

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

فيزياء ٣

التعليم الثانوي- نظام المقررات

(مسار العلوم الطبيعية)



قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة ١٤٤٣ - ٢٠٢١

ح) وزارة التعليم ، ١٤٣٩هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

وزارة التعليم

فيزياء ٣- التعليم الثانوي - نظام المقررات - مسار العلوم الطبيعية.

وزارة التعليم- الرياض، ١٤٣٩هـ

٢٩٤ ص؛ ٢٧،٥ × ٢١ سم

ردمك: ٦- ٦٦٤- ٥٠٨- ٦٠٣- ٩٧٨

١- فيزياء ٣- كتب دراسية

٢- التعليم الثانوي -

السعودية - كتب دراسية

أ. العنوان

١٤٣٩/٩٥٢٧

ديوي ٣٧٥,٥٣

رقم الإيداع: ١٤٣٩/٩٥٢٧

ردمك: ٦- ٦٦٤- ٥٠٨- ٦٠٣- ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إلكترونية وداعمة على "منصة عين"



IEN.EDU.SA

تواصل بمقترحاتك لتطوير الكتاب المدرسي



FB.T4EDU.COM



وزارة التعليم

Ministry of Education

2021 - 1443

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 تسبب ضرراً 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 جيداً.
 درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
 الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المديبة، 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 (الفتائل).	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، سواحل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معزاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
 المواد المهيجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقياً 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 وتتلطفها.	المبيضات مثل فوق أكسيد الهيدروجين والأمحاض 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 ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيداً بعد الانتهاء من العمل، واذبح إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
 مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكبروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلباً للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.
 اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف (لطلاب)، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلباً للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

غسل اليدين

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



نشاط إشعاعي

يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.



سلامة الحيوانات

يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.



وقاية الملابس

يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعاً أو حريقاً للملابس.



سلامة العين

يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.



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 (٢٠٣٠) 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 ٣) لنظام المقررات في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيهما هو محور العملية التعليمية التعليمية.

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 مروراً بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد جاء هذا الكتاب في ثمانية فصول، هي: أساسيات الضوء، والانعكاس والمرآيا، والانكسار والعدسات، والتداخل والحيود، والكهرباء الساكنة، والمجالات الكهربائية، والكهرباء التيارية، ودوائر التوالي والتوازي الكهربائية. وسوف نتعرف في هذا الصف بعض الكميات الفيزيائية المستخدمة لوصف الضوء مثل التدفق الضوئي والاستضاءة، وتدرس الطبيعة الموجية للضوء، وانعكاس الضوء عن المرايا المستوية والكروية، وتتعرف صفات الصور التي تكوّنونها، وتحل مسائل باستخدام معادلة المرايا الكروية. كما يعرض الكتاب انكسار الضوء، والعدسات المحدبة والمقعرة وقانون سنل، وتطبيقات على انكسار الضوء، ودراسة ظاهرتي حيود الضوء وتداخله. وستتعرف أيضاً مفهوم الكهروستاتيكية والقوة الكهربائية وتوليد المجالات الكهربائية وقياسها، ودراسة بعض التطبيقات عليها، وتوليد الطاقة الكهربائية ونقلها، وتمثيل الدوائر الكهربائية، وتتعرف الدوائر الكهربائية وطرق توصيلها وبعض التطبيقات عليها.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (٢٠٣٠) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج

العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطلاب 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 فكر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلاكية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلاكية 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 التعليمية، ومنها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (٢٠٣٠) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل 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.

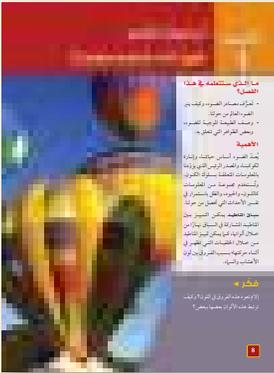
وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلاكية بوصفها تقويمًا قبليًا تشخيصيًا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمس 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

- 8..... أساسيات الضوء.
- 9 1-1 الاستضاءة
- 18 1-2 الطبيعة الموجية للضوء.....



الفصل 2

- 40..... الانعكاس والمرآيا.
- 41 2-1 الانعكاس عن المرآيا المستوية.....
- 48 2-2 المرآيا الكروية.....



الفصل 3

- 68..... الانكسار والعدسات.
- 69 3-1 انكسار الضوء
- 78 3-2 العدسات المحدبة والمقعرة
- 86 3-3 تطبيقات العدسات



الفصل 4

- 100..... التداخل والحيود.
- 101 4-1 التداخل
- 111 4-2 الحيود



قائمة المحتويات

الفصل 5

- الكهرباء الساكنة 128
- 5-1 الشحنة الكهربائية 129
- 5-2 القوة الكهربائية 135



الفصل 6

- المجالات الكهربائية 156
- 6-1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها 157
- 6-2 تطبيقات المجالات الكهربائية 165



الفصل 7

- الكهرباء التيارية 192
- 7-1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية 193
- 7-2 استخدام الطاقة الكهربائية 205



الفصل 8

- دوائر التوالي والتوازي الكهربائية ... 222
- 8-1 الدوائر الكهربائية البسيطة 223
- 8-2 تطبيقات الدوائر الكهربائية 234
- دليل الرياضيات 253
- الجدوال 284
- المصطلحات 287



Fundamentals of Light

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تعرّف مصادر الضوء، وكيف ينير الضوء العالم من حولنا.
- وصف الطبيعة الموجية للضوء، وبعض الظواهر التي تتعلق به.

الأهمية

يُعدّ الضوء أساس حياتنا، وإنارة لكوكبنا، والمصدر الرئيس الذي يزوّدنا بالمعلومات المتعلقة بسلوك الكون. وتُستخدم مجموعة من المعلومات كاللون، والحيود، والظل باستمرار في تفسير الأحداث التي تحصل من حولنا. سباق المناطيد يمكن التمييز بين المناطيد المشاركة في السباق نهارًا من خلال ألوانها، كما يمكن تمييز المناطيد من خلال الخلفيات التي تظهر في أثناء حركتها؛ بسبب الفروق بين لون الأعشاب والسماء.

فكر

إلّا تعود هذه الفروق في اللون؟ وكيف ترتبط هذه الألوان بعضها ببعض؟

كيف يمكنك تحديد مسار الضوء في الهواء؟

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

الخطوات

1. اثقب بطاقة فهرسة بالثقب عند مركزها.
2. استخدم مشبكين في تثبيت البطاقة رأسياً، بحيث تكون حافتها الطويلة على سطح الطاولة.
3. أشعل المصباح ودع زميلك يحملة، مراعيًا مرور أشعة المصباح الضوئي من خلال الثقب الموجود في البطاقة.
4. احمل مرآة في الجانب المقابل للبطاقة، بحيث يصطدم الضوء المار من خلال الثقب بالمرآة، ثم عتّم الغرفة.
5. حرّك المرآة وأملها بحيث تعكس الشعاع الضوئي

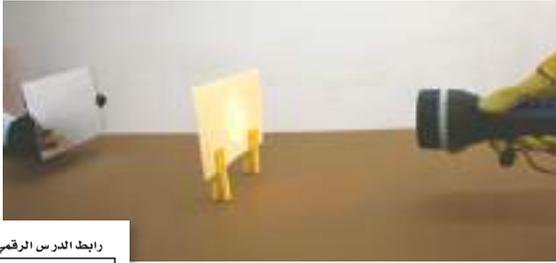
وتسقطه على البطاقة. تحذير: احذر من عكس الشعاع الضوئي في اتجاه عيون زملائك في المختبر.

6. سجّل ملاحظاتك

التحليل

صِف صورة الشعاع الضوئي المنعكس التي تشاهدها على بطاقة الفهرسة، والمسار الذي سلكه الشعاع الضوئي.

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



رابط الدرس الرقمي



www.iien.edu.sa

1-1 الاستضاءة Illumination

الضوء والصوت وسيلتان نحصل عن طريقهما على المعلومات. والضوء وسيلة توفر أكبر مجموعة متنوعة من المعلومات، حيث تستطيع العين البشرية تحسّس التغيرات البسيطة جدًا في حجم الجسم وموقعه وسطوعه، إضافة إلى لونه، كما تميّز أعيننا في العادة بين الظلال والأجسام الصلبة، وتستطيع أحيانًا التمييز بين انعكاسات الأجسام والأجسام نفسها. وستتعلم في هذا الفصل من أين يأتي الضوء؟ وكيف يضيء الكون من حولنا؟

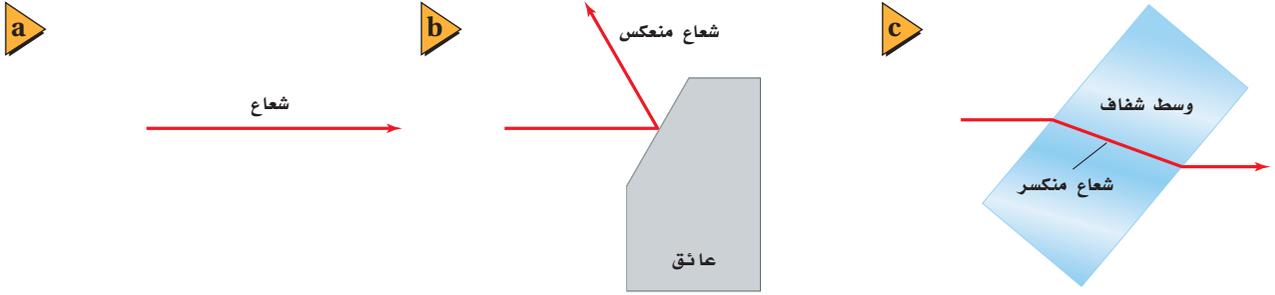
يسير الضوء في خطوط مستقيمة، فكيف تثبت ذلك؟ عندما تدخل حزمة ضوئية ضيقة - مثل ضوء المصباح الكهربائي أو ضوء الشمس - عبر النافذة فإن دقائق الغبار المنتشرة في الهواء تجعل الضوء مرئيًا، وترى مسار الضوء على شكل خط مستقيم. وعندما يعترض جسمك ضوء الشمس ترى هيئة جسمك في صورة ظل. وعندما تضع جسمًا أمام عينيك وتحرك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

الأهداف

- تطوّر نموذج الشعاع الضوئي.
- تتوقع تأثير البعد في الاستضاءة.
- تحل مسائل تتضمن سرعة الضوء.

المفردات

نموذج الشعاع الضوئي
المصدر المضيء
المصدر المستضيء (المُضاء)
الوسط غير الشفاف (المعتّم)
الوسط الشفاف
الوسط شبه الشفاف
التدفق الضوئي
الاستضاءة



نموذج الشعاع الضوئي Ray Model of Light

اعتقد العالم إسحق نيوتن - الذي درست قوانينه في الحركة سابقاً - أن الضوء سليل من جسيمات متناهية في الصغر لا يمكن تخيلها، تتحرك بسرعة كبيرة جداً، أطلق عليها اسم جسيمات. ولم يستطع نموذج نيوتن تفسير خصائص الضوء جميعها؛ إذ بينت التجارب أن الضوء يسلك أيضاً سلوك الموجات. وفي **نموذج الشعاع الضوئي** يُمثل الضوء على شكل شعاع ينتقل في خط مستقيم ويتغير اتجاهه فقط إذا اعترض مساره حاجزاً، كما يتضح من الشكل 1-1. لقد قُدِّم نموذج الشعاع الضوئي بوصفه طريقة لدراسة كيفية تفاعل الضوء مع المادة، بغض النظر عما إذا كان الضوء جسيماً أو موجة. وتسمى دراسة الضوء بهذه الطريقة البصريات أو البصريات الهندسية.

مصادر الضوء تنبعث أشعة الضوء من مصادرها، وتعد الشمس المصدر الرئيس للضوء. وهناك مصادر طبيعية أخرى للضوء، منها اللهب والشرر، وبعض أنواع الحشرات مثل اليراع. وتمكّن الإنسان خلال المئة سنة الماضية من إيجاد أنواع أخرى من مصادر الضوء، منها المصابيح المتوهجة، والفلورسنتية، وأشعة الليزر، والصمامات الثنائية الباعثة للضوء، وجميعها ناتجة عن استخدام الإنسان للكهرباء لينتج الضوء.

ما الفرق بين ضوء الشمس وضوء القمر؟ ضوء الشمس أكثر سطوعاً من الضوء الذي يصلنا من القمر، وهناك فرق آخر أساسي ومهم بينهما، وهو أن الشمس **مصدر مضيء**؛ أي أنها جسم يبعث ضوءاً من ذاته، أمّا القمر فيُعدُّ **مصدرًا مستضيئًا (مُضاءً)**؛ أي أنه جسم يصبح مرئياً نتيجة انعكاس الضوء عنه، كما يتضح من الشكل 1-2. فالمصابيح المتوهجة - ومنها المصابيح الكهربائية الشائعة الاستخدام - مضيئة؛ لأن الطاقة الكهربائية تُسخن سلك التنجستن الرفيع الموجود في المصباح، مما يؤدي إلى توهجه. وتبعث المصابيح المتوهجة الضوء نتيجة درجة حرارتها العالية. ويعمل العاكس المثبت على الدراجة الهوائية عمل مصدر مستضيء؛ حيث صُمِّم ليصبح مرئياً بشدة عندما يُضاء بواسطة أضواء السيارة الأمامية.

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

■ الأشعة الضوئية باللون الأحمر.

■ الشكل 1-2 تعمل الشمس عمل مصدر مضيء للأرض والقمر، ويعمل القمر عمل مصدر مُضاء يضيء الأرض. (الرسم التوضيحي ليس بمقياس رسم)





■ الشكل 1-3 يسمح الزجاج الشفاف للأجسام أن تُرى من خلاله (a). ويسمح غطاء المصباح شبه الشفاف للضوء بالمرور من خلاله، على الرغم من أن المصباح (مصدر الضوء) نفسه غير مرئي (b). والقماش البلاستيكي غير الشفاف (المعتم) الذي يغطي المصباح يحول دون رؤيته (c).

تكون المصادر المستضيئة مرئية بالنسبة لك؛ لأن الضوء ينعكس عن الجسم أو ينفذ من خلاله ليصل إلى عينيك. ويُسمّى الوسط الذي لا يمر الضوء من خلاله ويعكس بعض الضوء **وسطاً غير شفاف** (أي معتمًا)، في حين يُسمّى الوسط الذي يمر الضوء من خلاله مثل الهواء والزجاج **وسطاً شفافاً**. أما الوسط الذي يمر الضوء من خلاله ولا يسمح للأجسام أن تُرى بوضوح فيُسمّى **وسطاً شبه شفاف**، فمظلة المصباح مثال على الأجسام المصنوعة من أوساط شبه شفافة. ويبين الشكل 1-3 أنواع الأوساط الثلاثة. إن الأوساط الشفافة أو شبه الشفافة لا تمرّ الضوء فقط، بل يمكنها أن تعكس جزءاً منه أيضاً؛ فمثلاً تستطيع رؤية صورة جسمك على نافذة الزجاج أحياناً.

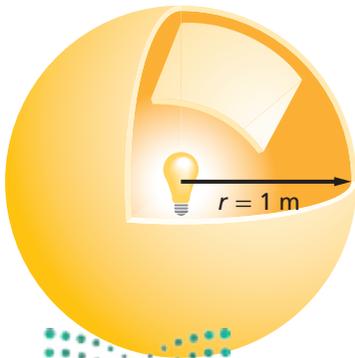
كمية الضوء إن معدل انبعاث طاقة الضوء من المصدر المضيء يُسمّى **التدفق الضوئي** P، ويُقاس التدفق الضوئي بوحدة لومن (lm)، فالمصباح الكهربائي المتوهج الذي قدرته 100 W يصدر 1750 lm تقريباً. وتستطيع أن تفكر في التدفق الضوئي بوصفه مقياساً لمعدل انبعاث الأشعة الضوئية من المصدر المضيء. تخيّل أنك وضعت مصباحاً كهربائياً في مركز كرة نصف قطرها 1 m، كما في الشكل 1-4، سيبعث المصباح الضوء في الاتجاهات جميعها تقريباً؛ أي أن تدفقاً ضوئياً بمقدار 1750 lm يصف الضوء جميعه الذي يصطدم بالسطح الداخلي للكرة خلال وحدة الزمن. وحتى لو كان نصف قطر الكرة 2 m فإن التدفق الضوئي للمصباح الكهربائي على هذه الكرة سيساوي التدفق الضوئي نفسه على الكرة التي نصف قطرها 1 m؛ وذلك لأن العدد الكلي للأشعة الضوئية الصادرة عن المصباح لا يتغير.

وبمعرفة كمية الضوء المنبعثة من المصدر المضيء يمكنك تحديد مقدار الإضاءة التي يزودها المصدر المضيء لجسم، كالكتاب مثلاً. إن إضاءة سطح، أو بمعنى آخر معدل اصطدام الضوء بوحدة المساحات للسطح يُسمّى **الاستضاءة E**. ويمكنك أن تفكر في هذا الأمر بوصفه مقياساً لعدد الأشعة الضوئية التي تصطدم بسطح ما. وتُقاس الاستضاءة بوحدة اللوكس lx التي تساوي لومن لكل متر مربع، lm/m^2 .

ما مقدار استضاءة السطح الداخلي للكرة، مستعيناً بالتركيب الموضح في الشكل 1-4؟ تُحسب المساحة السطحية للكرة من خلال المعادلة $4\pi r^2$ ، لذا تكون المساحة السطحية لهذه الكرة $4\pi (1.00 \text{ m})^2 = 4\pi \text{ m}^2$. والتدفق الضوئي الذي يصطدم بكل متر مربع من الكرة يساوي $1750 \text{ lm} / (4\pi \text{ m}^2) = 139 \text{ lx}$ ؛ أي يسقط على بعد 1.00 m من المصباح 139 lm على كل متر مربع، لذا تكون استضاءة السطح الداخلي للكرة 139 lx.

■ الشكل 1-4 التدفق الضوئي يساوي معدل انبعاث الضوء من المصدر المضيء. في حين تساوي الاستضاءة معدل سقوط الضوء على السطح.

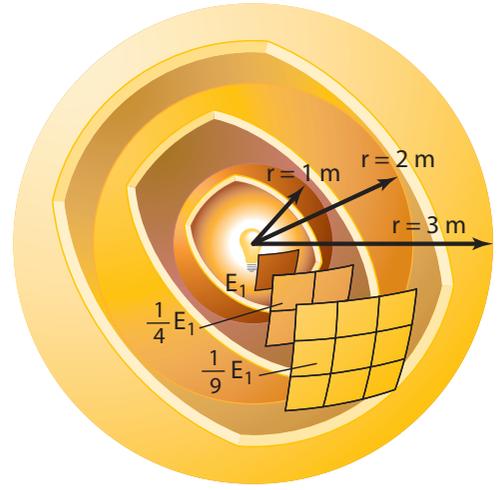
التدفق الضوئي $P = 1750 \text{ lm}$



الاستضاءة

$$E_{\text{av}} = \frac{1750}{4\pi} \text{ lx}$$

علاقة التربيع العكسي ماذا يحدث إذا أصبحت الكرة المحيطة بالمصباح الكهربائي أكبر؟ إذا كان نصف قطر الكرة 2.00 m سيبقى التدفق الضوئي الكلي 1750 lm ، في حين تصبح مساحة سطح الكرة $4\pi(2.00\text{ m})^2 = 16.0\pi\text{ m}^2$ أي أكبر أربع مرات من مساحة سطح كرة نصف قطرها 1.00 m ، كما يتضح من الشكل 5-1. وتكون الاستضاءة داخل الكرة التي نصف قطرها 2.00 m مساويةً $1750\text{ lm} / (16.0\pi\text{ m}^2) = 34.8\text{ lx}$ على كل متر مربع.

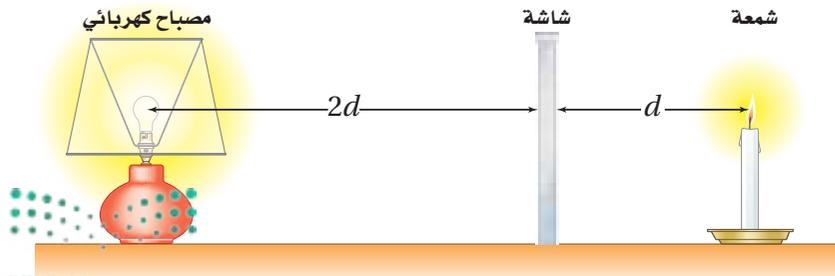


■ الشكل 5-1 تتغير الاستضاءة E الناتجة عن مصدر ضوء نقطي عكسيًا مع مربع البعد عنه.

إن الاستضاءة على السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 2.00 m تساوي ربع الاستضاءة على السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1.00 m ، وبالطريقة نفسها تجد أن الاستضاءة على السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 3.00 m تساوي $(1/3)^2$ ، أو $1/9$ ، من الاستضاءة على السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1.00 m . ويوضح الشكل 5-1 أن الاستضاءة الناتجة بفعل مصدر ضوء نقطي تتناسب طرديًا مع $1/r^2$ ، وتسمى علاقة التربيع العكسي؛ أي أنه عندما تنتشر أشعة الضوء من مصدر نقطي في خطوط مستقيمة وفي الاتجاهات جميعها فإن عدد أشعة الضوء المتاحة لإضاءة وحدة المساحة تتناقص مع زيادة مربع البعد عن مصدر الضوء النقطي.

شدة الإضاءة تُحدّد بعض المصادر المضيئة بوحدّة الشمعة cd ، والشمعة ليست مقياسًا للتدفق الضوئي؛ إنما هي مقياس لشدة الإضاءة. وشدة الإضاءة لمصدر ضوء نقطي تساوي التدفق الضوئي الذي يسقط على مساحة مقدارها 1 m^2 من مساحة السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1 m ، ولذا فإن شدة الإضاءة تساوي التدفق الضوئي مقسومًا على 4π ويرمز لها بالرمز I_v . والمصباح الكهربائي الذي تدفقه الضوئي يساوي 1750 lm تكون شدة إضاءته مساوية للمقدار الآتي: $1750\text{ lm} / 4\pi = 139\text{ cd}$.

في الشكل 6-1، بُعد المصباح الكهربائي عن الشاشة يساوي ضعف بُعد الشمعة عنها. ولكي يولّد المصباح الكهربائي على الجانب المقابل له من الشاشة الاستضاءة نفسها التي تولّدها الشمعة على الجانب المقابل لها من الشاشة يجب أن يكون سطوع المصباح الكهربائي أكبر أربع مرات من سطوع الشمعة. لذا ينبغي أن تعادل شدة إضاءة المصباح الكهربائي أربعة أضعاف شدة إضاءة الشمعة.



■ الشكل 6-1 الاستضاءة متساوية على جانبي الشاشة، مع أنّ المصباح الكهربائي أكثر سطوعًا من الشمعة.

العقول المستنيرة

عند اتخاذ القرارات في كيفية تحقيق الاستضاءة الصحيحة على سطوح مقاعد الطلاب، يتعين على المهندسين المعماريين أن يأخذوا بعين الاعتبار التدفق الضوئي للضوء، وبعُد المصادر الضوئية عن سطوح المقاعد، كما تُعدّ كفاءة المصادر الضوئية عاملاً اقتصادياً مهماً.

إضاءة السطوح How To Illuminate a Surface

كيف تتمكن من زيادة الاستضاءة على سطح مكتبك؟ يمكن أن تستخدم مصباحاً كهربائياً أكثر سطوحاً يؤدي إلى زيادة التدفق الضوئي، أو أن تحرك المصدر الضوئي إلى موقع أقرب لسطح مكتبك؛ أي أنك تقلل المسافة بين المصدر الضوئي والسطح الذي يُضيئه. ولتبسيط المسألة يمكنك اعتبار المصدر الضوئي مصدرًا ضوئيًا نقطيًا، ولذا فإن كلاً من الاستضاءة والمسافة سيتبعان علاقة التربيع العكسي. ويمكنك أيضًا تبسيط المسألة أكثر إذا اعتبرت أن الضوء المنبعث من المصدر يسقط عمودياً على سطح المكتب. وبعد هذا التبسيط يمكنك التعبير عن الاستضاءة الناتجة عن مصدر ضوء نقطي بالمعادلة الآتية:

$$E = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \text{الاستضاءة بفعل مصدر نقطي}$$

إذا أضيء جسم بواسطة مصدر ضوئي نقطي فإن الاستضاءة على الجسم تساوي التدفق الضوئي للمصدر الضوئي مقسوماً على المساحة السطحية لكرة نصف قطرها يساوي بُعد الجسم عن المصدر الضوئي.

ينتشر التدفق الضوئي لمصدر الضوء بصورة كروية في الاتجاهات جميعها، لذا فإن جزءاً فقط من التدفق الضوئي يكون متاحاً لإضاءة سطح المكتب. ويكون استخدام هذه المعادلة صحيحاً، فقط إذا كان الضوء المنبعث من المصدر المضيء يسقط عمودياً على السطح الذي يضيئه. كما أن استخدام هذه المعادلة يكون صحيحاً فقط للمصادر المضيئة التي تكون صغيرة، أو بعيدة بصورة كافية حتى يمكن اعتبارها مصادر نقطية. لذا فإن المعادلة لا تعطي قيمة دقيقة للاستضاءة الناتجة بفعل المصابيح الكهربائية الفلورسنتية الطويلة، أو المصابيح الكهربائية المتوهجة التي تكون قريبة من السطح الذي تضيئه.

العلاقات الرياضية

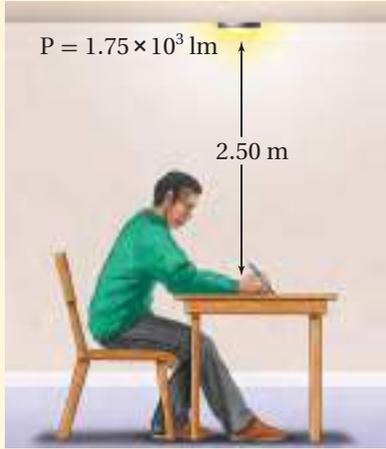
العلاقات الطردية والعكسية تخضع الاستضاءة المتولدة بواسطة مصدر ضوئي إلى علاقة طردية وعلاقة عكسية.

الفيزياء	الرياضيات
$E = \frac{P}{4\pi r^2}$	$y = \frac{x}{az^2}$
إذا كانت r ثابتة فإن E تتناسب طردياً مع P .	إذا كانت z ثابتة فإن y تتناسب طردياً مع x .
• عندما تزداد P تزداد E .	• عندما تزداد x تزداد y .
• عندما تقل P تقل E .	• عندما تقل x تقل y .
إذا كانت P ثابتة فإن E تتناسب عكسياً مع r^2 .	إذا كانت x ثابتة فإن y تتناسب عكسياً مع z^2 .
• كلما ازدادت r^2 قلت E .	• كلما ازدادت z^2 قلت y .
• كلما قلت r^2 ازدادت E .	• كلما قلت z^2 ازدادت y .



مثال 1

استضاءة سطح ما الاستضاءة الواقعة على سطح المكتب في الصورة المجاورة إذا أضيء بمصباح كهربائي تدفقه الضوئي 1750 lm، علمًا بأنه موضوع على بُعد 2.50 m فوق سطح المكتب؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- افترض أن المصباح الكهربائي مصدر نقطي.
- ارسم موقع المصباح والمكتب، وعيين P ، r .

المجهول

المعلوم

$$E = ? \quad P = 1.75 \times 10^3 \text{ lm}$$

$$r = 2.50 \text{ m}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

بما أن السطح متعامد مع اتجاه انتقال الشعاع الضوئي، لذا يمكنك أن تطبق معادلة الاستضاءة بفعل المصدر النقطي.

$$\begin{aligned} E &= \frac{P}{4\pi r^2} \\ &= \frac{1.75 \times 10^3 \text{ lm}}{4\pi (2.50 \text{ m})^2} \\ &= 22.3 \text{ lm/m}^2 = 22.3 \text{ lx} \end{aligned}$$

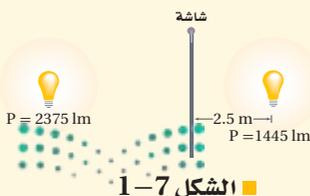
عوض مستخدمًا $P = 1.75 \times 10^3 \text{ lm}$ ، $r = 2.50 \text{ m}$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ إن وحدات الاستضاءة $\text{lm/m}^2 = \text{lx}$ تتفق مع الإجابة.
- هل للإشارات معنى؟ المقادير كلها موجبة، كما يجب أن تكون.
- هل الجواب منطقي؟ إن الاستضاءة أقل من التدفق الضوئي، والتي ينبغي أن تكون عند هذه المسافة.

مسائل تدريجية

1. تحرك مصباح فوق صفحات كتاب من مسافة 30 cm إلى 90 cm. قارن بين استضاءة الكتاب قبل الحركة وبعدها.
2. ارسم المنحنى البياني للاستضاءة المتولدة بواسطة مصباح ضوئي متوهج قدرته 150 W بين 0.50 m و 5.0 m.
3. مصدر ضوئي نقطي شدة إضاءته 64 cd يقع على ارتفاع 3.0 m فوق سطح مكتب. ما الاستضاءة على سطح المكتب بوحدة لوكس (lx)؟
4. يتطلب قانون المدارس الحكومية أن تكون الاستضاءة الصغرى 160 lx على سطح كل مقعد. وتقتضي المواصفات التي يوصي بها المهندسون المعماريون أن تكون المصابيح الكهربائية على بعد 2.0 m فوق المقاعد. ما مقدار أقل تدفق ضوئي تولده المصابيح الكهربائية؟
5. وضعت شاشة بين مصباحين كهربائيين يُضيئانها بالتساوي، كما في الشكل 1-7. فإذا كان التدفق الضوئي للمصباح الأول 1445 lm عندما كان يبعد مسافة 2.5 m عن الشاشة، فما بعد المصباح الثاني عن الشاشة إذا كان تدفقه الضوئي 2375 lm؟



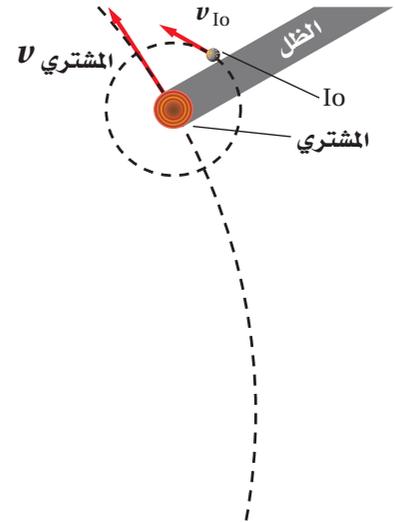
الشكل 1-7

يتعين على مصممي أنظمة الإنارة معرفة كيف يستخدم الضوء. فإذا كان المطلوب هو الحصول على إضاءة منتظمة لتجنب المساحات المظلمة فإن التصميم المناسب هو توزيع مصادر الإضاءة على المساحة المطلوب إنارتها بحيث تكون المسافات بينها متساوية، كما هو معمول به في إنارة غرفة الصف. ولأن بعض مصادر الإضاءة لا تولد فعلياً ضوءاً موزعاً بالتساوي فإن المهندسين يصممون مصادر ضوئية خاصة؛ وذلك للتحكم في توزيع الإضاءة وانتشارها؛ فمثلاً يُنفذون أنظمة إنارة موزعة بانتظام على مساحات كبيرة. وقد بُذلت جهود كبيرة في هذا المجال، وخصوصاً للمصابيح الأمامية في السيارات.

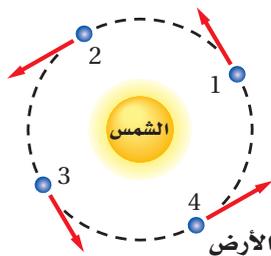
سرعة الضوء The Speed of Light

يتطلب انتقال الضوء من المصدر إلى الجسم المراد إضاءته أن يقطع الضوء مسافة معينة. فإذا استطعت قياس هذه المسافة والزمن الذي يستغرقه الضوء لقطعها فإنه يمكنك قياس السرعة، وذلك اعتماداً على الميكانيكا الكلاسيكية. كان معظم الناس قبل القرن السابع عشر يعتقدون أن الضوء ينتقل لحظياً، وكان العالم جاليليو أول من افترض أن للضوء سرعة محددة، فاقترح طريقة لقياس سرعته مستخدماً مفهومي المسافة والزمن. وعلى الرغم من أن طريقته كانت غير دقيقة بالقدر الكافي إلا أنه استنتج أن سرعة الضوء كبيرة جداً، مما يحول دون قياسها عبر مسافة عدة كيلومترات.

