).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



■ **الشكل 3–6** ينجذب المسمار نحو المغناطيس. وفي هذه العملية يصبح المسمار نفسه ممغنطًا، ويمكنك أن ترى أنه عندما يحدث تلامس بين المغناطيس والمسمار فإن المسمار يصبح قادرًا على جذب أجسام فلزية أخرى. وعند فصل المسمار عن المغناطيس تسقط بعض الأجسام الفلزية؛ وذلك لأن المسمار يفقد جزءًا من مغناطيسيته.

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 حديد. فكيف تفسر هذا السلوك؟ أولاً، إذا لامس المغناطيس مسمارًا، ثم لامس المسمار قطع حديد صغيرة فسيصبح المسمار نفسه مغناطيسًا، كما هو موضّح في **الشكل 3–6**. فالمغناطيس يحفز المسمار ليصبح مستقطبًا. ويعتمد اتجاه قطبية المسمار على قطبية المغناطيس. وإذا أبعدت المغناطيس فسيفقد المسمار بعضًا من مغناطيسيته، ولن يطول جذبه للأجسام الفلزية الأخرى.

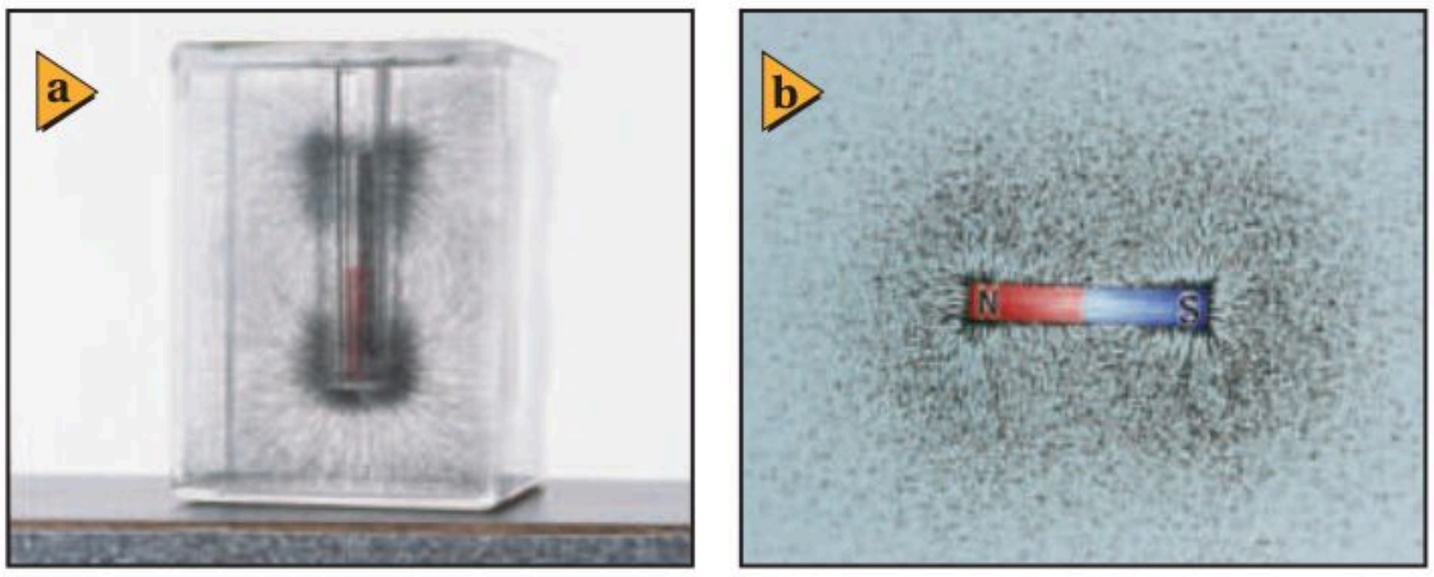
وإذا كرّرت التجربة الموضّحة في **الشكل 3–6**، ووضعت قطعة من الحديد المطاوع (حديد يحتوي على القليل من الكربون) بدلاً من المسمار فستلاحظ أن الحديد المطاوع يفقد كل جاذبيته للأجسام الفلزية الأخرى مباشرة عند إبعاد المغناطيس؛ وذلك لأن الحديد المطاوع مغناطيس مؤقت. أما المسمار فيحتوي على معادن أخرى تتيح له الاحتفاظ ببعض مغناطيسيته عند إبعاد المغناطيس الدائم.

المغناطيس الدائم تتولد مغناطيسية المغناطيس الدائم بطريقة مشابهة للتي تولدت بها مغناطيسية المسمار. وبسبب التركيب المجهري للمادة التي يتكون منها المغناطيس فإن المغناطيسية المستحثة تصبح دائمة. يُصنع العديد من المغانط الدائمة من سبيكة حديد تحتوي على خليط من الألومنيوم والنيكل والكوبالت. و هناك مجموعة متنوعة من العناصر الترابية النادرة -ومنها النيوديميوم والجادولينيوم- تنتج مغانط دائمة قوية جدًا مقارنة بأحجامها.

المجالات المغناطيسية حول المغانط الدائمة
Magnetic Fields Around Permanent Magnets

عندما تجري تجربة باستخدام مغناطيسين تلاحظ أن القوى بينهما -سواء أكانت قوة تجاذب أو تنافر- تحدث حتى قبل تلامسهما.

وبالطريقة نفسها التي وصفت بها قوة الجاذبية والقوة الكهربائية من خلال مجال الجاذبية الأرضية والمجال الكهربائي، يمكن وصف القوى المغناطيسية من خلال المجالات



الشكل 4–6 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).

المغناطيسية المتولدة حول المغناطيس. وهذه **المجالات المغناطيسية** كميات متجهة توجد في المنطقة التي تؤثر فيها القوة المغناطيسية.

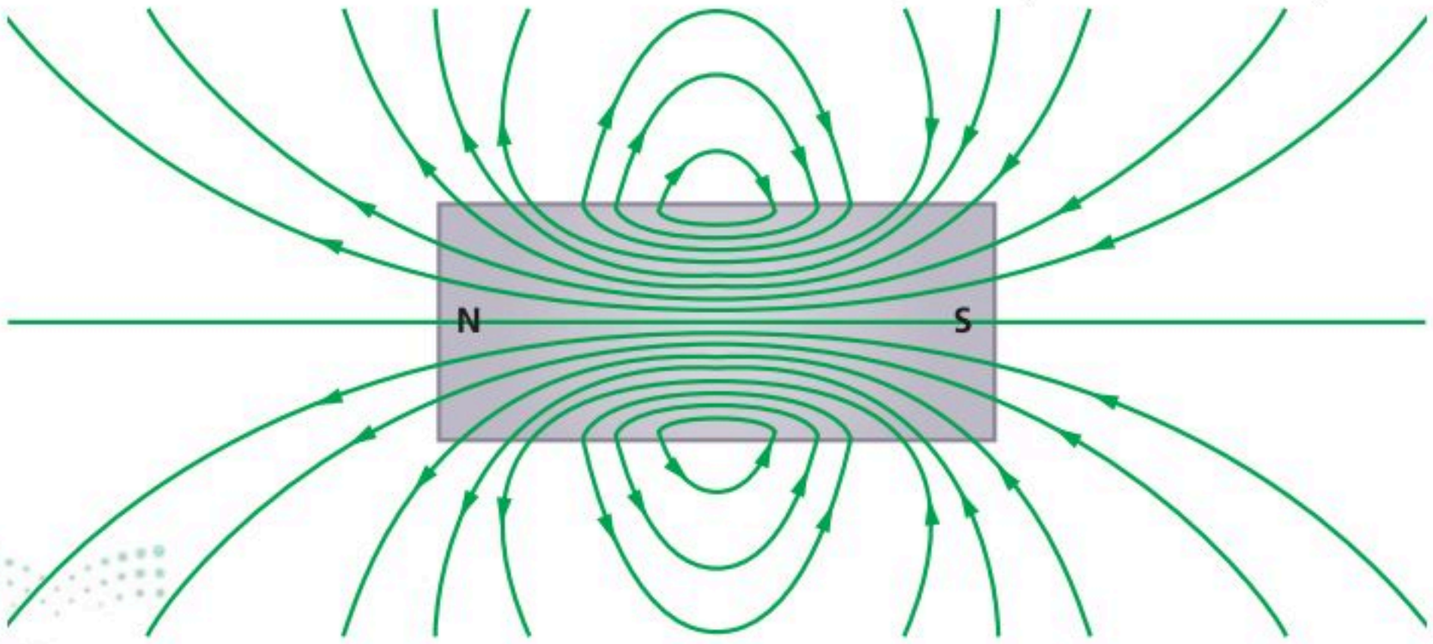
يمكن تمثيل المجال المغناطيسي الموجود حول المغناطيس باستخدام برادة الحديد؛ فكل قطعة صغيرة من برادة الحديد تصبح مغناطيسًا بالحث. وتدور برادة الحديد حتى تصبح موازية للمجال المغناطيسي، مثل إبرة البوصلة تمامًا. ويوضّح **الشكل 4a–6** برادة الحديد في محلول الجليسرول، وهي تحيط بالقضيب المغناطيسي. ويمكن ملاحظة صورة ثلاثية الأبعاد للمجال. وفي **الشكل 4b–6** 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 بواسطة جسم ما.

خطوط المجال المغناطيسي لاحظ أن خطوط المجال المغناطيسي تشبه خطوط المجال الكهربائي في أنها وهمية، وهي تستخدم لتساعدنا على تصور المجال، وتزوِّدنا بمقياس لشدة المجال المغناطيسي. ويسمّى عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق السطح **التدفق المغناطيسي**. والتدفق عبر وحدة المساحة يتناسب طرديًّا مع شدة المجال المغناطيسي. وكما تلاحظ من **الشكل 4–6** فإن معظم التدفق المغناطيسي مركّز عند القطبين؛ حيث يكون المجال المغناطيسي عندهما أكبر ما يمكن.

يُعرّف اتجاه خط المجال المغناطيسي بأنه الاتجاه الذي يشير إليه القطب الشمالي لإبرة البوصلة عند وضعها في المجال المغناطيسي. ويحدد اتجاه خطوط المجال المغناطيسي بحيث تكون خارجة من القطب الشمالي للمغناطيس وداخلة إلى القطب الجنوبي له، كما هو موضّح في **الشكل 5–6**. 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.

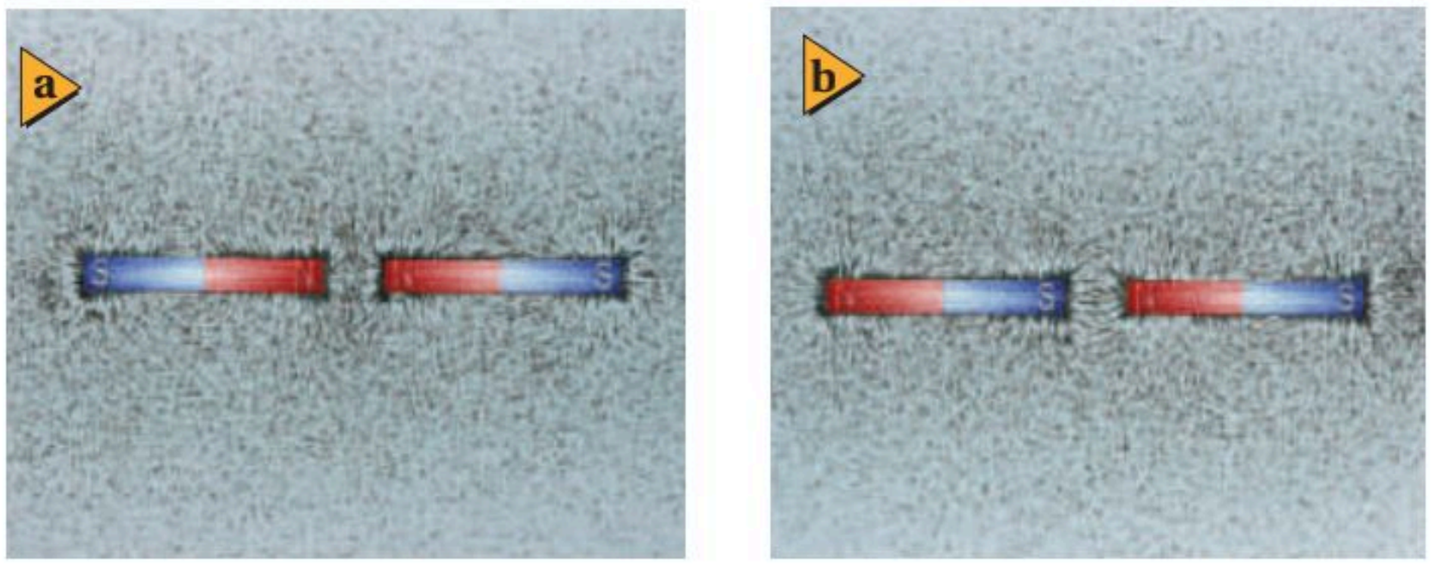
دلالة الألوان

- رُسمت الشحنات الموجبة باللون الأحمر.
- رُسمت الشحنات السالبة باللون الأزرق.
- رُسمت خطوط المجال الكهربائي باللون النيلي (الأزرق الداكن).
- رُسمت خطوط المجال المغناطيسي باللون الأخضر.



الشكل 5–6 يمكن تصوّر خطوط المجال المغناطيسي على شكل حلقات مغلقة تخرج من القطب الشمالي وتدخل إلى القطب الجنوبي للمغناطيس نفسه لتكمل دورتها إلى القطب الشمالي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



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

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

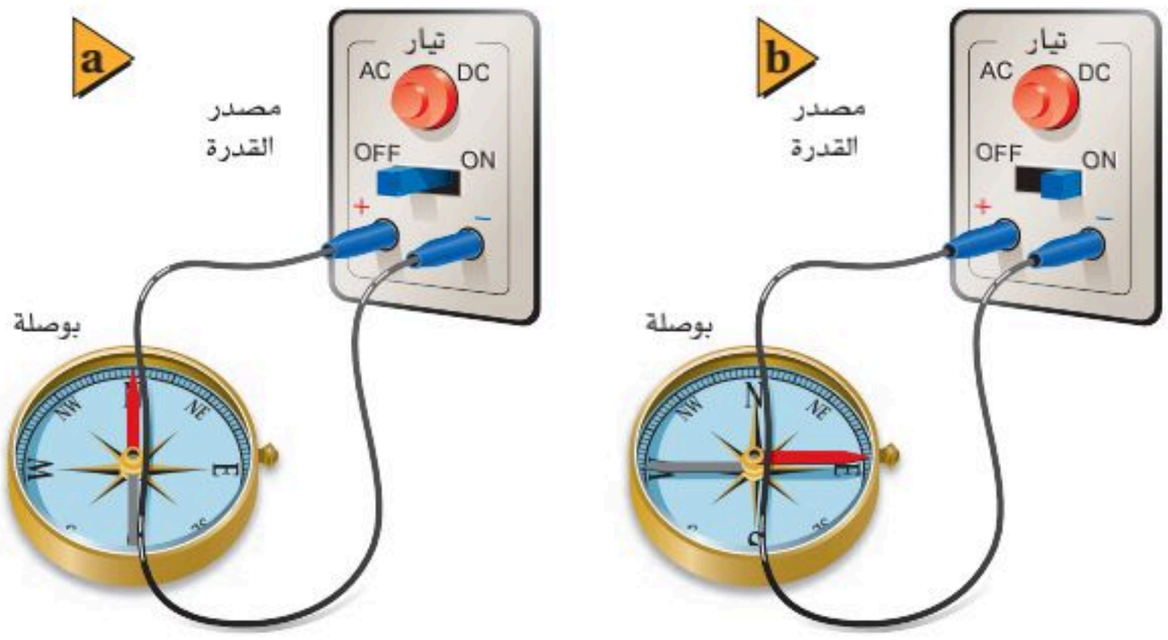
القوى المؤثرة في الأجسام الموضوعة في مجالات مغناطيسية تؤثر المجالات المغناطيسية بقوى في مغانط أخرى؛ فالمجال المغناطيسي الناتج عن القطب الشمالي لمغناطيس يدفع القطب الشمالي لمغناطيس آخر بعيدًا في اتجاه خط المجال، والقوى الناتجة عن المجال نفسه والمؤثرة في قطب جنوبي لمغناطيس آخر تجذبه في عكس اتجاه خطوط المجال.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

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

مسائل تدريبية

1. إذا حملت قضيبين مغناطيسيين على راحتي يديك، ثم قربت يديك إحداهما إلى الأخرى فهل ستكون القوة تنافرًا أم تجاذبًا في كل من الحالتين الآتيتين؟
   a. تقريب القطبين الشماليين أحدهما إلى الآخر.
   b. تقريب القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي.
2. يبين **الشكل 7–6** خمسة مغانط في صورة أقراص مثقوبة بعضها فوق بعض. فإذا كان القطب الشمالي للقرص العلوي متجهًا إلى أعلى فما نوع القطب الذي يكون نحو الأعلى لكلٍّ من المغانط الأخرى؟
3. يجذب مغناطيس مسمارًا، ويجذب المسمار بدوره قطعًا صغيرة، كما هو موضّح في **الشكل 3–6**. فإذا كان القطب الشمالي للمغناطيس الدائم عن اليسار كما هو موضّح فأي طرفي المسمار يمثل قطبًا جنوبيًّا؟
4. لماذا تكون قراءة البوصلة المغناطيسية غير صحيحة أحيانًا؟

■ **الشكل 7–6**



■ **الشكل 8–6** باستخدام أدوات مماثلة لتلك الموضّحة في الشكل (a) تمكن أورستد من توضيح العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية، وذلك بتمرير تيار كهربائي في السلك (b).