كان الفلكي الدنماركي أولي رومر أول من أكد أن الضوء ينتقل بسرعة يمكن قياسها. حيث أجرى رومر 70 قياساً بين عامي 1668 و 1674، حول الزمن الدوري للقمر Io، أحد أقمار كوكب المشتري، والذي يساوي 1.8 day. فرصد الأزمنة عندما كان القمر Io يخرج من منطقة ظل المشتري كما في الشكل 8-1. وقد أجرى قياساته بوصفها جزءاً من مشروع كان يهدف إلى تحسين الخرائط، وذلك بحساب خطوط الطول لبعض المواقع على سطح الأرض. وكان هذا مثلاً مبكراً على أهمية التقنية المتطورة في دفع عجلة التقدم العلمي.



■ الشكل 8-1 قاس رومر الفترة الزمنية بين خسوفين من اللحظة التي يبرز فيها القمر Io من منطقة ظل المشتري. وخلال عدد من خسوفات القمر المتعاقبة وجد أن الزمن الدوري يصبح أكبر أو أصغر بصورة متزايدة اعتماداً على حركة الأرض فيما إذا كانت مقتربة (من الموقع 3 إلى الموقع 1) أو مبتعدة (من الموقع 1 إلى الموقع 3) من المشتري. (التوضيح ليس بمقياس رسم)





مُنح البروفيسور ساجيف جون جائزة الملك فيصل لعام ١٤٢١هـ / ٢٠٠١م؛ وذلك لاقتراحه طريقة جديدة لمعالجة المعلومات ونقلها من مكان إلى آخر بوسائل صوتية. وقد نجحت مجموعات عدّة من الفيزيائيين في مناطق مختلفة من العالم، في وضع آرائه موضوع التنفيذ. وإذا بلغت هذه المحاولات غاياتها فسيصبح من الممكن الاستغناء عن استعمال الإلكترونيات في نقل الإشارات داخل أجهزة الحواسيب والاتصالات ليحل محلها الضوء، وسوف يؤدي ذلك إلى صنع أجهزة أسرع وأرخص وأكثر قدرة، فتتغيّر بذلك صناعة الحواسيب والاتصالات تغييراً جذرياً.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل / فرع العلوم
<http://kingfaisalprize.org/ar/science/>

استطاع رومر بعد إجراء بعض القياسات أن يتوقع وقت حدوث خسوف القمر Io، وقرن توقعاته بالأزمة المقيسة فعلياً، وتوصل إلى أن زمن دوران القمر Io يزداد بمعدل 13 s لكل دورة تقريباً عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن المشتري، ويقل بمعدل 13 s لكل دورة عندما تتحرك الأرض مقتربة من المشتري. واعتقد رومر أن أقمار كوكب المشتري منتظمة الحركة في مداراتها كقمر الأرض تماماً، لذا أخذ يبحث عن السبب الذي يؤدي إلى هذا الفرق في قياسات الزمن الدوري للقمر Io.

قياسات سرعة الضوء استنتج العالم رومر أنه عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن كوكب المشتري فإن الضوء القادم عند كل ظهور للقمر Io يستغرق وقتاً أطول حتى يصل إلى الأرض؛ وذلك لازدياد البعد بين المشتري والأرض، وبطريقة مماثلة عندما تقترب الأرض من المشتري فإن الزمن الدوري للقمر Io يبدو متناقصاً. وقد لاحظ رومر أنه خلال 182.5 يوماً، وهو الزمن الذي يتطلبه انتقال الأرض من الموقع 1 إلى الموقع 3، كما في الشكل 8-1، حدث 103 خسوفات Io، وذلك وفقاً للحساب الآتي:

$$103 = (1.8 \text{ days} / \text{خسوف واحد للقمر Io}) (185.2 \text{ days})$$

وقد أجرى رومر حسابات متعلقة بانتقال الضوء مسافة تعادل قطر مدار الأرض، فوجد أنه يحتاج إلى:

$$1.3 \times 10^3 \text{ s أو } 22 \text{ min} = (13 \text{ s/خسوف}) (103 \text{ خسوفات})$$

وباستخدام القيمة المعروفة حالياً لقطر مدار الأرض ($2.9 \times 10^{11} \text{ m}$) فإن قيمة رومر 22 min تعطي سرعة الضوء الآتية:

$$2.2 \times 10^8 \text{ m/s} = ((22 \text{ min}) (60 \text{ s/min})) / (2.9 \times 10^{11} \text{ m})$$

وعرفت سرعة الضوء في الوقت الحاضر بأنها تساوي $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ تقريباً، ولذلك يحتاج الضوء إلى 16.5 min، وليس إلى 22 min، ليقطع مسافة تعادل قطر مدار الأرض. وتكمن أهمية التجربة في أنّ رومر استطاع بنجاح إثبات انتقال الضوء بسرعة محددة.

على الرغم من أن الكثير من القياسات أجريت لتحديد سرعة الضوء، إلا أن أبرزها تلك التي أجراها الفيزيائي الأمريكي ألبرت ميكلسون بين عامي 1880 و 1920، فقد طوّرت تقنيات حديثة لقياس سرعة الضوء. وفي عام 1926 قاس مايكلسون الزمن الذي يحتاج إليه الضوء لقطع مسافة 35 km ذهاباً وإياباً بين جبلين في كاليفورنيا، حيث استخدم مجموعة من المرايا الدوّارة لقياس مثل هذه الفترات الزمنية الصغيرة، وكانت أفضل نتيجة حصل عليها لسرعة الضوء $(2.997996 \pm 0.00004) \times 10^8 \text{ m/s}$. وبناءً على هذا الإنجاز، كان أول عالم أمريكي يحصل على جائزة نوبل في العلوم.



إن قيمة سرعة الضوء في الفراغ مهمة جداً، ويرمز إليها بالرمز c . واعتماداً على الطبيعة الموجية للضوء، والتي ستدرسها في الجزء القادم فإن اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس قامت بقياس سرعة الضوء في الفراغ فكانت $c = 299,792,458 \text{ m/s}$. وتستخدم في كثير من الحسابات القيمة $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ ، إذ تكون دقيقة بصورة كافية. وبهذه السرعة ينتقل الضوء مسافة $9.46 \times 10^{12} \text{ km}$ في السنة، حيث تسمى هذه المسافة السنة الضوئية.

1-1 مراجعة

المصباح B على بعد 3.0 m، فإذا كانت شدة إضاءة المصباح A 75 cd، فما شدة إضاءة المصباح B؟
9. بُعد المصدر الضوئي افترض أن مصباحاً كهربائياً يضيء سطح مكتبك ويولد فقط نصف الاستضاءة المطلوبة. فإذا كان المصباح يبعد حالياً مسافة 1.0 m فكيف ينبغي أن يكون بعده ليولد الاستضاءة المطلوبة؟
10. التفكير الناقد استخدم الزمن الصحيح الذي يحتاج إليه الضوء لقطع مسافة تعادل قطر مدار الأرض والذي يساوي 16.5 min، وقطر مدار الأرض $2.98 \times 10^{11} \text{ m}$ ، وذلك لحساب سرعة الضوء باستخدام طريقة رومر. هل تبدو هذه الطريقة دقيقة؟ لماذا؟

6. الاستضاءة هل يولد مصباح كهربائي واحد استضاءة أكبر من مصباحين مماثلين يقعان على ضعف بُعد مسافة المصباح الأول؟ وضح إجابتك.
7. المسافة التي يقطعها الضوء يمكن إيجاد بُعد القمر باستخدام مجموعة من المرايا وضعها رواد الفضاء على سطح القمر. فإذا تم إرسال نبضة ضوء إلى القمر وعادت إلى الأرض خلال 2.562 s، فاحسب المسافة بين الأرض وسطح القمر، مستخدماً القيمة المقيسة لسرعة الضوء.
8. شدة الإضاءة يضيء مصباحان شاشة بالتساوي بحيث يقع المصباح A على بعد 5.0 m، ويقع





1-2 الطبيعة الموجية للضوء The Wave Nature of Light

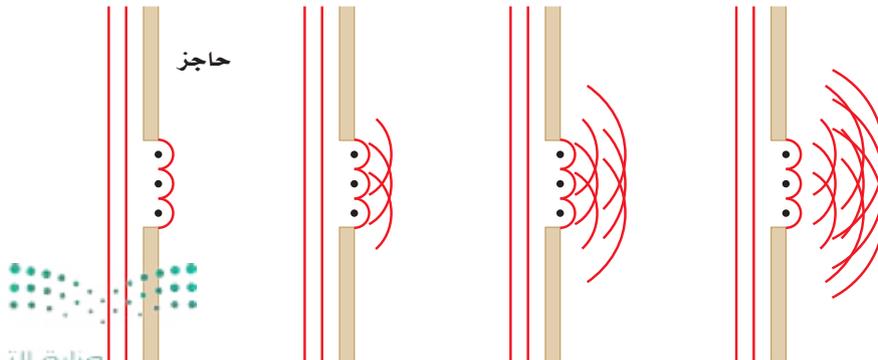
درست أن الضوء مكوّن من موجات، ولكن ما الأدلة على صحة ذلك؟ افترض أنك تسير في اتجاه غرفة الصف وباب الغرفة مفتوح، فستسمع بالتأكيد صوت المعلم أو الطلاب وأنت تتحرك في اتجاه باب الغرفة قبل أن تراه من خلال الباب؛ وذلك لأن الصوت يصل إليك بانحرافه حول حافة الباب، في حين يسير الضوء الذي يجعلك ترى أيًا منهم في خطوط مستقيمة فقط. فإذا كان الضوء مكوّنًا من موجات فلماذا لا يسلك الطريقة نفسها التي يسلكها الصوت؟ يسلك الضوء في الواقع سلوك الصوت نفسه إلا أن تأثيره يكون أقل وضوحًا مقارنة بالصوت.

الحيود والنموذج الموجي للضوء

Diffraction and the Wave Model of Light

لاحظ العالم الإيطالي فرانسيسكو ماري جريمالدي في عام 1665 أن حواف الظلال ليست حادة تمامًا. فقد أدخل حزمة ضيقة من الضوء إلى داخل غرفة مظلمة، وأمسك بعصا أمام الضوء حيث أسقط الظل على سطح أبيض. فكان ظل العصا المتكون على السطح الأبيض أعرض من الظل الذي ينبغي أن يكون في حالة انتقال الضوء في خط مستقيم مرورًا بحواف العصا، ولاحظ جريمالدي أيضًا أن الظل مُحاط بحزم ملونة. وعرف جريمالدي هذه الظاهرة بالحيود وهي انحناء الضوء حول الحواجز.

حاول العالم الدنماركي كريستيان هيجنز في عام 1678 برهنة النموذج الموجي؛ وذلك لتفسير ظاهرة الحيود. واعتمادًا على مبدأ هيجنز يمكن اعتبار النقاط كلها على مقدمة الموجة الضوئية، وكأنها تمثل مصادر جديدة لموجات صغيرة. وتنتشر هذه الموجات الصغيرة (المويجات) في جميع الاتجاهات بعضها خلف بعض. وتتكون مقدمة الموجة المستوية من عدد غير محدود من المصادر النقطية في خط واحد، وعندما تعبر مقدمة الموجة حافة ما تقطعها الحافة، حيث تنتشر كل موجة دائرية تولدت بواسطة أي نقطة من نقاط هيجنز على شكل موجة دائرية في الحيز الذي انحنت عنده مقدمة الموجة الأصلية، كما في الشكل 9-1. وهذا هو الحيود.



■ الشكل 9-1 اعتمادًا على مبدأ

هيجنز يمكن اعتبار قمة كل موجة سلسلة من المصادر النقطية. وينشئ كل مصدر نقطي موجة دائرية، وتترابك المويجات لتكوين مقدمة موجة مستوية، ما عدا المناطق عند الحواف؛ حيث تتحرك المويجات الدائرية لنقاط هيجنز عندها بعيدًا عن مقدمة الموجة.

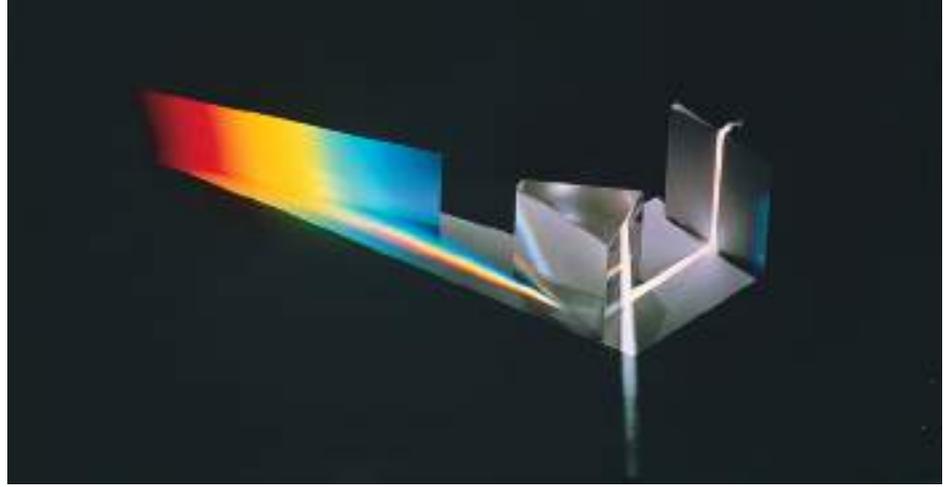
◀ الأهداف

- تصف كيف يثبت الحيود عملياً أن الضوء عبارة عن موجات.
- تتوقع تأثير ألوان الضوء المتراكبة والأصباغ الممزوجة.
- توضّح ظاهرتي الاستقطاب وتأثير دوبلر.

◀ المفردات

- الحيود
- اللون الأساسي
- اللون الثانوي
- اللون المتّم
- الصبغة الأساسية
- الصبغة الثانوية
- الاستقطاب
- قانون مالوس

■ الشكل 10-1 عندما يمر الضوء الأبيض خلال منشور فإنه يتحلل إلى ألوان الطيف.



الألوان Colors

حُتت نتائج العالم جريالدي عام 1666 حول الحيود العالم نيوتن على إجراء تجارب على الألوان، وذلك عن طريق تمرير حزمة ضيقة من ضوء الشمس خلال منشور زجاجي، كما في الشكل 10-1، فلاحظ تكوّن ترتيب منظم للألوان أطلق عليه نيوتن اسم الطيف. كما اعتقد نيوتن أن جسيمات الضوء تتفاعل بطريقة متفاوتة في الزجاج لتولّد الطيف؛ وذلك اعتمادًا على نموذج الجسيمي للضوء.

ولاختبار هذا الافتراض سمح نيوتن للطيف النافذ من المنشور الأول بالسقوط على منشور آخر، فإذا تولّد الطيف نتيجة التفاوت في تفاعل الزجاج مع جسيمات الضوء فإن المنشور الثاني سيزيد من انتشار الألوان، وبدلاً من ذلك فقد عكس المنشور الثاني تحلل الألوان وأعاد تراكبها لتكوّن اللون الأبيض. وبعد إجراء المزيد من التجارب، استنتج نيوتن أن اللون الأبيض مركّب من ألوان عدّة، وأن هناك خاصية أخرى للزجاج غير عدم انتظامه هي التي تؤدي إلى تحلل الضوء إلى مجموعة من الألوان.

واعتمادًا على تجارب جريالدي وهيجنز وغيرها، فإن للضوء خصائص موجية، ولكل لون من ألوان الضوء طول موجي محدد. وتقع منطقة الضوء المرئي ضمن نطاق من الأطوال الموجية، يتراوح بين 400 nm و700 nm تقريبًا، كما في الشكل 11-1. وأكبر هذه الأطوال الموجية هو طول موجة الضوء الأحمر، وكلما تناقص الطول الموجي تحوّل اللون إلى البرتقالي فالأصفر فالأخضر فالأزرق فالأزرق النيلي وأخيرًا البنفسجي.

الأحمر ($7.00 \times 10^{-7} \text{ m}$)

البنفسجي ($4.00 \times 10^{-7} \text{ m}$)



الشكل 11-1 يمتد الطيف الضوئي

من الطول الموجي الكبير (اللون الأحمر) إلى الطول الموجي القصير

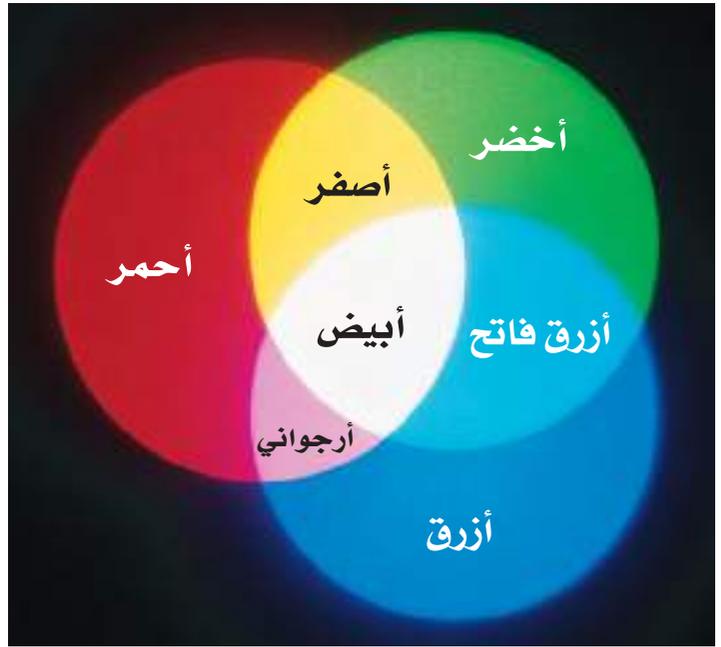
(اللون البنفسجي).

وزارة التعليم

Ministry of Education

2021 1443

عندما يعبر الضوء الأبيض الحد الفاصل من الهواء إلى داخل الزجاج ويعود مرة أخرى إلى الهواء كما في الشكل 10-1، فإن الطبيعة الموجية تؤدي إلى انحناء كل لون من ألوان الضوء، أو انكساره، بزوايا مختلفة. وهذا الانحناء غير المتساوي للألوان المختلفة يتسبب في تحلل الضوء الأبيض على شكل طيف. وهذا يعني أن الأطوال الموجية المختلفة للضوء تتفاعل مع المادة بطرق مختلفة يمكن التنبؤ بها.



اللون بواسطة مزج أشعة الضوء يتشكل الضوء الأبيض من الضوء الملون بطرق مختلفة. فمثلاً عندما يُسلط الضوء الأحمر والأخضر والأزرق بشدة مناسبة على شاشة بيضاء كما في الشكل 12-1، تظهر المنطقة التي تتداخل فيها هذه الألوان على الشاشة باللون الأبيض.

أي أن هذه الألوان (الأحمر والأخضر والأزرق) تُشكل الضوء الأبيض عندما تتراب، وتسمى عملية جمع الألوان. وهي تستخدم في أنابيب الأشعة المهبطية في التلفاز، حيث تحتوي هذه الأنابيب على مصادر نقطية متناهية في الصغر لكل من الضوء الأحمر والأخضر والأزرق. وعندما يكون لكل لون من ألوان الضوء الثلاثة شدة مناسبة تظهر الشاشة باللون الأبيض. لذا فإن كلاً من اللون الأحمر والأخضر والأزرق يُسمى **لونا أساسياً** أو أولياً. ويمكن مزج الألوان الأساسية على شكل أزواج لتشكيل ثلاثة ألوان إضافية كما يتضح من الشكل 12-1. فالضوء الأحمر والأخضر يشكلان معاً الضوء الأصفر، في حين يشكل الضوء الأزرق والأخضر معاً الضوء الأزرق الفاتح، أما الضوء الأحمر والأزرق فيشكلان معاً الضوء الأرجواني (الأحمر المزرق). ويُسمى كل من اللون الأصفر والأزرق الفاتح والأرجواني **لونا ثانوياً**؛ لأن كلاً منها مركب من لونين أساسيين.

ويتضح من الشكل 12-1، أن الضوء الأصفر يتكون من الضوء الأحمر والضوء الأخضر، وإذا سلط اللوان الأصفر والأزرق على شاشة بيضاء بشدة مناسبة يظهر سطح الشاشة باللون الأبيض. ويُسمى اللوان الضوئيان اللذان يترابان معاً لإنتاج اللون الأبيض **الألوان المتتامة**. لذا فإن اللون الأصفر لون مُتَمِّم للون الأزرق، والعكس صحيح؛ لأن اللونين يترابان معاً لينتجا اللون الأبيض. وبالطريقة نفسها فإن الأزرق الفاتح والأحمر لونان متتامان، وكذلك الأرجواني والأخضر. لذا يمكن تبييض الملابس المصفرّة باستخدام عامل أزرق اللون يضاف إلى مسحوق الغسل.

اللون بواسطة اختزال أشعة الضوء يمكن للأجسام أن تعكس الضوء، وتمرّره، كما يمكنها امتصاصه. ولا يعتمد لون الجسم فقط على الأطوال الموجية للضوء الذي يضيء

■ الشكل 12-1 التراكيب المختلفة للضوء الأزرق والأخضر والأحمر يمكن أن تشكل الضوء الأصفر، أو الأزرق الفاتح، أو الأرجواني، أو الأبيض.

للجسم، بل يعتمد أيضًا على الأطوال الموجية التي امتصها الجسم، وعلى الأطوال الموجية التي عكسها. إن وجود المواد الملونة بصورة طبيعية أو إضافتها اصطناعياً إلى المادة المكوّنة للجسم أو إضافة أصباغ إليه يكسبه لوناً خاصاً.

إن المواد الملونة عبارة عن جزيئات لها القدرة على امتصاص أطوال موجية معينة للضوء، وتسمح لأطوال موجية أخرى بالنفاذ من خلالها أو عكسها. وعندما يمتص الضوء فإن طاقته تنتقل إلى الجسم الذي سقط عليه، وتتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة. فالقميص الأحمر لونه أحمر لأن المواد الملونة فيه تعكس اللون الأحمر إلى أعيننا. فعندما يسقط الضوء الأبيض على الجسم الأحمر اللون الموضح في الشكل 1-13 فإن جزيئات المواد الملونة في الجسم تمتص الضوء الأزرق والأخضر وتعكس الضوء الأحمر. أما عندما يسقط الضوء الأزرق فقط على جسم لونه أحمر فإن مقداراً يسيراً من الضوء ينعكس ويظهر الجسم غالباً أسوداً.



الشكل 13-1 تمتص المواد الملونة في حجر النرد أطوالاً موجية مختلفة بشكل انتقائي وتعكسها. حجر النرد مُضاء بالضوء الأبيض (a)، والضوء الأحمر (b)، والضوء الأزرق (c).

علاقة الألوان بدرجة الحرارة



يشير بعض الرسامين إلى اللونين الأحمر والبرتقالي على أنهما ألوان حارة، وإلى اللونين الأزرق والأخضر على أنهما ألوان باردة. فهل ترتبط الألوان فعلياً بدرجة الحرارة؟

1. احصل على منشور زجاجي من معلمك .

2. أحضر مصباحاً كهربائياً مزوداً بمفتاح تحكم في الشدة الضوئية، وأشعله وعمّم الغرفة، واضبط مفتاح التحكم عند أقل سطوع للمصباح.

3. زد مقدار سطوع المصباح ببطء. تحذير: يمكن أن يسخن المصباح ويؤدي إلى حروق في الجلد.

4. راقب لون الضوء الناتج عن المنشور، وكيف يرتبط اللون مع سخونة المصباح الكهربائي التي تشعر بها في يدك.

التحليل والاستنتاج

5. ما الألوان التي ظهرت أولاً عندما كان الضوء خافتاً؟

6. ما الألوان التي ظهرت عند أقصى إضاءة ممكنة؟

7. كيف ترتبط هذه الألوان مع درجة حرارة فتيلة المصباح؟





■ الشكل 14-1 الألوان الأساسية للأصباغ هي الأحمر المزرقي (الأرجواني)، والأزرق الفاتح والأصفر. وينتج عند مزج لونين من هذه الأصباغ معاً الألوان الثانوية للأصباغ، وهي: الأحمر والأخضر والأزرق.

الفرق بين المواد الملونة والصبغة هو أن الصبغة تكون مصنوعة من المعادن المسحوقة وليست مستخلصة من النباتات أو الحشرات، ويمكن رؤية جسيمات الصبغة بالمجهر. وتسمى الصبغة التي لها القدرة على امتصاص لون أساسي واحد على أن تعكس اللونين الآخرين من الضوء الأبيض **الصبغة الأساسية**. فالصبغة الصفراء تمتص الضوء الأزرق وتعكس الضوء الأحمر والضوء الأخضر، وتعد الألوان: الأصفر والأزرق الفاتح والأرجواني ألواناً أساسية للأصباغ. وتسمى الصبغة التي تمتص لونين أساسيين وتعكس لوناً واحداً **الصبغة الثانوية**. والألوان الثانوية للأصباغ هي: الأحمر (الذي يمتص الضوء الأخضر والضوء الأزرق)، والأخضر (الذي يمتص الضوء الأحمر والضوء الأزرق)، والأزرق (الذي يمتص الضوء الأحمر والضوء الأخضر). لاحظ أن الألوان الأساسية للأصباغ هي الألوان الثانوية للضوء، والألوان الثانوية للأصباغ هي الألوان الأساسية للضوء.

يوضح الشكل 14-1 الألوان الأساسية والثانوية للأصباغ، وعند مزج لوني الأصباغ الأساسية الأصفر والأزرق الفاتح فإن الأصفر يمتص الضوء الأزرق، ويمتص الأزرق الفاتح الضوء الأحمر. ويوضح الشكل 14-1 تراكب الأصفر والأزرق الفاتح لتكوين الصبغة الخضراء. وعند مزج الصبغة الصفراء بالصبغة الزرقاء التي تمتص الضوء الأخضر والأحمر فإن الألوان الأساسية كلها تمتص، وينتج اللون الأسود. لذا فإن الصبغة الصفراء والصبغة الزرقاء صبغتان متتامتان، وكذلك صبغة الأزرق الفاتح والصبغة الحمراء أيضاً صبغتان متتامتان، والشيء نفسه بالنسبة لصبغة الأحمر المزرقي والصبغة الخضراء.



■ الشكل 15-1 يمكن أن يظهر ضوء الشمس ضارباً إلى اللون الأصفر أو البرتقالي بسبب تشتت الضوء البنفسجي والضوء الأزرق.

تستخدم الطابعة الملونة نقاطاً من صبغة الأصفر والأرجواني والأزرق الداكن لعمل صورة ملونة على الورقة. وتكون الأصباغ المستخدمة على الأغلب مركبات مطحونة بصورة دقيقة، مثل أكسيد التيتانيوم (IV) (أبيض)، وأكسيد الكروم (III) (أخضر)، وكبريتيد الكادميوم (أصفر). وتمزج الأصباغ لتكوّن المحاليل المعلقة بدلاً من المحاليل الحقيقية، وتستمر هذه المركبات في امتصاص وعكس الأطوال الموجية نفسها؛ لأنها تحافظ على تركيبها الكيميائي في المزيج دون تغيير.

الربط مع الكيمياء

استخلاص النتائج من اللون تبدو النباتات خضراء بسبب صبغة الكلوروفيل فيها. حيث يمتص أحد أنواع الكلوروفيل الضوء الأحمر، ويمتص النوع الآخر اللون الأزرق، في حين يعكس كلاهما الضوء الأخضر. وتستخدم طاقة الضوء الأحمر وطاقة الضوء الأزرق الممتصتين بواسطة النباتات في عملية البناء الضوئي؛ وهي العملية التي تصنع خلالها النباتات الخضراء غذاءها.

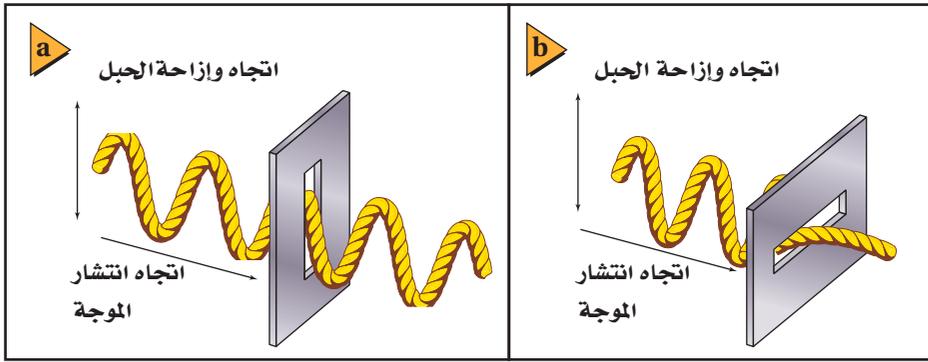
الربط مع الأحياء

وتبدو السماء مزرقة؛ لأن جزيئات الهواء تُشتت (انعكاسات متكررة) موجات الضوء البنفسجي والضوء الأزرق بمقدار أكبر من الأطوال الموجية الأخرى للضوء. أما الضوء الأخضر والضوء الأحمر فلا يتشتتان كثيراً بواسطة الهواء، وهذا يفسر لماذا تبدو الشمس صفراء أو برتقالية، كما يتضح في الشكل 15-1. ويتشتت الضوء البنفسجي والضوء الأزرق في الاتجاهات جميعها فيضيئان السماء بلون مائل إلى الزرقة بدرجات متفاوتة.

استقطاب الضوء Polarization of Light

هل سبق أن نظرت إلى الضوء المنعكس من خلال نظارات شمسية مستقطبة؟ ستلاحظ أنه عندما تُدير النظارات تبدو الطريق في البداية مظلمة، ثم مضيئة، ثم مظلمة مرة أخرى مع استمرار التدوير. أما عند تدوير النظارات في اتجاه ضوء منبعث من مصباح كهربائي فسيكون مقدار تغير الضوء ضئيلاً. فما سبب وجود هذا الفرق؟ إن ضوء المصباح العادي غير مستقطب، في حين أن الضوء القادم من الطريق قد انعكس وأصبح مستقطباً. **والاستقطاب** هو إنتاج ضوء يتذبذب في مستوى واحد.



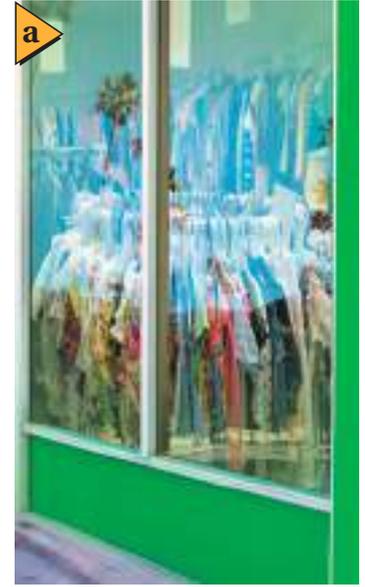


■ الشكل 16-1 في الجبل المستخدم نموذجًا لموجات الضوء، يكون الضوء عبارة عن موجة واحدة تنتقل وتذبذب في المستوى الرأسي فقط، لذا فإنها تمر من خلال المستقطب الرأسي (a). ولا تستطيع المرور من خلال المستقطب الأفقي (b).