المجالات المغناطيسية حول التيارات الكهربائية

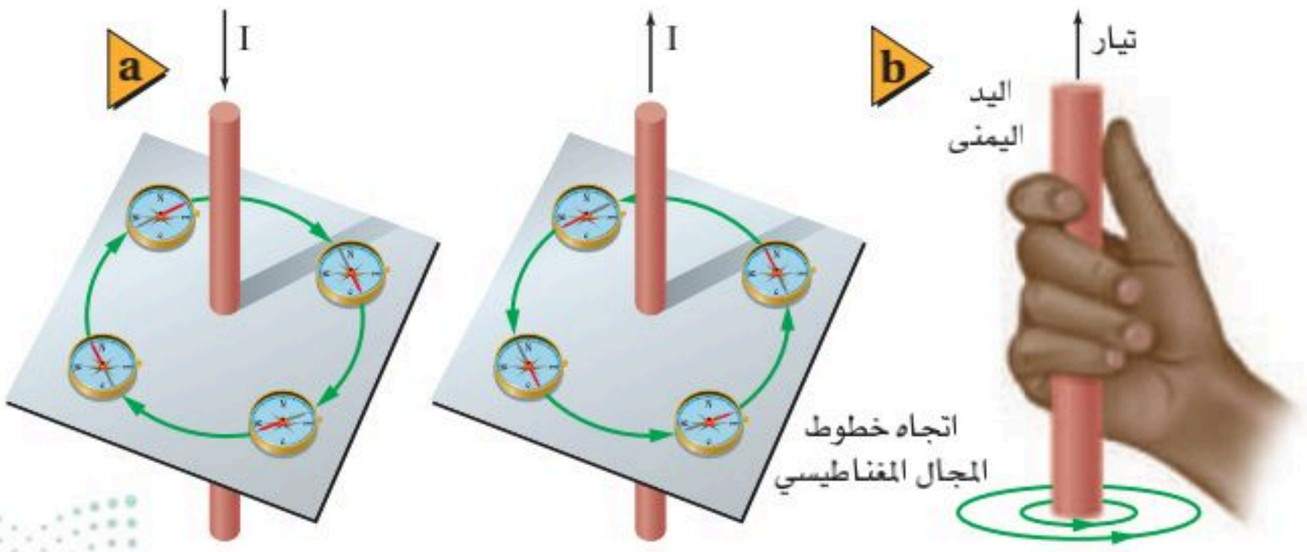
Magnetic Fields Around Electric Currents

أجرى الفيزيائي الدنماركي هانز كريستيان أورستد عام 1820م تجارب على التيارات الكهربائية المارة في الأسلاك، فوضع سلكًا فوق محور بوصلة صغيرة، وأوصل نهايتي السلك بدائرة كهربائية مغلقة، كما هو موضّح في **الشكل 8a–6**. وكان يتوقع أن تشير البوصلة إلى اتجاه السلك أو اتجاه سريان التيار، لكن بدلاً من ذلك تعجب لرؤية إبرة البوصلة تدور لتصبح في اتجاه عمودي على السلك، كما هو موضّح في **الشكل 8b–6**. أي أن القوى المؤثرة في قطبي مغناطيس البوصلة كانت متعامدة مع اتجاه التيار داخل السلك. ووجد أورستد أيضًا أنه لو لم يكن هناك تيار في السلك لما كان هناك قوى مغناطيسية.

المجال المغناطيسي لسلك مستقيم: إذا انحرفت إبرة البوصلة عند وضعها بالقرب من سلك يحمل تيارًا وجب أن يكون ذلك ناتجًا عن مجال مغناطيسي ولَّده 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 9–6**.

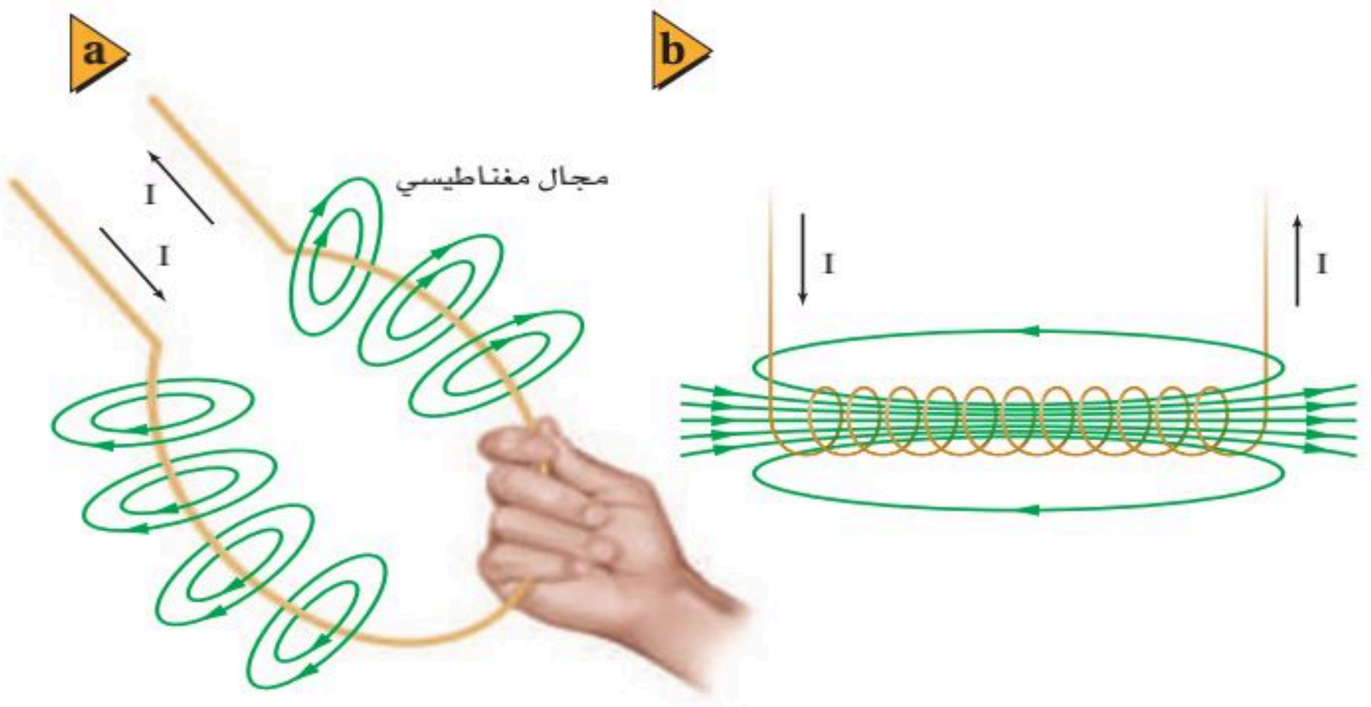
■ **الشكل 9–6** يظهر المجال المغناطيسي حول سلك يمر فيه تيار كهربائي ويخترق قرصًا كرتونيًا في صورة دوائر متحدة المركز من برادة الحديد حول السلك.

تشير الخطوط الدائرية إلى أن خطوط المجال المغناطيسي حول السلك الطويل (لانهائي) الذي يسري فيه تيار كهربائي تشكل حلقات مغلقة بالطريقة نفسها التي تشكل بها خطوطُ المجال المغناطيسي حلقات مغلقة حول المغانط الدائمة. وتتناسب شدة المجال المغناطيسي المتولد حول سلك مستقيم وطويل طرديًّا مع مقدار التيار المار في السلك، وعكسيًّا مع البعد عنه. وتبين البوصلة اتجاه خطوط المجال. وإذا عكس اتجاه التيار فستعكس إبرة البوصلة اتجاهها أيضًا، كما هو موضّح في **الشكل 10a–6**.



■ **الشكل 10–6** ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار في سلك موصل مستقيم عندما ينعكس اتجاه التيار المار فيه (a). ويُحدَّد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن سلك مستقيم يحمل تيارًا باستخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



■ **الشكل 11–6** يمكن تمثيل المجال المغناطيسي حول حلقة سلكية تحمل تيارًا باستخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى (**a**). يولد التيار المار في الملف اللولبي مجالاً مغناطيسيًا، بحيث يضاف مجال كل لفة إلى مجالات اللفات الأخرى (**b**).

تُستخدم **القاعدة الأولى لليد اليمنى** في تحديد اتجاه المجال المغناطيسي بالنسبة إلى اتجاه التيار الاصطلاحي. تخيل أنك تمسك بيدك اليمنى قطعة من سلك معزول. اجعل إبهامك في اتجاه التيار الاصطلاحي. ستشير أصابعك التي تدور حول السلك إلى اتجاه المجال المغناطيسي، كما هو موضّح في **الشكل 10b–6**.

المجال المغناطيسي لملف دائري: يولّد التيار الكهربائي المار في حلقة سلكية مجالا مغناطيسيًّا حول جميع أجزاء الحلقة. وعند تطبيق القاعدة الأولى لليد اليمنى على أي جزء من أجزاء الحلقة السلكية ستجد أن اتجاه المجال المغناطيسي داخل الحلقة يكون دائمًا في الاتجاه نفسه. ففي **الشكل 11a–6** يكون اتجاه المجال المغناطيسي داخل الحلقة خارجًا من الصفحة، أما اتجاه المجال المغناطيسي خارج الحلقة فيكون دائمًا داخلاً إلى الصفحة.

المجال المغناطيسي لملف لولبي: وعند لف السلك عدة لفات لتكوين ملف لولبي، ثم تمرير تيار في الملف، يكون اتجاه المجال حول جميع اللفات في الاتجاه نفسه، كما هو موضّح في **الشكل 11b–6**. ويسمى الملف الطويل المكوّن من عدة لفات **الملف اللولبي (المحث)**، ويكون المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي مساويًا لمجموع المجالات الناتجة عن لفاته. وعندما يسري تيار في ملف سلكي يصبح لهذا الملف مجال مغناطيسي يشبه المجال الناتج عن مغناطيس دائم. وعند تقريب الملف الذي يسري فيه تيار من مغناطيس معلّق فإن أحد طرفي الملف سيتنافر مع القطب المماثل له من المغناطيس، وهذا يعني أن الملف الذي يسري فيه تيار يمثّل مغناطيسًا له قطبان، شمالي وجنوبي. ويسمى المغناطيس الذي ينشأ عن سريان تيار كهربائي في ملفٍ **المغناطيس الكهربائي**. وتتناسب شدة المجال المغناطيسي الناتج في ملف طرديًّا مع مقدار التيار المار فيه ومع عدد لفاته؛ ذلك لأن المجالات المغناطيسية للّفات متساوية، وتكون هذه المجالات في الاتجاه نفسه.

يُمكن زيادة قوة المغناطيس الكهربائي أيضًا عن طريق وضع قضيب حديدي (قلب) داخل الملف؛ حيث يدعم هذا القلب المجال المغناطيسي ويقويه. فيعمل القلب على زيادة المجال المغناطيسي؛ لأن مجال الملف اللولبي يولّد مجالاً مغناطيسيًّا مؤقتًا في القلب، تمامًا كما يعمل المغناطيس الدائم عند تقريبه إلى قطعة حديد.

تطبيق الفيزياء

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

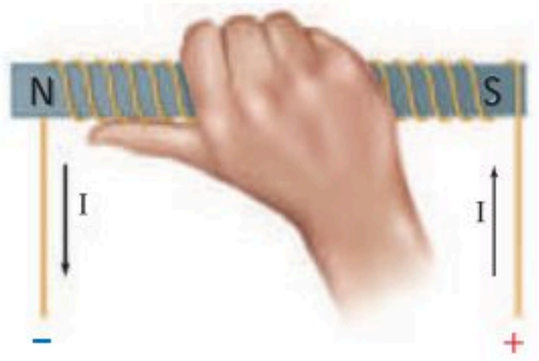
تجربة عملية

كيف يولّد التيار الكهربائي مجالاً مغناطيسيًّا قويًّا؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

وتستخدم **القاعدة الثانية لليد اليمنى** في تحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيسٍ كهربائي بالنسبة إلى اتجاه سريان التيار الاصطلاحي. تخيل أنك تمسك بيدك اليمنى ملفًا معزولًا، فإذا دوّرت أصابعك حول الحلقات في اتجاه سريان التيار الاصطلاحي، كما هو موضّح في **الشكل 12–6**، فسيشير إبهامك نحو القطب الشمالي للمغناطيس الكهربائي.



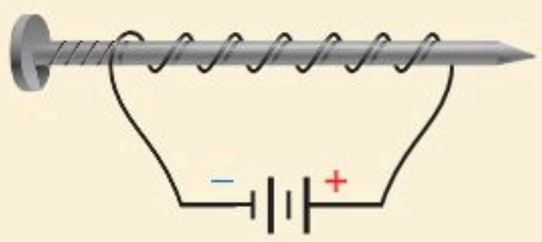
■ **الشكل 12–6** تستخدم القاعدة الثانية لليد اليمنى في تحديد قطبية المغناطيس الكهربائي.

مسائل تدريبية

5. 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؟

6. ما شدة المجال المغناطيسي على بعد 1 cm من سلك يسرى فيه تيار، مقارنة بما يأتي:
- **a.** شدة المجال المغناطيسي على بعد 2 cm من السلك.
- **b.** شدة المجال المغناطيسي على بعد 3 cm من السلك.

7. صنع طالب مغناطيسًا بلف سلك حول مسمار، ثم وصل طرفي السلك ببطارية، كما هو موضّح في **الشكل 13–6**. أيّ طرفي المسمار (المدبب أم المسطح) سيكون قطبًا شماليًّا؟



■ **الشكل 13–6**

8. إذا كان لديك بكرة سلك وقضيب زجاجي وقضيب حديدي وآخر من الألومنيوم، فأي قضيب تستخدم لعمل مغناطيس كهربائي يجذب قطعًا فولاذية؟ وضّح إجابتك.

9. يعمل المغناطيس الكهربائي الوارد في المسألة السابقة جيدًا، فإذا أردت أن تجعل قوته قابلة للتعديل والضبط باستخدام مقاومة متغيرة فهل ذلك ممكن؟ وضّح إجابتك.

تجربة

المجالات المغناطيسية الثلاثية 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 الملف وشغل مصدر الجهد الموصول بالملف، ثم افصل مصدر الجهد، وأخرج المسمار من داخل الملف، ثم أمسك الخيط لتعليق المسمار.

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

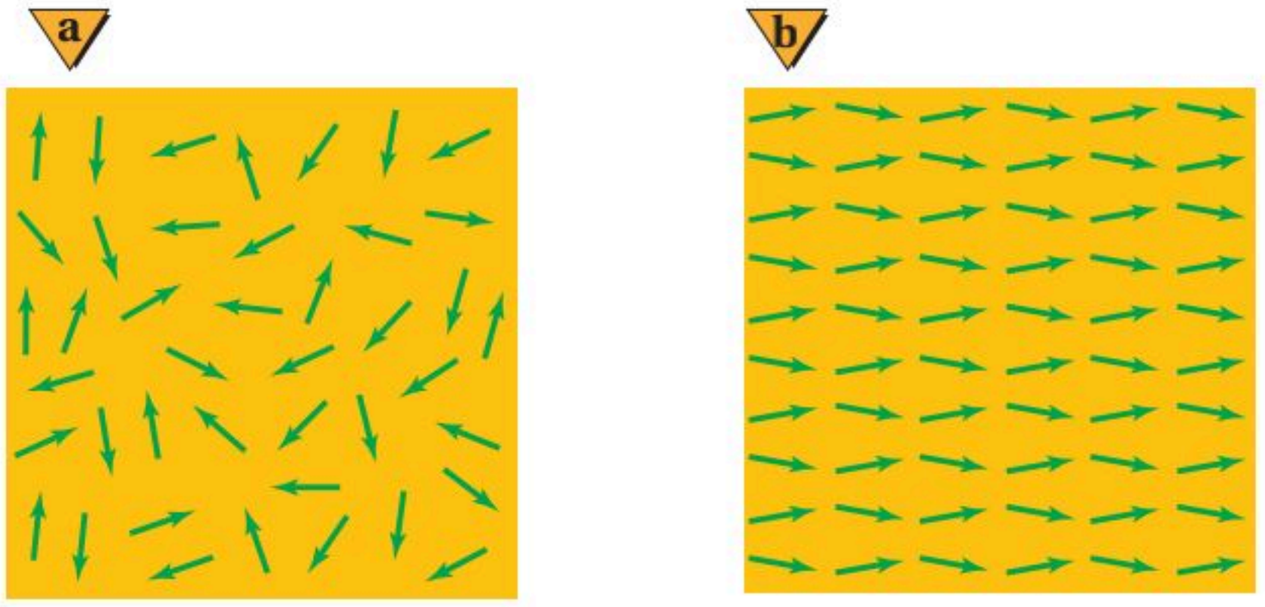
التحليل والاستنتاج

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

الصورة المجهرية للمواد المغناطيسية
A Microscopic Picture of Magnetic Materials

تعلمت أنه عند وضع قطعة حديد أو كوبالت أو نيكل بالقرب من مغناطيس فإن العنصر يصبح مغناطيسًا أيضًا، وسيكون له قطبان، شمالي وجنوبي، إلا أن هذه المغنطة تكون مؤقتة. ويعتمد توليد هذه القطبية المؤقتة على اتجاه المجال الخارجي. ويفقد العنصر مغناطيسيته عند إبعاد المجال الخارجي. وتسلك العناصر الثلاثة (الحديد والنيكل والكوبالت) سلوك مغانط كهربائية بطرائق عديدة؛ إذ لها خاصية تسمى الفرومغناطيسية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



■ **الشكل 14–6** قطعة الحديد (**a**) تصبح مغناطيسًا فقط عندما تترتب مناطقها المغناطيسية في اتجاه واحد (**b**).

المناطق المغناطيسية على الرغم من أن التفصيلات التي اقترحها أمبير حول منشأ مغناطيسية المغناطيس كانت غير صحيحة إلا أن فكرته الأساسية كانت صائبة؛ فكل إلكترون في الذرة يشبه مغناطيسًا كهربائيًّا صغيرًا. وعندما تترتب مجموعة المجالات المغناطيسية الخاصة بإلكترونات الذرات المتجاورة في الاتجاه نفسه تسمى 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)، لذا فإن عينة صغيرة 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، كما في **الشكل 14a–6**. 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 14b–6**. 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 تأثير المجال المغناطيسي الخارجي.

التسجيل في الوسائط تولد المسجلات الصوتية وأجهزة الفيديو نبضات وإشارات كهربائية في رأس التسجيل الذي يتكون من مغانط كهربائية، فيعمل 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 بواسطة 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 يكفي لتغييرها مرة أخرى. وعند تشغيل الشريط وإعادة قراءته تنتج إشارة بواسطة التيارات المتولّدة عند مرور رأس التسجيل فوق الجسيمات المغناطيسية على الشريط، وترسل هذه الإشارة إلى مضخم وإلى زوج من

مكبرات الصوت أو سماعات الأذن. وعند استعمال شريط مسجّل عليه سابقًا لتسجيل أصوات جديدة ينتج رأس المسح مجالاً مغناطيسياً متناوبًا بصورة سريعة يعمل على بعثرة اتجاهات المناطق المغناطيسية على الشريط.