الاستقطاب بالترشيح (الفلتر) يمكن فهم الاستقطاب من خلال الجبل المستخدم كنموذج لموجات الضوء الموضح في الشكل 16-1، حيث تمثل الموجة الميكانيكية المستعرضة في الجبل الموجات الضوئية المستعرضة، أما الشق فيمثل ما يعرف بمحور الاستقطاب لوسط الاستقطاب. فعندما تكون موجات الجبل موازية للشق تعبر من خلاله، أما عندما تكون الموجات متعامدة مع الشق فلا تعبر من خلاله، بل تُحجب. وتحتوي أوساط الاستقطاب جزيئات طويلة تتمكن من خلالها الإلكترونات من التذبذب، أو الحركة إلى الأمام وإلى الخلف، وجميعها في الاتجاه نفسه. فعندما ينتقل الضوء عبر الجزيئات تمتص الإلكترونات الموجات الضوئية التي تذبذب في اتجاه تذبذب الإلكترونات نفسها. وتسمح هذه العملية للموجات الضوئية المتذبذبة في اتجاه معين بالعبور من خلالها، في حين تمتص الموجات المتذبذبة في الاتجاه الآخر. ويُسمى اتجاه وسط الاستقطاب المتعامد مع الجزيئات الطويلة محور الاستقطاب. والموجات التي تتمكن من العبور هي فقط تلك الموجات المتذبذبة بصورة موازية للمحور.

يحتوي الضوء العادي على موجات تذبذب في كل اتجاه عمودي على اتجاه انتقالها. فإذا وضع وسط الاستقطاب في طريق حزمة من الضوء العادي فإن مركبات الموجات التي ستنفذ من خلاله هي فقط تلك المركبات التي تكون في اتجاه محور الاستقطاب نفسه. وينفذ في المتوسط من خلال وسط الاستقطاب نصف اتساع الضوء الكلي، لذا تنخفض شدة الضوء بمقدار النصف. وينتج وسط الاستقطاب ضوءًا مستقطبًا، ويُسمى مثل هذا الوسط مرشّح (فلتر) الاستقطاب.

الاستقطاب بالانعكاس عندما تنظر من خلال مرشّح استقطاب إلى الضوء المنعكس عن لوح زجاجي وتُدور المرشّح ستلاحظ أن الضوء يسطع ثم يخفت. وهذا يعني أنه حدث استقطاب جزئي للضوء في اتجاه سطح الزجاج عندما انعكس؛ أي أن الأشعة الضوئية المنعكسة تحتوي على كمية كبيرة من الضوء المتذبذب بشكل مواز لسطح الزجاج. واستقطاب الضوء المنعكس عن الطرق هو السبب في تقليل التوهج عند استخدام النظارات الشمسية المستقطبة. ونستدل من حقيقة تغير شدة الضوء المنعكس عن الطرق نتيجة تدوير النظارات الشمسية المستقطبة - على أن الضوء المنعكس مستقطب جزئيًا. ويثبت مصوّرو الغو جراف مرشّحات الاستقطاب على عدسات الكاميرا لحجب الضوء المنعكس، كما موضح في الشكل 17-1.



■ الشكل 17-1 التقطت هذه الصورة لتجر دون استخدام فلتر استقطاب؛ ويظهر فيها توهج الضوء على سطح النافذة (a). والتقطت الصورة للمشهد نفسه باستخدام فلتر استقطاب (b).

a



b



■ الشكل 1-18 عندما يتم ترتيب مرشحي استقطاب بحيث يكون محورا استقطابهما متوازيين، تنفذ من خلالهما أكبر كمية من الضوء (a). ولن ينفذ الضوء من خلال مرشحي الاستقطاب إذا تم ترتيبهما بحيث يكون محورا استقطابهما متعامدين (b).

تحليل الاستقطاب افترض أنك حصلت على ضوء مستقطب باستخدام مرشح استقطاب، فماذا يحدث إذا وضعت مرشح استقطاب آخر في مسار الضوء المستقطب؟ إذا كان محور الاستقطاب لمرشح الاستقطاب الثاني موازيا لمحور الاستقطاب لمرشح الاستقطاب الأول فسينفذ الضوء من خلاله، كما في الشكل 1-18a. أما إذا كان محورا الاستقطاب لمرشحي الاستقطاب متعامدين فلن ينفذ الضوء من خلال المرشح، كما يتضح من الشكل 1-18b.

ويُسمى القانون الذي يوضح مدى انخفاض شدة الضوء عندما يعبر من خلال مرشح استقطاب ثانٍ **قانون مالوس**. فإذا كانت شدة الضوء بعد مروره في مرشح الاستقطاب الأول هي I_1 فإن مرشح الاستقطاب الثاني، الذي يصنع محور استقطابه زاوية مقدارها θ مع محور استقطاب المرشح الأول، سينتج ضوءاً شدته I_2 ، بحيث تكون أقل من I_1 أو تساويها.

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

إن شدة الضوء الخارج من مرشح الاستقطاب الثاني تساوي شدة الضوء الخارج من مرشح الاستقطاب الأول مضروباً في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشحين.

تستطيع باستخدام قانون مالوس أن تُقارن بين شدة الضوء الخارج من مرشح الاستقطاب الثاني وشدة الضوء الخارج من مرشح الاستقطاب الأول، ومن ثم تستطيع تحديد الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشحين. ويُسمى مرشح الاستقطاب الذي يستخدم قانون مالوس لتحقيق ما تقدم «المحلل». وتستخدم المحللات لتحديد استقطاب الضوء المنبعث من أي مصدر ضوئي.

تجربة

عملية

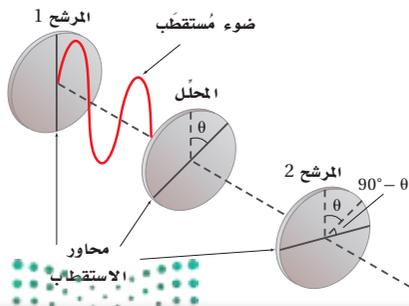
كيف يمكنك التقليل من الوهج؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

إذا وضعت مرشحاً محللاً بين مرشحين متقاطعين (محورا استقطابهما متعامدان)، بحيث لا يوازي محور استقطابه أيّاً من محوري استقطاب المرشحين المتقاطعين، كما هو موضح في الشكل المجاور.

1. فإنك تلاحظ أن قسماً من الضوء يمر من خلال المرشح 2، على الرغم من أنه لم يكن هناك ضوء يمر من خلاله قبل إدخال المرشح المحلل. فلم يحدث ذلك؟

2. إذا وضع المرشح المحلل بحيث يصنع محوره زاوية θ بالنسبة لمحور استقطاب المرشح 1 فاشتق معادلة لحساب شدة الضوء الخارج من المرشح 2 مقارنة بشدة الضوء الخارج من المرشح 1.



سرعة الموجات الضوئية The Speed of a Light Waves

تعلمت سابقاً أنّ الطول الموجي λ لموجة هو دالة رياضية في سرعة الموجة v للوسط الذي تنتقل فيه، وفي ترددها الثابت f . ويمكن وصف الضوء بواسطة النماذج الرياضية نفسها التي تستخدم في وصف الموجات عموماً؛ لأن الضوء له خصائص موجية. ويكون الطول الموجي لضوء ذي تردد معلوم ينتقل في الفراغ عبارة عن دالة رياضية في سرعة الضوء c ، حيث يمكن كتابتها على النحو الآتي: $\lambda_0 = c/f$. ولقد زوّدنا تطور الليزر في ستينيات القرن الماضي بطرائق جديدة لقياس سرعة الضوء. كما يمكن قياس تردد الضوء بدقة متناهية؛ وذلك باستخدام أجهزة الليزر والزمن المعياري الذي تزودنا به الساعات الذرية. في حين يتم قياس الأطوال الموجية للضوء بدقة أقل كثيراً.

لألوان الضوء المختلفة ترددات وأطوال موجية مختلفة، ولكنها تنتقل جميعها في الفراغ بسرعة تساوي سرعة الضوء c . فإذا كان تردد موجة الضوء في الفراغ معروفاً أمكنك عندئذٍ حساب طولها الموجي، والعكس صحيح؛ وذلك لأن جميع الأطوال الموجية للضوء تنتقل في الفراغ بالسرعة نفسها. ويمكنك باستخدام القياسات الدقيقة لتردد الضوء وسرعته حساب قيمة دقيقة لطوله الموجي.

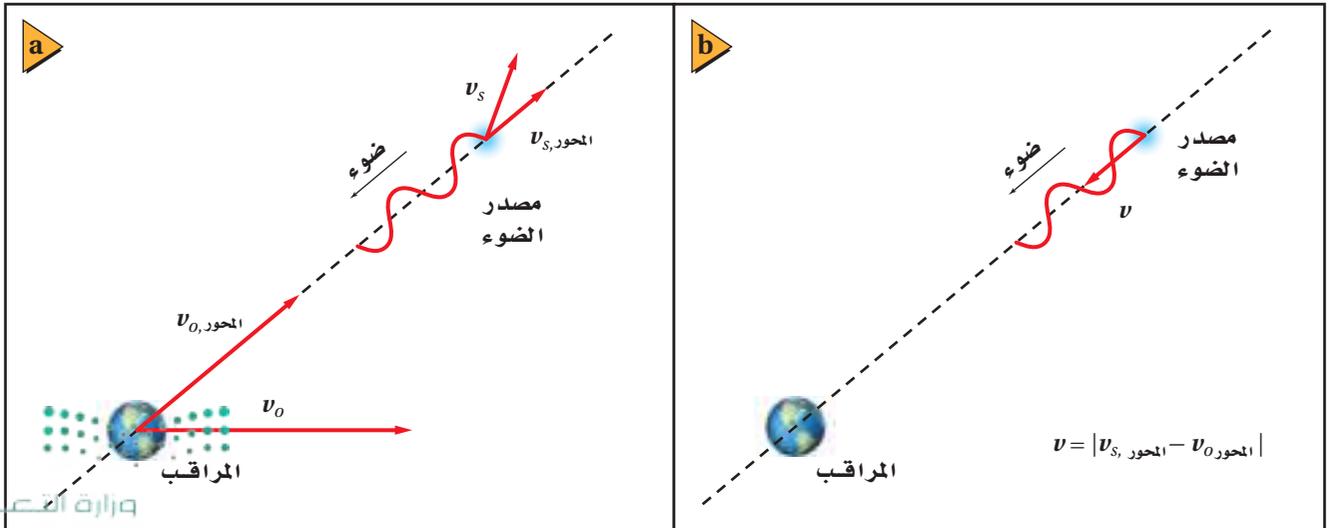
الحركة النسبية والضوء ماذا يحدث إذا تحرك مصدر الضوء في اتجاهك أو تحركت أنت في اتجاه مصدر الضوء؟ تعلمت سابقاً أنه إذا كان مصدر الصوت أو المستمع متحركاً فسيغير تردد الصوت الذي يسمعه المستمع، وهذا صحيح أيضاً بالنسبة للضوء. فإذا أخذت بعين الاعتبار السرعة المتجهة لكلٍّ من مصدر الصوت والمراقب فإنك بذلك تكون قد راعيت السرعة المتجهة لكلٍّ منهما بالنسبة للوسط الذي ينتقل فيه الصوت.

يتضمن تأثير دوبلر في الضوء السرعة المتجهة لكلٍّ من المصدر والمراقب إحداهما بالنسبة إلى الآخر فقط؛ وذلك لأن موجات الضوء ليست اهتزازات لجسيمات الوسط الميكانيكي، كما هو الحال في الموجات الصوتية. ويُسمى مقدار الفرق بين السرعتين المتجهتين لكلٍّ

رموز الكتاب

يرمز لكمية التردد Frequency في كتاب الكيمياء بالرمز ν (نيو) وبالرمز f في كتاب الفيزياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الكمية.

■ الشكل 19-1 تختلف السرعة المتجهة للمراقب عن السرعة المتجهة لمصدر الضوء (a). مقدار الطرح المتجهي لركبتي السرعة المتجهة على امتداد المحور بين مصدر الضوء ومراقب الضوء يمثل السرعة النسبية على امتداد المحور بين المصدر والمراقب ν (b).



من المصدر والمراقب بالسرعة النسبية. والعوامل المؤثرة في تأثير دوبلر هي فقط مركبتا السرعتين المتجهتين على امتداد المحور بين المصدر والمراقب، كما في الشكل 19-1. **تأثير دوبلر** لدراسة تأثير دوبلر في الضوء يمكن تبسيط المسألة باعتبار أن السرعات النسبية المحورية أقل كثيراً من سرعة الضوء ($v \ll c$). ويستخدم هذا التبسيط لتكوين معادلة حول تردد الضوء المراقب f ؛ التي تمثل تردد الضوء كما يراه المراقب.

$$f_{\text{المراقب}} = f \left(1 \pm \frac{v}{c} \right)$$

تردد الضوء المراقب من مصدر يساوي التردد الحقيقي للضوء المتولد من المصدر، مضروباً في حاصل جمع واحد إلى (السرعة النسبية على امتداد المحور بين المصدر والمراقب مقسومة على سرعة الضوء) إذا تحرك كل منهما في اتجاه الآخر، أو حاصل طرح (السرعة النسبية مقسومة على سرعة الضوء) من الواحد إذا تحركا مبتعدين.

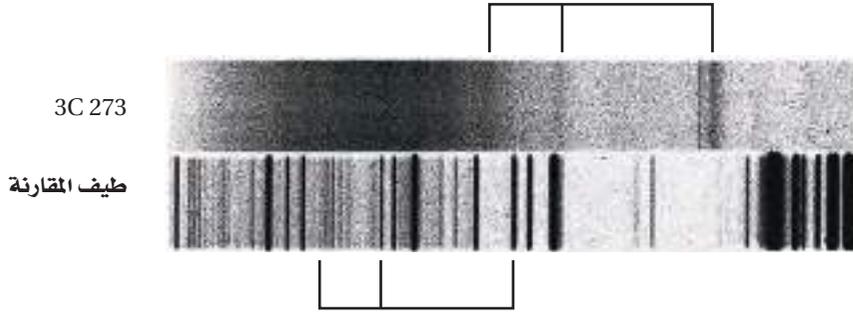
لأن معظم المشاهدات حول تأثير دوبلر في الضوء تمت في سياق علم الفلك فإن معادلة تأثير دوبلر للضوء صيغت بدلالة الطول الموجي بدلاً من التردد. ويمكن استعمال المعادلة الآتية $\lambda = c/f$ والتبسيط $v \ll c$ لحساب إزاحة دوبلر $\Delta\lambda$ ، التي تمثل الفرق بين الطول الموجي المراقب للضوء والطول الموجي الحقيقي له.

$$\Delta\lambda = \pm \frac{v}{c} \lambda$$

الفرق بين الطول الموجي المراقب للضوء والطول الموجي الحقيقي للضوء الذي يولده المصدر يساوي الطول الموجي الحقيقي للضوء الذي يولده المصدر مضروباً في السرعة النسبية للمصدر والمراقب مقسوماً على سرعة الضوء. وهذه الكمية تكون موجبة إذا تحركا مبتعدين أحدهما عن الآخر، وسالبة إذا تحركا مقتربين أحدهما من الآخر.

إن التغير الموجب في الطول الموجي يعني أن الضوء مُزاح نحو الأحمر، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مبتعد عن المراقب. والتغير السالب في الطول الموجي يعني أن الضوء مُزاح نحو الأزرق، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مقترب من المراقب. وعندما يزاح الطول الموجي نحو الأحمر يكون التردد المراقب أقل؛ نتيجة للعلاقة العكسية بين هذين المتغيرين؛ لأن سرعة الضوء تبقى ثابتة. وعندما يُزاح الطول الموجي نحو الأزرق يكون التردد المراقب أكبر.





■ الشكل 20 – 1 تبدو بوضوح ثلاثة خطوط انبعاث لعنصر الهيدروجين مزاحة نحو الأحمر في طيف الكوازار 3C 273، تم تحديدها من خلال إشارات الخطوط خارج الطيفين. حيث أزيحت أطوالها الموجية 16% تقريباً مقارنة بالظروف المختبرية.

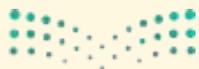
يستطيع الباحثون تحديد كيفية تحرك الأجسام الفلكية، مثل المجرات، بالنسبة للأرض، وذلك بمراقبة انزياح دوبلر للضوء. ويتم ذلك عن طريق مراقبة طيف الضوء المنبعث من النجوم في المجرة باستخدام جهاز يُسمى المطياف، كما هو موضح في الشكل 20-1. حيث تبعث العناصر الموجودة في نجوم المجرات أطوالاً موجية محدّدة يمكن قياسها في المختبر. وللمطياف القدرة على قياس انزياح دوبلر لهذه الأطوال الموجية.

اقترح إدوين هابل في عام 1929 أن الكون يتمدد، وتوصل هابل إلى هذه النتيجة بتحليل طيف الانبعاث القادم من عدة مجرات. ولاحظ هابل أن خطوط الطيف للعناصر المألوفة كانت ذات أطوال موجية أطول من المتوقع، حيث كانت خطوط الطيف مزاحة نحو نهاية الطيف ذي اللون الأحمر. وبغض النظر عن مساحة السماء التي راقبها، فقد كانت المجرات ترسل إلى الأرض ضوءاً مزاحاً نحو الأحمر. ترى، ما سبب انزياح خطوط الطيف نحو الأحمر؟ استنتج هابل من ذلك أن المجرات جميعها تتحرك مبتعدة عن الأرض.

الربط مع ذلك

مسائل تدريبية

11. ما تردد خط طيف الأكسجين إذا كان طوله الموجي 513 nm؟
12. تتحرك ذرة هيدروجين في مجرة بسرعة 6.55×10^6 m/s مبتعدة عن الأرض، وتبعث ضوءاً بتردد 6.16×10^{14} Hz. ما التردد الذي سيلاحظه فلكي على الأرض للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين؟
13. ينظر فلكي إلى طيف مجرة، فيجد أن هناك خطاً لطيف الأكسجين بالطول الموجي 525 nm، في حين أن القيمة المقاسة في المختبر تساوي 513 nm، احسب سرعة تحرك المجرة بالنسبة للأرض، ووضح ما إذا كانت المجرة تتحرك مقتربة من الأرض أم مبتعدة عنها، وكيف تعرف ذلك؟



17. **مزج الأصباغ** ما الألوان الأساسية للأصباغ التي يجب أن تمزج لإنتاج اللون الأحمر؟ وضح كيف ينتج اللون الأحمر باختزال لون من ألوان الصبغة؟
18. **الاستقطاب** صف تجربة بسيطة يمكنك إجراؤها لتحديد ما إذا كانت النظارات الشمسية المتوافرة في المتجر مستقطبة أم لا.
19. **التفكير الناقد** توصل الفلكيون إلى أن مجرة الأندروميديا، وهي المجرة القريبة من مجرتنا (مجرة درب التبانة)، تتحرك في اتجاه مجرتنا. وضح كيف تمكن العلماء من تحديد ذلك. وهل يمكنك التفكير في دليل محتمل لاقتراب مجرة الأندروميديا من مجرتنا؟

14. **مزج ألوان الضوء** ما لون الضوء الذي يجب أن يتحد مع الضوء الأزرق للحصول على الضوء الأبيض؟
15. **تفاعل الضوء مع الصبغة** ما اللون الذي يظهر به الموز الأصفر عندما يُضاء بواسطة كل مما يأتي؟
- a. الضوء الأبيض.
- b. الضوء الأخضر والضوء الأحمر معًا.
- c. الضوء الأزرق.
16. **الخصائص الموجية للضوء** سرعة الضوء الأحمر في الهواء والماء أقل من سرعته في الفراغ. فإذا علمت أن التردد لا يتغير عندما يدخل الضوء الأحمر في الماء، فهل يتغير الطول الموجي؟ وإذا كان هناك تغير فكيف يكون؟



مختبر الفيزياء

استقطاب الضوء Polarization of Light

إن مصدر الضوء الذي يولّد موجات ضوئية مستعرضة جميعها في المستوى الثابت نفسه يقال إنها مُستقطبة في ذلك المستوى. ويمكن استخدام مرشّح الاستقطاب لإيجاد مصادر الضوء التي تنتج ضوءاً مستقطباً. فبعض الأوساط تستطيع أن تُدوّر مستوى استقطاب الضوء في أثناء نفاذ الضوء من خلالها. ومثل هذه الأوساط يقال إنها فعّالة بصرياً. وستستقصي في هذا النشاط هذه المفاهيم للضوء المستقطب.

سؤال التجربة

ما أنواع الإضاءة؟ وما مصادر الضوء التي تولّد ضوءاً مُستقطباً؟

الوادع الأضواء

لوحة مرشّح استقطاب
مصدر ضوء متوهج أو ساطع
مصدر ضوء فلورسنتي
قطع من الورق الأبيض والأسود
آلة حاسبة مزودة بشاشة مصنوعة من البلورات السائلة
منقلة بلاستيكية شفافة
مرآة

الإضاءة

- تجرّب مستخدماً مصادر ضوء ومرشّحات استقطاب مختلفة.
- تصف نتائج تجربتك.
- تميّز الاستخدامات الممكنة لمرشّحات الاستقطاب في الحياة اليومية.



احتياطات السلامة

- قلّل فترة النظر مباشرة إلى مصادر الضوء الساطعة.
- لا تجرّب هذه التجربة باستخدام مصادر أشعة الليزر.
- لا تنظر إلى الشمس، حتى لو كنت تستخدم مرشّحات استقطاب.
- تسخن مصادر الضوء وقد تؤدي إلى حرق الجلد.

الخطوات

1. انظر من خلال مرشّح الاستقطاب إلى مصدر الضوء الساطع، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
2. انظر من خلال مرشّح الاستقطاب إلى مصدر ضوء فلورسنتي، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
3. استخدم مرشّح الاستقطاب لرؤية الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريباً عن سطح المرآة، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
4. استخدم مرشّح الاستقطاب لرؤية الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريباً عن قطعة ورق، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
5. استخدم مرشّح الاستقطاب لرؤية الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريباً عن قطعة ورق سوداء، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.



جدول البيانات	
الملاحظات	مصدر الضوء
	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7
	8

الامتحان والتطبيق

1. **حلل واستنتج** كيف يمكن استخدام مرشحي استقطاب بحيث يمنعان عبور أي ضوء خلالهما؟
2. **حلل واستنتج** لماذا يمكن رؤية المنقلة البلاستيكية الشفافة بين مرشحي الاستقطاب بينما لا يمكن رؤية أي شيء آخر من خلال مرشحي الاستقطاب؟
3. **استخلص النتائج** أي نوع من الحالات تُنتج عمومًا ضوءًا مستقطبًا؟

التوسع في البحث

1. انظر في يوم مشمس، إلى استقطاب السماء الزرقاء في المناطق القريبة من الشمس والمناطق البعيدة عنها مستخدمًا مرشح استقطاب. تحذير: لا تنظر مباشرة إلى الشمس. ما خصائص الضوء المستقطب التي تلاحظها؟
2. هل الضوء المنعكس عن الغيوم مستقطب؟ أعط دليلًا على ذلك.

التعميق في البحث

1. لماذا تُستعمل عدسات مستقطبة في صناعة النظارات ذات الجودة العالية؟
2. لماذا تعد النظارات المستقطبة أفضل من النظارات الملونة عند قيادة السيارة؟

6. استخدم مرشح الاستقطاب لرؤية الشاشة المصنوعة من البلورات السائلة، ثم دوّر المرشح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
7. ضع مرشح استقطاب فوق مرشح الاستقطاب الآخر، وانظر إلى المصدر الضوئي المتوهج من خلال هذين المرشحين. ثم دوّر أحد المرشحين بالنسبة للآخر، وأكمل دورة كاملة، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
8. ضع منقلة بلاستيكية شفافة بين مرشحي الاستقطاب، ثم انظر إلى المصدر الضوئي المتوهج من خلال هذه المجموعة، وأكمل دورة كاملة لأحد المرشحين. ثم ضع المرشحين بالطريقة نفسها التي اتبعتها في الخطوة 7 والتي لم ينتج عندها الضوء، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.

التحليل

1. **فسّر البيانات** هل ينتج الضوء المتوهج ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
2. **فسّر البيانات** هل ينتج الضوء الفلورسنتي ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
3. **فسّر البيانات** هل ينتج انعكاس الضوء عن سطح مرآة ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
4. **قارن** كيف يُقارن الضوء المنعكس عن الورقة البيضاء بالضوء المنعكس عن الورقة السوداء بدلالة الضوء المستقطب؟ ولماذا يختلفان؟
5. **فسّر البيانات** هل الضوء المنبعث من شاشات البلورات السائلة مستقطب؟ كيف تعرف ذلك؟



التقنية والمجتمع

تطورات الإضاءة Advances In Lighting

لأنها تنتج حرارة قليلة، إضافةً إلى إنتاجها كمية كبيرة من الضوء. مصابيح الكوارتز-الهالوجين لحماية الفتيلة من التلف يُصنع المصباح صغيراً جداً ومملوءاً بغاز البرومين أو اليود. حيث تتحد أيونات التنجستن الموجودة في الفتيلة بجزيئات الغاز في الحيز البارد من المصباح لتكوين مركب يدور خلال المصباح ويتحد ثانية بالفتيلة. ويكون الضوء الناتج ناصع البياض وساطعاً، لكنه يولد حرارة تؤدي إلى صهر المصباح الزجاجي العادي، لذا يستخدم الكوارتز الذي له درجة انصهار عالية.

مصابيح الغازات المخلخلة يصنع هذا النوع من المصابيح من أنبوب زجاجي مع أسلاك كهربائية (قطب كهربائي) مثبتة عند طرفي الأنبوب، ويستخرج الهواء جميعه من داخل الأنبوب ويوضع مكانه كمية قليلة جداً من غاز محدد. وعند تطبيق

فرق جهد بين طرفي الأنبوب، تؤين الكهرباء ذرات الغاز. ويُعدّ الغاز المؤين موصلاً جيداً للكهرباء، لذا يسري التيار الكهربائي خلاله، ويتوهج الغاز.

يعتمد استخدام مصابيح الغازات المخلخلة على نوع الغاز؛ إذ يستخدم غاز النيون في لوحات الإعلانات، ويستخدم غاز الزنون في الكشافات وفي وامضات آلات التصوير، كما يستخدم غاز الصوديوم في مصابيح إنارة الشوارع. ويعطي كل غاز لوناً مختلفاً إلا أن تراكيب المصابيح تكون متشابهة إلى حد كبير.

سجل التاريخ استخدام الزيت والشموع والغاز لتوفير الإضاءة، فكان هناك دائماً خطر كامن في استخدام اللهب المكشوف للحصول على الضوء. وجاء اختراع الإضاءة الكهربائية في القرن التاسع عشر، فزودنا بضوء أكثر سطوعاً، كما تحسنت وسائل الأمان والسلامة العامة للناس.

والمصابيح المتوهجة هي الشكل التقليدي للإضاءة الكهربائية الشائعة حتى الآن، حيث تُسخن فتيلة التنجستن بالكهرباء حتى تتوهج باللون الأبيض. والتنجستن لا يحترق ولكنه يتبخر، مما يؤدي إلى تلف فتيلة التنجستن، لذا فلن يكون الحصول على الضوء منه فعالاً جداً. وقد حدث تطوير في الإضاءة الكهربائية لإنتاج مصادر إضاءة أطول عمراً وأقل إنتاجاً للحرارة.



تظهر الصور من أعلى اليسار وفي اتجاه حركة عقارب الساعة، الثنائيات الباعثة للضوء، ومصابيح فلورسنتية، ومصباح الهالوجين، ومصباح الغازات المخلخلة في صورة مصابيح النيون.

الصمامات الثنائية الباعثة للضوء

يمكن أن تكون الصمامات الثنائية الباعثة للضوء مصادر الضوء في المستقبل. حيث ينتج الصمام الثنائي ضوءاً أبيض، وذلك بإضاءة شاشة فوسفورية صغيرة جداً داخله باستخدام ضوء أزرق. وتعطي هذه الصمامات إضاءة كافية للقراءة، ولا تكاد تنتج حرارة. وتميز بكفاءتها العالية حيث يمكن لبطارية سيارة تزويد هذه المصابيح بالطاقة الكهربائية لتعمل في المنزل أياماً عدة دون الحاجة إلى إعادة شحنها.

المصابيح الفلورسنتية يكون التوهج الناتج عن بخار الزئبق غير مرئي؛ لأن معظم طيفه يكون في نطاق الضوء فوق البنفسجي، وهو غير مرئي. لذا يُصنع المصباح الفلورسنتي بطلاء السطح الداخلي لمصباح تخلخل الزئبق بالفوسفور، وهو عنصر كيميائي يتوهج عندما يصطدم به الضوء فوق البنفسجي. وتصنع المصابيح الفلورسنتية بأي لون؛ وذلك بتغيير المزيج المتكوّن من الفوسفور الأحمر والأخضر والأزرق. وهي مصابيح اقتصادية، وتعمل طويلاً؛

التوسع

1. **لاحظ** بمساعدة معلمك بعض الأجهزة التي تستخدم الأضواء، وافحص بعضها لترى أنواع التقنيات المستخدمة في المصابيح.
2. **ابحث** في التركيب الداخلي لبعض أنواع مصابيح تفرغ الغاز بالإضافة إلى خصائص لون الضوء لكل منها ومجالات استخدامها اليومية العادية.

1-1 الاستضاءة Illumination

المفردات

- نموذج الشعاع الضوئي
- المصدر المضيء
- المصدر المستضيء (المضاء)
- الوسط غير الشفاف (المعتم)
- الوسط الشفاف
- الوسط شبه الشفاف
- التدفق الضوئي
- الاستضاءة

المفاهيم الرئيسية

- ينتقل الضوء في خط مستقيم خلال أي وسط منتظم.
- يمكن تصنيف المواد على أنها شفافة، أو شبه شفافة أو غير شفافة (معتمة)، اعتمادًا على كمية الضوء التي تعكسها، أو تنفذها أو تمتصها.
- التدفق الضوئي لمصدر ضوئي هو المعدل الذي ينبعث به الضوء، ويقاس بوحدة لومن lm.
- الاستضاءة هي التدفق الضوئي لكل وحدة مساحة، وتقاس بوحدة لو كس lx، أو لومن لكل متر مربع lm/m^2 .
- الاستضاءة بفعل مصدر ضوء نقطي تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة وتردديًا مع التدفق الضوئي.

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

- سرعة الضوء في الفراغ ثابتة وتساوي $c = 3.00 \times 10^8$ m/s.

1-2 الطبيعة الموجية للضوء The Wave Nature of Light

المفردات

- الحيود
- اللون الأساسي
- اللون الثانوي
- الصبغة الأساسية
- الصبغة الثانوية
- الألوان المتممة
- الاستقطاب
- قانون مالوس

المفاهيم الرئيسية

- للضوء المرئي أطوال موجية تتراوح بين 400 nm و 700 nm.
- يتكوّن الضوء الأبيض من تراكب ألوان الطيف، ولكل لون طول موجي خاص به.
- تراكب الألوان الأساسية (الأحمر والأخضر والأزرق) يكوّن الضوء الأبيض. ويشكّل تراكب لونين أساسيين أحد الألوان الثانوية الآتية: الأصفر، الأزرق الفاتح، الأحمر المزرقي.
- يتكوّن الضوء المستقطب من موجات تنذبذ في المستوى نفسه.
- عند استخدام مرشّحي استقطاب لاستقطاب الضوء فإن شدة الضوء الخارج من المرشّح الأخير تعتمد على الزاوية بين محوري الاستقطاب لمرشّحي الاستقطاب.

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

- يمكن تمييز موجات الضوء المنتقلة خلال الفراغ بدلالة كل من ترددها وطولها الموجي وسرعتها.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

- تتعرّض موجات الضوء لإزاحة دوبلر، التي تعتمد على السرعة النسبية على امتداد المحور بين المراقب ومصدر الضوء.