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 ومنشؤه غير مفهوم بصورة جيدة حتى الآن، كما تعدّ كيفية انعكاس اتجاه هذا المجال لغزًا حتى يومنا هذا.

1–6 مراجعة

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية

Forces Caused by Magnetic Fields

بينما كان أمبير يدرس سلوك المغانط لاحظ أن التيار الكهربائي يولد مجالاً مغناطيسيًّا مشابهًا للمجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيس دائم. ولأن المجال المغناطيسي يؤثر بقوة في المغانط الدائمة فقد افترض أمبير أنه توجد قوة تؤثر في السلك الذي يسري فيه تيار عند وضعه في المجال المغناطيسي.

القوى المؤثرة في التيارات الكهربائية المارة في مجالات مغناطيسية

Forces on Currents in Magnetic Fields

يمكن توضيح القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار وضع في مجال مغناطيسي باستعمال الأدوات الموضّحة في **الشكل 15–6**. فالبطارية تولّد تيارًا كهربائيًّا يسري في السلك الموضوع بين قضيبين مغناطيسيين. تذكر أن اتجاه المجال المغناطيسي بين المغناطيسين يكون من القطب الشمالي لأحدهما إلى القطب الجنوبي للآخر. وعندما يسري تيار كهربائي في السلك تتولد قوة مغناطيسية تؤثر فيه، ويكون اتجاه تلك القوة نحو الأسفل، كما هو موضّح في **الشكل 15a–6**، أو نحو الأعلى، كما في **الشكل 15b–6**، وذلك يعتمد على اتجاه التيار المار في السلك. اكتشف مايكل فاراداي أن القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك تكون عمودية على اتجاه كل من التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي.

تحديد اتجاه القوة لم يكن وصف فاراداي لاتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك الذي يسري فيه تيار وصفا كافيًا؛ لأن القوة قد تكون إلى أعلى أو إلى أسفل. ويمكن تحديد اتجاه

الأهداف

- **تربط** بين اتجاه القوى المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي والمجال المغناطيسي الموضوع فيه.
- **تحلّ** مسائل على القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي في أسلاك يسري فيها تيارات كهربائية أو في جسيمات مشحونة متحركة في مجال مغناطيسي.
- **تصف** تصميم المحرك الكهربائي ومبدأ عمله.

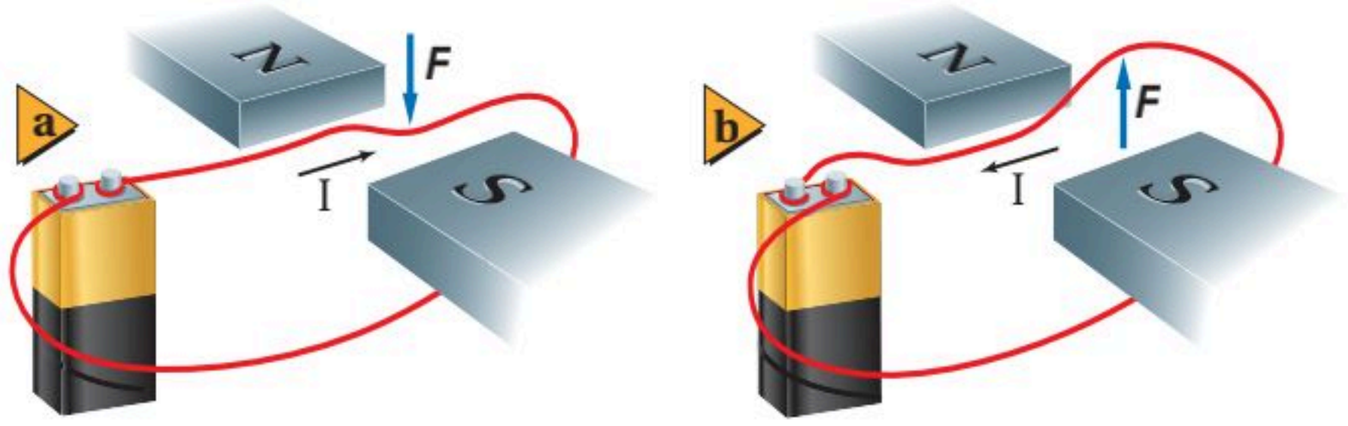
المفردات

القاعدة الثالثة لليد اليمنى

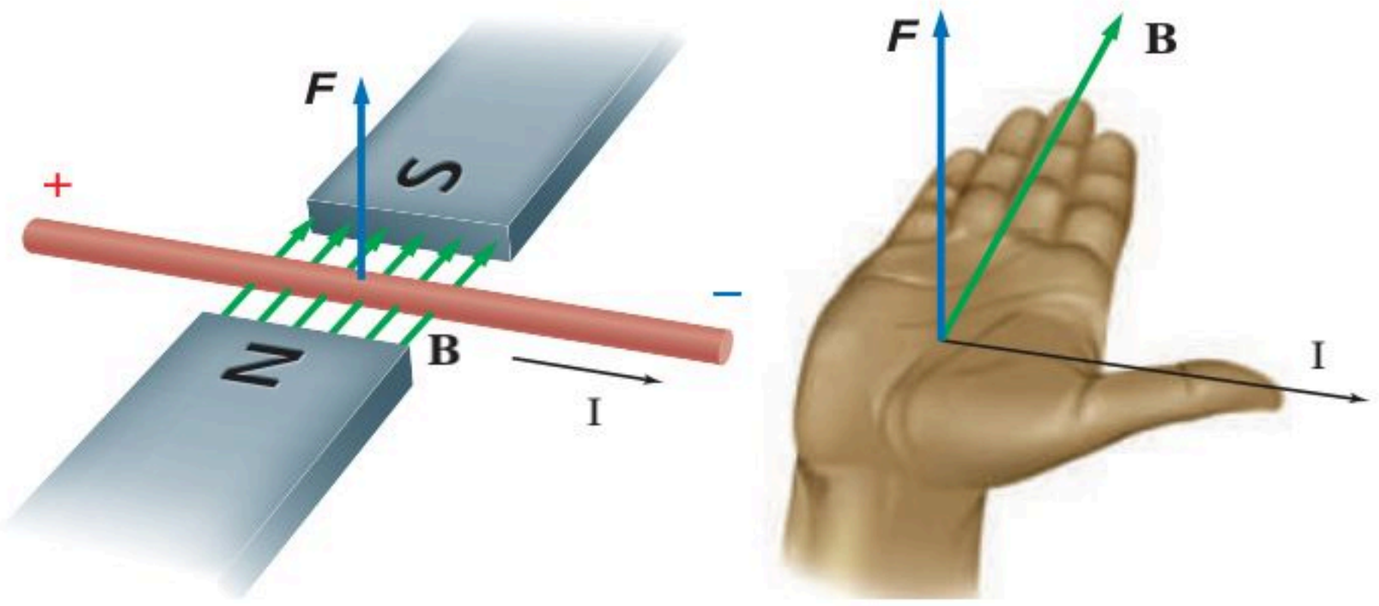
الجلفانومتر

المحرك الكهربائي

الملف ذو القلب الحديدي



الشكل 15–6 تتأثر الأسلاك التي يسري فيها تيارات كهربائية بقوى عند وضعها في مجالات مغناطيسية. وفي هذه الحالة يمكن أن تكون القوة إلى أسفل (**a**) أو إلى أعلى (**b**)، وهذا يعتمد على اتجاه التيار الكهربائي.

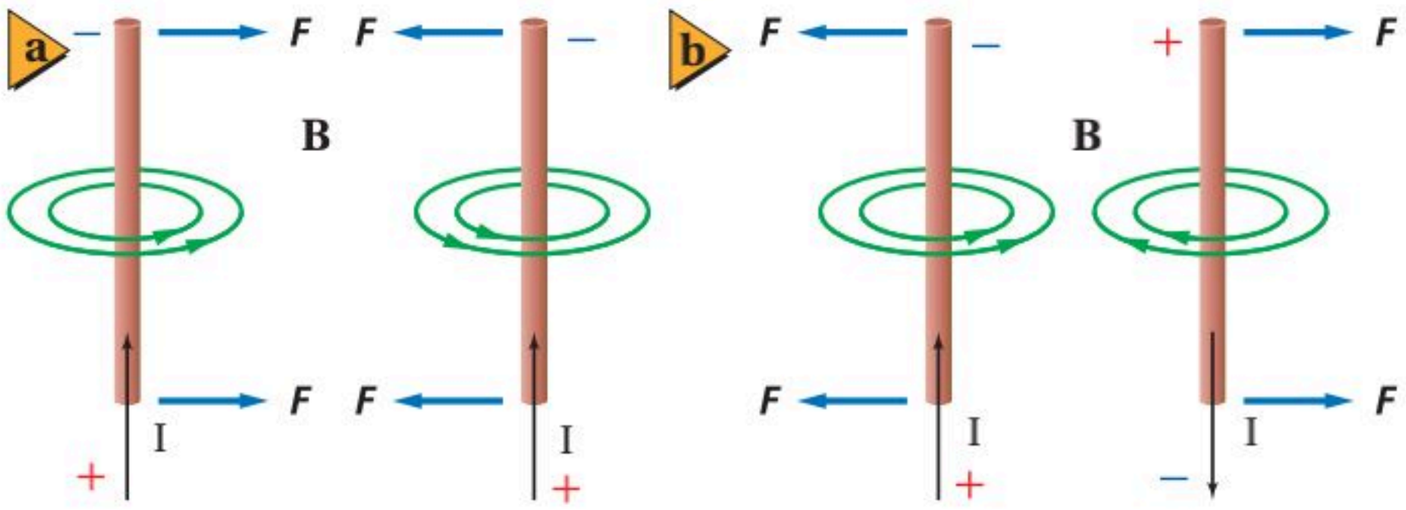


الشكل 16–6 يمكن استعمال القاعدة الثالثة لليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة عند معرفة اتجاه كل من التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي.

القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار وموضوع في مجال مغناطيسي باستخدام **القاعدة الثالثة لليد اليمنى**، الموضّحة في **الشكل 16–6**؛ حيث يمثِّل الرمز **B** المجال المغناطيسي، ويحدّد اتجاهه بواسطة مجموعة أسهم. ولاستخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى اجعل أصابع يدك اليمنى في اتجاه المجال المغناطيسي، واجعل إبهامك يشير إلى اتجاه التيار الاصطلاحي في السلك، فيكون اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك في اتجاه العمودي على باطن الكف نحو الخارج. ولرسم الأسهم المتجهة إلى داخل الورقة أو خارجها يستخدم الرمز (×) للإشارة إلى أن السهم داخل في الورقة، والرمز (●) للإشارة إلى أنه خارج من الورقة.

بعد فترة وجيزة من إعلان أورستد عن اكتشافه الذي ينص على أن اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في سلك يكون متعامدًا مع اتجاه سريان التيار فيه، استطاع أمبير أن يبين أن الأسلاك التي يسري فيها تيارات كهربائية يؤثر بعضها في بعض بقوى. يوضّح **الشكل 17a–6** اتجاه المجال المغناطيسي حول كلٍّ من السلكين، حيث يحدّد هذا الاتجاه بالقاعدة الأولى لليد اليمنى. وبتطبيق القاعدة الثالثة لليد اليمنى على كلٍّ من السلكين يمكن أن تتبين لماذا يجذب السلكان كل منهما الآخر. ويبين **الشكل 17b–6** الحالة المعاكسة؛ فعندما يكون التياران في اتجاهين متعاكسين تنشأ قوة تنافر بينهما.

القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في سلك يمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار عند وضعه عموديًّا على مجال مغناطيسي؛ حيث دلت التجارب على



الشكل 17–6 يتجاذب الموصلان عندما يسري التياران فيهما في الاتجاه نفسه (a)، ويتنافران عندما يسري التياران فيهما في اتجاهين متعاكسين (b).

أن مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك F تتناسب طرديا 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 المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي

$$F = ILB (\sin \theta)$$

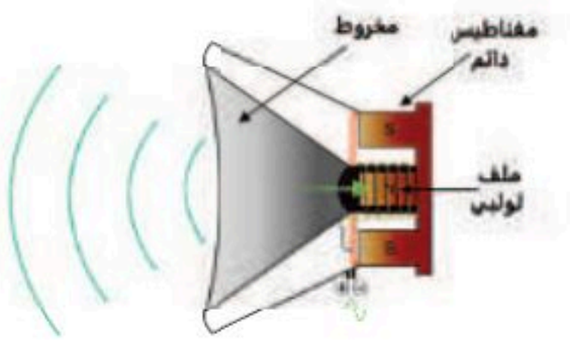
تساوي حاصل ضرب شدة المجال المغناطيسي في مقدار التيار وطول السلك.

يُقاس مقدار المجال المغناطيسي B بوحدة تسلا T؛ وهي تساوي 1 N /A.m.

لاحظ أنه إذا كان المجال المغناطيسي غير متعامد مع السلك فستظهر المركبة العمودية للمجال المغناطيسي في المعادلة السابقة لتصبح كما يأتي: $F=ILB \sin \theta$. فإذا أصبح السلك موازيًا للمجال المغناطيسي تصبح $\theta = 0^\circ$، وستؤول القوة إلى الصفر. أما عندما تكون الزاوية $\theta=90^\circ$ فستصبح المعادلة مرة أخرى على الصورة الآتية: $F=ILB$.

مُكبِّرات الصوت Loudspeakers

تعد مكبرات الصوت إحدى التطبيقات العملية على القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي. تعمل السماعة على تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة صوتية باستخدام ملف من سلك رفيع مثبت على مخروط ورقي، وهذا المخروط موضوع في مجال مغناطيسي. يرسل المضخم الذي يشغل السماعة تيارًا كهربائيًا خلال الملف كما هو موضح في **الشكل 18–6**، ويتغير اتجاه هذا التيار بين 20 و 20000 مرة في الثانية، وذلك وفقًا لحدة الصوت التي 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.

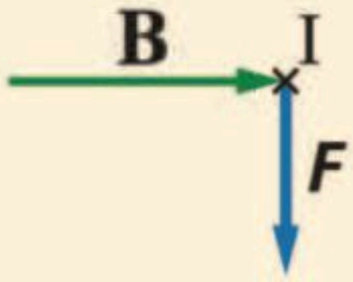


الشكل 18–6 تعمل السماعة على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية.

مثال 1

حساب شدة المجال المغناطيسي يسري تيار كهربائي مقداره 5.0 A في سلك مستقيم موضوع عموديًّا على مجال مغناطيسي منتظم، فإذا كانت القوة المغناطيسية المؤثرة في جزء طوله 0.10 m من السلك تساوي 0.20 N فاحسب شدة المجال المغناطيسي B.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للسلك، مبينًا اتجاه التيار الكهربائي بواسطة سهم، وارسم خطوط المجال المغناطيسي B والقوة المؤثرة في السلك F.
- حدّد اتجاه القوة المؤثرة في السلك باستخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى.

واعلم أن السلك والمجال والقوة جميعها متعامدة بعضها على بعض.

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

إن المجال المغناطيسي B منتظم، ولأن I وB متعامدان

$$F = ILB$$

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

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

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

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

$$= 0.40\ T$$

B تساوي 0.40 T من اليسار إلى اليمين عموديًّا على كل من F وI

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

15. ما اسم القاعدة المستخدمة لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي متعامد مع المجال المغناطيسي؟ حدّد ما يجب معرفته لاستخدام هذه القاعدة.