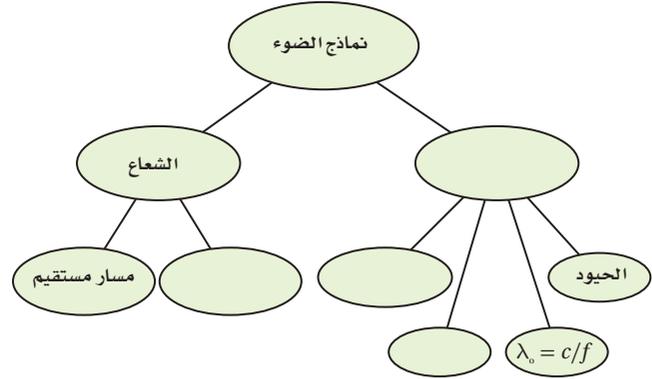
$$f_{\text{المراقب}} = f \left(1 \pm \frac{v}{c} \right)$$

$$\Delta\lambda = (\lambda_{\text{المراقب}} - \lambda) = \pm \frac{v}{c} \lambda$$



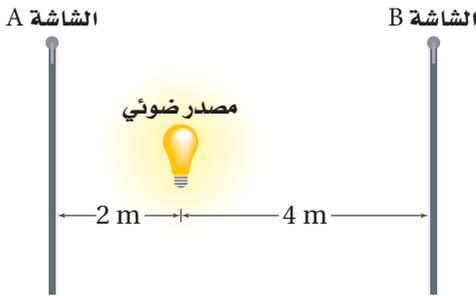
خريطة المفاهيم

20. أكمل خريطة المفاهيم الآتية باستخدام المصطلحات الآتية: الموجة، c ، تأثير دوبلر، الاستقطاب.



تطبيق المفاهيم

36. يقع مصدر ضوء نقطي على بُعد 2.0 m من الشاشة A، وعلى بُعد 4.0 m من الشاشة B، كما يتضح من الشكل 1-21. قارن بين الاستضاءة على الشاشة B والاستضاءة على الشاشة A؟



الشكل 1-21 ■

37. مصباح الدراسة يبعد مصباح صغير مسافة 35 cm من صفحات كتاب، فإذا ضاعفت المسافة:
 a. فهل تبقى الاستضاءة على الكتاب هي نفسها دون تغيير؟
 b. إذا لم تكن كذلك فكم تكون أكبر أو أصغر؟
 38. لماذا يُطلّى السطح الداخلي للمناظير والآلات التصوير باللون الأسود؟

إتقان المفاهيم

21. لا ينتقل الصوت خلال الفراغ، فكيف تعرف أن الضوء ينتقل في الفراغ؟ (1-1)
 22. فرّق بين المصدر المضيء والمصدر المستضيء. (1-1)
 23. انظر بعناية إلى مصباح متوهج تقليدي. هل هو مصدر مضيء أم مصدر مستضيء؟ (1-1)
 24. اقترح طريقة تمكنك من رؤية الأجسام العادية غير المضيئة في غرفة الصف. (1-1)
 25. فرّق بين الأجسام الشفافة وشبه الشفافة وغير الشفافة (المعتمة). (1-1)
 26. ما الذي يتناسب طردياً مع استضاءة سطح بمصدر ضوئي؟ وما الذي يتناسب معه عكسياً؟ (1-1)
 27. ما افتراض جاليليو بالنسبة لسرعة الضوء؟ (1-1)
 28. لماذا يعد حيود الموجات الصوتية أكثر شيوعاً في الحياة اليومية من حيود الموجات الضوئية؟ (1-2)
 29. ما لون الضوء الذي لديه أقصر طول موجي؟ (1-2)
 30. ما مدى الأطوال الموجية للضوء، بدءاً من الأقصر إلى الأطول؟ (1-2)

تقويم الفصل 1

45. تبدو التفاحة حمراء لأنها تعكس الضوء الأحمر وتمتص الضوء الأزرق والبنفسجي.
 a. لماذا يظهر السلوفان الأحمر أحمر اللون عند النظر إليه من خلال الضوء المنعكس؟
 b. لماذا يظهر مصباح الضوء الأبيض أحمر اللون عند النظر إليه من خلال السلوفان الأحمر؟
 c. ماذا يحدث لكل من: الضوء الأزرق والبنفسجي الأخضر؟

46. في المسألة السابقة، إذا وضعت قطعتي السلوفان الحمراء والخضراء على أحد المصباحين، وسلطت حزمة ضوئية منه على حائط أبيض اللون، فما اللون الذي ستراه؟ وضح إجابتك.

47. **مخالفة السير** تخيل أنك شرطي مرور، وأوقفت سائقاً تجاوز الإشارة الحمراء، وافترض أيضاً أن السائق وضح لك من خلال رسم الشكل 1-23 أن الضوء كان يبدو أخضر بسبب تأثير دوبلر عندما قطع الإشارة. وضح له مستخدماً معادلة إزاحة دوبلر، كم يجب أن تكون سرعته حتى يبدو الضوء الأحمر ($\lambda = 645 \text{ nm}$) على شكل ضوء أخضر ($\lambda = 545 \text{ nm}$). تلميح: افترض لحل هذه المسألة أن معادلة إزاحة دوبلر يمكن تطبيقها عند هذه السرعة.



الشكل 1-23 ■

39. **لون إضاءة الشوارع** تحتوي بعض مصابيح الشوارع الفعالة جداً على بخار الصوديوم تحت ضغط عالٍ. وتنتج هذه المصابيح ضوءاً معظمه أصفر وجزء قليل منه أحمر. هل تستخدم المجتمعات التي فيها مثل هذه المصابيح سيارات شرطة ذات لون أزرق فاتح؟ ولماذا؟

ارجع إلى الشكل 1-22 عند حل المسألتين الآتيتين.



الشكل 1-22 ■

40. ماذا يحدث للاستضاءة على صفحات الكتاب عند تحريك المصباح بعيداً عن الكتاب؟
 41. ماذا يحدث لشدة إضاءة المصباح عند تحريكه بعيداً عن الكتاب؟
 42. **الصور المستقطبة** يضع مصورو الفوتوجراف مرشحات استقطاب فوق عدسات الكاميرا لكي تبدو الغيوم أكثر وضوحاً، فتبقى الغيوم بيضاء في حين تبدو السماء داكنة بصورة أكبر. وضح ذلك معتمداً على معرفتك بالضوء المستقطب.
 43. إذا كان لديك الأصباغ الآتية: الصفراء والزرقة الفاتحة والحمراء المزرقة فكيف تستطيع عمل صبغة زرقاء اللون؟ وضح إجابتك.
 44. إذا وضعت قطعة سلوفان حمراء على مصباح يدوي، ووضعت قطعة سلوفان خضراء على مصباح آخر، وسلطت حزمة ضوئية على حائط أبيض اللون فما الألوان التي ستراها عندما تتراب الحزم الضوئية للمصباحين؟



تقويم الفصل 1

إتقان حل المسائل

1-1 الاستضاءة

48. أوجد الاستضاءة على مسافة 4.0 m أسفل مصباح تدفقه الضوئي 405 lm.

49. يحتاج الضوء إلى زمن مقداره 1.28 s لينتقل من القمر إلى الأرض. فما مقدار المسافة بينهما؟

50. يستهلك مصباح كهربائي ثلاثي الضبط قدرة كهربائية 50 W، 100 W، 150 W لإنتاج تدفق ضوئي 665 lm، 1620 lm، 2285 lm في أزرار ضبطه الثلاثة. إذا وضع المصباح على بُعد 80 cm فوق ورقة وكانت أقل استضاءة لازمة لإضاءة الورقة هي 175 lx، فما أقل زر ضبط ينبغي أن يُستخدم؟

51. سرعة الأرض وجد العالم أولي رومر أن متوسط زيادة التأخير في اختفاء القمر Io أثناء دورانه حول المشتري من دورة إلى التي تليها يساوي 13 s، فأجب عما يأتي:

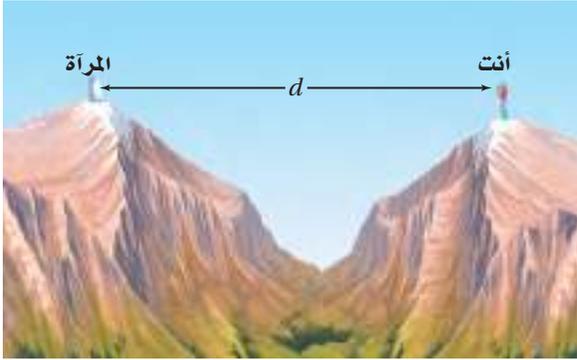
a. ما المسافة التي يقطعها الضوء خلال 13 s؟

b. تحتاج كل دورة للقمر Io إلى 42.5 h، وتتحرك الأرض المسافة المحسوبة في الفرع a خلال 42.5 h. أوجد سرعة الأرض بوحدة km/s.

c. تحقق أن إجابتك للفرع b منطقية، واحسب سرعة الأرض في المدار مستخدماً نصف قطر المدار 1.5×10^8 km والفترة 1.0 yr.

52. يريد أحد الطلاب مقارنة التدفق الضوئي لمصباح ضوئي يدوي بمصباح آخر تدفقه الضوئي 1750 lm، وكان كل منهما يضيء ورقة بالتساوي. فإذا كان المصباح 1750 lm يقع على بُعد 1.25 m من الورقة، في حين كان المصباح الضوئي اليدوي يقع على بُعد 1.08 m، فاحسب التدفق الضوئي للمصباح اليدوي.

53. افترض أنك أردت قياس سرعة الضوء، وذلك بوضع مرآة على قمة جبل بعيد، ثم قمت بضغط زر وميض آلة تصوير وقياس الزمن الذي احتاج إليه الوميض لينعكس عن المرآة ويعود إليك، كما موضح في الشكل 1-24. وتمكّن شخص من تحديد فترة زمنية مقدارها 0.10 s تقريباً دون استخدام أجهزة. ما بعد المرآة عنك؟ قارن بين هذه المسافة وبعض المسافات المعروفة.



الشكل 1-24 ■

1-2 الطبيعة الموجية للضوء

54. حوّل الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm إلى وحدة الأمتار.

55. حركة المجرة ما السرعة التي تتحرك بها مجرة بالنسبة للأرض، إذا كان خط طيف الهيدروجين 486 nm قد أزيح نحو الأحمر 491 nm؟

56. النظارات الشمسية المستقطبة في أي اتجاه يجب توجيه محور النفاذ للنظارات الشمسية المستقطبة للتخلص من الوهج الصادر عن سطح الطريق: في الاتجاه الرأسي أم الأفقي؟ فسر إجابتك.



تقويم الفصل 1

62. **الرعد والبرق** وضح لماذا تحتاج إلى 5 s لسماع الرعد عندما يبعد البرق مسافة 1.6 km.
63. **الدوران الشمسي** لأن الشمس تدور حول محورها فإن أحد جوانبها يتحرك في اتجاه الأرض، أما الجانب المقابل فيتحرك مبتعداً عنها. وتكمل الشمس دورة كاملة كل 25 يوماً تقريباً، ويبلغ قطرها 1.4×10^9 m. فإذا بعث عنصر الهيدروجين في الشمس ضوءاً بتردد 6.16×10^{14} Hz من كلا الجانبين فما التغيير في الطول الموجي المراقب؟

التفكير الناقد

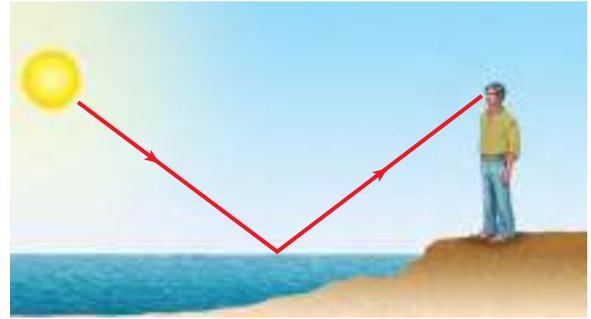
64. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** يبعد مصدر ضوئي شدة إضاءته 110 cd مسافة 1.0 m عن شاشة. حدّد الاستضاءة على الشاشة في البداية، وأيضاً عند كل متر تزداد فيه المسافة حتى 7.0 m، ومثل البيانات بيانياً.

a. ما شكل المنحنى البياني؟

- b. ما العلاقة بين الاستضاءة والمسافة الموضحة بواسطة الرسم البياني؟

65. **حلّ واستنتج** إذا كنت تقود سيارتك عند الغروب في مدينة مزدحمة بينايات جدرانها مغطاة بالزجاج، حيث يؤدي ضوء الشمس المنعكس عن الجدران إلى انعدام الرؤيا لديك مؤقتاً. فهل تحلّ النظارات المستقطبة هذه المشكلة؟

57. **حركة المجرة** إذا كان خط طيف عنصر الهيدروجين المعروف بطول موجي 434 nm مزاحاً نحو الأحمر بنسبة 6.50% في الضوء القادم من مجرة بعيدة، فما سرعة ابتعاد المجرة عن الأرض؟
58. لأي خط طيفي، ما القيمة غير الحقيقية للطول الموجي الظاهري لمجرة تتحرك مبتعدة عن الأرض؟ ولماذا؟
59. افترض أنك كنت تتجه إلى الشرق عند شروق الشمس. وينعكس ضوء الشمس عن سطح بحيرة، كما في الشكل 1-25، فهل الضوء المنعكس مستقطب؟ إذا كان كذلك ففي أي اتجاه؟



■ الشكل 1-25

مراجعة عامة

60. **إضاءة مصابيح الطرق** عمود إنارة يحوي مصباحين متماثلين يرتفعان 3.3 m عن سطح الأرض. فإذا أراد مهندسو البلدية توفير الطاقة الكهربائية وذلك بإزالة أحد المصباحين، فكم يجب أن يكون ارتفاع المصباح المتبقي عن الأرض لإعطاء الاستضاءة نفسها على الأرض؟
61. مصدر ضوء نقطي شدة إضاءته 10.0 cd ويبعد 6.0 m عن جدار. كم يبعد مصباح آخر شدة إضاءته 60.0 cd عن الجدار إذا كانت استضاءة المصباحين متساوية عنده؟



تقويم الفصل 1

الكتابة في الفيزياء

66. ابحث لماذا لم يتمكن جاليليو من قياس سرعة الضوء؟
67. اكتب مقالاً تصف فيه تاريخ المعرفة البشرية المتعلقة بسرعة الضوء، وضمّنه إنجازات العلماء المهمة في هذا المجال.
68. ابحث في معلومات النظام الدولي للوحدات SI المتعلقة بوحدة الشمعة cd، وعبر بلغتك الخاصة عن المعيار الذي يستخدم في تحديد قيمة 1 cd.

مراجعة تراكمية

69. وضع مرشّحان ضوئيّان على مصباحين يدويين بحيث يُنفذ أحدهما ضوءاً أحمر، ويُنفذ الآخر ضوءاً أخضر. إذا تقاطعت الحزمتان الضوئيّتان فلماذا يبدو لون الضوء في منطقة التقاطع أصفر، ثم يعود إلى لونه الأصلي بعد التقاطع؟ فسّر بدلالة الموجات. (الفصل 1).



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. شوهد نجم مستعرٌ في عام 1987 في مجرة قريبة، واعتقد العلماء أن المجرة تبعد 1.66×10^{21} m. ما عدد السنوات التي مضت على حدوث انفجار النجم فعلياً قبل رؤيته؟
- (A) 5.53×10^3 yr (B) 1.75×10^5 yr
(C) 5.53×10^{12} yr (D) 1.74×10^{20} yr

2. تتحرك مجرة مبعده بسرعة 5.8×10^6 m/s، ويبدو تردد الضوء الصادر عنها 5.6×10^{14} Hz بالنسبة لمراقب. ما تردد الضوء المنبعث منها؟

- (A) 1.1×10^{13} Hz (B) 5.5×10^{14} Hz
(C) 5.7×10^{14} Hz (D) 6.2×10^{14} Hz

3. إذا احتاج الضوء الصادر عن الشمس إلى 8.0 min للوصول إلى الأرض فكم تبعد الشمس عنها؟

- (A) 2.4×10^9 m (B) 1.4×10^{10} m
(C) 1.4×10^8 km (D) 2.4×10^9 km

4. ما مقدار تردد ضوء طوله الموجي 404 nm في الفراغ؟

- (A) 2.48×10^{-3} Hz (B) 7.43×10^5 Hz
(C) 2.48×10^6 Hz (D) 7.43×10^{14} Hz

5. إذا كانت الاستضاءة الناتجة بفعل مصباح ضوئي قدرته 60.0 W على بعد 3.0 m تساوي 9.35 lx، فما التدفق الضوئي الكلي للمصباح؟

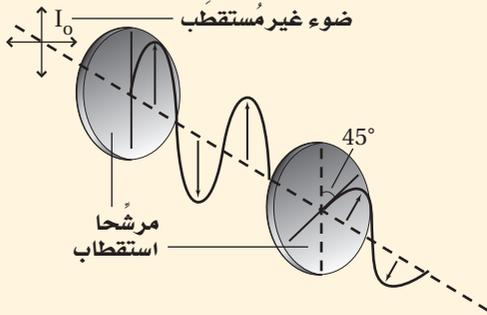
- (A) 8.3×10^{-2} lm (B) 7.4×10^{-1} lm
(C) 1.2×10^2 lm (D) 1.1×10^3 lm

6. ماذا نعني بالعبارة "إنتاج اللون باختزال أشعة الضوء"؟

- (A) مزج الضوء الأخضر والأحمر والأزرق ينتج عنه الضوء الأبيض.
(B) ينتج لون عن إثارة الفوسفور بالإلكترونات في جهاز التلفاز.
(C) يتغير لون الطلاء باختزال ألوان معينة، ومنها إنتاج الطلاء الأزرق من الأخضر بالتخلص من اللون الأصفر.
(D) يتكوّن اللون الذي يظهر به الجسم نتيجة امتصاص أطوال موجية محدّدة للضوء وانعكاس بعضها الآخر.

الأسئلة الممتدة

7. يسقط ضوء غير مستقطب شدته I_0 على مرشح استقطاب، ويصطدم الضوء النافذ بمرشح استقطاب ثانٍ، كما يتضح من الشكل أدناه. ما شدة الضوء النافذ من مرشح الاستقطاب الثاني؟



إرشاد

طرح الأسئلة

عندما يكون لديك استفسار حول الاختبار، مثل طريقة توزيع الدرجات، أو الزمن المخصص لكل جزء، أو أي شيء آخر، فاسأل المعلم أو الشخص المشرف على الاختبار حول ذلك.

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تعرّف كيفية انعكاس الضوء عن أسطح مختلفة.
- تعرّف أنواع المرايا المختلفة واستخداماتها.
- وصف الصور التي شكّلتها المرايا باستعمال طريقتي رسم الأشعة والنماذج الرياضية.

الأهمية

يتحدّد الانعكاس الذي تراه بمعرفة الكيفية التي ينعكس بها الضوء عن سطح ما نحو عينيك. وعندما تنظر إلى أسفل نحو سطح بحيرة تشاهد صورة لك معتدلة إلى أعلى.

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

فكر

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





كيف تظهر الصورة على شاشة؟

سؤال التجربة ما نوع المرايا التي يمكنها عكس الصورة على شاشة؟

الخطوات

1. احصل من معلمك على بطاقة فهرسة (بطاقة كرتونية)، ومرآة مستوية، ومرآة مقعرة، ومرآة محدبة، ومصباح ضوئي يدوي.
2. أطفئ أضواء الغرفة، وقف بجانب النافذة.
3. أمسك البطاقة بيد والمرآة المستوية باليد الأخرى.
4. اعكس الضوء القادم من النافذة على البطاقة. تحذير: لا تنظر إلى الشمس مباشرة أو إلى ضوء الشمس المنعكس عن المرآة. قَرِّب البطاقة نحو المرآة ببطء أو أبعدا عنها ببطء، وحاول تكوين صور واضحة للأجسام الموجودة في الخارج.
5. إذا استطعت تكوين صورة واضحة على البطاقة فإن هذه الصورة تكون حقيقية، أما إذا كان الضوء مشتتاً على

6. أعد الخطوات من 3 إلى 5 باستخدام مرآة مقعرة ثم مرآة محدبة.
7. كرر الخطوة 4 لكل مرآة بحيث تستخدم المصباح الضوئي، ولاحظ الانعكاس على البطاقة.

التحليل

أي مرآة كَوَّنت صوراً حقيقية (تكونت على حاجز)؟
ما ملاحظاتك حول الصورة أو الصور التي شاهدتها؟
التفكير الناقد وضح كيف تتكون الصور الحقيقية استناداً إلى ملاحظاتك حول الصور الناتجة باستخدام المصباح الضوئي.



2-1 الانعكاس عن المرايا المستوية Reflection from Plane Mirrors

الأهداف

- توضّح قانون الانعكاس.
- تقارن بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم.
- تحدّد موقع الصور التي تكوّنّها المرايا المستوية.

المفردات

- الانعكاس المنتظم
- الانعكاس غير المنتظم
- المرآة المستوية
- الجسم
- الصورة
- الصورة الخيالية

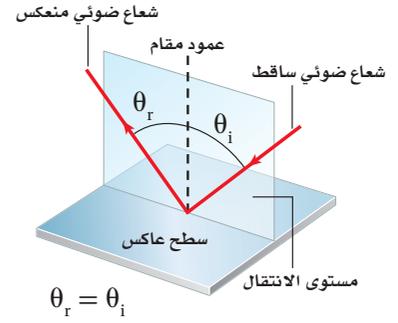
شاهد الإنسان منذ القدم انعكاساً لصورة وجهه في البحيرات وبرك المياه الساكنة. ولا يكون هذا الانعكاس دائماً واضحاً؛ إذ تحدث أحياناً تموجات على سطح الماء بسبب حركة الرياح أو حركة القوارب، مما يحول دون حدوث انعكاس واضح للضوء. عرف المصريون قبل 4000 سنة تقريباً أن الانعكاس يتطلب سطحاً أملس مصقولاً، لذا استخدموا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

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

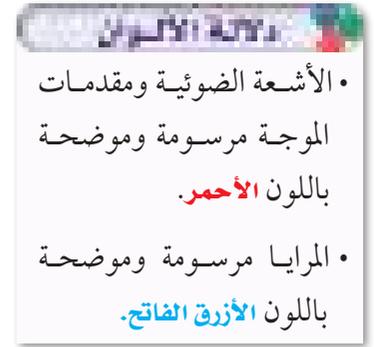
قانون الانعكاس The Law of Reflection

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

درست سابقاً أنه عندما تنتشر موجة في بعدين وتصطدم بحاجز فإن زاوية سقوطها على الحاجز تساوي زاوية انعكاسها. وينطبق هذا الانعكاس أيضًا على موجات الضوء. فكّر الآن فيما يحدث لكرة السلة عندما يدفعها اللاعب إلى الأرض لترتد إلى زميله. سيلاحظ مراقب يراقب حركة الكرة من أعلى أن الكرة ترتد في خط مستقيم في اتجاه اللاعب الآخر. وينعكس الضوء بالطريقة نفسها التي ترتد بها كرة السلة. ويبين الشكل 1-2 سقوط شعاع ضوئي على سطح مستوٍ عاكس. وتلاحظ أن هناك خطأً وهميًا عموديًا على السطح العاكس عند نقطة سقوط الشعاع الضوئي على السطح، ويُسمى هذا الخط العمود المقام. ويقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس من نقطة سقوط الشعاع الضوئي في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس. وعلى الرغم من أن الضوء ينتشر في ثلاثة أبعاد إلا أن انعكاسه يكون في مستوى واحد؛ أي في بعدين. وتُعرف العلاقة بين زاويتي السقوط والانعكاس باسم قانون الانعكاس.



الشكل 1-2 يقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس ضمن مستوى الانتقال نفسه.



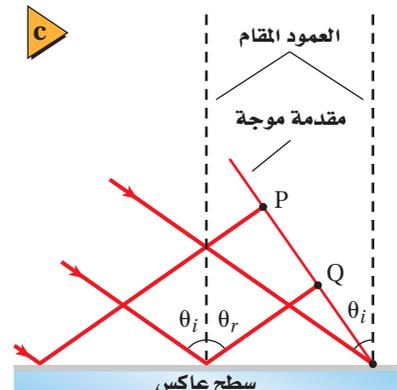
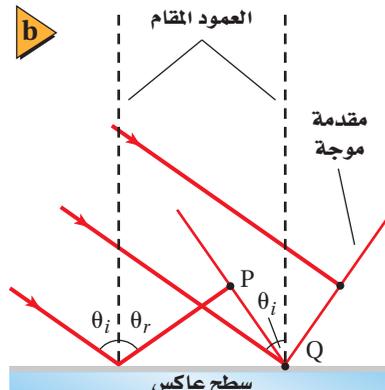
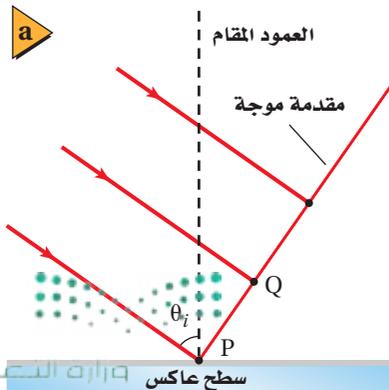
الشكل 2-2 تقترب مقدمة الموجة الضوئية من السطح العاكس. تصطدم النقطة P الموجودة على مقدمة الموجة بالسطح أولاً (a). وتصل النقطة Q إلى السطح بعد أن تكون النقطة P قد انعكست بزواوية مساوية لزاوية السقوط (b). وتستمر العملية وتتابع النقاط جميعها الانعكاس بزوايا مساوية لزاويا سقوطها، مما يؤدي إلى تشكل مقدمة الموجة المنعكسة (c).

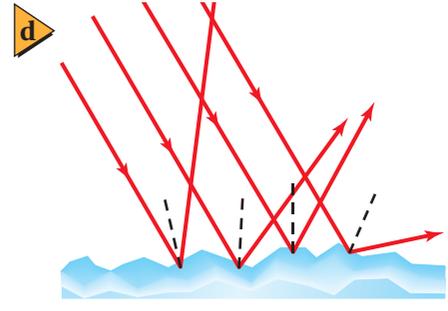
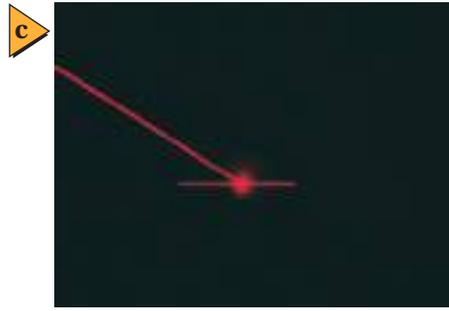
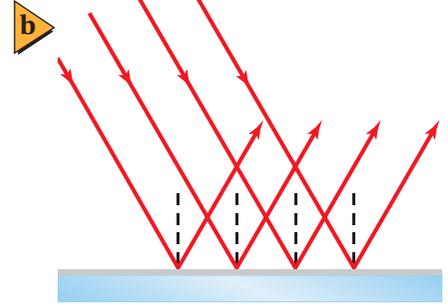
قانون الانعكاس $\theta_r = \theta_i$

حيث تمثل θ_i زاوية السقوط، و θ_r زاوية الانعكاس.

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

يمكن تفسير هذا القانون باستخدام النموذج الموجي للضوء؛ إذ يبين الشكل 2a-2 مقدمة موجة الضوء تقترب من السطح العاكس، وعندما تصل كل نقطة على امتداد مقدمة الموجة إلى السطح العاكس فإنها تنعكس بالزاوية نفسها كالنقطة السابقة لها كما في الشكل 2b-2.





■ الشكل 3-2 عندما تسقط حزمة ضوئية على سطح مرآة (a) تنعكس الأشعة المتوازية في الحزمة الساقطة متوازيةً ومحافظةً على شكل الحزمة (b). وعندما تسقط حزمة الضوء على سطح خشن (c) تنعكس الأشعة المتوازية في الحزمة الساقطة عن سطوح مختلفة صغيرة جداً، مما يؤدي إلى تشتيت الأشعة (d).

ولأن النقاط جميعها تنتشر بالسرعة نفسها فإنها ستقطع المسافة الكلية نفسها خلال الزمن نفسه، لذا تنعكس مقدمة الموجة كاملة عن السطح بزواوية مساوية لزواوية سقوطها. كما في الشكل 2c-2. لاحظ أن الطول الموجي للضوء لا يؤثر في هذه العملية؛ فألوان الضوء الأحمر والأخضر والأزرق جميعها تتبع هذا القانون.

السطوح الملساء والسطوح الخشنة تأمل حزمة الضوء الساقطة في الشكل 3a-2 ولاحظ أن جميع الأشعة في الحزمة الضوئية قد انعكست عن السطح متوازية، كما في الشكل 3b-2. وهذا يحدث فقط إذا كان السطح العاكس أملس وفق مقياس الطول الموجي للضوء. فالسطح الأملس أو المصقول، مثل المرآة، يسبب **انعكاساً منتظماً**؛ أي أن الأشعة الضوئية التي تسقط عليه متوازية تنعكس عنه متوازية أيضاً.

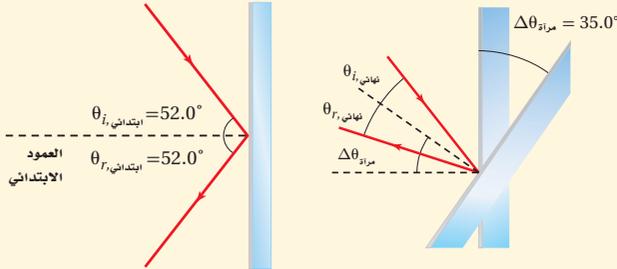
ماذا يحدث عندما يسقط الضوء على سطح يبدو أملس ومصقولاً ولكنه في الواقع خشن وفق مقياس الطول الموجي للضوء، مثل صفحة هذا الكتاب أو جدار أبيض؟ فهل سينعكس الضوء؟ وكيف توضح ذلك؟ يبين الشكل 3c-2 حزمة ضوئية تنعكس عن صحيفة ورقية خشنة السطح، حيث سقطت أشعة الحزمة الضوئية جميعها متوازية، ولكنها انعكست غير متوازية، كما في الشكل 3d-2. ويُسمى تشتت الضوء عن سطح خشن **انعكاساً غير منتظم**.

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



مثال 1

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



1 تحليل المسألة ورسمها

• مثل الحالة قبل دوران المرآة.

• ارسم شكلاً آخر بتطبيق زاوية الدوران على المرآة.

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

لتقليل زاوية السقوط دور المرآة في اتجاه حركة عقارب الساعة.

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

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

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

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

طبّق قانون الانعكاس

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنونة 256

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

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

$$= 17.0^\circ$$

في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

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

أوجد الزاوية التي دار بها الشعاع المنعكس باستخدام الشكلين

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

3 تقويم الجواب

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

1. عند سكب كمية ماء فوق سطح زجاج خشن يتحوّل انعكاس الضوء من انعكاس غير منتظم إلى انعكاس منتظم. وضح ذلك

2. إذا كانت زاوية سقوط شعاع ضوئي 42.0° فما مقدار كل مما يأتي:

a. زاوية الانعكاس.

b. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والمرآة.

c. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.

3. سقطت حزمة ضوء ليزر على سطح مرآة مستوية بزاوية 38.0° بالنسبة للعمود المقام. فإذا حُرِّك الليزر بحيث زادت

زاوية السقوط بمقدار 13.0° فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟

4. وضعت مرآتان مستويتان إحداها عمودية على الأخرى. فإذا أسقط شعاع ضوئي على إحداها بزاوية 30.0° بالنسبة

للعמוד المقام، وانعكس في اتجاه المرآة الثانية، فما مقدار زاوية انعكاس الشعاع الضوئي عن المرآة الثانية؟

الأجسام والصور في المرايا المستوية Objects and Plane-Mirror Images

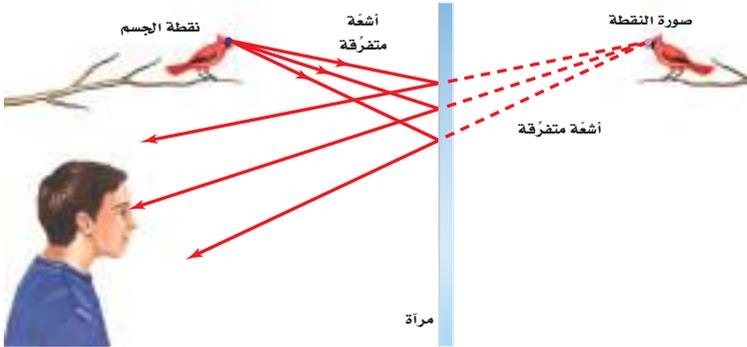


عندما تنظر إلى نفسك بواسطة مرآة مستوية فإن ما تشاهده هو صورتك فيها. **فالمرآة المستوية** عبارة عن سطح مستوٍ أملس (مصقول) ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا. ولفهم انعكاس الضوء عن المرايا يجب أن نحدّد الجسم ونوع الصورة المتكوّنة. وقد استخدمت كلمة جسم في الفصل السابق لتشير إلى مصدر الضوء، أما في موضوع المرايا فتستخدم كلمة جسم بالطريقة نفسها، لكن بتطبيق أكثر تحديدًا؛ **فالجسم** هو مصدر الأشعة الضوئية التي ستعكس عن سطح مرآة، ويمكن أن يكون الجسم مصدرًا مضيئًا مثل المصباح، أو مصدرًا مستضيئًا مثل الشاب، كما في الشكل 4-2.