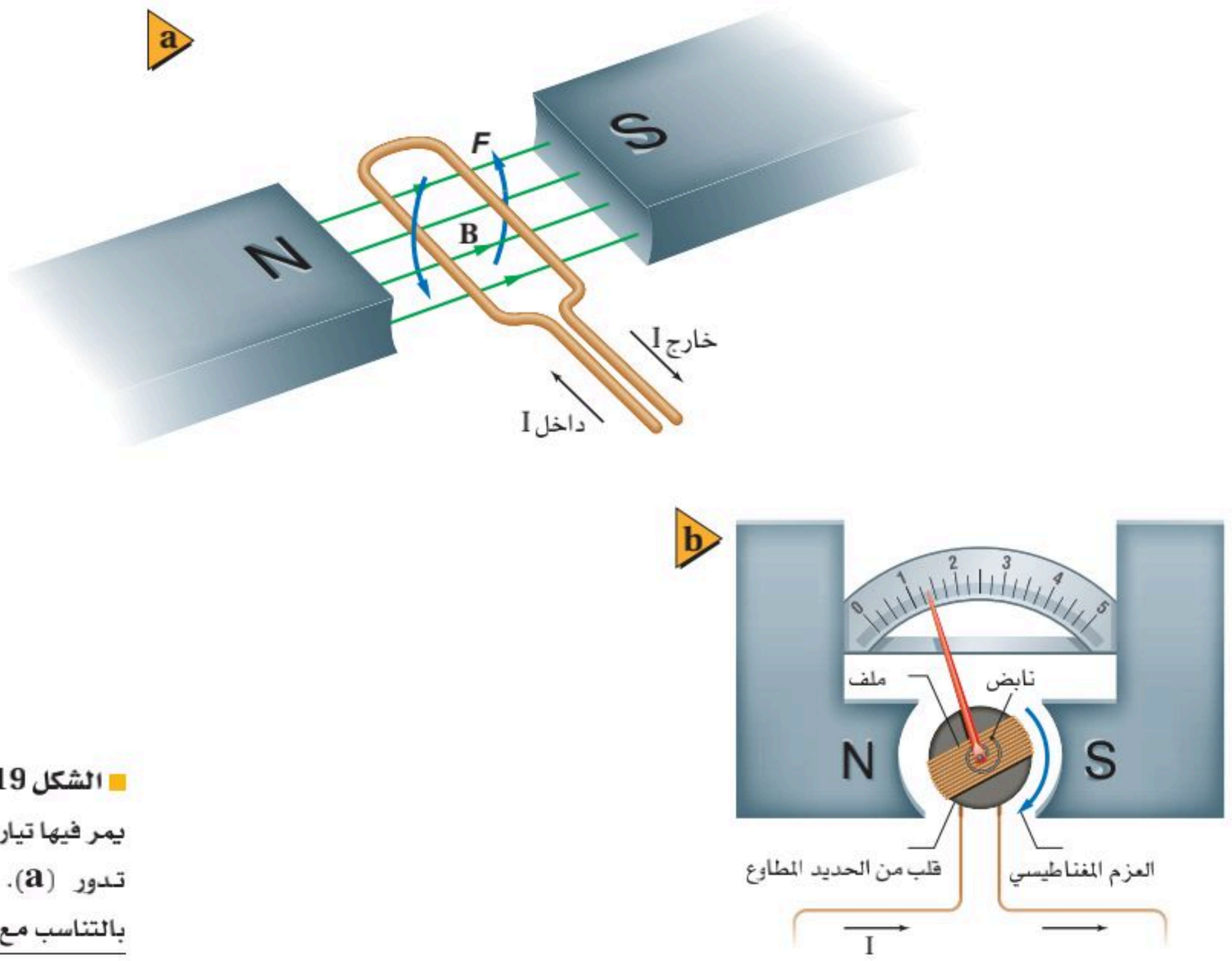
16. يسري تيار مقداره 8.0 A في سلك طوله 0.50 m، موضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.40 T. ما مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك؟

17. سلك طوله 75 cm يسري فيه تيار مقداره 6.0 A موضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم، فتأثر بقوة مغناطيسية مقدارها 0.60 N. ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر؟

18. سلك نحاسي طوله 40.0 cm، ووزنه 0.35 N. فإذا كان السلك يمر فيه تيار مقداره 6.0 A فما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن يؤثر فيه رأسيًّا بحيث يكون كافيًا لموازنة قوة الجاذبية المؤثرة في السلك (وزن السلك)؟

19. ما مقدار التيار الذي يجب أن يسري في سلك طوله 10.0 cm وموضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.49 T ليتأثر بقوة مغناطيسية مقدارها 0.38 N؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

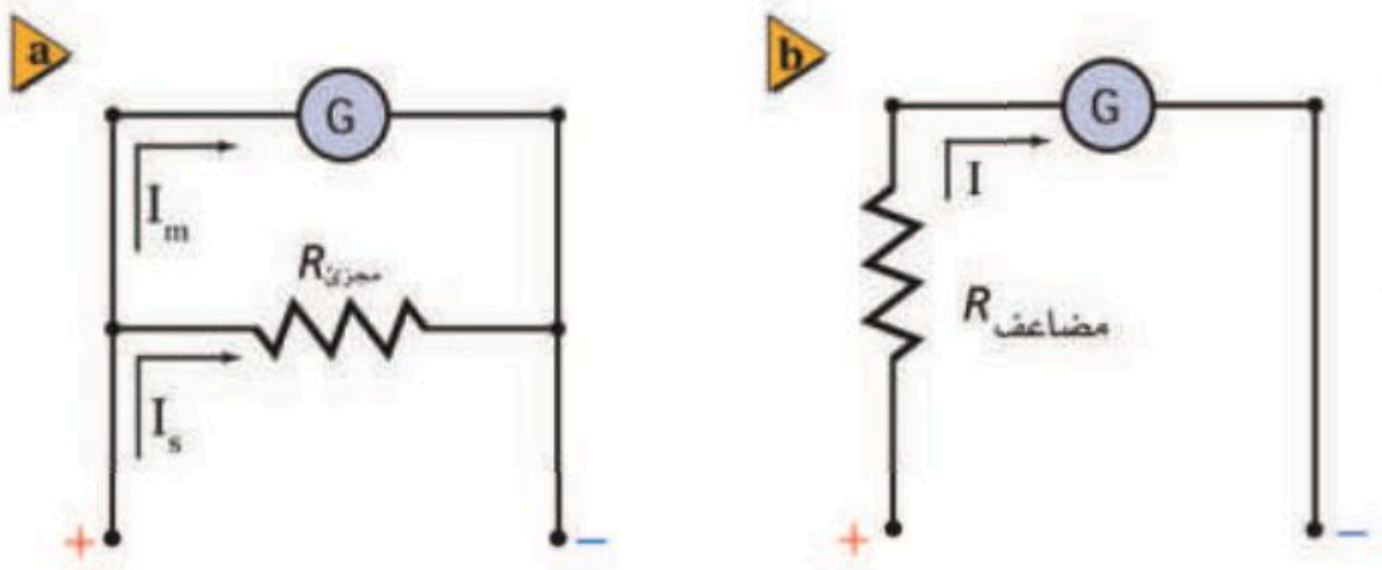


■ **الشكل 19–6** إذا وضعت حلقة سلكية يمر فيها تيار في مجال مغناطيسي فسوف تدور (**a**). يدور ملف الجلفانومتر بالتناسب مع مقدار التيار (**b**).

الجلفانومترات Galvanometers

يمكن استخدام القوة المؤثرة في حلقة سلكية موضوعة في مجال مغناطيسي لقياس شدة التيار. فإذا وضعت حلقة سلكية صغيرة يسري فيها تيار كهربائي في مجال مغناطيسي قوي لمغناطيس دائم، كما في **الشكل 19a–6** فإنه يمكن استخدام دورانها لقياس تيارات كهربائية صغيرة جدًّا، حيث يدخل التيار المار خلال الحلقة من أحد طرفيها، ويخرج من طرفها الآخر. وبتطبيق القاعدة الثالثة لليد اليمنى على جانبي الحلقة ستلاحظ أن أحد جانبيها يتأثر بقوة إلى أعلى، بينما يتأثر الجانب الآخر بقوة إلى أسفل. لذا ستعمل محصلة العزم على تدوير الحلقة؛ حيث يتناسب العزم المؤثر في الحلقة طرديًّا مع مقدار التيار. وهذا هو المبدأ المستخدم في الجلفانومتر. و**الجلفانومتر** جهاز يستخدم لقياس التيارات الكهربائية الصغيرة جدًّا، ويمكن تحويله إلى أميتر أو فولتمتر.

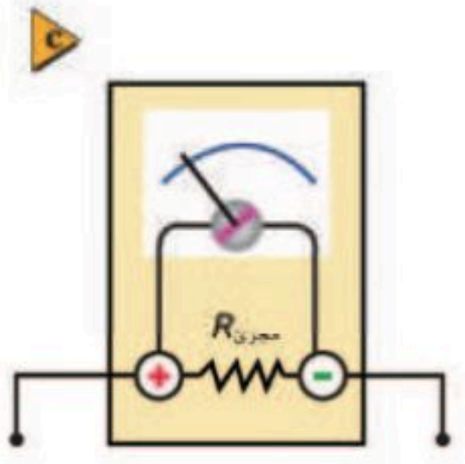
يؤثر النابض الصغير في الجلفانومتر بعزم في اتجاه معاكس لاتجاه العزم الناتج عن سريان التيار في الحلقة السلكية، لذا فإن مقدار دورانها يتناسب طرديًّا مع التيار. يُدرّج الجلفانومتر ويعاير بمعرفة مقدار الدوران عند مرور تيار معلوم فيه، كما هو موضّح في **الشكل 19b–6**. ويمكن بعد ذلك استخدام الجلفانومتر لقياس تيارات صغيرة غير معلومة.



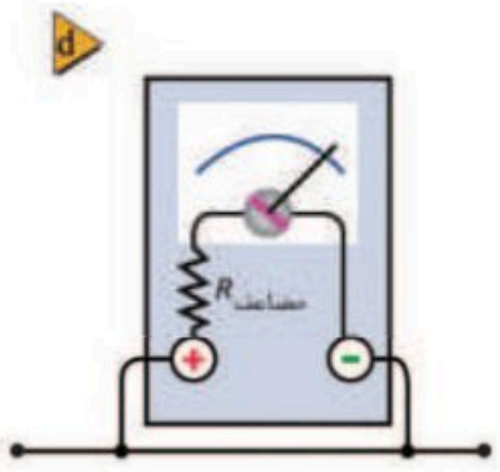
■ **الشكل 20–6** تم توصيل الجلفانومتر بهذه الطريقة لاستخدامه كأميتر (**a**)، وتم توصيل الجلفانومتر بهذه الطريقة لاستخدامه كفولتمتر (**b**)، يوصل الأميتر في الدائرة على التوالي (**c**)، يوصل الفولتميتر في الدائره على التوازي(**d**).

تنحرف مؤشرات العديد من الجلفانومترات إلى أقصى تدريج عند مرور تيارات صغيرة مثل $50\ \mu A (50 \times 10^{-6}\ A)$. ومقاومة ملف الجلفانومتر الحساس تساوي $1000\ \Omega$ تقريبًا.

الأميتر ولقياس تيارات أكبر يمكن تحويل الجلفانومتر إلى أميتر بتوصيل مقاومة صغيرة جدا على التوازي مع الجلفانومتر كما في **الشكل 20a–6**. لتصبح المقاومة الكلية للأميتر صغيرة جدا ولا تؤثر على مرور التيار عند توصيل الأميتر في الدائرة على التوالي كما في **الشكل 20c–6**. وبهذا يمر معظم التيار I_s خلال المقاومة التي تسمّى مجزئ التيار؛ لأن مرور التيار يتناسب عكسيًّا مع المقاومة، في حين يمر تيار I_m صغير (بضعة ميكروأمبيرات) في الجلفانومتر. ويمكن اختيار مقاومة مجزئ التيار وفق تدريج الانحراف المطلوب.



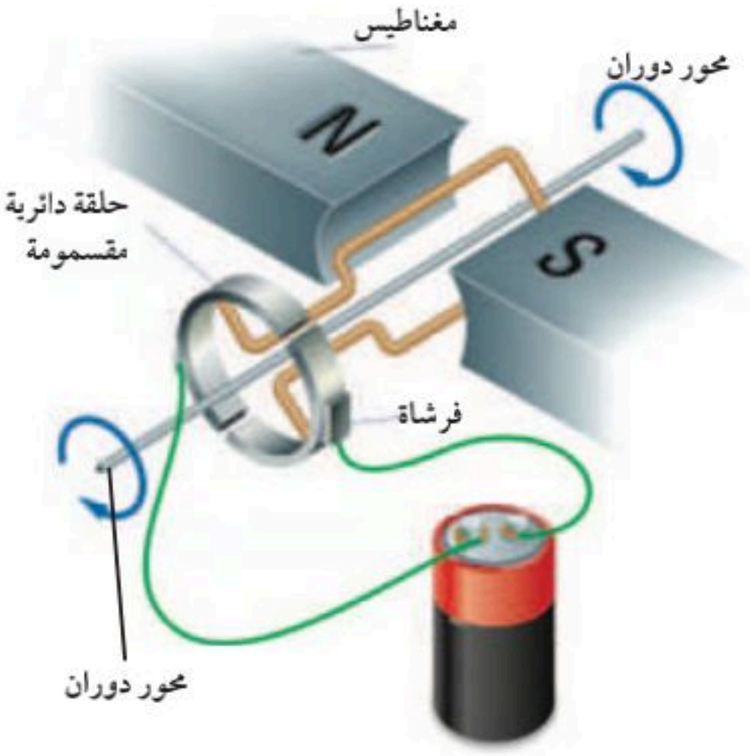
الفولتميتر ويمكن تحويل الجلفانومتر إلى فولتمتر بتوصيله بمقاومة كبيرة على التوالي يسمى مجزئ الجهد (المضاعف)، كما في **الشكل 20b–6**. حيث يقيس الجلفانومتر التيار المار في المقاومة الكبيرة الذي تمت إضافته. لتصبح المقاومة الكلية للفولتميتر كبيرة جدا ولا تؤثر على مرور التيار عند توصيل الفولتميتر في الدائرة على التوازي كما في **الشكل 20d–6**. ويحسب التيار بالعلاقة $I=V/R$؛ حيث V فرق الجهد الكهربائي خلال الفولتمتر، بينما R المقاومة الكلية للجلفانومتر وللمقاومة التي أضيفت. افترض الآن أنك تريد جعل مؤشر الفولتمتر ينحرف إلى أقصى تدريج عند تطبيق فرق جهد مقداره 10 V بين طرفيه، فعليك أن تختار مقاومة مناسبة؛ بحيث يتحقق ذلك الانحراف عندما يمر تيار في الجلفانومتر والمقاومة.



المحركات الكهربائية تَبيّن لك أن الحلقة السلكية البسيطة المستخدمة في الجلفانومتر لا يمكن أن تدور أكثر من 180°؛ حيث تدفع القوى الجانب الأيمن من الحلقة إلى أعلى، بينما تدفع جانبها الأيسر إلى أسفل، حتى تصبح الحلقة في وضع رأسي. ولن تتمكن الحلقة من الاستمرار في الدوران؛ لأن القوى تبقى إلى أعلى وإلى أسفل، أي موازية لمستوى الحلقة، فلا تعود قادرة على إحداث أي دوران فيها.

كيف يمكنك السماح للحلقة بمواصلة دورانها؟ يجب أن ينعكس اتجاه التيار المار في الحلقة عندما تصبح في وضع رأسي. وهذا الانعكاس يسمح للحلقة بمواصلة دورانها، كما هو موضّح في **الشكل 21–6**. ولعكس اتجاه التيار يجب المحافظة على استمرار التوصيلات الكهربائية بين نقطتي تلامس تُسمّيان الفرشاتين، وحلقة مقسومة إلى نصفين تسمى عاكس التيار. وتصنع الفرشاتان في العادة من الجرافيت، وتثبتان بطريقة ما بحيث تلامسان عاكس التيار

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



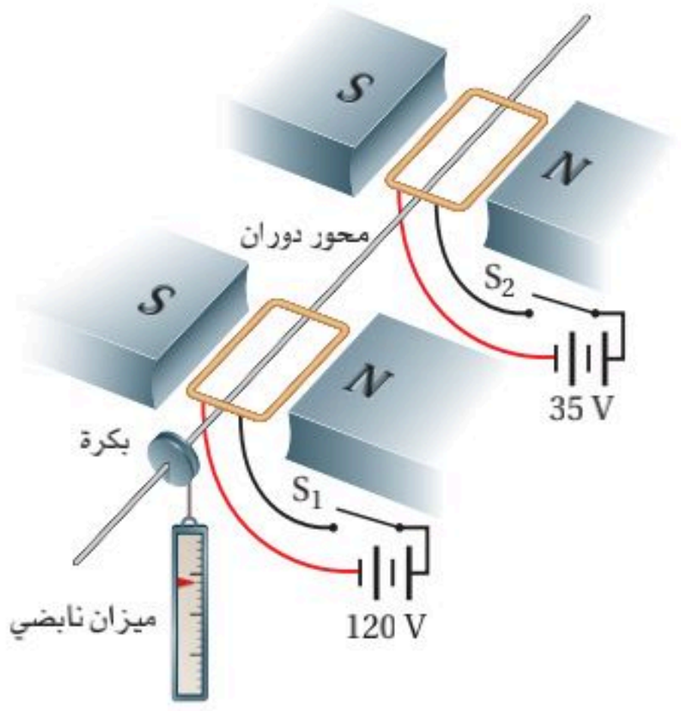
■ **الشكل 21–6** يسمح عاكس التيار (حلقة فلزية مشقوقة) في المحرك الكهربائي بتغيير اتجاه التيار المار في الحلقات السلكية، وبذلك تتمكن الحلقات في المحرك من الدوران °360.

لتسمحا للتيار بالمرور خلال الحلقة السلكية. عند دوران الحلقة السلكية يدور عاكس التيار أيضًا، ويترتب نصفا عاكس التيار بحيث تتغير الفرشاة الملامسة لكل نصف منهما عندما تصل الحلقة السلكية إلى وضعها الرأسي. ويؤدي تغير تلامس الفرشاتين إلى عكس اتجاه التيار المار في الحلقة السلكية، مما يؤدي إلى عكس اتجاه القوة المؤثر في جانبي الحلقة السلكية، فتُواصل دورانها. ويتكرر ذلك كل نصف دورة، مما يجعل الحلقة تستمر في دورانها في المجال المغناطيسي. والناتج هو **المحرك الكهربائي**، وهو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية دورانية.

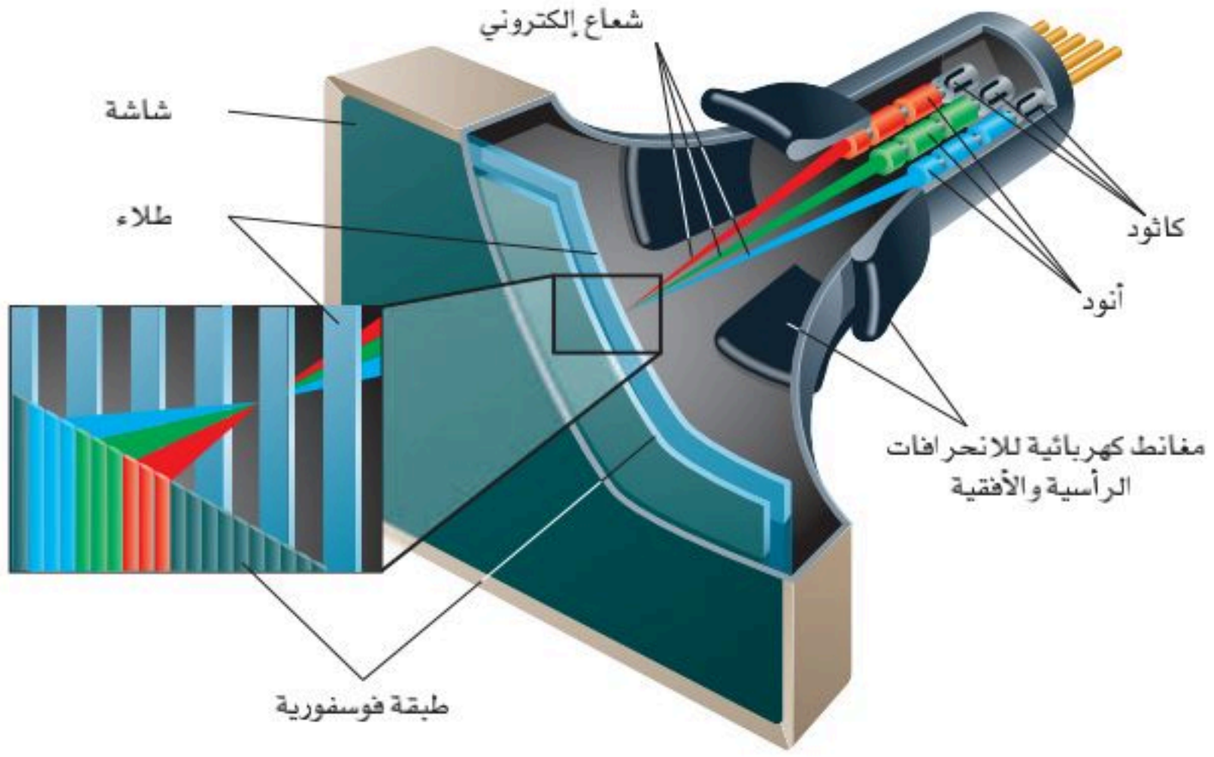
على الرغم من أن **الشكل 21–6** محدد بحلقة سلكية واحدة إلا أن المحرك الكهربائي يتكون من لفات عديدة تثبت على محور دوران وتسمى **الملف ذا القلب الحديدي**. والقوة الكلية المؤثرة فيه تتناسب طرديًا مع nILB؛ حيث تمثل n عدد لفات الملف، وB المجال المغناطيسي، وI التيار الكهربائي، بينما تمثل L طول السلك في كل لفة تتحرك في المجال المغناطيسي. ويتم إنتاج المجال المغناطيسي إما بمغناطيس دائم، أو بمغناطيس كهربائي. ويتم التحكم في العزم المؤثر في الملف، ومن ثم التحكم في سرعة المحرك، بتغيير التيار المار في المحرك.