■ **الشكل 4-2** المصباح الضوئي مصدر مضيء، ويشع الضوء في الاتجاهات جميعها. أما الشاب فيعد مصدرًا مستضيئًا يشع ضوء المصباح الساقط على جسمه عن طريق الانعكاس غير المنتظم للضوء.

خذ نقطة مفردة على الطائر الموضح في الشكل 5-2، تلاحظ أن الضوء ينعكس بصورة مشتمّة (انعكاس غير منتظم) من منقار الطائر - نقطة الجسم - فماذا يحدث للضوء المنعكس؟ يسقط الضوء من الطائر على المرآة وينعكس. وماذا سيشاهد الصبي؟ سيصل بعض الضوء المنعكس إلى عيني الصبي. ولأن دماغه يُعالج هذه الأشعة وكأنها سلكت مسارًا مستقيمًا، لذا سيبدو له أن الضوء يتبع الخطوط المتقطعة على الشكل؛ أي كأنه قادم من نقطة خلف المرآة، والتي تمثل صورة النقطة.

وسيرى الصبي في الشكل 5-2 الأشعة الضوئية القادمة من نقاط متعددة على جسم الطائر بالطريقة نفسها، وبذلك تتشكل **صورة** الطائر من اتحاد صورة النقاط الناتجة بفعل الأشعة



الضوئية المنعكسة، وتعد هذه الصورة **صورة** **خيالية**؛ وذلك لأنها تكونت من التقاء امتدادات الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة. وتقع الصور الخيالية دائمًا على الجانب الآخر من المرآة (خلف المرآة)، وهذا يعني أن صور الأجسام الحقيقية المتكوّنة في المرايا المستوية دائمًا هي صور خيالية؛ لأنه لا يمكن جمعها على حاجز.

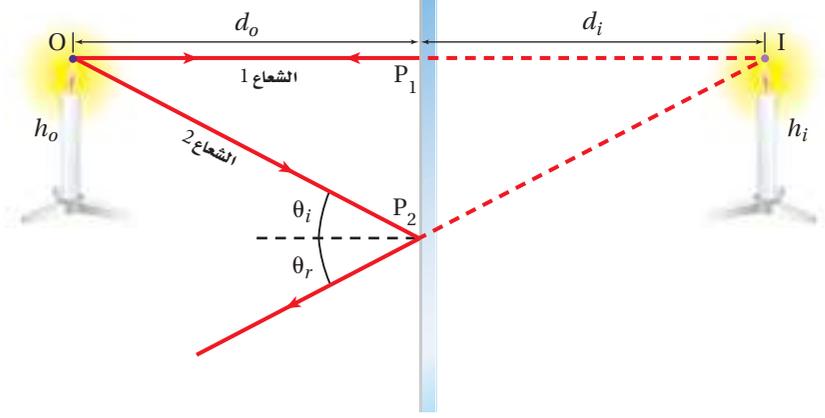
■ **الشكل 5-2** تبدو الأشعة المنعكسة التي تصل إلى العين وكأنها قادمة من نقطة خلف المرآة.

صفات الصور في المرايا المستوية

Properties of Plane-Mirror Images

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





■ الشكل 6-2 تتبع الأشعة الضوئية من نقطة على الجسم في الاتجاهات جميعها، حيث يسقط بعضها على سطح المرآة، فينعكس إلى العين. يبين الرسم شعاعين ضوئيين فقط. وتمتد خطوط الرؤية (الامتداد الخلفي) - الموضحة على هيئة خطوط متقطعة - إلى الخلف من مواقع انعكاس الأشعة على سطح المرآة إلى موقع التقائهما، ويكون موقع الصورة في المكان الذي تلتقي فيه هذه الامتدادات: $d_i = -d_o$

موقع الصورة وطولها يوضح النموذج الهندسي في الشكل 6-2 تساوي بُعد الجسم وبُعد الصورة عن المرآة، وكذلك تساوي طول الجسم وطول الصورة. ويتبين ذلك برسم شعاعين صادريين من النقطة O على رأس الشمعة يسقطان على المرآة في النقطتين P_1 ، P_2 على الترتيب. وينعكس الشعاعان وفق قانون الانعكاس، ويتقاطع امتدادا انعكاسيهما خلف المرآة على أنهما خطوط الرؤية (خط متقطع) في النقطة I التي تمثل صورة النقطة O. فالشعاع 1 يسقط على المرآة بزواوية سقوط 0° ، فينعكس مرتدًا على نفسه؛ أي عموديًا على المرآة. أما الشعاع 2 فينعكس بالزاوية نفسها التي سقط بها، لذا يصنع خط الرؤية (الامتداد الخلفي) مع المرآة زاوية مساوية للزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط نفسه مع المرآة.

ويبين النموذج الهندسي أن القطعتين المستقيمتين $\overline{OP_1}$ ، $\overline{IP_1}$ تمثلان ضلعين متقابلين في مثلثين متطابقين OP_1P_2 ، IP_1P_2 . وتمثل d_o بُعد الجسم عن المرآة وتساوي طول القطعة $\overline{OP_1}$ ، كما تُسمى أيضًا موقع الجسم، أما d_i فتمثل بُعد الصورة عن المرآة وتساوي طول القطعة $\overline{IP_1}$ ، كما تُسمى موقع الصورة. وباستخدام دلالة نظام الإشارات - حيث تشير الإشارة السالبة لموقع الصورة إلى أن الصورة خيالية - تكون المعادلة الآتية صحيحة:

$$d_i = -d_o \quad \text{موقع الصورة التي تُكوّنها مرآة مستوية}$$

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

ولإيجاد طول الصورة يمكنك رسم شعاعين من الجسم. فمثلًا يلتقي امتداد الشعاعين الصادريين من قاعدة الشمعة، كما في الشكل 6-2، في نقطة خلف المرآة تكون قاعدة الصورة. وسيكون طول الصورة h_i المتكوّنة - باستخدام قانون الانعكاس وهندسة تطابق المثلثات - مساويًا لطول الجسم h_o .

$$h_i = h_o \quad \text{طول الصورة التي تُكوّنها المرآة المستوية}$$

في المرآة المستوية يكون طول الصورة مساويًا لطول الجسم.

موقع الصورة الخيالية

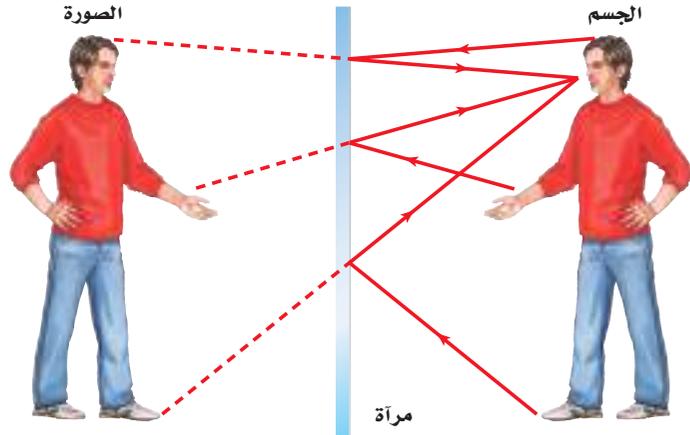


افترض أنك تنظر إلى صورتك في مرآة مستوية، هل تستطيع قياس بُعد الصورة؟

1. أحضر من معلمك آلة تصوير (كاميرا) على أن يكون لها قرص تركيز كُتبت عليه المسافات.
2. قف على بُعد 1.0 m من المرآة، وركز الكاميرا على حافة المرآة، وتحقق من قراءة قرص التركيز. يجب أن تكون 1.0 m.
3. قس بُعد صورتك من خلال تركيز الكاميرا عليها، وتحقق من قراءة قرص التركيز.

التحليل والاستنتاج

4. ما بُعد الصورة خلف المرآة؟
5. لماذا تكون الكاميرا قادرة على التقاط صورة للصورة الخيالية التي خلف المرآة رغم عدم وجود جسم حقيقي في ذلك الموقع؟



■ الشكل 7-2 الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية لها حجم الجسم نفسه، ويُعد الجسم نفسه عن المرآة، وتقع خلف المرآة، وتكون معكوسة جانبياً؛ فإذا حرك الشخص يده اليمنى تتحرك اليد اليسرى في الصورة.

اتجاه الصورة تُكوّن المرآة المستوية صوراً في اتجاه الجسم نفسه؛ أي تُكوّن صوراً معتدلة. فإذا كنت تقف على قدميك فإن الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية تظهر كذلك، وإذا كنت تقف على يديك تكون الصورة أيضاً بوضعية الوقوف على اليدين. غير أن هناك اختلافاً بينك وبين صورتك التي تكوّنها المرآة. تتبّع خطوط الأشعة الموضحة في الشكل 7-2. فالأشعة المنتشرة من اليد اليمنى للشخص تبدو كأنها تتجمع في اليد اليسرى لصورتها؛ أي تظهر اليد اليسرى واليد اليمنى معكوستين في المرآة المستوية. فلماذا لا تنعكس قمة الجسم وقاعدته؟ هذا لا يحدث لأن المرآة المستوية في الحقيقة لا تعكس الجهة اليسرى واليمنى، بل تعمل المرآة في الشكل 7-2 على عكس صورة الشخص فقط بحيث تقابله في الاتجاه المعاكس له؛ أي أن المرآة تكوّن صوراً معكوسة جانبياً.

بالرجوع إلى صورة الجبل في بداية الفصل، تلاحظ أنها مقلوبة رأسياً، ولكن الصورة في الحقيقة معكوسة جانبياً مقارنة بالجبل الحقيقي؛ فلأن المرآة (سطح البحيرة) تكون أفقية وليست رأسية، فإن المنظور، أو زاوية النظر، تجعل الصورة تبدو مقلوبة رأسياً. ولفهم ذلك دوّر كتابك بزاوية 90° في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وانظر إلى الشكل 7-2 مرة أخرى، تجد أن الشخص ينظر إلى أسفل، في حين تبدو صورته كأنها تنظر إلى أعلى، كصورة الجبل تماماً. فالشيء الوحيد الذي تغير هو المنظور فقط.

تجربة عملية

أين تتكون صورتك في المرآة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

1-2 مراجعة

- 3 m من مرآة مستوية وينظر إلى صورته. ما بُعد الصورة وطولها؟ وما نوع الصورة المتكوّنة؟
9. **مخطّط الصور** إذا كانت سيارة تتبع سيارة أخرى على طريق أفقية، وكان الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية يميل بزاوية 45° ، فارسم مخطّطاً للأشعة يبين موقع الشمس الذي يجعل أشعتها تنعكس عن الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية، في اتجاه عيني سائق السيارة الخلفية.
10. **التفكير الناقد** وضح كيف يُمكنك الانعكاس غير المنتظم للضوء عن جسم معين من رؤية الجسم عند النظر إليه من أية زاوية.

5. **الانعكاس** سقط شعاع ضوئي على سطح مصقول عاكس بزاوية سقوط 80° . ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع سطح المرآة؟
6. **قانون الانعكاس** اشرح كيف يُطبّق قانون الانعكاس في حالة الانعكاس غير المنتظم.
7. **السطوح العاكسة** صنف السطوح الآتية إلى سطوح عاكسة منتظمة (ملساء) و سطوح عاكسة غير منتظمة (خشنة): ورقة، معدن مصقول، زجاج نافذة، معدن خشن، إبريق حليب بلاستيكي، سطح ماء ساكن، زجاج خشن (مصنفر).
8. **صفات الصورة** يقف طفل طوله 50 cm على بُعد



2-2 المرايا الكروية Curved Mirrors

الأهداف

- توضّح كيف تكوّن كلٌّ من المرايا المحدبة والمرايا المقعرة الصور.
- تصف خصائص المرايا الكروية وتذكر استخداماتها.
- تحدّد مواقع وأطوال الصور التي تكوّنها المرايا الكروية.

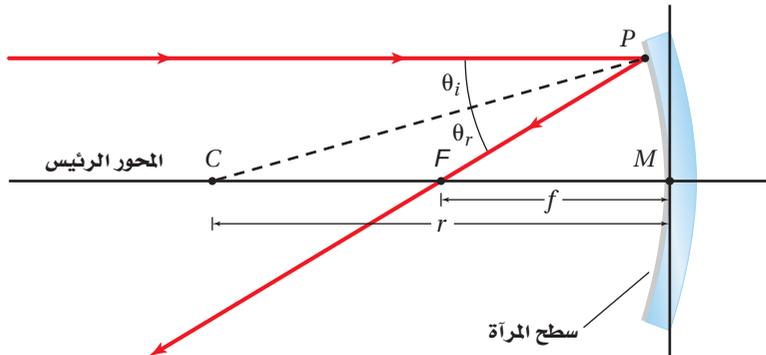
المفردات

- المراة المقعرة
- المحور الرئيس
- البؤرة
- البعد البؤري
- الصورة الحقيقية
- الزوغان (التشوّه) الكروي
- التكبير
- المراة المحدبة

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

المرايا المقعرة Concave Mirrors

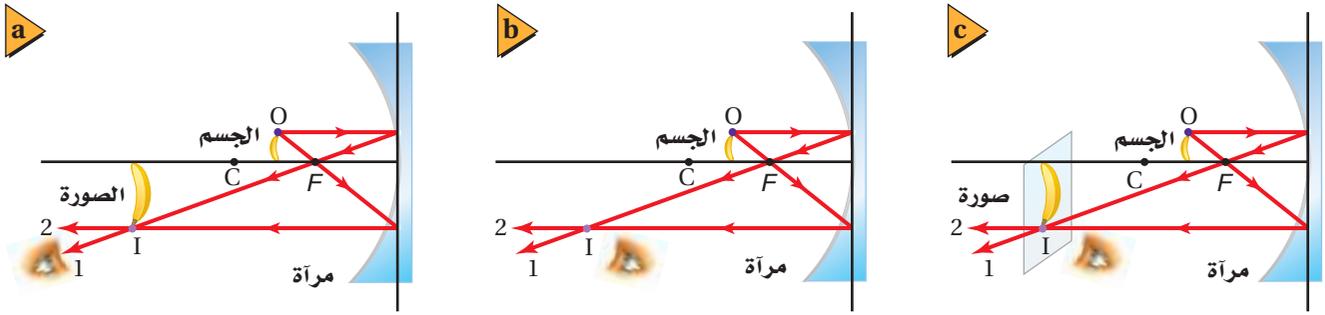
يعمل السطح الداخلي للملعقة (السطح الذي يحمل الطعام) عمل مرآة مقعرة. **والمراة المقعرة** سطح عاكس، حوافّه منحنية نحو المشاهد. وتعتمد خصائص المرآة المقعرة على مدى تقعرها، وبين الشكل 2-8 كيف تعمل المرآة الكروية المقعرة. ويبدو شكل المرآة الكروية المقعرة كأنه جزء مأخوذ من كرة جوفاء سطحها الداخلي عاكس للضوء. وللمرآة الكروية المقعرة المركز الهندسي نفسه (C) ونصف قطر التكوّر نفسه (r) الخاصين بالكرة المأخوذة منها. ويسمّى الخط الذي يحتوي على القطعة المستقيمة CM **المحور الرئيس**؛ وهو خط مستقيم متعامد مع سطح المرآة الذي يقسمها إلى نصفين. وتمثل النقطة (M) قطب المرآة؛ وهي نقطة تقاطع المحور الرئيس مع سطح المرآة.



■ الشكل 2-8 تقع بؤرة المرآة الكروية المقعرة في منتصف المسافة بين مركز التكوّر وسطح المرآة. وتنعكس الأشعة الساقطة موازية للمحور الرئيس مرةً بالبؤرة F.

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

وعندما يسقط الشعاع على مرآة فإنه ينعكس وفق قانون الانعكاس. وبين الشكل 2-8 أن الأشعة الساقطة موازية للمحور الرئيس تنعكس عن المرآة وتقطع المحور في البؤرة F. وتقع البؤرة F في منتصف المسافة بين مركز التكوّر C والقطب M. **أما البعد البؤري f**، فيمثل المسافة بين قطب المرآة وبؤرتها الأصلية، ويعبر عنه على النحو الآتي: $f = \frac{r}{2}$ ، ويكون البعد البؤري للمرآة المقعرة موجبًا.



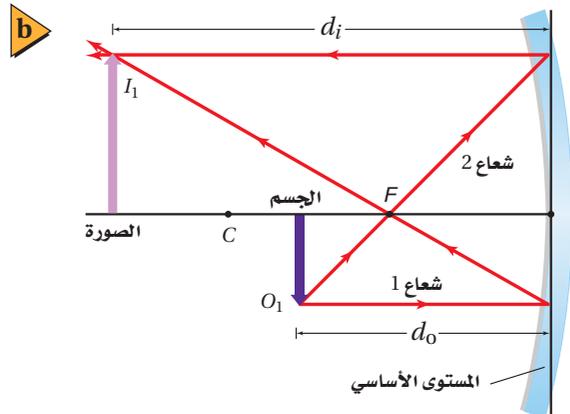
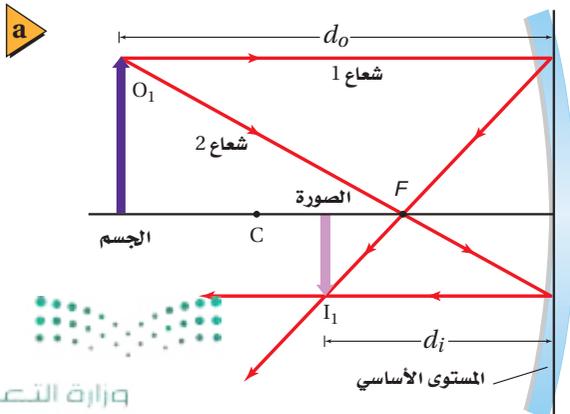
■ الشكل 9-2 الصورة الحقيقية التي تُرى بالعين المجردة (a). لا ترى العين الصورة الحقيقية إذا كانت في موقع لا تسقط عليه الأشعة المنعكسة (b). الصورة الحقيقية كما ترى على شاشة مغممة بيضاء (c).

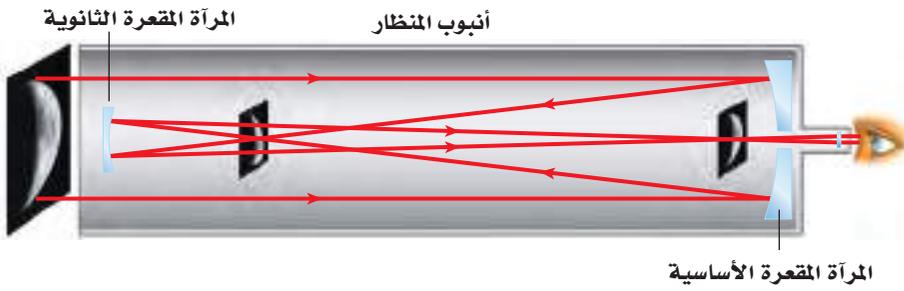
الطريقة الهندسية لتحديد موقع الصورة

Graphical Method of Finding the Image

يُفيدنا رسم مسارات الأشعة المنعكسة عن المرايا المقعرة في تحديد موقع الصورة، ليس لأن موقع الصورة هو الذي يتغير فقط، بل لأن حجمها ووضعها (اتجاهها) يتغيران أيضاً. ويُمكنك استخدام مخطّط الأشعة للكشف عن خصائص الصور التي تُكوّنها المرايا المقعرة. ويبين الشكل 9-2 عملية تكوين صورة حقيقية؛ وهي الصورة التي تتكون من التقاء الأشعة المنعكسة ويمكن جمعها على حاجز. وتلاحظ أن الصورة مقلوبة وأكبر حجماً من الجسم، وأن الأشعة تلتقي فعلياً في النقطة التي تتكون فيها الصورة. وتُحدّد نقطة التقاطع (I) لشعاعين منعكسين موقع الصورة. ويمكنك رؤية الصورة في الفضاء عندما تسقط الأشعة المنعكسة التي كوّنّت الصورة على عينك، كما في الشكل 9a-2. ويوضّح الشكل 9b-2 أنه يجب أن يكون موقع عينك في الجهة التي تسقط عليها الأشعة المنعكسة المكوّنة للصورة، ولا يمكنك رؤية الصورة من الخلف. وإذا وضعت حاجزاً (شاشة) في موقع تكوّن الصورة فإن هذه الصورة ستظهر على الحاجز كما في الشكل 9c-2، وهذا غير ممكن في حالة الصور الخيالية التي تتكون من التقاء امتدادات الأشعة المنعكسة ولا يمكن جمعها على حاجز. ولتسهيل فهم كيفية سلوك الأشعة عند استخدام المرايا المقعرة يمكنك استخدام أجسام أحادية البعد؛ سهم مثلاً، كما في الشكل 9a-2. تكوّن المرآة الكروية المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة للجسم. إذا كان بعد الجسم d_o أكبر من ضعف البعد البؤري f (خلف مركز التكوّن)، أما إذا كان الجسم واقفاً بين البؤرة F ومركز التكوّن C كما في الشكل 9b-2 فإن الصورة ستكون حقيقية ومقلوبة ومكبّرة.

■ الشكل 10-2 إذا كان بُعد الجسم عن المرآة أكبر من بُعد مركز التكوّن فستكون الصورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة مقارنة بالجسم (a). أما إذا كان الجسم واقفاً بين البؤرة ومركز التكوّن فستكون الصورة حقيقية ومقلوبة ومكبّرة وموقعها خلف C (b).





الشكل 11-2 يكون منظار جريجوريان Gregorian صوراً حقيقية ومعتدلة.

كيف يمكن تحويل الصورة الحقيقية والمقلوبة التي تكوّنها مرآة مقعرة إلى صورة معتدلة وحقيقية؟ لقد طوّر عالم الفلك الأسكتلندي جيمس جريجوري في عام 1663 المنظار المعروف باسمه، منظار جريجوريان (المنظار الفلكي)، المبين في الشكل 11-2 لحل هذه المشكلة. ويتكوّن منظاره من مرآتين مقعرتين إحداهما كبيرة والأخرى صغيرة. وتقع المرآة الصغيرة خلف بؤرة المرآة الكبيرة. وعندما تسقط الأشعة المتوازية القادمة من جسم بعيد على المرآة المقعرة الكبيرة فإنها تنعكس في اتجاه المرآة الصغيرة، التي تعكس بدورها هذه الأشعة مكونة صورة حقيقية ومعتدلة تماماً كالجسم.

الربط مع الضلك

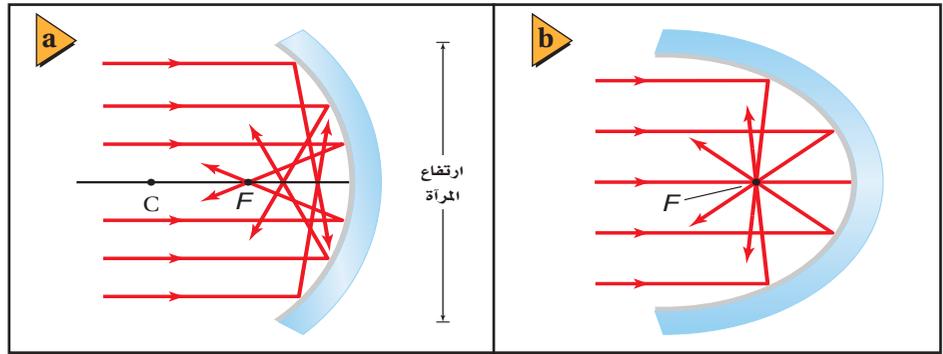
استراتيجيات حل المسألة

استخدام طريقة رسم الأشعة لتحديد موقع الصور التي تكوّنها المرايا الكروية

استخدم الاستراتيجيات الآتية لحل مسائل المرايا الكروية. ارجع إلى الشكل 10-2:

1. استخدم ورقة مُسطّرة أو ورقة رسم بياني، وارسم المحور الرئيس للمرآة على شكل خط أفقي من يسار الصفحة إلى يمينها، تاركًا مسافة 6 أسطر فارغة أعلاه، و6 أسطر فارغة أسفله.
2. ضع نقاطاً أو علامات على المحور تمثل كلاً من الجسم، و C ، و F على النحو الآتي:
 - a. إذا كانت المرآة مقعرة والجسم خلف مركز التكور C ، بعيداً عن المرآة، فضع المرآة عن يمين الصفحة، والجسم عن يسارها، وضع F و C وفق مقياس الرسم.
 - b. إذا كانت المرآة مقعرة والجسم بين C و F فضع المرآة عن يمين الصفحة، و C في وسطها، و F في منتصف المسافة بين المرآة ومركز التكور C ، وضع الجسم وفق مقياس الرسم.
 - c. لأي وضع آخر، ضع المرآة في وسط الصفحة، وضع الجسم أو البؤرة F [أيها أبعد عن المرآة] عن يسار الصفحة، وضع الآخر الأقرب وفق مقياس الرسم.
3. ارسم خطاً رأسياً لتمثيل المرآة، يمر بقطبها وفي الفراغ المكوّن من الاثني عشر سطرًا. يُمثّل هذا الخط المستوى الأساسي للمرآة.
4. ارسم الجسم على هيئة سهم، واكتب على رأسه O_1 . للمرايا المقعرة، يجب ألا يزيد طول الأجسام الواقعة أمام C على 3 أسطر، وأمّا لسائر الأوضاع فاجعل طول الأجسام 6 أسطر. سيكون مقياس رسم طول الجسم مختلفاً عن مقياس الرسم المستخدم على المحور الرئيس.
5. ارسم الشعاع 1 بصورة موازية للمحور الرئيس، حيث ينعكس عن المستوى الأساسي ماراً بالبؤرة.
6. ارسم الشعاع 2 ماراً بالبؤرة. سينعكس هذا الشعاع عن المستوى الأساسي موازياً للمحور الرئيس.
7. تتكون الصورة عند موقع التقاء الشعاعين المنعكسين 1 و 2 أو امتداديهما، وتكون الصورة ممثلة بسهم عمودي من المحور الرئيس إلى I_1 (نقطة التقاء الشعاعين المنعكسين أو امتداديهما).

■ الشكل 12-2-2 عكس المرآة الكروية المقعرة جزءاً من الأشعة، بحيث تتجمع في نقاط غير البؤرة (a). تُجمع مرآة القطع المكافئ الأشعة المنعكسة جميعها وتركزها في نقطة واحدة (b).



عيوب الصور الحقيقية في المرايا المقعرة عند رسم الأشعة في المرايا الكروية فإنك تعكس الأشعة عن المستوى الأساسي؛ وهو الخط الرأسي الذي يمثل المرآة، إلا أن الأشعة في حقيقة الأمر تنعكس عن المرآة نفسها، كما في الشكل 12a-2. لاحظ أن الأشعة المتوازية القريبة من المحور الرئيس (الأشعة المحورية) فقط هي التي تنعكس مارةً بالبؤرة. أما الأشعة الأخرى فتلتقي في نقاط أقرب إلى المرآة. لذا فإن الصورة المتكوّنة نتيجة انعكاس الأشعة التي تسقط متوازية على مرآة كروية ذات قطر (ارتفاع) كبير ونصف قطر تكوّر صغير، ستكون على هيئة قرص، وليست نقطة. ويُسمى هذا العيب **الزوغان (التشوه) الكروي**، وهو ما يجعل الصورة تبدو غير واضحة.

والمرآة المقعرة التي تكون على شكل قطع مكافئ - كما في الشكل 12b-2 - لا تعاني من الزوغان الكروي. ونظرًا لارتفاع تكلفة تصنيع المرايا الكبيرة التي تأخذ شكل القطع المكافئ تمامًا، فإن أغلب التلسكوبات الجديدة تستعمل مرايا كروية ومرايا ثانوية صغيرة مصمّمة على هيئة خاصة، أو عدسات صغيرة، لتصحيح الزوغان الكروي. ويمكن تقليل الزوغان الكروي كذلك بتقليل نسبة ارتفاع المرآة، الموضحة في الشكل 12a-2، إلى مقدار نصف قطر تكوّرهما. وتُستخدم المرايا ذات التكلفة الأقل في التطبيقات التي لا تحتاج إلى دقة عالية.

الطريقة الرياضية لتحديد موقع الصورة

Mathematical Method of Locating the Image

يمكن استعمال نموذج المرآة الكروية لإيجاد معادلة بسيطة خاصة بالمرايا الكروية. ولتكوين الصورة يجب مراعاة الاعتماد على الأشعة المحورية؛ وهي الأشعة القريبة من المحور الرئيس والمتوازية معه. واستخدام هذا التقريب إلى جانب استخدام قانون الانعكاس يقود إلى معادلة المرايا الكروية عن طريق ربط الكميات الآتية معًا: البعد البؤري للمرآة الكروية f ، وبعد الجسم d_o ، وبعد الصورة d_i .

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

مقلوب البعد البؤري للمرآة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بُعد الجسم ومقلوب بُعد الصورة عن المرآة.

من المهم أن نتذكر عند استخدام هذه المعادلة في حل المسائل أنها صحيحة تقريبًا؛ حيث لا تتنبأ بالزوغان الكروي؛ لأنها تعتمد على الأشعة المحورية في تكوين الصور. وفي الحقيقة

تطبيق الفيزياء

مشكلة هابل

Hubble Trouble

أطلقت وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) في عام 1990 تلسكوب هابل الفضائي في مدار حول الأرض، وكان من المتوقع أن يُزود الوكالة بصور واضحة دون التشوه الحاد بسبب الغلاف الجوي، إلا أنه وجد بعد إطلاقه مباشرة زوغان كروي في الصور. وفي عام 1993 أُجريت تصحيحات بصرية، سميت كوستار COSTAR، على تلسكوب هابل ليتمكن من إعطاء صور واضحة.



جمع الكسور وطرحها عند استخدام معادلة المرايا، استعمل الرياضيات أولاً لنقل الكسر الذي يتضمن الكمية التي تبحث عنها إلى الطرف الأيسر للمعادلة، وانقل الكسرين الآخرين إلى الطرف الأيمن، ثم اجمع الكسرين الموجودين عن يمين المعادلة باستخدام توحيد المقامات عن طريق ضرب المقامات بعضها في بعض.

الفيزياء	الرياضيات
$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$	$\frac{1}{x} = \frac{1}{y} + \frac{1}{z}$
$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o}$	$\frac{1}{y} = \frac{1}{x} - \frac{1}{z}$
$\frac{1}{d_i} = \left(\frac{1}{f}\right) \left(\frac{d_o}{d_o}\right) - \left(\frac{1}{d_o}\right) \left(\frac{f}{f}\right)$	$\frac{1}{y} = \frac{1}{x} \left(\frac{z}{z}\right) - \left(\frac{1}{z}\right) \left(\frac{x}{x}\right)$
$\frac{1}{d_i} = \frac{d_o - f}{fd_o}$	$\frac{1}{y} = \frac{z - x}{xz}$
$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f}$	$y = \frac{xz}{z - x}$

وباستخدام هذه الطريقة يمكنك اشتقاق العلاقات الآتية لحساب بُعد الصورة، وبُعد الجسم، والبعد البؤري.

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f} \quad d_o = \frac{fd_i}{d_i - f} \quad f = \frac{d_i d_o}{d_o + d_i}$$

تكون الأشعة الصادرة عن الجسم مشتتة، لذا لا تكون جميع الأشعة موازية للمحور الرئيس أو قريبة منه. وتعطي هذه المعادلة صفات الصورة بدقة كبيرة، إذا كان ارتفاع المرآة صغيراً مقارنة بنصف قطر تكورها، بحيث يحدّ من الزوغان الكروي.