مسألة تحفيز

يبين الشكل المجاور محركين كهربائيين متماثلين مستطيلي الشكل طول كل منهما 35 cm وعرضه 17 cm، ومقاومته 12 Ω، وعدد لفاته 48 لفة، على محور دوران واحد في مجال مغناطيسي شدته 0.21 T. (لتبسيط الرسم لم يرسم عاكسَا التيار). وُصل السلك الأحمر بأقصى يسار الضلع الذي يمثل عرض الملف، ثم عاد إلى مؤخرة المحرك على الضلع الذي يمثل طول الملف. ولتعمل جاذبية الأرض على منع محور المحرك من الدوران تم تثبيت بكرة قطرها 7.2 cm على المحور، ومُرِّر عليها حبل كما في الشكل.



1. اشتق علاقة للعزم المؤثر في الملف وفق الوضع المبين باستخدام $\tau = ILB$.
2. أوجد مقدار العزم المؤثر في المحور عند إغلاق المفتاح S_1 وفتح المفتاح S_2، وأوجد مقدار القوة المؤثرة في الميزان النابضي.
3. أوجد مقدار العزم المؤثر في المحور عند إغلاق المفتاحين، ومقدار القوة المؤثرة في الميزان النابضي.
4. ماذا يحدث للعزم عند دوران الملف؟



■ **الشكل 22–6** تعمل أزواج من المغانط على انحراف حزمة الإلكترونات رأسيًا وأفقيًا لتشكيل صور للعرض.

القوة المؤثرة في جسيم مشحون
The Force on a Single Charged Particle

لا يقتصر وجود الجسيمات المشحونة في الأسلاك فقط، لكنها قد تتحرك في الفراغ أيضًا؛ حيث يتم إزالة جزيئات الهواء لمنع حدوث التصادمات. ففي أنبوب الأشعة المهبطية المستخدم في شاشات الحاسوب القديمة، وشاشات التلفاز القديمة يستخدم انحراف الإلكترونات بواسطة المجالات المغناطيسية لتشكيل صورة على الشاشة، كما في **الشكل 22–6**.

تعمل المجالات الكهربائية على انتزاع الإلكترونات من الذرات في القطب السالب (الكاثود)، وتعمل مجالات كهربائية أخرى على تجميع هذه الإلكترونات وتسريعها وتركيزها في حزمة ضيقة. ثم تعمل مجالات مغناطيسية على التحكم في حركة هذه الحزمة إلى الأمام وإلى الخلف، وأفقيًّا ورأسيًّا على الشاشة. وتُطلى الشاشة بطبقة فوسفورية تشع عندما تصطدم الإلكترونات بها، فتنتج الصورة.

تعتمد القوة المغناطيسية الناتجة عن المجال المغناطيسي المؤثرة في الالكترون على كل من سرعة الإلكترون، وشدة المجال المغناطيسي، والزاوية المحصورة بين متجه السرعة واتجاه المجال المغناطيسي. افترض أن إلكترونًا مفردًا يتحرك داخل سلك طوله L، وأن حركة هذا الإلكترون عمودية على اتجاه مجال مغناطيسي؛ لأن التيار I يساوي الشحنة المارة في السلك لكل وحدة زمن، فإن $I=q/t$، حيث 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 $I=qv/L$، لذا يمكن حساب القوة المغناطيسية المؤثرة في الإلكترون المتحرك عموديا على المجال المغناطيسي B عن طريق المعادلة الآتية:

القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في جسيم مشحون متحرك $F=qv\mathrm{B}\ (\sin\theta)$

القوة المؤثرة في جسيم مشحون متحرك عموديًّا على مجال مغناطيسي تساوي حاصل ضرب شدة المجال المغناطيسي في كل من سرعة الجسيم وشحنته.

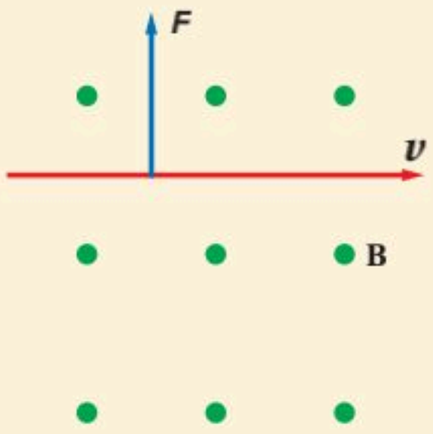
حيث شحنة الجسيم مقيسة بوحدة الكولوم C، والسرعة مقيسة بوحدة m /s، وشدة المغناطيس مقيسة بوحدة التسلا T.

ويكون اتجاه القوة دائمًا عموديًّا على كل من اتجاه سرعة الجسيم واتجاه المجال المغناطيسي. والاتجاه الذي يحدد باستخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى يكون خاصًّا بالجسيمات ذات الشحنة الموجبة. أما اتجاه القوة المؤثرة في الإلكترونات فيكون معاكسًا للاتجاه الناتج.

مثال 2

القوة المؤثرة في جسيم مشحون متحرك في مجال مغناطيسي تتحرك حزمة إلكترونات بسرعة $3.0\times10^{6}\ \mathrm{m/s}$ عموديًّا على مجال مغناطيسي منتظم مقداره $4.0\times10^{-2}\ \mathrm{T}$. ما 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 بواسطة القاعدة الثالثة لليد اليمنى؛ لأن شحنة الإلكترون سالبة.

المعلوم	المجهول
$v=3.0\times10^{6}\ \mathrm{m/s}$	$F=?$
$\mathrm{B}=4.0\times10^{-2}\ \mathrm{T}$	
$q=-1.60\times10^{-19}\ \mathrm{C}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

$F = qv\mathrm{B}$

بالتعويض

$v=3.0\times10^{6}\ \mathrm{m/s}$ ،$\mathrm{B}=4.0\times10^{-2}\ \mathrm{T}$ ،$q=-1.60\times10^{-19}\ \mathrm{C}$

$=(-1.60\times10^{-19}\ \mathrm{C})(3.0\times10^{6}\ \mathrm{m/s})(4.0\times10^{-2}\ \mathrm{T})$

$=-1.9\times10^{-14}\ \mathrm{N}$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $\mathrm{T}=\mathrm{N.s/(C.m)}$ و $\mathrm{A}=\mathrm{C/s}$ و $\mathrm{T}=\mathrm{N/(A.m)}$
لذا فإن $\mathrm{N}=\mathrm{T.C.m/s}$ وهي وحدة القوة.
- **هل الاتجاه صحيح؟** استخدم القاعدة الثالثة لليد اليمنى للتأكد من أن اتجاهات القوى صحيحة. وتذكر أن القوة المؤثرة في الإلكترون تكون معاكسة للقوة الناتجة بواسطة القاعدة الثالثة لليد اليمنى.
- **هل الجواب منطقي؟** القوى المؤثرة في البروتونات والإلكترونات دائمًا تشكل جزءًا صغيرًا من النيوتن.

مسائل تدريبية

20. إلى أي اتجاه يشير الإبهام عند استخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى لإلكترون يتحرك عموديًّا على مجال مغناطيسي؟

21. يتحرك إلكترون عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته 0.50 T بسرعة $4.0\times10^{6}\ m/s$، ما مقدار القوة المؤثرة في الإلكترون؟

22. تتحرك حزمة من الجسيمات الثنائية التأين (فقد كل جسيم إلكترونين، لذا أصبح كل جسيم يحمل شحنتين أساسيتين) بسرعة $3.0\times10^{4}\ m/s$ عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته $9.0\times10^{-2}\ T$، ما مقدار القوة المؤثرة في كل أيون؟

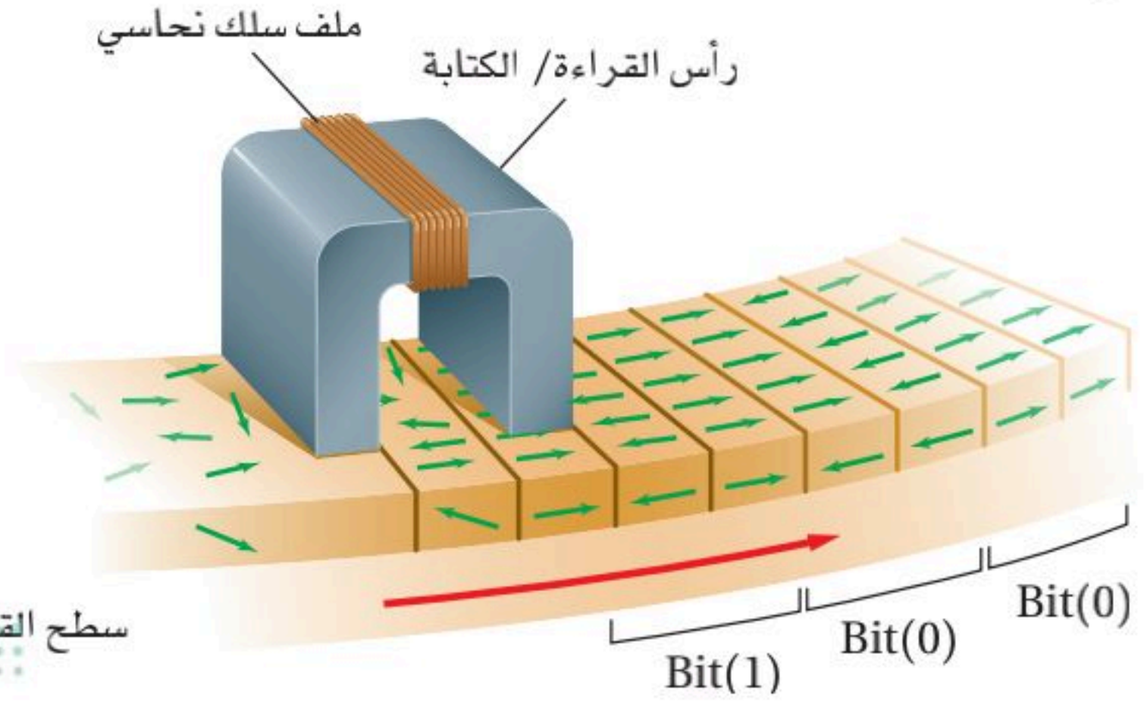
23. دخلت حزمة من الجسيمات الثلاثية التأين (يحمل كل منها ثلاث شحنات أساسية موجبة) عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته $4.0\times10^{-2}\ T$ بسرعة $9.0\times10^{6}\ m/s$. احسب مقدار القوة المؤثرة في كل أيون.

24. تتحرك ذرات هيليوم ثنائية التأين (جسيمات ألفا) بسرعة $4.0\times10^{4}\ m/s$ عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره $5.0\times10^{-2}\ T$، ما 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. وفي 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 في السلك مجالاً مغناطيسيًّا في القلب الحديدي.

عندما يمر رأس القراءة/ الكتابة فوق قرص التخزين الدوّار، كما هو موضّح في **الشكل 23–6**، تترتب ذرات المناطق المغناطيسية الموجودة على الشريحة المغناطيسية في صورة حزم. وتعتمد اتجاهات المناطق المغناطيسية على اتجاه التيار.



الشكل 23–6 تكتب المعلومات على قرص الحاسوب بواسطة تغيير المجال المغناطيسي في رأس القراءة/الكتابة في أثناء مرور الوسيطة تحته. وهذا يجعل الجسيمات المغناطيسية في الوسيطة تترتب بنمط يمثل المعلومات المخزّنة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

وتمثل شـــفرة كل حزمتين وحدة صغـــيرة (bit) واحدة من المعلومـــات. وتمثل الحزمتان المغنطتان اللتان تشـــير أقطابهما إلى الاتجاه نفســـه 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.

لاســـترجاع المعلومات لا يتم إرســـال أي تيار إلى رأس القراءة/ الكتابة، وبدلاً من ذلك تعمل الحزم الممغنطة الموجودة عـــلى القرص على توليد تيار في الملف بطريقة الحث عندما يـــدور القرص تحت الـــرأس. وتغيرات اتجاه التيار المتولد بالحث تُستشـــعر بالحاســـوب باستعمال النظام الثنائي في العد (صفر، واحد).

6–2 مراجعة

25. **القـوى المغناطيسـية** تخيل أن ســـلكًا يمتد شرق - غـــرب متعامدًا مـــع المجـــال المغناطيسي الأرضي، ويسري فيه تيار إلى الشرق، فما اتجاه القوة المؤثرة في السلك؟

26. **الانحـراف** تقترب حزمـــة إلكترونـــات في أنبوب الأشـــعة المهبطية من المغانط التي تحرفها. فإذا كان القطب الشـــمالي في أعلى الأنبوب والقطب الجنوبي في أسفله، وكنت تنظر إلى الأنبوب من جهة الشاشة الفوسفورية، ففي أي اتجاه تنحرف الإلكترونات؟

27. **الجلفانومـتر** قارن بين مخطـــط الجلفانومتر الموضّح في الشـــكل **19-6** ومخطـــط المحـــرك الموضّـــح في الشكل **21-6**. ما أوجه التشابه والاختلاف بينهما؟

28. **المحـركات الكهربائية** عندما يتعامد مســـتوى ملف المحرك مع المجـــال المغناطيسي لا تنتج القوى عزمًا على الملف، فهل هذا يعني أن الملف لا يدور؟ وضّح إجابتك.

29. **المقاومة الكهربائية** يحتاج جلفانومتر إلى $180\ \mu A$ لكـــي ينحرف مؤشره إلى أقصى تدريـــج. ما مقدار المقاومـــة الكلية (مقاومـــة الجلفانومـــتر ومقاومة المجزئ) اللازمـــة للحصول عـــلى فولتمتر أقصى تدريج يقيسه $5.0\ V$؟

30. **التفكـير الناقـد** كيف يمكنك معرفة أن القوتين بين سلكين متوازيين يمر فيهما تياران ناتجتان عن الجذب المغناطيـــسي بينهما وليســـتا ناتجتين عـــن الكهرباء السكونية؟ *تنبيه: فكر في نوع الشحنات عندما تكون القوة تجاذبًا، ثم فكر في القـــوى عندما يكون هناك ثلاثة أسلاك متوازية تحمل تيارات في الاتجاه نفسه.*

مختبر الفيزياء

صنع مغناطيس كهربائي

يستخدم المغناطيس الكهربائي المجال المغناطيسي الناتج عن التيار الكهربائي لمغنطة قطعة فلزية. ستقوم في هذه التجربة بصنع مغناطيس كهربائي، وتختبر أحد المتغيرات التي تعتقد أنها قد تؤثر في قوة المغناطيس.