التكبير للمرايا الكروية خاصية **التكبير m**؛ ويُقصد به كم مرة تكون الصورة أكبر من الجسم أو أصغر منه. والتكبير عملياً هو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم. ويمكن استخدام هندسة تطابق المثلثات لكتابة هذه النسبة بدلالة كل من بُعد الجسم وبُعد الصورة.

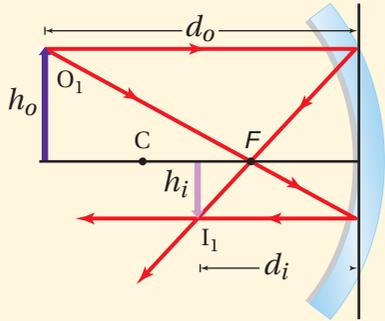
$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o} \quad \text{التكبير}$$

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

عند استعمال المعادلة السابقة يكون بُعد الصورة الحقيقية موجباً، لذا يكون التكبير سالباً، وهذا يعني أن الصورة مقلوبة مقارنة بالجسم. وإذا كان الجسم واقعاً خلف مركز التكون C تكون القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية أقل من 1؛ وهذا يعني أن الصورة تكون أصغر من الجسم (مصغرة). أما إذا وضع الجسم بين البؤرة F ومركز التكون C فتكون القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية أكبر من 1؛ أي أن الصورة أكبر من الجسم (مكبرة).

مثال 2

الصورة الحقيقية التي تكوّنها مرآة مقعرة وضع جسم طوله 2.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطرها 20.0 cm، وعلى بُعد 30.0 cm منها. فما بُعد الصورة؟ وما طولها؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططاً للجسم وللمرآة.
- ارسم شعاعين أساسيين لتحديد موقع الصورة على المخطط.

المجهول

المعلوم

$$d_i = ?$$

$$h_o = 2.0 \text{ cm}$$

$$h_i = ?$$

$$d_o = 30.0 \text{ cm}$$

$$r = 20.0 \text{ cm}$$

دليل الرياضيات

الكسور 258

$$f = \frac{r}{2}$$

$$= \frac{20.0 \text{ cm}}{2} = 10.0 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f}$$

$$= \frac{(10.0 \text{ cm})(30.0 \text{ cm})}{30.0 \text{ cm} - 10.0 \text{ cm}}$$

$$= 15.0 \text{ cm} \quad (\text{صورة حقيقية أمام المرآة})$$

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

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o} = \frac{-(15.0 \text{ cm})(2.0 \text{ cm})}{30.0 \text{ cm}}$$

$$= -1.0 \text{ cm} \quad (\text{صورة مقلوبة ومصغرة})$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب البعد البؤري

عوض مستخدماً $r = 20.0 \text{ cm}$

استخدم معادلة المرايا الكروية، وحل لإيجاد بُعد الصورة:

عوض مستخدماً $f = 10.0 \text{ cm}$ و $d_o = 30.0 \text{ cm}$

استخدام علاقة التكبير لحساب طول الصورة:

عوض مستخدماً $d_o = 30.0 \text{ cm}$ ، $h_o = 2.0 \text{ cm}$ ، $d_i = 15.0 \text{ cm}$

3 تقويم الجواب

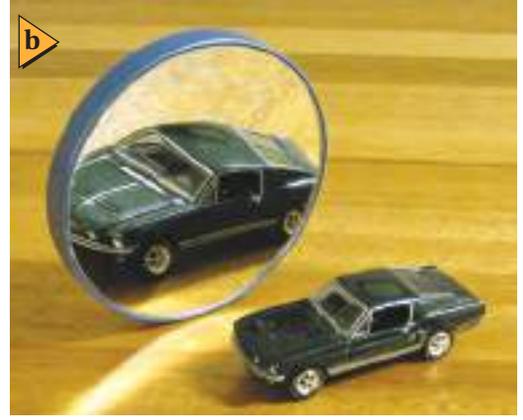
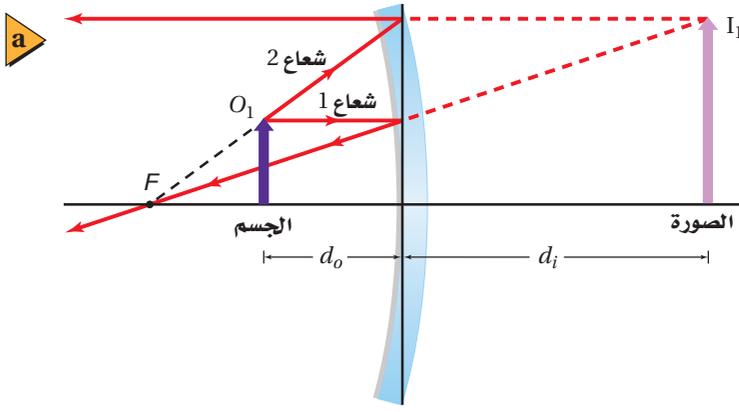
- هل الوحدات صحيحة؟ جميع الوحدات بالستيمتر cm.
- هل للإشارة معنى؟ الموقع الموجب والطول السالب متفقان مع الرسم.

11. وضع جسم على بُعد 36.0 cm أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤري 16.0 cm. أوجد بُعد الصورة.

12. وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 16.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 7.0 cm. أوجد طول الصورة.

13. وضع جسم بالقرب من مرآة مقعرة بعدها البؤري 10.0 cm، فتكوّن له صورة مقلوبة طولها 3.0 cm على بُعد

16.0 cm من المرآة. أوجد طول الجسم وبُعده عن المرآة.



الصور الخيالية في المرايا المقعرة

Virtual Images with Concave Mirrors

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

ماذا تلاحظ عندما تقرب وجهك من مرآة مقعرة أكثر فأكثر؟ تكون صورة وجهك معتدلة وخلف المرآة. فالمرآة المقعرة تكوّن صورةً خيالية إذا وضع الجسم بين المرآة والبؤرة، كما في الشكل 2-13a. ولتحديد صورة نقطة من نقاط الجسم يرسم مرة أخرى شعاعان، وكما ذكر سابقاً يرسم الشعاع 1 ساقطاً بموازية المحور الرئيس وينعكس ماراً بالبؤرة. أمّا الشعاع 2 فيرسم من نقطة على الجسم ليصل إلى المرآة، بحيث يمر امتداد هذا الشعاع في البؤرة، وينعكس هذا الشعاع موازياً المحور الرئيس. تلاحظ أن الشعاعين 1 و2 يتشتتان عندما ينعكسان عن المرآة، لذا لا يمكن أن يُكوّنا صورة حقيقية، في حين يلتقي امتدادا الشعاعين المنعكسين خلف المرآة مُكوّنين صورة خيالية.

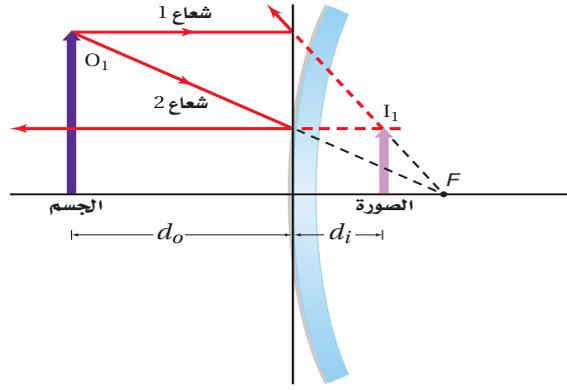
وعندما تستخدم معادلة المرآة المقعرة لتحديد بُعد صورة جسم يقع بين البؤرة والمرآة تجد أن بُعد الصورة يكون سالباً. وستعطي معادلة التكبير تكبيراً موجباً أكبر من 1، وهذا يعني أن الصورة معتدلة ومكبرة، مقارنة بالجسم، كما في الصورة الموضحة في الشكل 2-13b.

■ الشكل 2-13 عند وضع جسم بين البؤرة والمرآة الكروية المقعرة تتكون له صورة مكبرة ومعتدلة وخيالية خلف المرآة (a)، كما هو موضح في الشكل (b). ما الصفات الأخرى التي تراها للصورة أيضاً في هذا الشكل؟

مسألة تحليل

وضع جسم طوله h_o على بعد d_o من مرآة مقعرة بعدها البؤري f .

1. ارسم شكلاً لمخطط أشعة يوضح البعد البؤري وموقع الجسم إذا كان بُعد الصورة الناتجة يساوي ضعف بُعد الجسم عن المرآة، وأثبت صحة إجابتك رياضياً. واحسب البعد البؤري بوصفه دالة رياضية في بُعد الجسم في هذه الحالة.
2. ارسم شكلاً لمخطط أشعة يوضح بُعد الجسم إذا كان بُعد الصورة عن المرآة يساوي ضعف البعد البؤري، وأثبت صحة إجابتك رياضياً، واحسب طول الصورة بوصفه دالة رياضية في طول الجسم في هذه الحالة.
3. أين يجب وضع الجسم بحيث لا تتكوّن له صورة؟



■ الشكل 14-2 تُكوّن المرآة المحدبة

دائمًا صورًا خيالية ومعتدلة ومصغرة

مقارنةً بالجسم.

المرايا المحدبة Convex Mirrors

تعلمت في بداية هذا الفصل أن السطح الداخلي للمعلقة مصقولة يعمل عمل مرآة مقعرة. وإذا قلبت المعلقة فإن السطح الخارجي سيعمل عمل مرآة محدبة. والمرآة المحدبة سطح عاكس حوافه منحنية بعيدًا عن المشاهد. ماذا ترى عندما تنظر إلى ظهر ملعقة؟ سترى صورتك معتدلة ومصغرة.

وخصائص المرآة الكروية المحدبة موضحة في الشكل 14-2. فالأشعة المنعكسة عن المرآة المحدبة مشتتة دائمًا، لذا تُكوّن المرايا المحدبة صورًا خيالية. وتكون النقطتان F و C واقعتين خلف المرآة. وعند تطبيق معادلة المرآة ستكون قيمتا d_i, f سالبتين دائمًا؛ لأنهما خلف المرآة.

ويبيّن مخطّط الأشعة في الشكل 14-2 كيفية تكوّن الصورة بواسطة المرآة الكروية المحدبة، فعند أخذ شعاعين من العدد اللانهائي من الأشعة الصادرة عن الجسم فإن الشعاع 1 يسقط على المرآة موازيًا للمحور الرئيس، وينعكس عنها، بحيث يمرّ امتداد الشعاع المنعكس في البؤرة F خلف المرآة. ويسقط الشعاع 2 على المرآة بحيث يمرّ امتداده في البؤرة F خلف المرآة، لماذا؟ سيكون كلٌّ من الجزء المنعكس من الشعاع 2 وامتداد الشعاع 2 المنعكس خلف المرآة موازيين للمحور الرئيس، وسيتشكّل الشعاعان المنعكسان، في حين يلتقي امتداداهما خلف المرآة ليكونا صورة خيالية ومعتدلة ومصغرة مقارنةً بالجسم.

تكون معادلة التكبير مفيدة لتحديد الأبعاد الظاهرية للجسم كما سيرى في المرآة الكروية المحدبة. فإذا علمت قطر الجسم فاضربه في مقدار التكبير لمعرفة مدى تغير القطر عندئذٍ. وستجد أن القطر صغير، مثله مثل باقي الأبعاد، وهذا يفسّر لماذا يبدو بُعد الصور المتكونة لأجسام في مرآة محدبة أكبر من بعدها الحقيقي.

■ الشكل 15-2 تُكوّن المرايا المحدبة

صورًا أصغر من الأجسام، وهذا يزيد من

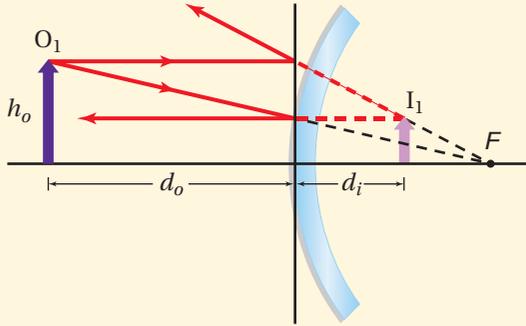
مجال الرؤية للمراقب.



مجال الرؤية قد يبدو أن استعمال المرايا المحدبة محدودة بسبب الصور المصغرة التي تُكوّنها للأجسام، إلا أن هذه الخاصية جعلت للمرايا المحدبة استخدامات عملية؛ فمن خلال تكوينها صورًا مصغرة للأجسام تؤدي المرايا المحدبة إلى توسيع المساحة، أو مجال الرؤية، التي يراها المراقب، كما في الشكل 15-2. كما أن مركز مجال الرؤية مشاهد من أي زاوية للناظر بالنسبة للمحور الرئيس للمرآة، ومن ثم يكون مجال الرؤية واضحًا بمشهدٍ أوسع. لذا تُستخدم المرايا المحدبة على نحوٍ واسع على جوانب السيارات للرؤية الخلفية.

مثال 3

الصورة في مرآة المراقبة تُستخدم مرآة محدبة بُعدها البؤري -0.50 m من أجل الأمن في المستودعات، فإذا كان هناك رافعة شوكية طولها 2.0 m على بُعد 5.0 m من المرآة فما بُعد الصورة المتكوّنة وما طولها؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطّطاً للمرآة والجسم.
- ارسم شعاعين أساسيين لتحديد موقع الصورة على المخطّط.

المجهول

المعلوم

$$d_i = ? \quad h_o = 2.0 \text{ m}$$

$$h_i = ? \quad d_o = 5.0 \text{ m}$$

$$f = -0.50 \text{ m}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة المرايا الكروية، لحساب بُعد الصورة.

$$\text{عوّض مستخدماً } d_o = 5.0 \text{ m}, f = -0.50 \text{ m}$$

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f}$$

$$= \frac{(-0.50 \text{ m})(5.0 \text{ m})}{5.0 \text{ m} + 0.50 \text{ m}}$$

$$= -0.45 \text{ m} \text{ (صورة خيالية)}$$

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

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

$$= \frac{-(-0.45 \text{ m})(2.0 \text{ m})}{(5.0 \text{ m})}$$

$$= 0.18 \text{ m} \text{ (الصورة معتدلة ومصغرة)}$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 267

استخدم معادلة التكبير، وحل لإيجاد طول الصورة:

$$\text{عوّض مستخدماً } d_o = 5.0 \text{ m}, h_o = 2.0 \text{ m}, d_i = -0.45 \text{ m}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ جميع الوحدات بالمتر m .
- هل للإشارة معنى؟ تدل الإشارة السالبة في بُعد الصورة على أنها خيالية، وتدل الإشارة الموجبة في طول الصورة على أنها معتدلة. وهذا يتفق مع المخطّط.

14. إذا وضع جسم على بُعد 20.0 cm أمام مرآة محدبة بُعدها البؤري -15.0 cm فأوجد بُعد الصورة المتكوّنة عن المرآة

باستخدام الرسم التخطيطي وفق مقياس رسم، وباستخدام معادلة المرايا.

15. إذا وضع مصباح ضوئي قطره 6.0 cm أمام مرآة محدبة بُعدها البؤري -13.0 cm ، وعلى بُعد 60.0 cm منها، فأوجد

بُعد صورة المصباح وقطرها.

16. تكوّنت صورة بواسطة مرآة محدبة، فإذا كان بُعد الصورة 24 cm خلف المرآة، وحجمها يساوي $\frac{3}{4}$ حجم الجسم، فما

البعد البؤري لهذه المرآة؟

17. تقف فتاة طولها 1.8 m على بُعد 2.4 m من مرآة، فتكون لها صورة طولها 0.36 m . ما البعد البؤري للمرآة؟

الجدول 1-2

خصائص الصور في مرآة مُفردة

الصورة	m	d_i	d_o	f	نوع المرآة
خيالية	الحجم نفسه	$ d_i = d_o$ (سالِب)	$d_o > 0$	لا يوجد	مستوية
حقيقية	مصغرة ومقلوبة	$r > d_i > f$	$d_o > r$	+	مقعرة
حقيقية	مكبّرة ومقلوبة	$d_i > r$	$r > d_o > f$		
خيالية	مكبّرة ومعتدلة	$ d_i > d_o$ (سالِب)	$f > d_o > 0$		
خيالية	مصغرة ومعتدلة	$ f > d_i > 0$ (سالِب)	$d_o > 0$	-	محدبة

مقارنة المرايا Mirror comparison

كيف تقارن بين الأنواع المختلفة من المرايا؟ يوضح الجدول 1-2 مقارنة بين خصائص أنظمة مرآة مُفردة (أحادية) لأجسام موضوعة على المحور الرئيس للمرآة. وتلاحظ من الجدول أن بُعد الصورة الخيالية دائماً سالِب؛ لأنها تقع دائماً خلف المرآة. وعندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر و 1 تكون الصورة أصغر من الجسم. والتكبير السالب يعني أن الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. لاحظ أيضاً أن المرآة المستوية والمرآة المحدبة تكونان دائماً صوراً خيالية، في حين تُكوّن المرآة المقعرة صوراً خيالية وصوراً حقيقية. وتعطي المرايا المستوية انعكاساً واقعياً للأشياء، أمّا المرايا المحدبة فتعمل على توسيع مجال الرؤية. وتعمل المرآة المقعرة على تكبير الصورة إذا كان الجسم واقعاً بين المرآة وبعدها البؤري.

2-2 مراجعة

بُعد 14.0 cm من مرآة محدبة ببعدها البؤري 12.0 cm-. ارسم مخططاً بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها، وتحقق من إجابتك باستخدام معادلتَي المرايا والتكبير.

23. نصف قطر التكوّر وضع جسم طوله 6.0 cm على

بُعد 16.4 cm من مرآة محدبة. فإذا كان طول الصورة المتكوّنة 2.8 cm فما نصف قطر تكور المرآة؟

24. البعد البؤري استخدمت مرآة محدبة لتكوين صورة

حجمها يساوي $\frac{2}{3}$ حجم الجسم على بُعد 12.0 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟

25. التفكير الناقد هل يكون الزوجان الكروي والمرآة

أقل إذا كان ارتفاعها أكبر من نصف قطر تكورها أم إذا كان ارتفاعها أقل من نصف قطر تكورها؟ وضح ذلك.

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

19. التكبير وضع جسم على بُعد 20.0 cm أمام مرآة مقعرة ببعدها البؤري 9.0 cm. ما تكبير الصورة؟

20. بعد الجسم عند وضع جسم أمام مرآة مقعرة ببعدها البؤري 12.0 cm، تكوّنت له صورة على بُعد 22.3 cm من المرآة، فما بُعد الجسم عن المرآة؟

21. بعد الصورة وطولها وضع جسم طوله 3.0 cm

على بُعد 22.0 cm من مرآة مقعرة ببعدها البؤري 12.0 cm. ارسم مخططاً بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها، وتحقق من إجابتك باستخدام معادلتَي المرايا والتكبير.

22. مخطط الأشعة وضع جسم طوله 4.0 cm على

مختبر الفيزياء

صور المرايا المقعرة Concave Mirror Images

تعكس المرآة المقعرة الأشعة المتوازية والموازية للمحور الرئيس للمرآة مارةً ببؤرتها. وتتكوّن أنواع مختلفة من الصور في المرآة المقعرة حسب بُعد الجسم عن المرآة، وتتكوّن الصور الحقيقية على حاجز، في حين لا تتكوّن الصور الخيالية على حاجز. ستستقصي في هذه التجربة أثر تغيير موقع الجسم في موقع الصورة ونوعها.

سؤال التجربة

ما الشروط الواجب توافرها لتكوين صور حقيقية وأخرى خيالية باستخدام مرآة مقعرة؟

الخطوات

الأهداف

1. حدّد البعد البؤري للمرآة المقعرة المستخدمة باتباع الخطوات الآتية: تحذير: لا تستخدم أشعة الشمس لتنفيذ هذه الخطوة. ضع المصباح على مسافة بعيدة من المرآة ثم اعكس ضوءه على الشاشة مع تحريكها ببطء نحو المرآة أو بعيداً عنها حتى تحصل على أصغر صورة واضحة له، ثم قس المسافة بين الشاشة والمرآة على امتداد المحور الرئيس، وسجّل هذه القيمة على أنها البعد البؤري للمرآة f .
2. ثبّت المسطرتين المترتين على الدعائم الأربع على شكل حرف V، واجعل صفري المسطرتين عند نقطة التقائهما.
3. ضع المرآة على حاملها عند نقطة التقاء المسطرتين.
4. ضع المصباح (الجسم) على طرف إحدى المسطرتين البعيد عن نقطة التقاء المسطرتين، وضع الشاشة على دعائمها على الطرف البعيد الآخر للمسطرة الثانية.
5. أطفئ أنوار الغرفة.
6. أضئ المصباح. تحذير: لا تلمس زجاجة المصباح الساخنة. قس بُعد الجسم d_o ، وسجّله في المحاولة 1. وقس طول الجسم h_o ، وسجّله أيضاً في المحاولة 1، حيث يمثل هذا القياس طول المصباح أو طول فتيلته إذا كان المصباح شفافاً.
7. عدّل المرآة أو المسطرتين، كلّما تطلّب الأمر ذلك، بحيث تسقط الأشعة المنعكسة على الشاشة، وحرك الشاشة ببطء إلى الأمام أو الخلف حتى تتكوّن صورة واضحة على الشاشة، ثم قس بعد الصورة d_i وطولها h_i وسجّلها في المحاولة 1.

- تجمع وتنظّم البيانات الخاصة بموقعي الجسم والصورة.
- تلاحظ الصور الحقيقية والخيالية.
- تلخص شروط تكوّن الصور الحقيقية والخيالية في المرايا المقعرة.

احتياطات السلامة



- لا تنظر إلى انعكاس الشمس في المرآة، ولا تستعمل مرآة مقعرة لتجميع ضوء الشمس وتركيزه.

المواد والأدوات

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| مرآة مقعرة | مصباح يدوي |
| حامل شاشة | حامل مرآة |
| مسطرتان مترتان | شاشة |
| مصباح 15 W (أو شمعة) | 4 دعائم للمساطر المترية |



جدول البيانات				
المحاولة	d_o (cm)	d_i (cm)	h_o (cm)	h_i (cm)
1				
2				
3				
4				
5				

جدول الحسابات					
المحاولة	$\frac{1}{d_o}$ (cm ⁻¹)	$\frac{1}{d_i}$ (cm ⁻¹)	$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$ (cm ⁻¹)	f محسوب (cm)	النسبة المئوية للخطأ (%)
1					
2					
3					
4					
5					

3. **تحليل الخطأ** قارن البعد البؤري التجريبي، f محسوب، بالبعد البؤري المقبول بإيجاد النسبة المئوية للخطأ.

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

$$\% \text{ error} = \left(\frac{f - f_{\text{محسوب}}}{f} \right) \times 100\%$$

الاستنتاج والتطبيق

1. **صنّف** ما نوع الصورة التي شوهدت في كل محاولة؟
2. **حلّل** ما الشروط التي تطلبها تكوين صور حقيقية؟
3. **حلّل** ما الشروط التي تطلبها تكوين صور خيالية؟

التوسع في البحث

1. ما الشروط اللازم تحقيقها لتكون الصورة أكبر من الجسم؟
2. راجع طرائق جمع البيانات، وحدد مصادر الخطأ، وما الذي يتعين عليك عمله حتى يكون القياس أكثر دقة؟

التحليل

ما الميزة التي تكمن في استخدام المنظار الفلكي ذي المرآة المقعرة؟

8. حرّك المصباح في اتجاه المرآة بحيث يصبح على بُعد يساوي ضعفي البعد البؤري $d_o = 2f$ ، وسجّل قيمة d_o في المحاولة 2. ثم حرّك الشاشة حتى تتكوّن صورة عليها، ثم قس d_i ، h_i وسجّلها في المحاولة 2.

9. حرّك المصباح في اتجاه المرآة بحيث يكون بعده عن المرآة d_o أكبر عدة سنتيمترات من البعد البؤري f ، وسجّل ذلك في المحاولة 3، ثم حرّك الشاشة حتى تتكوّن صورة عليها، وقس d_i ، h_i وسجّلها في المحاولة 3.

10. حرّك المصباح بحيث تصبح $d_o = f$ ، وسجّل ذلك في المحاولة 4، ثم حرّك الشاشة إلى الأمام والخلف محاولاً الحصول على صورة. ماذا تلاحظ؟

11. حرّك المصباح بحيث تصبح $d_o < f$ ، وسجّل ذلك في المحاولة 5، ثم حرّك الشاشة إلى الأمام والخلف محاولاً الحصول على صورة. ماذا تلاحظ؟

التحليل

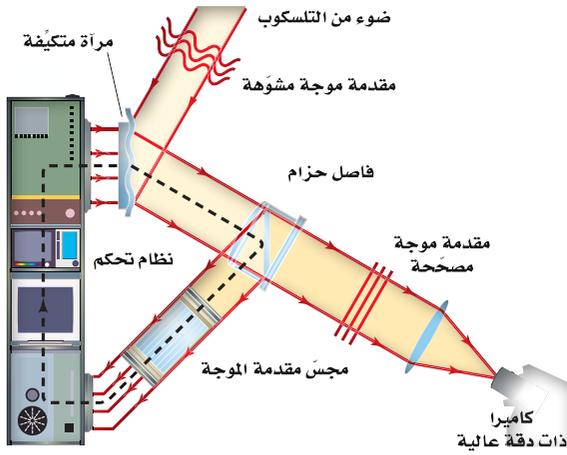
1. **استعمل الأرقام** احسب $\frac{1}{d_i}$ و $\frac{1}{d_o}$ ، وسجّلها في جدول الحسابات.

2. **استعمل الأرقام** احسب مجموع $\frac{1}{d_i}$ و $\frac{1}{d_o}$ ، وسجّل النتيجة في جدول الحسابات. ثم احسب مقلوب كل نتيجة من هذه النتائج، وسجّلها في جدول الحسابات في عمود محسوب f .

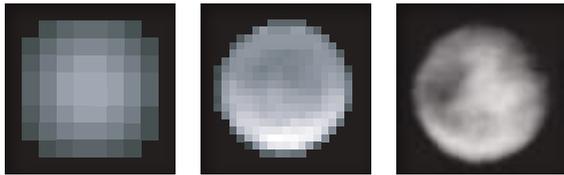


تقنية المستقبل

الأنظمة البصرية المتكيفة Adaptive Optical Systems



يلقي النظام البصري المتكيف التشويه في صورة تيتان - أكبر أقمار زحل



تلسكوب تقليدي تلسكوب هابل الفضائي تلسكوب كيك الذي يستخدم النظام البصري المتكيف

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

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

التوسع

1. ابحث ما الإجراء المتبع إذا لم يكن هناك نجم مناسب لتحليله أو دراسته باستخدام مجس مقدمة الموجة وذلك في منطقة من الفضاء تحت المراقبة؟
2. طبق ابحث في كيفية استخدام المتكيف البصري في المستقبل لتصحيح الرؤية.

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

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

ينقل النظام البصري المتكيف AOS صورة النجم المكبرة من المقراب إلى مرآة متكيفة مرنة مصنوعة من زجاج رقيق، وتشد هذه المرآة بواسطة 20-30 مكبسا متحركاً؛ إذ تؤدي تلك المكابس إلى دفع سطح المرآة أو سحبها إلى أي شكل مهما كان معقداً أو صعباً. ويعمل كل مكبس بواسطة محرك سريع، يتم التحكم فيه آلياً عن طريق حاسوب. وعندما يصبح سطح المرآة مطابقاً تماماً للنمط المحدد في الوقت المحدد فإنها تُعوّض عن حركة الحمل الحراري في الغلاف الجوي بين التلسكوب والنجم، وستعكس صورة واضحة نحو المراقب أو الكاميرا.

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

وإذا كانت الصورة لا تقع خلف مجموعة العدسات الخاصة بها تماماً فإن برمجيات الحاسوب تميّز أن موجات النجم الضوئية تكون مشتتة بفعل الغلاف الجوي. لاحظ أن النجم يمثل مصدرًا ضوئيًا نقطيًا بعيداً، لذا فإنه يُنتج موجات مستوية.

2-1 الانعكاس عن المرايا المستوية Reflection from Plane Mirrors

المفردات

- انعكاس منتظم
- انعكاس غير منتظم
- مرآة مستوية
- جسم
- صورة
- صورة خيالية

المفاهيم الرئيسية

- وفق قانون الانعكاس، فإن الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام على السطح عند النقطة نفسها.

$$\theta_r = \theta_i$$

- يُطبَّق قانون الانعكاس على السطوح الخشنة والسطوح المصقولة، حيث يكون العمود المقام على السطح الخشن في اتجاهات كثيرة مختلفة، وهذا يعني أن الأشعة الساقطة المتوازية تنعكس مشتتة.
- يُنتج السطح المصقول انعكاسًا منتظمًا، في حين يُنتج السطح الخشن انعكاسًا غير منتظم.
- يُسبب الانعكاس المنتظم تكوّن الصور التي تظهر كأنها خلف المرايا المستوية.
- الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية خيالية دائمًا، وحجمها يساوي حجم الجسم نفسه، ولها اتجاه الجسم نفسه، وبعدها عن المرآة يساوي بُعد الجسم عن المرآة.

$$d_i = d_o \quad h_i = h_o$$

2-2 المرايا الكروية Curved Mirrors

المفردات

- المرآة المقعرة
- المحور الرئيس
- البؤرة
- البعد البؤري
- الصورة الحقيقية
- الزوغان (التشوّه)
- الكروي
- التكبير
- المرآة المحدبة

المفاهيم الرئيسية

- يمكنك تحديد موقع الصورة التي تكوّنها مرآة كروية من خلال رسم شعاعين من نقطة على الجسم إلى المرآة، وتكون نقطة تقاطع الشعاعين المنعكسين أو امتداديهما هي صورة نقطة الجسم.
- تُعبّر معادلة المرايا عن العلاقة بين بُعد الصورة وبعُد الجسم والبعُد البؤري للمرآة الكروية:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

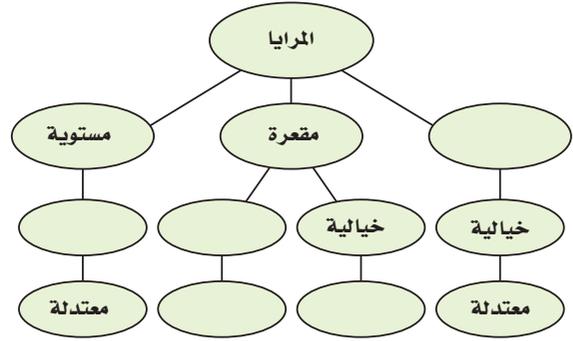
- تُعبّر النسبة بين بُعد الصورة وبعُد الجسم، أو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم عن تكبير الصورة في المرآة.

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

- تُكوّن المرآة المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة عندما يكون بُعد الجسم أكبر من البعد البؤري.
- تُكوّن المرآة المقعرة صورة خيالية ومعتدلة عندما يكون بُعد الجسم أقل من البعد البؤري.
- تُكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورة خيالية ومعتدلة ومصغرة.
- تبدو الصور التي تكوّنها المرايا المحدبة أبعد، كما تنتج مجال رؤية واسعًا؛ لأنها تكوّن صورًا مصغرة.
- يمكن استخدام المرايا في مجموعات أو ضمن تراكيب لإنتاج صور بأحجام وأوضاع ومواقع مختلفة حسب الحاجة أو الرغبة. ويُعدّ التلسكوب الاستخدام الأكثر شيوعًا لمثل هذه التراكيب.

خريطة المفاهيم

26. أكمل خريطة المفاهيم باستخدام المصطلحات الآتية: محدبة، معتدلة، مقلوبة، حقيقية، خيالية.



إتقان المفاهيم

27. كيف يختلف الانعكاس المنتظم عن الانعكاس غير المنتظم؟ (2-1)
28. ماذا يقصد بالعبارة "العمود المقام على السطح العاكس"؟ (2-1)
29. أين تقع الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية؟ (2-1)
30. صف خصائص المرآة المستوية؟ (2-1)
31. يعتقد طالب أن فيلماً فوتوجرافياً حساساً جداً يمكنه الكشف عن الصورة الخيالية، فوضع الطالب الفيلم في موقع تكوّن الصورة الخيالية. هل ينجح هذا الإجراء؟ وضح ذلك. (2-1)
32. كيف تثبت لشخص أن صورة ما هي صورة حقيقية؟ (2-1)
33. ما الخلل أو العيب الموجود في جميع المرايا الكروية المقعرة؟ وما سببه؟ (2-2)
34. ما العلاقة بين مركز تكور المرآة المقعرة وبعدها البؤري؟ (2-2)
35. إذا عرفت بُعد الصورة وبُعد الجسم عن مرآة كروية، فكيف يمكنك تحديد تكبير هذه المرآة؟ (2-2)
36. لماذا تستخدم المرايا المحدّبة على أنها مرايا مخصّصة للنظر إلى الخلف؟ (2-2)

37. لماذا يستحيل تكوين صور حقيقية بالمرآة المحدبة؟ (2-2)

تطبيق المفاهيم

38. الطريق المبتلة تعكس الطرق الجافة الضوء بتشتت أكبر من الطرق المبتلة. بالاعتماد على الشكل 16-2، اشرح لماذا تبدو الطريق المبتلة أكثر سواداً من الطريق الجافة بالنسبة للسائق؟



الشكل 16-2

39. صفحت الكتاب لماذا يُفضل أن تكون صفحات الكتاب خشنة على أن تكون ملساء ومصقولة؟
40. اذكر الصفات الفيزيائية للصورة التي تكوّنها مرآة مقعرة إذا كان الجسم موضوعاً عند مركز تكورها، وحدد موقعها.
41. إذا وضع جسم خلف مركز تكور مرآة مقعرة فحدد موقع الصورة، واذكر صفاتها الفيزيائية.
42. المنظار الفلكي (التلسكوب) إذا احتجت إلى مرآة مقعرة كبيرة لصنع تلسكوب يكوّن صوراً ذات جودة عالية فهل تستخدم مرآة كروية أم مرآة قطع مكافئ؟ وضح ذلك.
43. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة حقيقية باستخدام مرآة كروية مقعرة؟

تقويم الفصل 2

50. **الصورة في المرآة** أراد طالب أن يلتقط صورة لصورته في مرآة مستوية كما في الشكل 18-2. فإذا كانت الكاميرا على بعد 1.2 m أمام المرآة، فعلى أي بعد يجب أن يركز عدسة الكاميرا لالتقاط الصورة؟

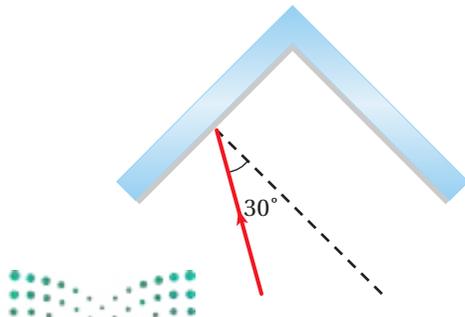


■ الشكل 18-2

51. **بين الشكل 19-2** مرآتين مستويتين متجاورتين بينهما زاوية 90° ، فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30° ، فأجب عما يأتي:

a. ما زاوية انعكاس الشعاع عن المرآة الأخرى؟

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



■ الشكل 19-2

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

45. صف خصائص الصورة التي كوّنتها المرآة المحدبة الموضحة في الشكل 17-2.



■ الشكل 17-2

46. **المرآيا المستخدمة للرؤية الخلفية** يُكتب على مرآيا السيارة الجانبية المستخدمة في النظر إلى الخلف التحذير الآتي: "الأجسام في المرآة أقرب مما تبدو عليه". ما نوع هذه المرآيا؟ وبمَ تمتاز عن غيرها؟

إتقان حل المسائل

1-2 الانعكاس عن المرآيا المستوية

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

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

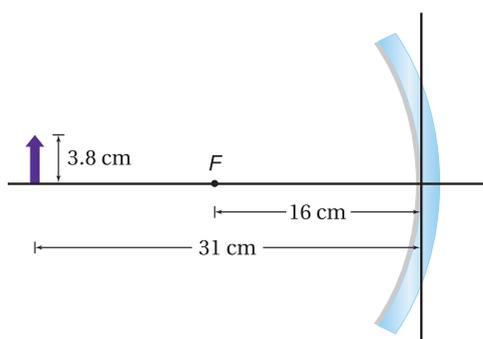
a. زاوية الانعكاس.

b. الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.

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

تقويم الفصل 2

56. احسب بُعد الصورة وارتفاعها للجسم الموضح في الشكل 2-22.



الشكل 2-22 ■

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

58. المرآة المستخدمة للرؤية الخلفية على أيّ بُعد تظهر صورة سيارة خلف مرآة محدبة بعدها البؤري 6.0 m-، عندما تكون السيارة على بُعد 10.0 m من المرآة؟

59. المرآة المستخدمة لرؤية الأسنان يستخدم طبيب أسنان مرآة مقعرة صغيرة نصف قطرها 40 mm لتحديد نخر في إحدى أسنان مريض، فإذا كانت المرآة على بُعد 16 mm من السن، فما تكبير الصورة الناتجة؟

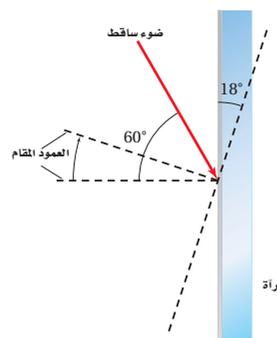
60. وضع جسم طوله 3 cm على بُعد 22.4 cm من مرآة مقعرة، فإذا كان نصف قطر تكوّر المرآة 34.0 cm، فما بُعد الصورة عن المرآة؟ وما طولها؟

61. مرآة تاجر مجوهرات يفحص تاجر مجوهرات ساعة قطرها 3.0 cm بوضعها على بُعد 8.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 12 cm.

a. على أيّ بُعد ستظهر صورة الساعة؟
b. ما قطر الصورة؟

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

53. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية سقوط 60° . فإذا أديرت المرآة بزاوية 18° في اتجاه حركة عقارب الساعة كما في الشكل 2-20، فما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع المرآة؟

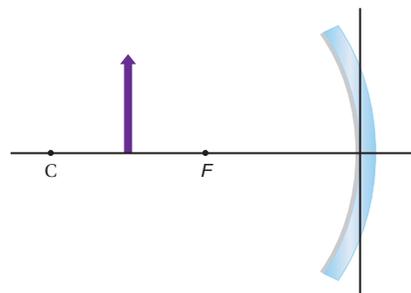


الشكل 2-20 ■

2-2 المرايا الكروية

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

55. صف الصورة المتكوّنة للجسم في الشكل 2-21، مبيّناً هل هي حقيقية أم خيالية، مقلوبة أم معتدلة، وهل هي أقصر من الجسم أم أطول منه؟



الشكل 2-21 ■

تقويم الفصل 2

68. ما نصف قطر تكوّر مرآة مقعرة تُكَبِّرُ صورة جسم +3.2 مرة عندما يوضع على بُعد 20.0 cm منها؟
69. **مرآة المراقبة** تستخدم المحال الكبيرة مرايا المراقبة في الممرات، وكل مرآة لها نصف قطر تكوّر مقداره 3.8 m. احسب مقدار:
- a. بُعد الصورة المتكوّنة لمشتري يقف أمام المرآة على بُعد 6.5 m منها.

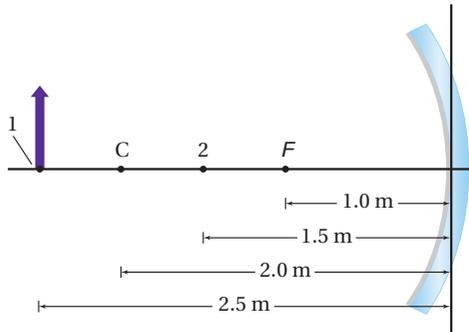
b. طول صورة المشتري طوله 1.7 m.

70. **مرآة الفحص والمعاينة** يريد مراقب خط إنتاج في مصنع تركيب مرآة تكوّن صورًا معتدلة تكبيرها 7.5 مرات عندما توضع على بُعد 14.0 mm من طرف الآلة.

a. ما نوع المرآة التي يحتاج إليها المراقب لعمله؟

b. ما نصف قطر تكوّر المرآة؟

71. تحرك الجسم في الشكل 2-24 من الموقع 1 إلى الموقع 2. انقل الشكل إلى دفترك، ثم ارسم أشعة تبين كيف تتغير الصورة.



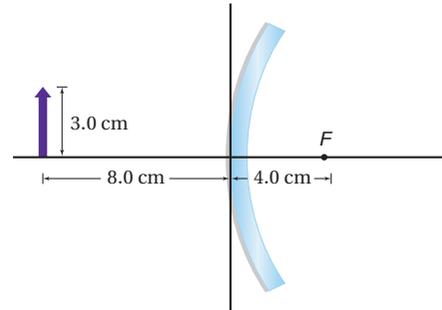
الشكل 2-24 ■

72. وضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 12.0 cm من مرآة محدبة. فإذا كان طول صورة الجسم 2.0 cm وبعدها 6.0 cm-، فما البعد البؤري للمرآة؟ ارسم مخطّط الأشعة للإجابة عن السؤال، وابسّط معادلتَي المرايا والتكبير للتحقق من إجابتك.

62. تسقط أشعة الشمس على مرآة مقعرة وتكوّن صورة على بُعد 3 cm من المرآة. فإذا وضع جسم طوله 24 mm على بُعد 12 cm من المرآة:
- a. فارسم مخطّط الأشعة لتحديد موضع الصورة.
- b. استخدم معادلة المرايا لحساب بُعد الصورة.
- c. ما طول الصورة؟

مراجعة عامة

63. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 28°، فإذا حُرِّك مصدر الضوء بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 34°، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟
64. انقل الشكل 2-23 إلى دفترك، ثم ارسم أشعة على الشكل لتحديد طول الصورة المتكوّنة وموقعها.



الشكل 2-23 ■

65. وضع جسم على بُعد 4.4 cm أمام مرآة مقعرة، نصف قطر تكوّرهما 24.0 cm. أوجد بُعد الصورة باستخدام معادلة المرايا.
66. وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 30.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطر تكوّرهما 26.0 cm. احسب مقدار:
- a. بُعد الصورة المتكوّنة.
- b. طول الصورة المتكوّنة.
67. تُستخدم مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها نصف حجم الجسم على بُعد 36 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟

تقويم الفصل 2

التفكير الناقد

- a.** تكوّن المرآة المحدبة المفردة صورًا خيالية فقط. اشرح كيف تكوّن هذه المرآة في هذا النظام من المرايا صورًا حقيقية؟
- b.** هل الصور المتكوّنة في هذا النظام معتدلة أم مقلوبة؟ وما علاقة ذلك بعدد مرات تقاطع الأشعة؟

الكتابة في الفيزياء

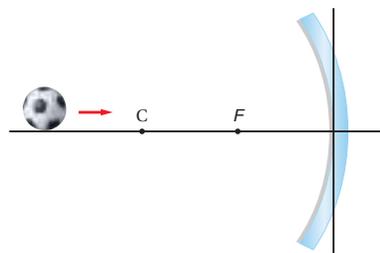
- 76.** تعكس المرايا الأشعة لأنها مطلية بالفلزات. ابحث في واحد مما يأتي، واكتب ملخصًا حوله:
- a.** الأنواع المختلفة للطلاء المستخدم، ومزايا كل نوع وسليباته.
- b.** صقل الألومنيوم بدرجة دقيقة من النعومة، بحيث لا تحتاج إلى زجاج لعمل مرآة.
- 77.** ابحث في طريقة صقل وتلميع وفحص المرايا المستخدمة في التلسكوب العاكس. ويمكنك الكتابة في الطرائق التي يستخدمها الفلكي المبتدئ الذي يصنع تلسكوبه الخاص بيده، أو الطريقة التي تُستخدم في المختبر الوطني، وأعدّ تقريرًا في ورقة واحدة تصف فيه الطريقة، ثم عرضه على طلاب الصف.

مراجعة تراكمية

- 78.** **مرآة التجميل** وضعت شمعة طولها 3.00 cm على بُعد 6.00 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 14.0 cm. أوجد موقع صورة الشمعة وطولها بواسطة ما يأتي: (الفصل 2)
- a.** رسم مخطّط الأشعة بمقياس رسم.
- b.** معادلتى المرايا والتكبير.

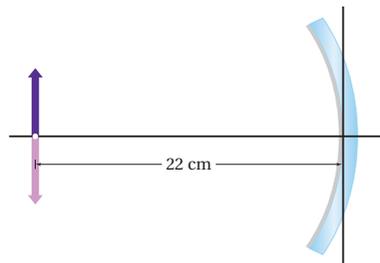


- 73.** **تطبيق المفاهيم** تدحرج الكرة في الشكل 2-25 ببطء إلى اليمين نحو مرآة مقعرة. صف كيف يتغيّر حجم صورة الكرة في أثناء تدحرجها نحو المرآة.



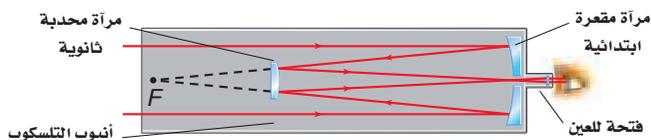
الشكل 2-25 ■

- 74.** **التحليل والاستنتاج** وضع جسم على بُعد 22 cm من مرآة مقعرة، كما في الشكل 2-26. ما البعد البؤري للمرآة؟



الشكل 2-26 ■

- 75.** **التحليل والاستنتاج** يستخدم ترتيب بصري في بعض التلسكوبات يُسمى (تركيز كاسيجرين) كما في الشكل 2-27. ويستخدم هذا التلسكوب مرآة محدبة ثانوية توضع بين المرآة الابتدائية وبؤرتها. أجب عما يأتي:



الشكل 2-27 ■

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أين يجب وضع جسم بحيث تكوّن له مرآة مقعرة صورة مصغرة؟

(A) في بؤرة المرآة

(B) بين البؤرة والمرآة

(C) بين البؤرة ومركز التكوّر

(D) خلف مركز التكوّر

2. ما البعد البؤري لمرآة مقعرة، إذا كبرت جسمًا موضوعًا على بعد 30 cm منها بمقدار +3.2 مرة؟

(A) 23 cm

(B) 32 cm

3. وضع جسم على بُعد 21 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 14 cm. ما بُعد الصورة؟

(A) -42 cm

(B) -8.4 cm

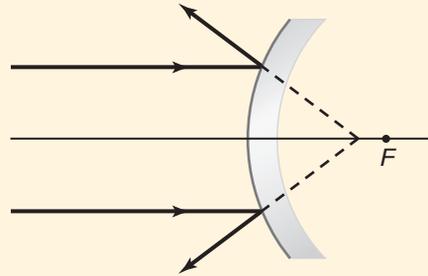
4. لا تتجمع امتدادات الأشعة الضوئية بدقة في البؤرة في الشكل أدناه. وهذه المشكلة تحدث في:

(A) المرايا الكروية جميعها

(B) مرايا القطع المكافئ جميعها

(C) المرايا الكروية المعيبة فقط

(D) مرايا القطع المكافئ المعيبة فقط



5. تكوّنت صورة مقلوبة طولها 8.5 cm أمام مرآة مقعرة على بُعد 34.5 cm منها، فإذا كان البعد البؤري للمرآة 24.0 cm، فما طول الجسم الذي مثّلته هذه الصورة؟

(A) 2.3 cm

(B) 3.5 cm

6. كوّنّت مرآة مقعرة بعدها البؤري 16 cm صورة على بُعد 38.6 cm منها. ما بُعد الجسم عن المرآة؟

(A) 2.4 cm

(B) 11.3 cm

7. كوّنّت مرآة محدبة صورة لجسم حجمها $\frac{3}{4}$ حجم الجسم وعلى بُعد 8.4 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟

(A) -34 cm

(B) -11 cm

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

(A) 0.5، (مقلوبة)

(B) 0.5، (معتدلة)

الأسئلة الممتدة

9. وضع جسم طوله 5.0 cm على بُعد 20.0 cm من مرآة محدّبة بعدها البؤري -14.0 cm. ارسم مخطّط الأشعة بمقياس رسم مناسب لتبيّن طول الصورة.

إرشاد

إجاباتك أفضل من إجابات الاختبار

عندما تعرف طريقة حل المسألة فحلّها قبل أن تنظر إلى خيارات الإجابة، ويكون هناك على الأغلب أكثر من خيار يبدو جيدًا، لذا أجرِ الحسابات أولاً، وزوّد نفسك بالإجابة قبل النظر إلى الخيارات.

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تعرّف كيفية تغير اتجاه الضوء وسرعته عندما ينتقل خلال مواد مختلفة.
- مقارنة خصائص العدسات بالصور التي تكوّنها.
- تعرّف التطبيقات المختلفة للعدسات، وكيف تمكّنك عدسات عينيك من الرؤية.

الأهمية

تقوم عملية الرؤية وتكوّن صور للأشياء على أساس ظاهرة الانكسار؛ حيث ينتقل بعض الضوء في خط مستقيم من الجسم إلى عينيك، وينعكس جزء منه قبل أن يصل إليك، بينما يسلك جزء آخر منه مساراً يبدو منحنياً؛ ليكون صورة له على الشبكية. الأشجار المتموجة إذا غصت تحت الماء فستلاحظ أن الأشياء هناك تبدو طبيعية، في حين تبدو الأجسام التي فوق الماء مشوّهة بفعل الموجات التي تعلو سطحه.

فكر

ما الذي يجعل صور الأشجار متموجة؟



كيف يبدو قلم رصاص موضوع في سائل عند النظر إليه جانبياً؟

6. أنشئ جدول بيانات لتتمكن من تسجيل وصف حول شكل قلم الرصاص في كل دورق.

التحليل

أي الدوارق يبدو فيها القلم كأنه مكسور؟ وهل مقادير الكسر متساوية في الدوارق جميعها؟ ومتى لا يظهر القلم مكسورًا؟ وضح ذلك.

التفكير الناقد ضع فرضية حول متى تبدو الأجسام الصلبة كأنها مكسورة، ومتى لا تبدو كذلك، وتأكد من أن تتضمن تفسيرًا لمقدار الانكسار.



سؤال التجربة هل يبدو قلم الرصاص مختلفًا عندما يشاهد خلال الماء، أو الزيت، أو شراب الذرة؟

الخطوات

1. املاً دورقًا سعته 400 ml بالماء.
2. املاً دورقًا آخر سعته 400 ml بشراب الذرة إلى منتصفه، والنصف الآخر بالماء (اسكب ببطء لتجنب امتزاج السائلين).
3. املاً دورقًا ثالثًا سعته 400 ml بالماء إلى منتصفه، والنصف الآخر بزيت طهي (اسكب ببطء لتجنب امتزاج السائلين).
4. ضع قلم رصاص في كل دورق بصورة مائلة.
5. لاحظ كل قلم من جانب الدورق مع تدويره ببطء.

رابط الدرس الرقمي



www.iem.edu.sa

3-1 انكسار الضوء Refraction of Light

الأهداف

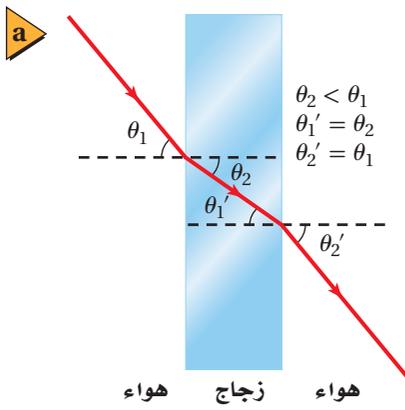
- تحل مسائل تتضمن مفهوم الانكسار في السطوح المستوية والعدسات.
- توضح مفهوم الانعكاس الكلي الداخلي.
- توضح بعض التطبيقات البصرية المبنية على انكسار الضوء.

المفردات

- معامل الانكسار
- قانون سنل في الانكسار
- الزاوية الحرجة
- الانعكاس الكلي الداخلي
- التفريق (التحليل)

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

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



■ الشكل 1-3 ينحرف الضوء مقترباً من العمود المقام على نقطة السقوط عند انتقاله من الهواء إلى الزجاج، وينحرف مبتعداً عن العمود المقام عند انتقاله من الزجاج إلى الهواء (a). انحراف الضوء يجعل الأجسام وكأنها مزاحة عن مواقعها الحقيقية (b).

قانون سنل في الانكسار Snell's Law of Refraction

ما الذي يحدث عندما تُسقط حزمة ضوء بشكل مائل على سطح قطعة زجاج؟ سينحرف الضوء عن مساره عند مروره بالحد الفاصل بين الهواء والزجاج كما في الشكل 1-3. ويُسمى انحراف الضوء الانكسار، وقد درس هذه الظاهرة رينيه ديكار وويلبرورد سنل في زمن كبلر وجاليليو.

ولمناقشة نتائج هذه الدراسات ينبغي عليك أن تتعرفَ زاويتين هما: زاوية السقوط، θ_1 ، وهي الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع الساقط. وزاوية الانكسار، θ_2 ، وهي الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع المنكسر. وقد وجد سنل في عام 1621 أنه عند مرور الضوء من الهواء إلى وسط شفاف فإن جيب كل زاوية يرتبط بالمعادلة $n = \sin \theta_1 / \sin \theta_2$ ؛ حيث تُمثّل n مقداراً ثابتاً يعتمد على المادة، ولا يعتمد على الزوايا، يُسمى **معامل الانكسار**. ويبين الجدول 1-3 معاملات انكسار بعض المواد. ويمكن تعميم معادلة سنل عندما يمر الضوء خلال حدّ فاصل بين أي مادتين شفافتين مختلفتين. وتُعرف هذه المعادلة العامة **بقانون سنل في الانكسار**.

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

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

يبين الشكل 1-3 كيفية تطبيق قانون سنل عندما ينتقل الضوء خلال قطعة زجاج سطوحها متوازية، مثل زجاج النافذة، حيث ينكسر الضوء مرتين؛ مرة عند دخوله إلى الزجاج، ومرة أخرى عند خروجه منه. وعندما ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج فإنه ينتقل من مادة ذات معامل انكسار قليل إلى مادة معامل انكسارها أكبر؛ أي أن $n_1 < n_2$. ولكي تكون المعادلة متساوية الطرفين فإنه يجب أن يكون $\sin \theta_1 > \sin \theta_2$ ؛ أي أن حزمة الضوء تنحرف مقتربة من العمود المقام على السطح.

ويحدث العكس عندما ينتقل الضوء من الزجاج إلى الهواء، حيث يمر من مادة ذات معامل انكسار كبير إلى مادة معامل انكسارها أقل؛ أي أن $n_1 > n_2$. وفي هذه الحالة تكون $\sin \theta_1 < \sin \theta_2$ ؛ أي أن الضوء ينحرف مبتعداً عن العمود المقام. لاحظ أيضاً أن اتجاه الشعاع عند خروجه من الزجاج هو نفسه كما كان قبل أن يسقط على الزجاج، ولكنه انزاح عن موضعه الأصلي.

دلالة الألوان
• يكون وسط الانكسار والعدسات باللون الأزرق الناتج.

الجدول 1-3

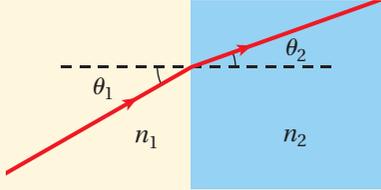
معاملات الانكسار للضوء الأصفر (في الفراغ $\lambda = 589 \text{ nm}$)	
الوسط	n
الفراغ	1.00
الهواء	1.0003
الماء	1.33
الإيثانول	1.36
زجاج العدسات	1.52
الكوارتز	1.54
الزجاج الصوّاني	1.62
الألماس	2.42

مثال 1

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

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الحد الفاصل بين الهواء وزجاج العدسات.
- ارسم مخطط الأشعة.



المجهول

$$\theta_2 = ?$$

المعلوم

$$\theta_1 = 30.0^\circ, n_1 = 1.00, n_2 = 1.52$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم قانون سنل لإيجاد زاوية الانكسار:

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

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

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

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

$$\text{عوض مستخدماً } n_1 = 1.00, n_2 = 1.52, \theta_1 = 30.0^\circ$$

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريجية

1. أسقطت حزمة ليزر في الهواء على إيثانول بزاوية 37.0° . ما مقدار زاوية الانكسار؟
2. ينتقل ضوء في الهواء إلى داخل الماء بزاوية 30.0° بالنسبة للعمود المقام. أوجد مقدار زاوية الانكسار.
3. غمر قالب من مادة غير معروفة في الماء. أسقط عليه ضوء بزاوية 31° ، فكانت زاوية انكساره في القالب 27° . ما معامل الانكسار للمادة المصنوع منها القالب؟

الربط مع الضلك



وزارة التعليم

Ministry of Education

2021

يرجع اللون الأحمر للقمر خلال مرحلة خسوفه إلى الانكسار؛ إذ يحدث خسوف القمر عندما تحجب الأرض ضوء الشمس عن القمر. ونتيجة لهذا، قد تتوقع أن يصبح القمر معتماً تماماً، ولكن ما يحدث هو أن الضوء ينكسر خلال الغلاف الجوي للأرض، وينحرف حول الأرض في اتجاه القمر. ولأن الغلاف الجوي للأرض يشتمل معظم الضوء الأزرق والأخضر لذا ينير اللون الأحمر أغلب القمر. وبما أن القمر يعكس معظم ألوان الضوء بالدرجة نفسها فإنه يعكس الضوء الأحمر إلى الأرض، فيظهر القمر باللون الأحمر.

النموذج الموجي في الانكسار Wave Model of Refraction

طُوّر النموذج الموجي للضوء بعد 200 عام تقريباً من نشر سنل لبحثه. وتم التوصل بعد 300 عام من عمل سنل إلى فهم أن الضوء يتفاعل مع الذرات عند انتقاله خلال الوسط، كأن يتحرك بسرعة أقل مما هو في الفراغ. ويمكن كتابة علاقة الموجة $\lambda_0 = c/f$ التي درستها سابقاً التي تخص انتقال موجة الضوء في الفراغ على النحو الآتي: $\lambda = v/f$ ، حيث تمثل v سرعة الضوء في أي وسط، وتمثل λ الطول الموجي. ولا يتغير تردد الضوء f عندما يعبر الحد الفاصل؛ أي أن عدد الاهتزازات لكل ثانية التي تصل الحد الفاصل هي نفسها التي تخرج من الحد الفاصل وتنتقل خلال وسط الانكسار. لذا يجب أن يقل الطول الموجي للضوء λ عندما تقل سرعة الضوء؛ فيكون الطول الموجي للضوء في أي وسط أقصر من الطول الموجي له في الفراغ.

ما الذي يحدث عندما ينتقل الضوء من وسط يتحرك فيه بسرعة أكبر إلى وسط يتحرك فيه بسرعة أقل كما في الشكل 3-2a؟ للإجابة عن ذلك انظر إلى الشكل 3-2b الذي يبيّن حزمة ضوئية مكونة من سلسلة متوازية من مقدمات الموجات المستقيمة، حيث تمثل كل مقدمة موجة قمة الموجة وتكون متعامدة مع اتجاه الحزمة الضوئية التي تسقط على السطح بالزاوية θ_1 . وبما أن مقدمات الموجة تعامد اتجاه الحزمة، فإن $\angle PQR$ في المثلث PQR تكون زاوية قائمة، و $\angle QRP$ تساوي θ_1 . لذا فإن $\sin \theta_1$ تساوي المسافة بين Q و P مقسومة على المسافة بين P و R.

$$\sin \theta_1 = \frac{\overline{PQ}}{\overline{PR}}$$

وترتبط زاوية الانكسار θ_2 بالطريقة نفسها مع المثلث PSR، وفي هذه الحالة:

$$\sin \theta_2 = \frac{\overline{RS}}{\overline{PR}}$$

ومن خلال حساب نسبة الجيب للمثلثين فإن \overline{PR} تُلغى وتبقى المعادلة الآتية:

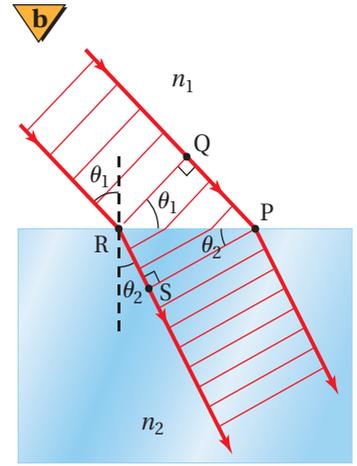
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{\overline{RS}}{\overline{PQ}}$$

رُسم الشكل 3-2b بحيث كانت المسافة بين Q و P مساوية لثلاثة أطوال موجية للضوء في الوسط 1؛ أي أن $\overline{PQ} = 3\lambda_1$. وبالطريقة نفسها فإن $\overline{RS} = 3\lambda_2$. وبتعويض هاتين القيمتين في المعادلة السابقة واختصار العامل المشترك، الرقم 3، تنتج معادلة تربط زاويتي السقوط والانكسار بالطول الموجي للضوء في كل وسط.

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{3\lambda_2}{3\lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

وبالتعويض عن الطول الموجي بـ $\lambda = v/f$ في المعادلة أعلاه وإلغاء العامل المشترك f ، يُمكننا إعادة كتابة المعادلة على الشكل الآتي:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$



■ الشكل 3-2 ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج ثم إلى الهواء مرة أخرى (a). يتباطأ الضوء وينحرف مقترباً من العمود المقام عندما يدخل منطقة معامل انكسارها أكبر (b).



كما يمكن أيضًا كتابة قانون سنل في صورة نسبة لمعاملتي انكسار الوسيطين.

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

معامل الانكسار باستخدام خاصية التعدي للمساواة، فإن المعادلتين السابقتين تؤديان إلى

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

المعادلة الآتية:

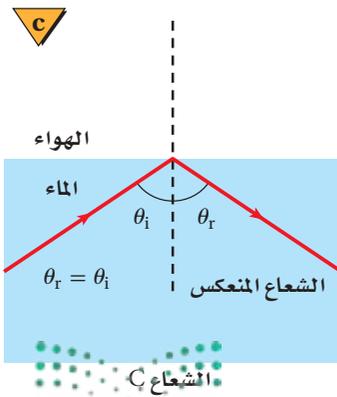
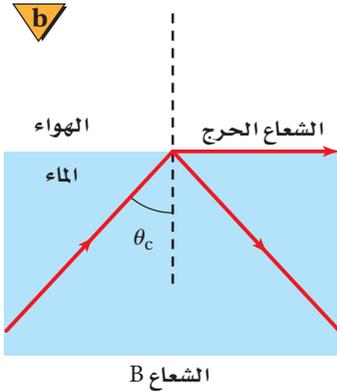
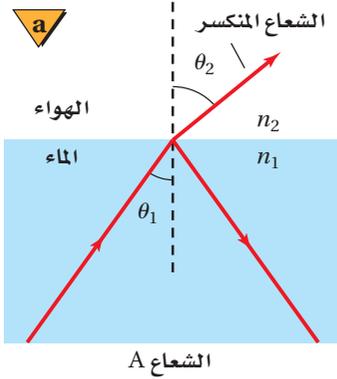
وبالنسبة للفراغ فإن $n = 1$ و $v = c$. فإذا كان أحد الوسيطين فراغًا فإن المعادلة تبسّط إلى معادلة تربط معامل انكسار الوسيط بسرعة الضوء فيه.

$$n = \frac{c}{v}$$

معامل الانكسار

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

■ **الشكل 3-3** انكسار الشعاع A جزئيًا، وكذلك انعكس جزئيًا (a). انكسر الشعاع B على امتداد الحد الفاصل بين الوسيطين عندما سقط بزواوية تساوي الزاوية الحرجة (b). زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى حدوث انعكاس كلي داخلي للشعاع C، والذي يتبع قانون الانعكاس (c).