سؤال التجربة

ما العوامل التي تحدّد قوة مغناطيس كهربائي؟

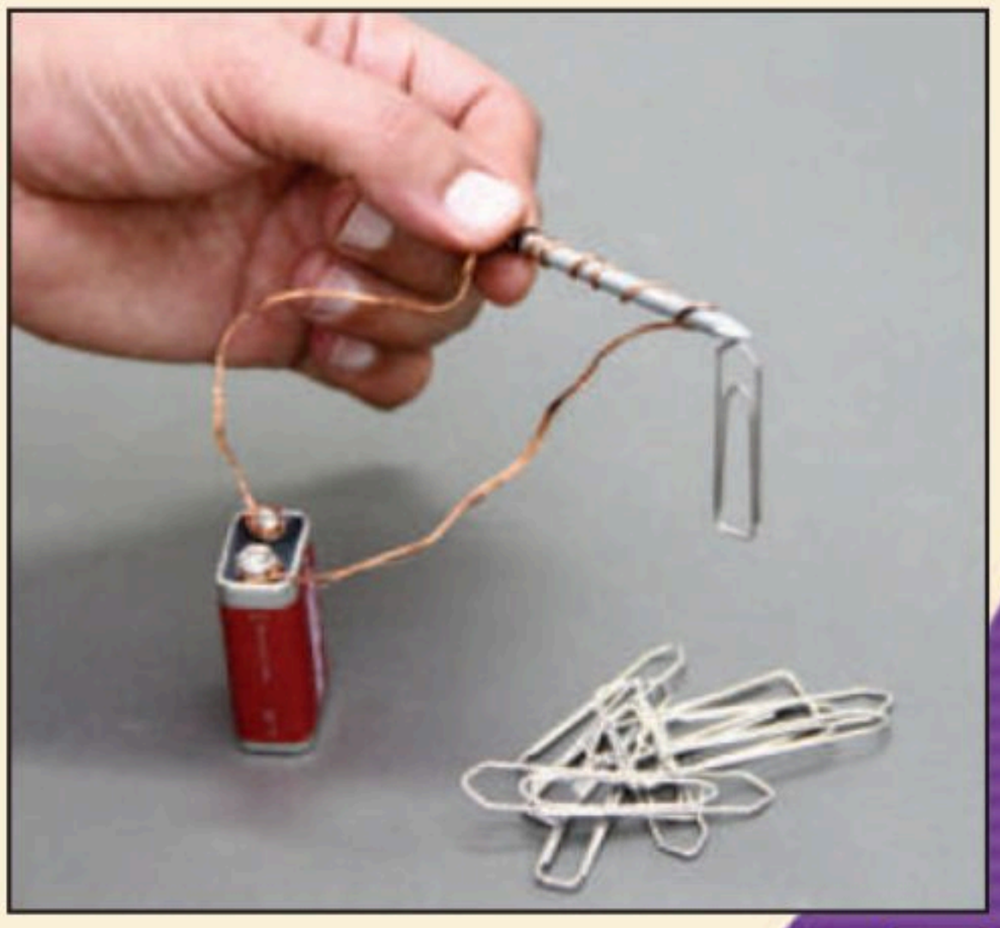
الأهداف

- **تكوِّن فرضية** لتحديد المتغيرات التي قد تؤثر في قوة المغناطيس الكهربائي.
- **تلاحظ** التأثيرات في قوة المغناطيس الكهربائي.
- **تجمع وتنظم البيانات** المتعلقة بمقارنة المتغير الذي اخترته مع قوة المغناطيس.
- **تنشئ رسومًا بيانية وتستخدمها** للمساعدة على تحديد العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع.
- **تحلل وتستنتج** تأثير المتغير الذي اخترته في قوة المغناطيس.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

مشابك ورق كبيرة	مشابك ورق صغيرة
قطع فولاذية صغيرة	مسمار فولاذي
سلك معزول	بطارية 6 V
بطارية 9 V	مصدر قدرة مستمر DC



الخطوات

1. أعدّ قائمة بالمواد التي ستستخدمها في صنع المغناطيس الكهربائي.
2. أعدّ قائمة بجميع المتغيرات المحتملة التي تعتقد أنها يمكن أن تؤثر في قوة المغناطيس الكهربائي.
3. اختر أحد المتغيرات، واعمل على تغييره لتحديد تأثيره في قوة المغناطيس الكهربائي.
4. حدّد الطريقة التي تختبر بها شدة المجال المغناطيسي الناتج عن المغناطيس الكهربائي.
5. أطلع المعلم على القوائم التي أعددتها، واحصل على موافقته قبل متابعة العمل.
6. اكتب ملخصًا يوضح خطوات تجربتك. وتأكد من تضمين جميع القيم للمتغيرات التي ستجعلها ثابتة.
7. أنشئ جدول بيانات مماثلًا للجدول في الصفحة التالية، والذي يبين الكميتين اللتين ستقيسهما.
8. ركّب المغناطيس الكهربائي باستخدام المسمار وجزء من السلك، بلف السلك حول المسمار. وتأكد من ترك بضعة سنتمترات من السلك خارجة من الملف لتصله بالبطارية (مصدر القدرة). ***تحذير: قد يكون طرف المسمار أو السلك حادًّا. لذا كن حذرًا عند استعمال هذه المواد لتجنب حدوث جروح.***
9. اطلب إلى معلمك أن يتفحص مغناطيسك قبل المتابعة.
10. نفذ تجربتك ودوّن بياناتك. ***تحذير: إذا استعملت قطع الفولاذ الصغيرة فتجنب الإصابة بالجروح عند التقاط القطع في أثناء سقوطها على الأرض.***

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

جدول البيانات	
عدد.....	عدد.....

التحليل

1. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** ارسم رسمًا بيانيًّا يوضّح العلاقة بين متغيرين في تجربتك.
2. ما المتغيرات التي تحاول التحكم فيها في هذه التجربة؟ وهل هناك متغيرات لا تستطيع التحكم فيها؟
3. إذا قدّرت قوة المغناطيس الكهربائي بكمية المادة التي يستطيع التقاطها فكيف تحاول السيطرة على أي خطأ ناتج عن جذب المغناطيس لعدد صحيح من القطع؟

الاستنتاج والتطبيق

1. ما العلاقة بين المتغير الذي اخترته وقوة المغناطيس؟
2. ما المتغيرات الأخرى التي وجدها طلاب آخرون في الصف وتؤثر أيضًا في قوة المغناطيس الكهربائي؟
3. هل وجدت أي متغيرات، في أي مجموعة، لا تؤثر في قوة المغناطيس الكهربائي؟

التوسع في البحث

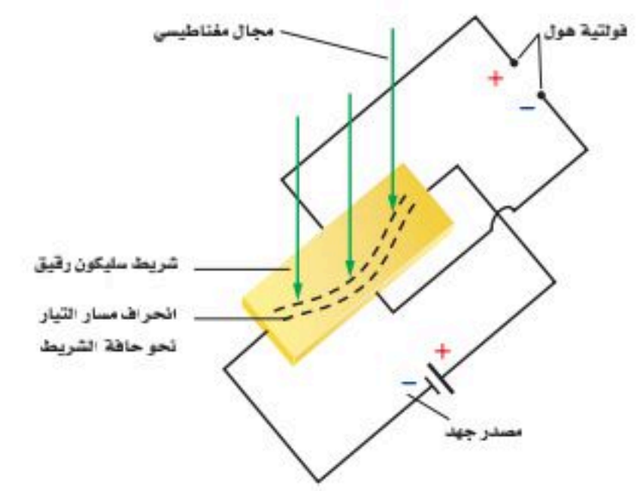
1. قارن بين المتغيرات المختلفة التي وجد الطلاب أنها تؤثر في قوة المغناطيس، وهل تُظهر أي من المتغيرات أنها تُحدث زيادة كبيرة في القوة المغناطيسية دون إحداث تغيير كبير في المتغير المستقل؟ وإذا كان كذلك فما هذه المتغيرات؟
2. إذا أردت زيادة قوة المغناطيس فأي الطرائق تبدو أكثر فاعلية مقارنة بالتكلفة؟ وضّح إجابتك.
3. إذا أردت تغيير قوة المغناطيس الكهربائي بسهولة فما اقتراحك لذلك؟

الفيزياء في الحياة

1. إذا أردت الحصول على مغناطيس كهربائي قوي لاستخدامه في حيز صغير، داخل حاسوب شخصي مثلاً، فما الطريقة التي يمكن من خلالها زيادة قوة المغناطيس الكهربائي خلال هذا الحيز الصغير؟
2. تحوي بعض البنايات مغانط كهربائية معلقة على الجدران تعمل على جعل أبواب الطوارئ مفتوحة عندما تكون البناية مأهولة بالسكان، وهي تشبه الأدوات التي توضع خلف الأبواب للتحكم في فتحها أو إغلاقها.
بالتفكير في نظام إنذار الحريق والإجراءات التي يحتاج إليها للسيطرة على الحريق، ما الفائدة من استخدام مثل هذا النظام في جعل الأبواب مفتوحة؟ وكيف يمكن لهذا النظام أن يكون ميزة جيدة أو سيئة في حالة حدوث كارثة طبيعية؟
3. تعمل بعض الأجراس الكهربائية عن طريق ضرب جانب جرس فلزي على شكل قبة بذراع فلزي. كيف يعمل المغناطيس الكهربائي في هذا الجرس؟ وكيف يمكن توصيل الجرس بطريقة تسمح للذراع بضرب الجرس باستمرار إلى أن ينقطع التيار الكهربائي؟

تأثير هول The Hall Effect

بعض الأشياء البسيطة ومنها انحراف الجسيمات المشحونة بواسطة المجالات المغناطيسية قادت إلى ثورة في كيفية قياس حركة الأشياء، ومنها دواليب الدراجة الهوائية، وحركة عمود الكرنك في السيارة؛ فجميعها تبدأ عند مرور تيار كهربائي خلال موصل عريض ومسطح في وجود مجال مغناطيسي.



يؤدي المجال المغناطيسي إلى مزيد من انحراف الإلكترونات نحو حافة الشريط الرقيق. وهذا يولد ما يسمى فولتية هول.

تكون خطوط القوى للمجال المغناطيسي متعامدة مع سطح الشريط العريض، وهذا يجعل الإلكترونات المتدفقة تتركّز عند جانب واحد من الشريط. وهذا يؤدي إلى أن تنتج فولتية بين طرفي عرض الشريط تسمى فولتية هول، يعتمد مقدارها على شدة المجال المغناطيسي.

اكتشف العالم إدوين هول هذا التأثير عام 1879م. وفي الآونة الأخيرة فقط اكتشفت الأهمية العلمية والصناعية لهذه الظاهرة؛ لأن فولتية هول في الأشرطة الفلزية التقليدية كانت صغيرة. أما الآن فالطبقات الرقيقة جدًّا من السليكون شبه الموصل تنتج فولتية هول كبيرة ولا يستهان بها.

يمكن استخدام تأثير هول للكشف عن موصلية أنواع مختلفة من المواد؛ حيث تزوِّدنا إشارة فولتية تأثير هول بمعلومات عن إشارة الشحنة المتحركة، ويزوِّدنا مقدار الفولتية بمعلومات عن مقدار كثافة الشحنة وسرعتها.

مجس مفيد طوّر المهندسون مجسًّا يعمل وفق تأثير هول. وتحتوي هذه الأجهزة الصغيرة البلاستيكية والسوداء على طبقة رقيقة من السليكون مع أسلاك موصولة بها، كما في الرسم التخطيطي. وترتبط أسلاك فولتية هول بمضخم صغير بحيث يمكن لأجهزة أخرى أن تكتشفها وتستشعرها.

إذا تحرك مغناطيس دائم بالقرب من المجس الذي يعمل وفق تأثير هول فسوف تزداد الفولتية الخارجة من المضخم، لذا يمكن استخدام هذا المجس للكشف عن مدى قرب المغناطيس.

يستخدم المجس الذي يعمل وفق تأثير هول في مقياس سرعة الدراجة الهوائية لقياس سرعتها.

تطبيقات يومية يستخدم مقياس السرعة في الدراجة الهوائية مغناطيسًا دائمًا يُربط مع الدولاب الأمامي. وفي كل دورة للدولاب يقترب المغناطيس من المجس. وتحصى النبضات الناتجة، كما يتم حساب زمنها. وتُستخدم هذه المجسات أيضًا في توقيت إنتاج الشرارة في محركات السيارات؛ فعندما يتحرك المغناطيس المثبت على عمود الكرنك بالقرب من المجس تنتج نبضة جهد، فيطلق نظام الإشعال فورًا شرارة الاشتعال.

التوسع

1. **حلل** لماذا يوضع قطبا فولتية هول بحيث يكونان متقابلين؟ وماذا يحدث إذا لم يوضعا كذلك؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن لمجال مغناطيسي قوي يؤثر في شريط فلزي موصل أن يغير من مقاومة ذلك الشريط بسبب تأثير هول؟

الفصل 6

دليل مراجعة الفصل

6–1 المغانط: الدائمة والمؤقتة Magnets: Permanent and Temporary

المفردات

- المستقطب
- المجال المغناطيسي
- التدفق المغناطيسي
- القاعدة الأولى لليد اليمنى
- الملف اللولبي
- المغناطيس الكهربائي
- القاعدة الثانية لليد اليمنى
- المنطقة المغناطيسية

المفاهيم الرئيسة

- 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 اللولبي الذي يسري فيه تيار كهربائي مجال مغناطيسي، وهذا المجال يشبه المجال المغناطيسي للمغناطيس الدائم.

6–2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية Forces Caused by Magnetic Fields

المفردات

- القاعدة الثالثة لليد اليمنى
- الجلفانومتر
- المحرك الكهربائي
- ملف ذو قلب حديدي

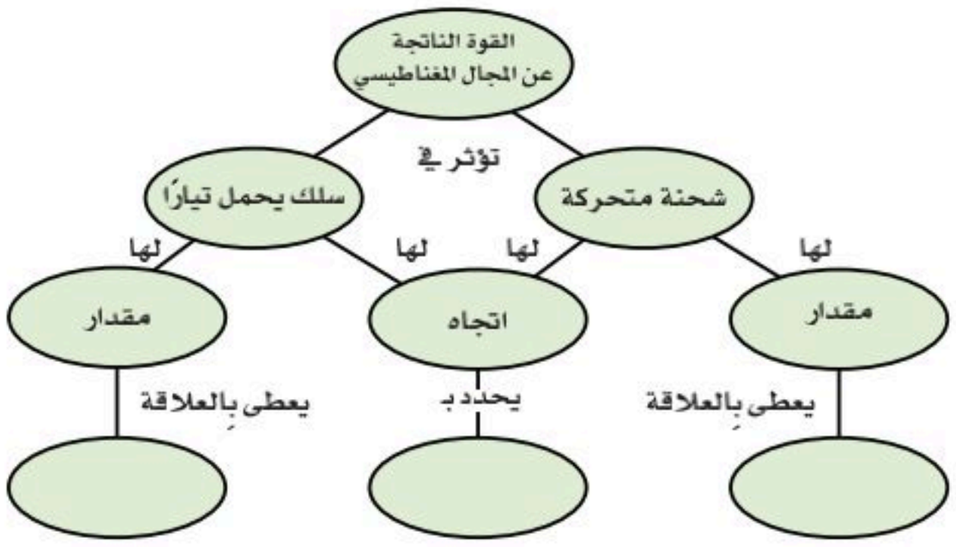
المفاهيم الرئيسة

- تقاس شدة المجال المغناطيسي بوحدة التسلا.
- عند وضع سلك يسري فيه تيار في مجال مغناطيسي فإنه يتأثر بقوة عمودية على اتجاه كل من المجال والسلك.
- القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار موضوع في مجال مغناطيسي تتناسب طرديًّا مع كل من مقدار التيار المار في السلك وطوله وشدة المجال المغناطيسي. $F = ILB$
- يستخدم الجلفانومتر في قياس التيارات الصغيرة، ويحتوي على ملف موضوع في مجال مغناطيسي، وعند مرور تيار كهربائي في الملف يتأثر الملف بقوة تعمل على انحرافه.
- يمكن تحويل الجلفانومتر إلى أميتر بتوصيل ملفه مع مقاومة تسمى مجزئ التيار على التوازي.
- يمكن تحويل الجلفانومتر إلى فولتمتر بتوصيل ملفه مع مقاومة تسمى المضاعف على التوالي.
- يعمل مكبر الصوت أو السماعة عن طريق تغيير التيار المار في ملف موضوع في مجال مغناطيسي. ويتصل الملف بمخروط ورقي يتحرك عندما يتحرك الملف. وعندما يتغير التيار يهتز المخروط محدثًا صوتًا.
- يحتوي المحرك الكهربائي على ملف سلكي موضوع في مجال مغناطيسي، وعندما يمر تيار كهربائي في هذا الملف يدور بتأثير القوة المغناطيسية المؤثرة فيه. ولإكمال دورة كاملة $360°$ يستخدم عاكس يغيّر اتجاه التيار في الملف كل نصف دورة في أثناء دورانه.
- 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. $F = qvB$
- في شاشات الحاسوب والتلفاز تستخدم المغانط في توجيه وتركيز الجسيمات المشحونة على شاشات مفسفرة؛ حيث ينبعث ضوء عند اصطدام تلك الجسيمات بالشاشة، فتتكون الصورة.

الفصل 6
التقويم

خريطة المفاهيم

31. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: قاعدة اليد اليمنى، $F=qvB$، $F=ILB$.



إتقان المفاهيم

32. اكتب قاعدة التنافر والتجاذب المغناطيسي. (1– 6)

33. صف كيف يختلف المغناطيس الدائم عن المغناطيس المؤقت. (1– 6)

34. سمِّ العناصر المغناطيسية الثلاثة الأكثر شيوعًا. (1– 6)

35. ارسم قضيبًا مغناطيسيًّا صغيرًا، وبيّن خطوط المجال المغناطيسي التي تظهر حوله، واستخدم الأسهم لتحديد اتجاه خطوط المجال. (1– 6)

36. ارسم المجال المغناطيسي بين قطبين مغناطيسيين متشابهين وبين قطبين مغناطيسيين مختلفين مبينًا اتجاهات المجال. (1– 6)

37. إذا كسرت مغناطيسًا جزأين فهل تحصل على قطبين منفصلين شمالي وجنوبي؟ وضّح إجابتك. (1– 6)

38. صف كيفية استخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يسري فيه تيار كهربائي. (1– 6)

39. إذا مرّ تيار كهربائي في سلك على شكل حلقة يسري فيه تيار كهربائي فلماذا يكون المجال المغناطيسي داخل الحلقة أكبر من خارجها؟ (1– 6)

40. صف كيفية استخدام القاعدة الثانية لليد اليمنى لتحديد قطبي مغناطيس كهربائي. (1– 6)

41. كل إلكترون في قطعة حديد يشبه مغناطيسًا صغيرًا جدًّا، إلا أن قطعة الحديد قد لا تكون مغناطيسًا. لماذا؟ وضّح إجابتك. (1– 6)

42. لماذا يضعف المغناطيس عند طرقه أو تسخينه؟ (1– 6)

43. صف كيفية استخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار موضوع في مجال مغناطيسي. (2– 6)

44. مر تيار كهربائي كبير في سلك فجأة، ومع ذلك لم يتأثر بأي قوة، فهل تستنتج أنه لا يوجد مجال مغناطيسي في موقع السلك؟ وضّح إجابتك. (2– 6)

45. ما جهاز القياس الكهربائي الناتج عن توصيل مجزئ تيار مع الجلفانومتر؟ (2– 6)

تطبيق المفاهيم

46. أُخفِي مغناطيس صغير في موقع محدّد داخل كرة تنس. صف تجربة يمكنك من خلالها تحديد موقع كل من القطب الشمالي والقطب الجنوبي للمغناطيس.

47. انجذبت قطعة فلزية إلى أحد قطبي مغناطيس كبير. صف كيف يمكنك معرفة ما إذا كانت القطعة الفلزية مغناطيسًا مؤقتًا أم مغناطيسًا دائمًا؟

48. 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.

49. **البوصلة** افترض أنك تهت في غابة، لكنك تحمل بوصلة، ولسوء الحظ كان اللون الأحمر المحدد للقطب الشمالي غير واضح، وكان معك مصباح يدوي وبطارية وسلك. كيف يمكنك تحديد القطب الشمالي للبوصلة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1446

الفصل 6
التقويم

50. يمكــن للمغناطيس جذب قطعة حديد ليســت مغناطيسًا دائمًا، كما يمكن لقضيب مطاط مشحون جذب عازل متعادل. صــف العمليات المجهرية المختلفة التي تُنتج هذه الظواهر المتشابهة.

51. سلك موضوع على طول طاولة المختبر، يسري فيه تيار. صف طريقتين على الأقل يمكنك بهما تحديد اتجاه التيار المار فيه.

52. في أي اتجاه بالنســبة للمجال المغناطيسي يمكنك إمرار تيار كهربائي في ســلك بحيث تكون القوة المؤثرة فيه صغيرة جدًّا أو صفرًا؟

53. سلكان متوازيان يسري فيهما تياران متساويان.

a. إذا كان التياران متعاكسين فأين يكون المجال المغناطيــسي الناتــج عن الســلكين أكبر من المجال الناتج عن أي منهما منفردًا؟

b. أين يكــون المجــال المغناطيــسي الناتج عن السلكين مســاويًا ضعف المجال الناتج عن سلك منفرد؟

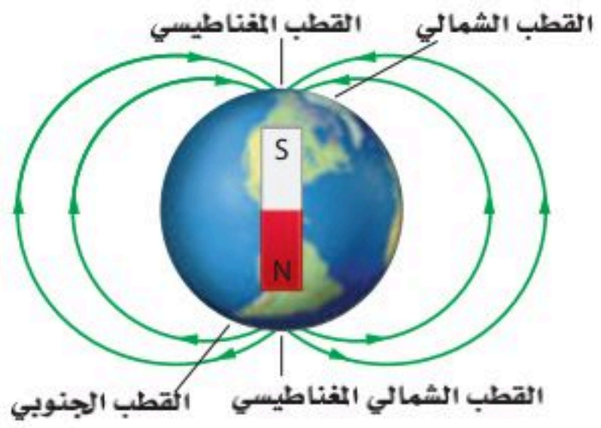
c. إذا كان التياران في الاتجاه نفســه فأين يكون المجال الكلي صفرًا؟

54. كيف يتغير أقصى تدريج للفولتمتر إذا زادت قيمة المقاومة؟

55. يمكن للمجال المغناطيسي أن يؤثر بقوة في جسيم مشــحون، فهل يمكن للمجــال أن يغير الطاقة الحركية للجسيم؟ وضّح إجابتك.

56. تتحرك حزمة بروتونات من الخلف إلى الأمام في غرفة، فانحرفت إلى أعلى عندما أثر فيها مجال مغناطيسي. ما اتجاه المجال المغناطيسي المسبب لانحرافها؟

57. انظر خطوط المجال المغناطيسي الأرضي الموضحة في **الشكل 24–6**. أين يكون المجال المغناطيسي أكبر: عند القطبين أم عند خط الاستواء؟ وضّح إجابتك.

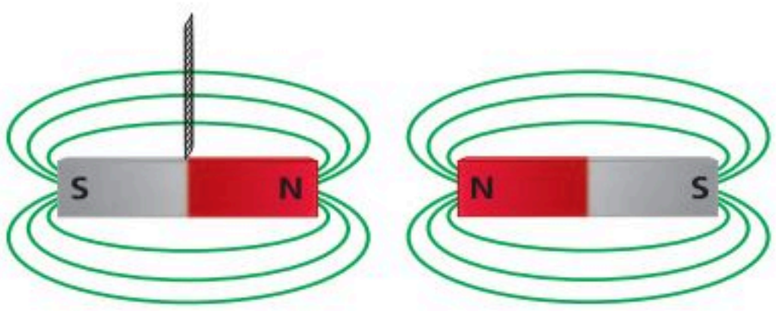


الشكل 24–6

إتقان حل المسائل

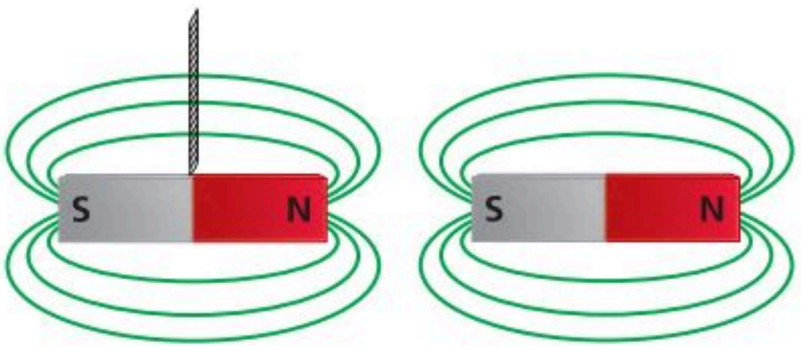
6–1 المغانط: الدائمة والمؤقتة

58. ماذا يحدث للمغناطيس المعلق بالخيط عند تقريب المغناطيس الموضّح في **الشكل 25–6** منه؟



الشكل 25–6

59. ماذا يحدث للمغناطيس المعلق بالخيط عند تقريب المغناطيس الموضّح في **الشكل 26–6** منه؟



الشكل 26–6

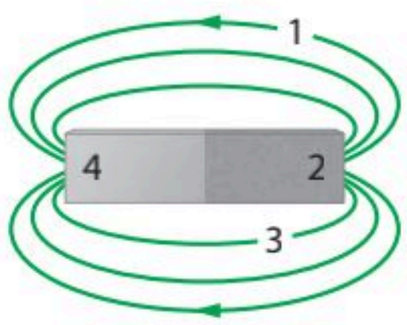
تقويم الفصل 6

60. ارجع إلى **الشكل 27–6** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. أين يقع القطبان؟

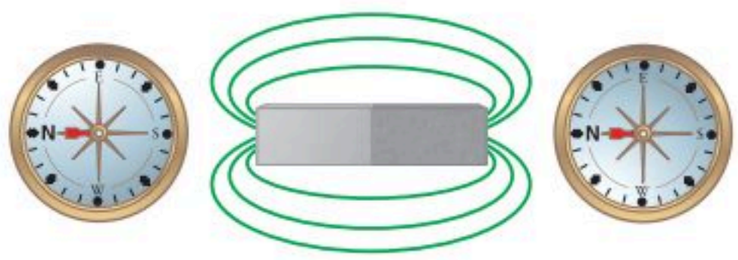
b. أين يقع القطب الشمالي؟

c. أين يقع القطب الجنوبي؟



الشكل 27–6

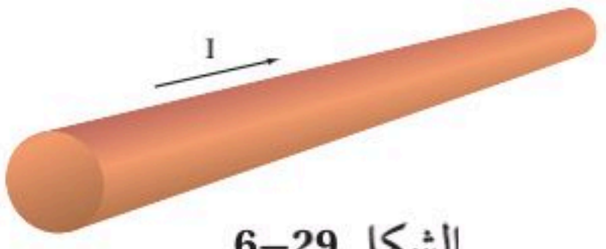
61. يمثل **الشكل 28–6** استجابة البوصلة في موقعين مختلفين بالقرب من مغناطيس. أين يقع القطب الجنوبي للمغناطيس؟



الشكل 28–6

62. سلك طوله 1.50 m يسري فيه تيار مقداره 10.0 A، وضع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم، فكانت القوة المؤثرة فيه 0.60 N. ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر؟

63. يسري تيار اصطلاحي في سلك، كما هو موضّح في **الشكل 29–6**. ارسم قطعة السلك في دفترك، ثم ارسم خطوط المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في السلك.



الشكل 29–6

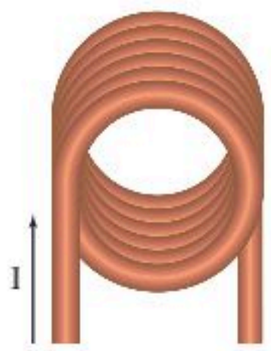
64. إذا كان التيار الاصطلاحي في **الشكل 30–6** خارجًا من مستوى الورقة فارسم الشكل في دفترك، ثم ارسم المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في السلك.

الشكل 30–6

65. يبين **الشكل 31–6** طرف مغناطيس كهربائي يسري خلاله تيار كهربائي.

a. ما اتجاه المجال المغناطيسي داخل الحلقات؟

b. ما اتجاه المجال المغناطيسي خارج الحلقات؟



الشكل 31–6

66. **المغانط الخزفية** قيست قوى التنافر بين مغناطيسين خزفيين، ووجد أنها تعتمد على المسافة، كما هو موضّح في **الجدول 1–6**.

a. مثّل بيانيًّا القوة كدالة مع المسافة.

b. هل تخضع هذه القوة لقانون التربيع العكسي؟

الجدول 1–6

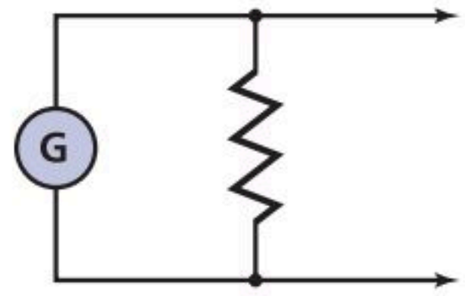
المسافة d (cm)	القوة F (N)
1.0	3.93
1.2	0.40
1.4	0.13
1.6	0.057
1.8	0.030
2.0	0.018
2.2	0.011
2.4	0.0076
2.6	0.0053
2.8	0.0038
3.0	0.0028

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 6

6–2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية

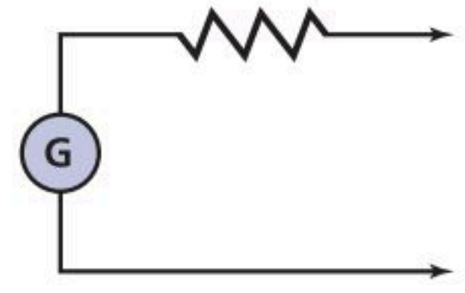
67. يستخدم المخطط الموضّح في **الشكل 32–6** لتحويل الجلفانومتر إلى نوع من الأجهزة. ما نوع هذا الجهاز؟



الشكل 32–6

68. ماذا تسمّى المقاومة في **الشكل 32–6**؟

69. يستخدم المخطط الموضّح في **الشكل 33–6** لتحويل الجلفانومتر إلى نوع من الأجهزة. ما نوع هذا الجهاز؟



الشكل 33–6

70. ماذا تسمّى المقاومة في **الشكل 33–6**؟

71. سلك طوله 0.50 m، يسري فيه تيار مقداره 8.0 A، وضع عموديًّا على مجال مغناطيسي منتظم، فكانت القوة المؤثرة فيه 0.40 N. ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر؟

72. يسري تيار مقداره 5.0 A في سلك طوله 0.80 m، وضع عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.60 T. ما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

73. يسري تيار مقداره 6.0 A في سلك طوله 25 cm، فإذا كان السلك موضوعًا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.30 T عموديًّا عليه فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

74. يسري تيار مقداره 4.5 A في سلك طوله 35 cm، فإذا كان السلك موضوعًا في مجال مغناطيسي مقداره 0.53 T وموازيًا له فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

75. سلك طوله 625 m متعامد مع مجال مغناطيسي مقداره 0.40 T، تأثر بقوة مقدارها 1.8 N، ما مقدار التيار المار فيه؟

76. يؤثر المجال المغناطيسي الأرضي بقوة مقدارها 0.12 N في سلك عمودي عليه طوله 0.80 m. ما مقدار التيار المار في السلك؟ استعمل المقدار $5.0\times10^{-5}\ T$ للمجال المغناطيسي للأرض.

77. إذا كانت القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي مقداره 0.80 T في سلك يسري فيه تيار 7.5 A متعامد معه تساوي 3.6 N فما طول السلك؟

78. سلك لنقل القدرة الكهربائية يسري فيه تيار مقداره 225 A من الشرق إلى الغرب، وهو موازٍ لسطح الأرض.

a. ما القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي الأرضي في كل متر منه؟ استعمل:

$$B_{\text{أرض}} = 5.0 \times 10^{-5}\ T$$

b. ما اتجاه هذه القوة؟

c. تُرى، هل تعدّ هذه القوة مهمة في تصميم البرج الحامل للسلك؟ وضّح إجابتك.

79. **الجلفانومتر** ينحرف مؤشر الجلفانومتر إلى أقصى تدريج عندما يمر فيه تيار مقداره $50.0\ \mu A$

a. ما مقدار المقاومة الكلية للجلفانومتر ليصبح أقصى تدريج له 10.0 V عند انحرافه بالكامل؟

b. إذا كانت مقاومة الجلفانومتر $1.0\ k\Omega$ فما مقدار المقاومة الموصولة على التوالي (المضاعف)؟

تقويم الفصل 6

80. استُخدم الجلفانومتر في المسألة السابقة لصنع أميتر أقصى تدريج له 10 mA، فما مقدار:

a. فرق الجهد خلال الجلفانومتر إذا مر فيه تيار $50\ \mu A$، علمًا بأن مقاومة الجلفانومتر تساوي $1.0\ k\Omega$؟

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؟

81. تتحرك حزمة إلكترونات عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره $6.0\times10^{-2}\ T$، وبسرعة $2.5\times10^{6}\ m/s$. ما مقدار القوة المؤثرة في كل إلكترون؟

82. **الجسيم الأولي** تحرك ميون (جسيم له شحنة مماثلة لشحنة الإلكترون) بسرعة $4.21\times10^{7}\ m/s$ عموديًّا على مجال مغناطيسي، فتأثر بقوة $5.00\times10^{-12}\ N$، ما مقدار:

a. المجال المغناطيسي؟

b. التسارع الذي يكتسبه الجسيم إذا كانت كتلته $1.88\times10^{-28}\ kg$؟

83. إذا كانت القوة المؤثرة في جسيم أحادي التأين $4.1\times10^{-13}\ N$ عندما تحرك عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.61 T، فما مقدار سرعة هذا الجسيم؟

84. يسري تيار كهربائي في حلقة سلكية موضوعة في مجال مغناطيسي منتظم قوي داخل غرفة. افترض أنك أدرت الحلقة بحيث لم يعد هناك أي ميل لها للدوران نتيجة للمجال المغناطيسي، فما اتجاه المجال المغناطيسي بالنسبة إلى مستوى الحلقة؟

85. أثرت قوة $5.78\times10^{-16}\ N$ في جسيم مجهول الشحنة، ومتحرك بسرعة $5.65\times10^{4}\ m/s$ عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره $3.20\times10^{-2}\ T$، ما عدد الشحنات الأساسية التي يحملها الجسيم؟

مراجعة عامة

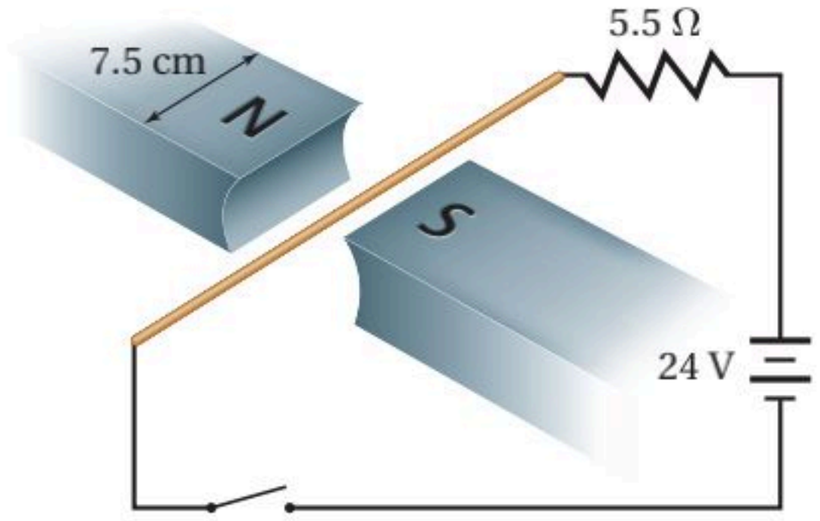
86. وضع سلك نحاسي مهمل المقاومة في الحيز بين مغناطيسين، كما في **الشكل 34–6**. فإذا كان وجود المجال المغناطيسي مقتصرًا على هذا الحيز، وكان مقداره 1.9 T فأوجد مقدار القوة المؤثرة في السلك، واتجاهها في كل من الحالات التالية:

a. عندما يكون المفتاح مفتوحًا.

b. عند إغلاق المفتاح.

c. عند إغلاق المفتاح وعكس البطارية.

d. عند إغلاق المفتاح وتبديل السلك بقطعة مختلفة مقاومتها $5.5\ \Omega$



الشكل 34–6

87. لديك جلفانومتران، أقصى تدريج لأحدهما $50.0\ \mu A$، وللآخر $500.0\ \mu A$، ولملفيهما المقاومة نفسها $855\ \Omega$، والمطلوب تحويلهما إلى أميترين، على أن يكون أقصى تدريج لكل منهما 100.0 mA.

a. ما مقدار مقاومة مجزئ التيار للجلفانومتر الأول؟

b. ما مقدار مقاومة مجزئ التيار للجلفانومتر الثاني؟

c. حدّد أيهما يعطي قراءات أدق؟ وضّح إجابتك.

تقويم الفصل 6

88. **الجسيم الأولي** يتحرك جسيم بيتا (إلكترون له سرعة كبيرة) عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.60 T بسرعة $2.5\times10^{7}\ m/s$. ما مقدار القوة المؤثرة في الجسيم؟

89. إذا كانت كتلة الإلكترون $9.11\times10^{-31}\ kg$ فما مقدار التسارع الذي يكتسبه جسيم بيتا الوارد في المسألة السابقة؟

90. يتحرك إلكترون بسرعة $8.1\times10^{5}\ m/s$ نحو الجنوب في مجال مغناطيسي مقداره 16 T نحو الغرب. ما مقدار القوة المؤثرة في الإلكترون، واتجاهها؟

91. **مكبر الصوت** إذا كان المجال المغناطيسي في سماعة عدد لفات ملفها 250 لفة يساوي 0.15 T، وقطر الملف 2.5 cm فما مقدار القوة المؤثرة في الملف إذا كانت مقاومته 8.0 Ω، وفرق الجهد بين طرفيه 15 V؟

92. يسري تيار مقداره 15 A في سلك طوله 25 cm موضوع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.85 T. فإذا كانت القوة المؤثرة في السلك تعطى بالعلاقة $F=ILB\sin\theta$ فاحسب القوة المؤثرة في السلك عندما يصنع مع المجال المغناطيسي الزوايا التالية:

a. 90° **b.** 45° **c.** 0°

93. **مسرّع نووي** سُرّع إلكترون من السكون خلال فرق جهد مقداره 20000 V بين اللوحين P_1 و P_2، كما هو موضح في **الشكل 35–6**. ثم خرج من فتحة صغيرة، ودخل مجالاً مغناطيسيًّا منتظمًا مقداره B إلى داخل الصفحة.

a. حدّد اتجاه المجال الكهربائي بين اللوحين (من P_1 إلى P_2 أو العكس).

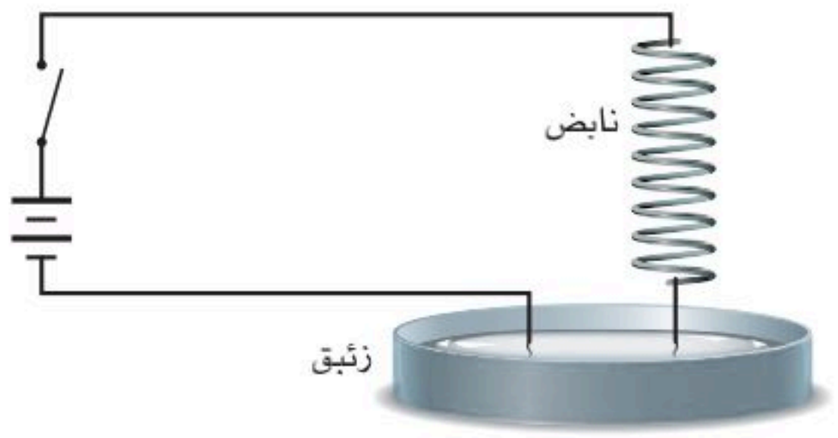
b. احسب سرعة الإلكترون عند P_2 بالاستعانة بالمعلومات المعطاة.

c. صف حركة الإلكترون داخل المجال المغناطيسي.

الشكل 35–6

التفكير الناقد

94. **تطبيق المفاهيم** ماذا يحدث إذا مر تيار خلال نابض رأسي، كما هو موضّح في **الشكل 36–6** وكانت نهاية النابض موضوعة داخل كأس مملوءة بالزئبق؟ ولماذا؟



الشكل 36–6

95. **تطبيق المفاهيم** يُعطى المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار في سلك طويل بالعلاقة $B=(2\times10^{-7}\ T\cdot m/A)(I/d)$؛ حيث تمثل B مقدار المجال بوحدة T (تسلا)، و I التيار بوحدة A(أمبير)، و d البعد عن السلك بوحدة m. استخدم هذه العلاقة لحساب المجالات المغناطيسية التي تتعرض لها في الحياة اليومية:

a. نادرًا ما يمر في أسلاك التمديدات المنزلية تيار أكبر من 10 A. ما مقدار المجال المغناطيسي على بُعد 0.5 m من سلك مماثل لهذه الأسلاك مقارنة بالمجال المغناطيسي الأرضي.

b. يسري في أسلاك نقل القدرة الكهربائية الكبيرة غالبًا تيار 200 A بجهد أكبر من 765 kV. ما مقدار المجال المغناطيسي الناتج عن سلك من هذه الأسلاك على سطح الأرض على افتراض أنه يرتفع عن سطحها 20 m؟ وما مقدار المجال مقارنة بالمجال في المنزل؟

c. تنصح بعض المجموعات الاستهلاكية المرأة الحامل بعدم استخدام البطانية الكهربائية؛ لأن المجال المغناطيسي يسبب مشاكل صحية. قدِّر المسافة التي يمكن أن يكون فيها الجنين بعيدًا عن السلك، موضحًا فرضيتك. إذا كانت البطانية تعمل على تيار 1 A فأوجد المجال المغناطيسي عند موقع الجنين. وقارن بين هذا المجال والمجال المغناطيسي الأرضي.

96. **جمع المتجهات** في جميع الحالات الموصوفة في المسألة السابقة هناك سلك آخر يحمل التيار نفسه في الاتجاه المعاكس. أوجد المجال المغناطيسي المحصل على بُعد 0.10 m من السلك الذي يسري فيه تيار 10 A. إذا كانت المسافة بين السلكين 0.01 m فارسم شكلاً يوضّح هذا الوضع. احسب مقدار المجال المغناطيسي الناتج عن كل سلك، واستخدم القاعدة الأولى لليد اليمنى لرسم متجهات توضّح المجالات. واحسب أيضًا حاصل الجمع الاتجاهي للمجالين مقدارًا واتجاهًا.

الكتابة في الفيزياء

97. 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

98. احسب الشغل الذي يتطلبه نقل شحنة مقدارها 6.40×10^{-3} C خلال فرق جهد مقداره 2500 V. (الفصل 3)

99. إذا تغير التيار المار في دائرة جهدها 120 V من 1.3 A إلى 2.3 A فاحسب التغير في القدرة. (الفصل 4)

100. 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؟ (الفصل 5)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. يسري تيار مقداره 7.2 A في سلك مستقيم موضوع في مجال مغناطيسي منتظم 8.9×10^{-3} T وعمودي عليه. ما طول جزء السلك الموجود في المجال الذي يتأثر بقوة مقدارها 2.1 N؟

(A) 2.6×10^{-3} m (C) 1.3×10^{-1} m

(B) 3.1×10^{-2} m (D) 3.3×10^{1} m

2. افترض أن جزءًا طوله 19 cm من سلك يسري فيه تيار متعامد مع مجال مغناطيسي مقداره 4.1 T، ويتأثر بقوة مقدارها 7.6 mN، ما مقدار التيار المار في السلك؟

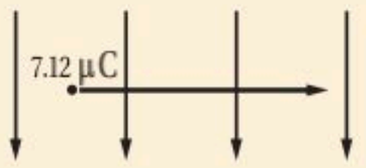
(A) 3.4×10^{-7} A (C) 1.0×10^{-2} A

(B) 9.8×10^{-3} A (D) 9.8 A

3. تتحرك شحنة مقدارها 7.12 μC بسرعة الضوء في مجال مغناطيس مقداره 4.02 mT. ما مقدار القوة المؤثرة فيها؟

(A) 8.59 N (C) 8.59×10^{12} N

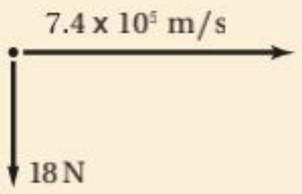
(B) 2.90×10^{1} N (D) 1.00×10^{16} N



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؟

(A) 6.5×10^{-15} T (C) 1.3×10^{7} T

(B) 2.4×10^{-5} T (D) 1.5×10^{14} T



5. أي العوامل التالية لا يؤثر في مقدار المجال المغناطيسي لملف لولبي؟

(A) عدد اللفات (C) مساحة مقطع السلك

(B) مقدار التيار (D) نوع قلب الملف

6. أي العبارات التالية المتعلقة بالأقطاب المغناطيسية المفردة غير صحيحة؟

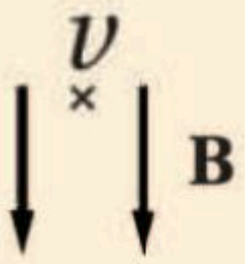
(A) القطب المغناطيسي المفرد قطب افتراضي شمالي مفرد.

(B) استخدمها علماء البحث في تطبيقات التشخيص الطبي الداخلي.

(C) القطب المغناطيسي المفرد قطب افتراضي جنوبي مفرد.

(D) غير موجودة.

7. مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.25 T يتجه رأسيًّا إلى أسفل، دخل فيه بروتون بسرعة أفقية مقدارها 4.0×10^{6} m/s. ما مقدار القوة المؤثرة في البروتون واتجاهها لحظة دخوله المجال؟



(A) 1.6×10^{-13} N إلى اليسار

(B) 1.6×10^{-13} N إلى أسفل

(C) 1.0×10^{6} N إلى أعلى

(D) 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 أدّيت 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 تحُول دون ارتكاب أخطاء بسيطة قد تجعلك تؤدي الاختبار بصورة سيئة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

دليل الرياضيات

يمكنك الإطلاع على الدليل من خلال
زيارة الرابط التالي:

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	pascal	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
	$1atm = 1.01 \times 10^5 N/m^2$	$1 mol = 6.022 \times 10^{23}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الجداول

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		
الدلالة العلمية	الرمز	البادئة
10^{-15}	f	femto
10^{-12}	p	pico
10^{-9}	n	nano
10^{-6}	μ	micro
10^{-3}	m	milli
10^{-2}	c	centi
10^{-1}	d	deci
10^{1}	da	deka
10^{2}	h	hecto
10^{3}	k	kilo
10^{6}	M	mega
10^{9}	G	giga
10^{12}	T	terra
10^{15}	P	peta

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

الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة 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

الجداول

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
الطول الموجي (nm) بالنانومتر	اللون
430–380	الضوء البنفسجي
450–430	الضوء النيلي
500–450	الضوء الأزرق
520–500	الضوء الأزرق الداكن
565–520	الضوء الأخضر
590–565	الضوء الأصفر
625–590	الضوء البرتقالي
740–625	الضوء الأحمر

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
m/s	الوسط
331	هواء (0°)
343	هواء (20°)
972	هيليوم (0°)
1286	هيدروجين (0°)
1493	ماء (25°)
1533	ماء البحر (0°)
1600	مطاط
3560	نحاس (25°)
5130	حديد (25°)
5640	زجاج التنور
12000	ألماس

المصطلحات

أ

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، ويستخدم لقياس التيار الكهربائي المار في أيّ جزء من من أجزاء الدائرة.

أهداب التداخل fringes interference نمط من حزم مضيئة ومعتمة يتكوّن على شاشة، نتيجة التداخل الهدّام والتداخل البنّاء لموجات الضوء المارة خلال شقين - في حاجز - متقاربين.

ب

البطارية Battery جهاز مصنوع من عدة خلايا جلفانية متصل بعضها ببعض، تعمل على تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية.

ت

التأريض Grounding عملية التخلص من الشحنة الكهربائية الفائضة على الجسم بتوصيله بالأرض.

التداخل في الأغشية الرقيقة thin-film interference: الظاهرة التي ينتج عنها طيف الألوان بسبب التداخل البنّاء والتداخل الهدّام.

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 مرور للشحنات الموجبة من منطقة الجهد المرتفع إلى منطقة الجهد المنخفض.

التيار الكهربائي Electric current تدفق جسيمات مشحونة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

المصطلحات

ج

الجلفانومتر Galvanometer جهاز يستخدم لقياس التيارات الكهربائية الصغيرة جدًّا، ويمكن تحويله إلى أميتر أو فولتمتر.

ح

حفظ الشحنة Save charge: الشحنات لا تفنى ولا تستحدث، ولكن يمكن فصلها؛ لذا فإن الكمية الكلية للشحنة- عدد الألكترونات السالبة والأيونات الموجبة- في الدائرة لا تتغير.

خ

خط المجال الكهربائي Electric field lines الخطوط التي تكوِّن صورة لمجال كهربائي، 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.

الدائرة الكهربائية المركبة Combination series - parallel circuit دائرة كهربائية معقدة تتضمن توصيلات على التوالي وعلى التوازي معًا.

المصطلحات

ذ

الذرة المتعادلة Neutral الذرة التي تساوي الشحنة الموجبة لنواتها الشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول هذه النواة.

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

الشحن بالتوصيل Charging by conduction عملية شحن جسم متعادل بملامسته لجسم آخر مشحون.

الشحن بالحث Charging by induction عملية شحن جسم متعادل دون ملامسته، وتتم هذه العملية بتقريب جسم مشحون إليه، فيؤدي ذلك إلى فصل شحنات الجسم المتعادل، ليصبح الجسم نفسه مشحونًا بشحنتين مختلفتين ومتساويتين.

الشحنة الأساسية (الأولية) Elementary charge مقدار الشحنة الكهربائية لإلكترون واحد.

شحنة الاختبار Test charge: شحنة موجبة موجودة على جسيم صغير وتستعمل لاختبار المجال؛ بحيث لا تؤثر في الشحنات الأخرى.

ض

الضوء الأحادي اللون monochromatic light: الضوء الذي له طول موجي واحد فقط.

الضوء غير المترابط incoherent light: ضوء بمقدمات موجية غير متزامنة تضيء الأجسام بضوء أبيض منتظم، أو هو ضوء يتكون من موجات مختلفة في الطور؛ قِممُها وقيعانها غير متوافقة.

الضوء المترابط coherent light: ضوء من مصدرين أو أكثر، يولّد تراكبه موجة ذات مقدمات منتظمة، أو هو موجات ضوء تكون في درجات متطابقة في القمم والقيعان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

المصطلحات

ف

فرق الجهد الكهربائي Electric potential difference التغير في طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنة داخل مجال كهربائي.

الفولت Volt وحدة تساوي واحد جول لكل كولوم 1 J /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

القاعدة الأولى لليد اليمنى First right – hand rule طريقة مستخدمة لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي نسبة إلى اتجاه التيار الاصطلاحي.

القاعدة الثانية لليد اليمنى second right– hand rule طريقة مستخدمة في تحديد اتجاه المجال المتولد بواسطة مغناطيس كهربائي بالنسبة إلى اتجاه تدفق التيار الاصطلاحي.

القاعدة الثالثة لليد اليمنى Third right– hand rule طريقة يمكن استخدامها لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يحمل تيارًا والسلك موجود داخل مجال مغناطيسي.

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.

قانون كولوم Coulomb's law ينص على أن القوة الكهربائية بين شحنتين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما.

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.

ك

الكشّاف الكهربائي Electroscope جهاز يستعمل للكشف عن الشحنات الكهربائية، ويتركب من قرص فلزي مثبت على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين، تسميان الورقتين.

الكهرباء الساكنة (الكهرسكونية) Electrostatics شحنات كهربائية تتجمع وتُحتجز في مكان ما.

المصطلحات

الكولوم Coulomb وحدة قياس الشحنة الكهربائية حسب النظام الدولي للوحدات SI، وهو يساوي مقدار شحنة إلكترون أو بروتون.

الكيلوواط.ساعة Kilowatt–hour وحدة طاقة تستخدمها شركات الكهرباء لقياس الطاقة المُستهلكة؛ 1 kWh يساوي 1000 W تصل بشكل مستمر لمدة 3600 s (1 h).

م

المادة العازلة Insulator مادة، مثل الزجاج، لا تنتقل خلالها الشحنات بسهولة.

المادة الموصلة Conductor مادة، مثل النحاس، تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة.

المجال الكهربائي Electric field المجال الموجود حول أي جسم مشحون؛ حيث يولّد قوة كهربائية يمكنها أن تنجز شغلاً، مما يؤدي إلى نقل طاقة من المجال إلى أي جسم آخر مشحون.

المجالات المغناطيسية Magnetic field منطقة محيطة بالمغناطيس أو حول سلك أو ملف سلكي يتدفق فيه تيار؛ حيث توجد قوة مغناطيسية.

المكثف الكهربائي the capacitor: جهاز يعمل على تخزين الشحنات الكهربائية.

مجزّئ الجهد Voltage divider دائرة توالٍ، تستخدم لإنتاج مصدر جهد بالمقدار المطلوب من بطارية ذات جهد كبير، ويستخدم عادة بوصفه مجسًّا حساسًا كما في المقاوِمات الضوئية.

محزوز الحيود diffraction grating أداة تتكوّن من عدد كبير من الشقوق المفردة المتقاربة جدًّا. ويؤدي المحزوز إلى حيود الضوء، وتكوين نمط الحيود الذي يتكوّن نتيجة تراكب أنماط حيود الشق المفرد، ويستخدم الحيود في قياس الطول الموجي للضوء بدقة أو لفصل الضوء وفق الأطوال الموجبة المختلفة.

المحرك الكهربائي Electric motor جهاز يحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية دورانية.

معيار ريليه Rayleigh criterion ينصّ على أنه إذا سقطت البقعة المركزية المضيئة للصورة على الحلقة المعتمة الأولى للصورة الثانية تكون الصور في حدود التحليل (التمييز).

المستقطب Polarization تصف خاصية امتلاك جسم ما منطقتين مختلفتين عند نهايتيه، إحداهما تُسمّى الباحثة عن القطب الشمالي، وتسمى الأخرى الباحثة عن القطب الجنوبي.

المغناطيس الكهربائي Electromagnet مغناطيس ناتج عن مرور التيار الكهربائي بملف سلكي.

المقاوم الكهربائي resistor جهاز ذو مقاومة محددة، قد يكون مصنوعًا من أسلاك رفيعة وطويلة أو من الجرافيت أو من مادة شبه موصلة، ويستخدم 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

المصطلحات

المقاومة المكافئة Equivalent resistance مقاومة مفردة تحل محل مجموعة مقاوِمات (موصولة على التوالي أو التوازي أو كليهما معًا)، بحيث يكون لهذه المقاومة نفس التيار والجهد الذي لمجموعة المقاوِمات؛ أي يمر فيها نفس التيار المار في مجموعة المقاوِمات، ويكون لها نفس هبوط الجهد على طرفي مجموعة المقاومات.

الملف اللولبي Solenoid ملف سلكي طويل يتكون من عدة لفات، ويضاف المجال الناتج عن كل لفة إلى مجال اللفة الأخرى بحيث يولّد مجالًا مغناطيسيًّا كليًّا قويًّا.

الملف ذو القلب الحديدي Armature ملف سلكي لمحرك كهربائي، مصنوع من عدة لفات حول محور أو أسطوانة حديدية؛ العزم على المتحرض ومحصلة سرعة المحرك تضبط بواسطة تغيّر التيار في المحرك.

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 10μ–1000μ تتشكل عندما تترتب خطوط المجال المغناطيسي للإلكترونات في مجموعة الذرات المتجاورة في الاتجاه نفسه.

الموصل الفائق التوصيل Superconductor مادة مقاومتها صفر، وتوصل الكهرباء دون فقدان أو ضياع في الطاقة.

ن

نمط الحيود diffraction pattern: نمط يتكوّن على الشاشة، ينتج عن التداخل البنّاء والتداخل الهدّام لمويجات هويجنز.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446