ويستخدم هذا التعريف لإيجاد الطول الموجي للضوء في وسط ما مقارنة بالطول الموجي للضوء في الفراغ، حيث يعبر عن سرعة الضوء في وسط معامل انكساره n بالعلاقة $v = c/n$ ، وعن الطول الموجي للضوء في الفراغ $\lambda_0 = c/f$. وبحل المعادلة $\lambda = v/f$ بالنسبة للتردد، وتعويض كل من المعادلتين $v = c/n$ و $f = c/\lambda_0$ فيها، تجد أن $\lambda = (c/n) / (c/\lambda_0) = \lambda_0/n$ ، لذا يكون الطول الموجي للضوء في الوسط أقل من الطول الموجي له في الفراغ.

الانعكاس الكلي الداخلي Total Internal Reflection

عندما ينتقل الضوء إلى وسط معامل انكساره أقل تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط، كما يبين الشكل 3-3a. وهذا يؤدي إلى ظاهرة طبيعية؛ إذ إنه مع زيادة زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار، إلا أنه عند زاوية سقوط معينة تُسمى **الزاوية الحرجة** θ_c ، ينكسر الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسيطين، وتكون زاوية الانكسار 90.0° ، كما يبين الشكل 3-3b.

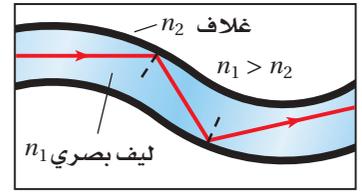
عندما يسقط ضوء على حد فاصل شفاف فإن معظم الضوء ينفذ، بينما ينعكس جزء منه، في حين يمتص الوسط جزءًا آخر منه. ويحدث **الانعكاس الكلي الداخلي** عندما ينتقل الضوء من وسط معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره أقل، ويسقط الضوء على الحد الفاصل بزواوية أكبر من الزاوية الحرجة، إن أهم ما يميز الانعكاس الكلي الداخلي هو أن الضوء ينعكس بصورة كاملة إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر، كما يبين الشكل 3-3c. وتستطيع استخدام قانون سنل لإيجاد معادلة للزاوية الحرجة لأي حد فاصل، وذلك بتعويض $\theta_1 = \theta_c$ و $\theta_2 = 90.0^\circ$.

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي

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

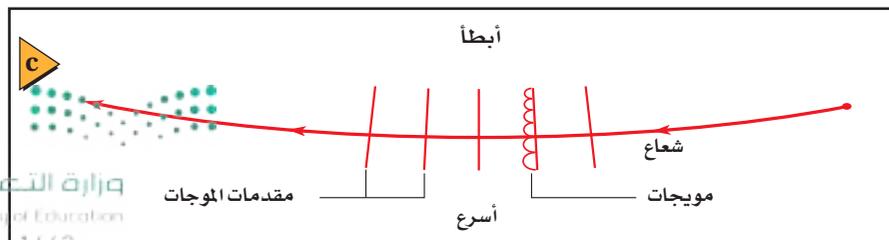
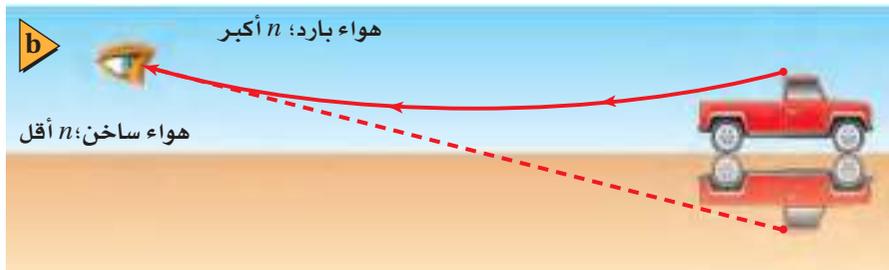
يؤدي الانعكاس الكلي الداخلي إلى بعض التأثيرات الغريبة. افترض أنك تغوص في بركة ماء ساكن، وتنظر إلى أعلى سطح الماء، فإنك قد ترى انعكاساً مقلوباً لجسم آخر قريب موجود أسفل الماء، أو قد ترى انعكاساً لبقاع البركة نفسها؛ إذ يعمل سطح الماء عمل المرآة. وكذلك عندما تقف بجانب بركة فإنه يمكن ألا ترى الأشياء الموجودة أسفل سطح الماء. فعندما يسبح شخص تحت الماء بالقرب من السطح وفي الجهة المقابلة لك من البركة، فإنك قد لا تراه؛ وذلك لأن الضوء القادم من جسمه ينعكس إلى الأسفل ليرتد إلى داخل البركة. تعد الألياف البصرية تطبيقاً تقنياً مهماً للانعكاس الكلي الداخلي. فكما بين الشكل 3-4، يصطدم الضوء الذي ينتقل خلال الليف الشفاف بالسطح الداخلي للليف البصري دائماً بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، لذا ينعكس الضوء انعكاساً كلياً داخلياً فلا ينفذ أي جزء منه خلال الحد الفاصل. ولذلك يحافظ الضوء على شدته على طول المسافة التي يمتدّها الليف البصري مهما بلغت، وبهذا يمكن نقل الضوء من منطقة إلى أخرى.



■ الشكل 3-4 تدخل نبضات ضوء من مصدر الضوء إلى أحد طرفي الليف البصري. وفي كل مرة يصطدم فيها الضوء بالسطح، تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، ولذا يبقى الضوء داخل الليف البصري.

السراب Mirages

ترى أحياناً في يوم صيفي حار تأثير السراب المبين في الشكل 3-5a. فعندما تقود سيارتك على طريق ترى ما يبدو كأنه انعكاس للسيارة القادمة في بركة ماء، وتختفي البركة عندما تصل إليها، لماذا؟ يتكون السراب نتيجة تسخين الشمس للطريق؛ إذ تُسخّن الطريق الحارة الهواء فوقها وتنتج طبقة حرارية من الهواء تؤدي إلى انحراف الضوء المنتقل في اتجاه الطريق تدريجياً إلى أعلى؛ مما يجعل الضوء يبدو قادمًا من انعكاس في بركة، كما في الشكل 3-5b.



■ الشكل 3-5a سراب يُرى على سطح الطريق (a). ينحرف الضوء القادم من السيارة إلى أعلى في اتجاه عين المشاهد (b). يتحرك قاع مقدمة الموجة أسرع من قممتها (c).

ويبين الشكل 3-5c كيف يحدث هذا؛ فعندما ينتقل الضوء من جسم بعيد إلى أسفل نحو الطريق، فإن معامل انكسار الهواء يقل بسبب سخونة الهواء، ويكون تغير درجة الحرارة تدريجياً. تذكر من الفصول السابقة أن مقدمات موجات الضوء التي درستها تتألف من موجات هيجنز. وفي السراب تنتقل موجات هيجنز القريبة من سطح الأرض أسرع من تلك الموجات التي في الأعلى، مما يؤدي إلى انحراف مقدمات الموجات تدريجياً إلى أعلى. وتحدث ظاهرة مشابهة تُسمى السراب القطبي؛ عندما يبدو انعكاس قارب بعيد فوق القارب نفسه، حيث يُبقي الماء الهواء القريب من سطحه بارداً.

تفريق (تحليل) الضوء Dispersion of Light

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

يتحلل الضوء الأبيض إلى طيف من الألوان عند مروره خلال منشور زجاجي، كما يبين الشكل 3-6a، حيث تُسمى هذه الظاهرة **بالتفريق**. وإذا نظرت بدقة إلى الضوء الذي يمر خلال المنشور فستلاحظ أن اللون البنفسجي ينكسر أكثر من اللون الأحمر، كما يبين الشكل 3-6b؛ وهذا يحدث لأن سرعة الضوء البنفسجي خلال الزجاج أقل من سرعة الضوء الأحمر؛ حيث إن تردد الضوء البنفسجي أكبر من تردد الضوء الأحمر، مما يجعله يتفاعل بصورة مختلفة مع ذرات الزجاج، وهذا يؤدي إلى جعل معامل انكسار الزجاج للضوء البنفسجي أكبر منه للضوء الأحمر.



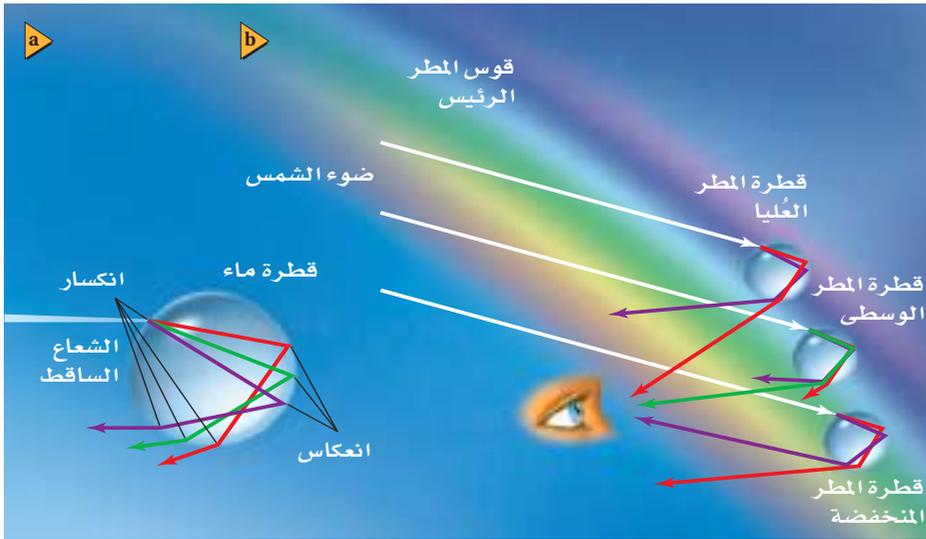
الشكل 3-6 يسقط ضوء أبيض على منشور فيتفرق (يتحلل) إلى حزم من ألوان مختلفة (a). وتتحرف الألوان المختلفة من الضوء بدرجات مختلفة عند عبورها وسط ما (b).



قوس المطر المنشور ليس الوسيلة الوحيدة لتفريق الضوء الأبيض ثم تحليله إلى ألوانه؛ فقوس المطر طيف يتشكّل عندما يتفرّق ضوء الشمس بفعل قطرات الماء في الغلاف الجوي. وينكسر ضوء الشمس الساقط على قطرات الماء، حيث ينكسر كل لون بزواوية انكسار مختلفة قليلاً؛ بسبب التفريق كما هو موضّح في الشكل 3-7a. ويحدث انعكاس داخلي لبعض الضوء على السطح الخلفي للقطرة. وعند خروج الضوء من القطرة يحدث له انكسار مرة أخرى ويزداد التفريق.

وعلى الرغم من أن كل قطرة تنتج طيفاً كاملاً إلا أن المراقب الموجود بين الشمس والمطر سيرى من كل قطرة طولاً موجياً معيناً للضوء فقط؛ حيث يعتمد الطول الموجي على المواقع النسبية للشمس، والقطرة، والمراقب، كما يبين الشكل 3-7b. وسيظهر طيف كامل؛ لأنه يوجد الكثير من القطرات في السماء. وستصنع القطرات التي تعكس الضوء الأحمر زاوية 42° بالنسبة لأشعة الشمس؛ في حين تصنع القطرات التي تعكس الضوء الأزرق زاوية 40° .

قد ترى أحياناً قوس مطر ثانٍ باهتٍ، كما في الشكل 3-8. ويقع قوس المطر الثاني خارج الأول، كما يكون باهتاً، وله ترتيب ألوان معكوس. وينتج هذا التأثير بسبب انعكاس أشعة الضوء مرتين في داخل قطرة الماء. وقد يظهر قوس مطر ثالث خارج الإثنين، ولكن



■ الشكل 3-7 يتشكّل قوس المطر بسبب تفرّق (تحلّل) الضوء الأبيض عند دخوله الحد الفاصل وانعكاسه عن الحد الفاصل الداخلي، وخروجه من قطرات المطر (a). يصل لون واحد فقط إلى المراقب من كل قطرة مطر بسبب التفريق (b).



■ الشكل 8-3 يسمح وجود الضباب خلال رؤيتك للضوء المشتتل على الطيف الكامل للألوان بأن يصل إلى عينيك على صورة قوس مطر. وقد يمكّن الانعكاس عن قطرات المطر أحياناً من رؤية قوس مطر آخر بألوان معكوسة الترتيب.



بصورة نادرة جداً. ما توقعك حول عدد مرات انعكاس الضوء في قطرة الماء وترتيب ظهور الألوان لقوس المطر الثالث؟

3-1 مراجعة

9. وزجاج العدسات لتصنع ليفاً بصرياً، فأيهما تستخدم لطبقة الغلاف؟ ولماذا؟

9. **زاوية الانكسار** تعبر حزمة ضوئية الماء إلى داخل البولي إيثيلين (معامل انكساره $n=1.50$). فإذا كانت $\theta_1=57.5^\circ$ فما زاوية الانكسار في البولي إيثيلين؟

10. **الزاوية الحرجة** هل هناك زاوية حرجة للضوء المنتقل من الزجاج إلى الماء، وللضوء المنتقل من الماء إلى الزجاج؟

11. **التفريق** لماذا تستطيع رؤية صورة الشمس فوق الأفق تماماً عندما تكون الشمس نفسها قد غابت فعلاً؟

12. **التفكير الناقد** في أي اتجاه تستطيع رؤية قوس المطر في مساء يوم ماطر؟ وضح إجابتك.

4. **معامل الانكسار** عند نفاذ الضوء من الماء إلى سائل معين فإنه ينحرف مقترباً من العمود المقام، ولكن عند نفاذ الضوء من زجاج العدسات إلى السائل نفسه فإنه ينحرف مبتعداً عن العمود المقام. ما الذي تستنتجه عن معامل انكسار السائل؟

5. **معامل الانكسار** سقط شعاع ضوئي في الهواء بزاوية 30.0° على قالب من مادة غير معروفة، فانكسر فيها بزاوية 20.0° . ما معامل انكسار المادة؟

6. **سرعة الضوء** هل يمكن أن يكون معامل الانكسار أقل من 1؟ وما الذي يعنيه هذا بالنسبة لسرعة الضوء في ذلك الوسط؟

7. **سرعة الضوء** ما سرعة الضوء في الكلوروفورم ($n=1.51$)؟

8. **الانعكاس الكلي الداخلي** إذا توافر لديك الكوارتز



3-2 العدسات المحدبة والمقعرة Convex and Concave Lenses

الأهداف

- تصف كيف تتكون الصور الحقيقية والخيالية بواسطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة على الترتيب.
- تعين موقع الصور المتكوّنة بواسطة العدسات بالطريقتين الهندسية والرياضية.
- توضح كيف يمكن تقليل الزوغان اللوني.

المفردات

- العدسة
- العدسة المحدبة
- العدسة المقعرة
- معادلة العدسة الرقيقة
- الزوغان اللوني
- العدسة اللالونية

تجربة عملية

العدسات المحدبة والعدسات المقعرة

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

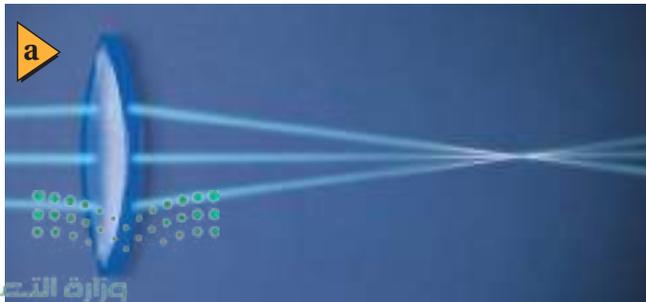
يكون انكسار الضوء في الطبيعة جميلاً؛ إذ ينتج عنه قوس المطر والخسوف الأحمر للقمر. وهناك فوائد كثيرة للانكسار في حياتنا؛ فقد كتب الفيزيائي الفرنسي برنارد أوف جوردون عام 1303 حول استخدام العدسات لتصحيح النظر. واستخدم جاليليو عام 1610 عدستين لصنع التلسكوب الذي اكتشف بواسطته أقمار المشتري. واستخدمت العدسات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

أنواع العدسات Types of Lenses

العدسة قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تُستخدم في تجميع الضوء أو تفريقه وتكوين الصور. ويمكن أن يكون أي سطح من سطحي العدسة منحنيًا أو مستويًا. وتُسمى العدسة في الشكل 3-9a **عدسة محدبة**؛ لأنها أكثر سمكًا عند الوسط مما عند الأطراف. وتُسمى العدسة المحدبة العدسة المجمّعة؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بهادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة فإنها تعمل على كسر الأشعة الضوئية المتوازية والموازية للمحور الرئيس بحيث تتجمع الأشعة المنكسرة في نقطة واحدة. وتُسمى العدسة التي في الشكل 3-9b **عدسة مقعرة**؛ لأنها أدق وأرق عند الوسط مما عند الطرفين. وتُسمى العدسة المقعرة العدسة المفرّقة؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمعامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة فإنها تعمل على كسر أشعة الضوء المتوازية بحيث تتفرّق.

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

معادلتا العدسة تتضمن المسائل التي تحلها عدسات كروية رقيقة، أي عدسات لها وجوه مقوّسة بتقوّس الكرة نفسه. واعتماداً على نموذج العدسة الرقيقة، والتبسيطات



المستخدمة في حل مسائل المرايا الكروية، طوّرت معادلتان للعدسات؛ إذ تربط **معادلة العدسة الرقيقة** بين البعد البؤري للعدسة الكروية الرقيقة وبعدها الجسم وبعدها الصورة.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o} \quad \text{معادلة العدسة الرقيقة}$$

مقلوب البعد البؤري للعدسة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بُعد الصورة ومقلوب بُعد الجسم عن العدسة.

وتستخدم معادلة التكبير في العدسات الكروية الرقيقة كالتي استخدمت في المرايا الكروية.

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

يعرف تكبير عدسة كروية لجسم ما بأنه نسبة طول الصورة إلى طول الجسم، ويساوي سالب بُعد الصورة عن العدسة مقسومًا على بُعد الجسم عن العدسة.

استخدام معادلتى العدسات من المهم استخدام نظام إشارات مناسب عند استخدام هاتين المعادلتين. ويبين الجدول 2-3 مقارنة بين بُعد الصورة، والتكبير، ونوع الصورة المتكوّنة بواسطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة عند وضع الجسم في مواقع متعددة d_o بالنسبة للعدسة. ولاحظ التشابه بين هذا الجدول والجدول 1-2 الخاص بالمرايا. وكما في المرايا، فإن المسافة بين المستوى الأساسي للعدسة والبؤرة هي البعد البؤري f . ويعتمد البعد البؤري على شكل العدسة ومعامل انكسار مادتها. ويمكن أن تكون الأبعاد البؤرية وأبعاد الصورة سالبة.

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

الجدول 2-3

خصائص العدسات الكروية

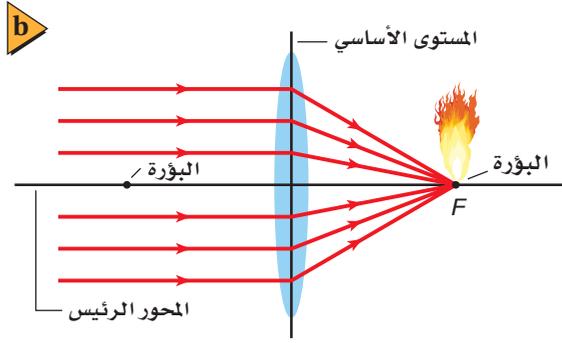
الصورة	m	d_i	d_o	f	نوع العدسة
حقيقية	مصغرة مقلوبة	$2f > d_i > f$	$d_o > 2f$	+	محدبة
حقيقية	مكبّرة مقلوبة	$d_i > 2f$	$2f > d_o > f$		
خيالية	مكبّرة	$ d_i > d_o$ سالب	$f > d_o > 0$	-	مقعرة
خيالية	مصغرة	$ f > d_i > 0$ سالب	$d_o > 0$		

تجربة
عملية

كيف ينحرف الضوء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين





الشكل 10-3 يمكن استخدام عدسة مجمعة لحرق ورقة (a). يتجمّع الضوء الداخل بصورة موازية للمحور الرئيسي عند بؤرة العدسة، ولذا تتركز الطاقة الشمسية (b).

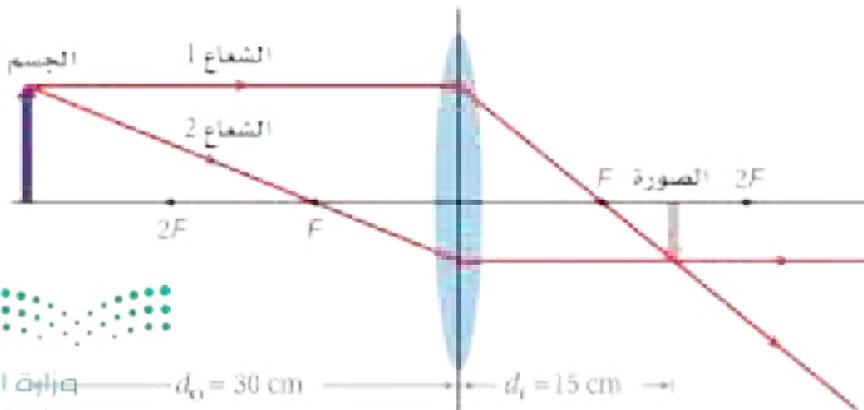
العدسات المحدّبة والصور الحقيقية

Convex Lenses and Real Images

يمكن إشعال ورقة أو ألياف خشبية - كما في الشكل 10a-3 - بتكوين صورة للشمس عليها. تذكر من خلال دراستك السابقة أن أشعة الشمس تصل إلى الأرض بصورة متوازية تقريباً. وتتجمّع الأشعة بعد انكسارها بواسطة العدسة عند البؤرة F للعدسة. والشكل 10b-3 يبين نقطتين بؤريتين، واحدة في كل جانب من جوانب العدسة، وإذا دوّرت العدسة حول نفسها، فإنها ستعمل بالطريقة نفسها.

مخطّط الأشعة وفقاً لمخطّط الأشعة، الموضح في الشكل 11-3، ستحتاج إلى استخدام شعاعين فقط لتحديد موقع صورة نقطة على جسم؛ إذ يكون الشعاع 1 موازياً للمحور الرئيس، وينكسر ماراً بالنقطة F في الجانب الآخر للعدسة. ويمر الشعاع 2 بالنقطة F في طريقه إلى العدسة، ويكون مساره بعد الانكسار موازياً للمحور الرئيس، حيث يتقاطع الشعاعان عند نقطة ما بعد F ، فيحدّدان موقع الصورة. وتتقاطع الأشعة المختارة من نقاط أخرى على الجسم عند نقاط مماثلة لتكوين الصورة على نحو كامل. لاحظ أن الصورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة بالنسبة للجسم.

تستطيع استخدام الشكل 11-3 لتعيين موقع الصورة لجسم يكون قريباً من العدسة أكثر



تأثيرات تغطية العدسات



ما الذي يحدث عندما تغطي جزءاً من العدسة؟ هل يؤدي ذلك إلى تكون جزء من الصورة الحقيقية فقط بواسطة العدسة؟

1. ألصق طرف العدسة المحدبة بكرة من الصلصال، وضع العدسة فوق الطاولة. تحذير: للعدسات أطراف حادة، لذا تعامل معها بحذر.

2. ضع مصباحاً صغيراً عند أحد طرفي الطاولة، وشاشة عند الطرف الآخر للحصول على صورة واضحة للمصباح الضوئي. تحذير: قد يسخن المصباح فيحرق يدك.

3. توقع ماذا يحدث للصورة إذا وضعت يدك على النصف العلوي للعدسة؟ هذا ما يُسمى التغطية.

4. لاحظ تأثيرات التغطية لأكبر وأقل مساحة من العدسة.

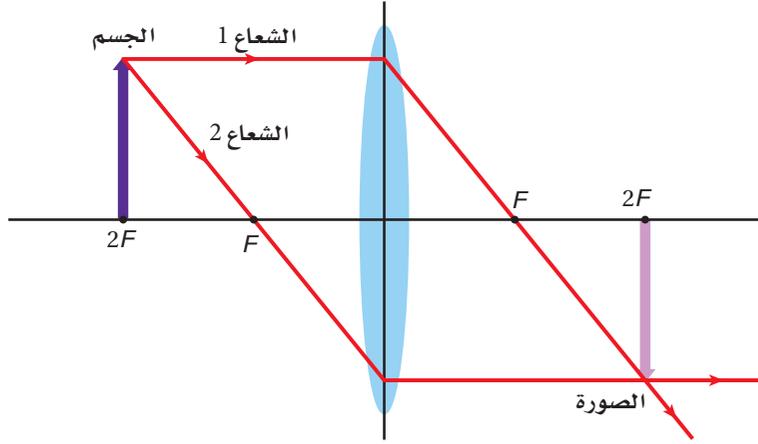
التحليل والاستنتاج

5. ما الحجم الكافي من العدسة الذي يتطلبه الحصول على صورة كاملة؟

6. ما تأثير تغطية العدسة؟

الشكل 11-3 إذا وضع جسم على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري للعدسة تتكون صورة حقيقية مقلوبة ومصغرة بالنسبة للجسم. وإذا وضع الجسم في مكان الصورة أمكنك تعيين موقع الصورة الجديدة من خلال رسم الأشعة نفسها في الاتجاه المعاكس.

■ الشكل 12-3 عندما يوضع جسم على بعد مساوٍ لضعف البعد البؤري عن العدسة فإن أبعاد الصورة تكون مساوية لأبعاد الجسم.



من الجسم الذي في الشكل. فإذا عكس اتجاه الشعاع المنكسر فإنه سيتبع مساره الأصلي في الاتجاه المعاكس، وهذا يعني أنه يمكن تبادل المواقع بين الجسم والصورة بتغيير اتجاه الأشعة. أما إذا وضع الجسم على بعد يساوي ضعف البعد البؤري من العدسة عند نقطة $2F$ ، كما في الشكل 12-3، فإن الصورة تتكون عند $2F$ ، ويكون للصورة والجسم البعدين نفسيهما بسبب التماثل. لذا تستطيع استنتاج أنه إذا كان بُعد الجسم عن العدسة أكبر من ضعف البعد البؤري للعدسة ستكون الصورة مصغرة. وإذا كان الجسم بين F و $2F$ ، ستكون الصورة مكبرة.

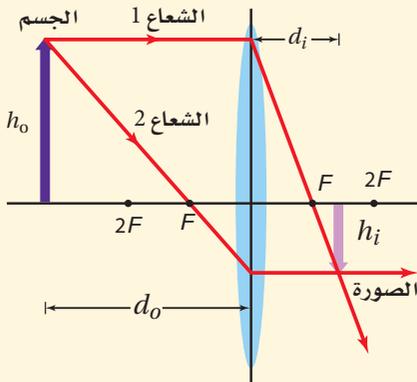
مثال 2

الصورة المتكونة بواسطة عدسة محدبة وضع جسم على بعد 32.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 8.0 cm .

a. أين تتكوّن الصورة؟

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

c. ما اتجاه الصورة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الحالة، وعيّن موقع كل من الجسم والعدسة.
- ارسم الشعاعين الأساسيين.

المجهول

المعلوم

$$d_i = ? \quad h_i = ? \quad d_o = 32.0\text{ cm}, \quad h_o = 3.0\text{ cm}, \quad f = 8.0\text{ cm}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لتحديد d_i

عوض مستخدماً $d_o = 32.0\text{ cm}, f = 8.0\text{ cm}$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f} = \frac{(8.0\text{ cm})(32.0\text{ cm})}{32.0\text{ cm} - 8.0\text{ cm}}$$

$$= 11\text{ cm}$$

(11 cm بعيداً عن العدسة في الجانب المعاكس للجسم)

b. استخدم معادلة التكبير وحل لإيجاد طول الصورة.

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

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o} \\ = \frac{-(11 \text{ cm})(3.0 \text{ cm})}{32.0 \text{ cm}} \\ = -1.0 \text{ cm} \text{ (طول الصورة } 1.0 \text{ cm)}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنونة 256

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

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

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ الأبعاد كلها بالستيمتر cm.
- هل تعني الوحدات أي شيء؟ بُعد الصورة موجب (صورة حقيقية)، أما طولها فسالِب؛ أي مقلوبة بالنسبة للجسم، مما يدل على أن العدسة محدبة.

13. تكوّن لجسم موجود بالقرب من عدسة محدبة صورة حقيقية مقلوبة طولها 1.8 cm على بُعد 10.4 cm منها. فإذا كان البعد البؤري للعدسة 6.8 cm فما بُعد الجسم؟ وما طولها؟
14. وضع جسم عن يسار عدسة محدبة بعدها البؤري 25 mm، فتكوّنت له صورة حجمها يساوي حجم الجسم. ما بُعد كل من الجسم والصورة؟

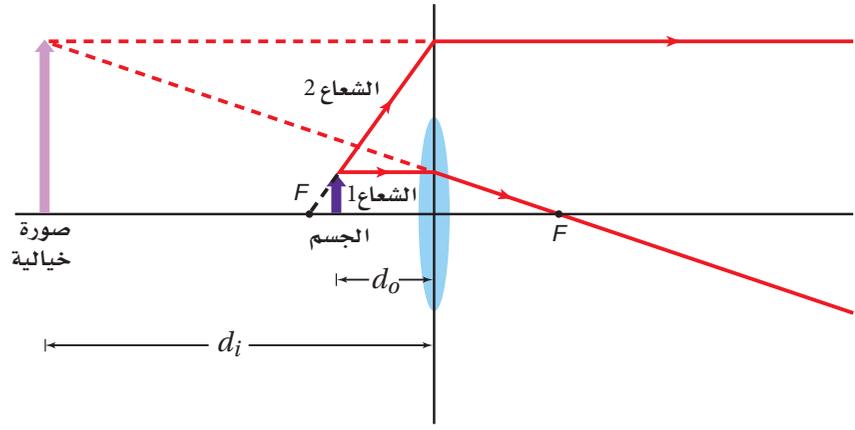
العدسات المحدبة والصور الخيالية

Convex Lenses and Virtual Images

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

يبين الشكل 13-3 كيف تكوّن العدسة المحدبة صورة خيالية. فعندما يكون الجسم بين F والعدسة يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازياً للمحور الرئيس، وينكسر ماراً بالبؤرة F . أما الشعاع 2 فينتقل من قمة الجسم، وفي اتجاه مماثل إلى الاتجاه الذي يسلكه إذا بدأ من F في جانب العدسة الذي يوجد فيه الجسم. ويبيّن الخط المتقطع من F إلى الجسم كيف ترسم الشعاع 2، حيث يخرج الشعاع 2 من العدسة موازياً للمحور الرئيس. وينباعد

■ الشكل 13-3 يبين مخطط الأشعة، أن العدسة المحدبة تكوّن صورة خيالية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالجسم عندما يكون الجسم بين العدسة والبؤرة. ولأن الأشعة الرئيسية جزء من نموذج يساعد على تعيين موقع الصورة فإنهما يجب ألا يمرّ خلال صورة العدسة في مخطط الأشعة. وتتكون الصورة في الواقع فقط بواسطة الضوء الذي يمرّ خلال العدسة.

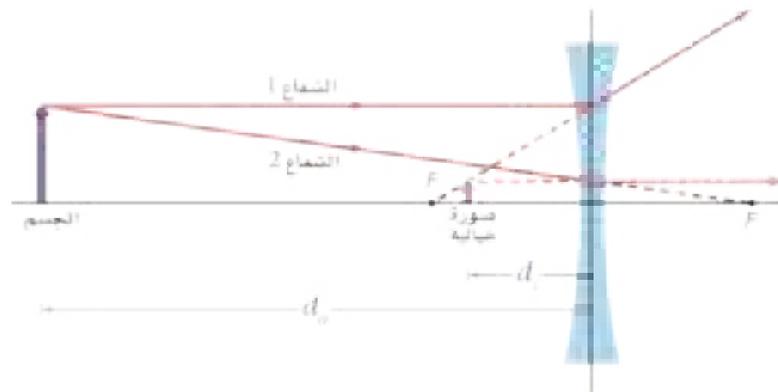


الشعاعان 1 و 2 عندما يخرجان من العدسة. لذا لا يمكن تكوين صورة حقيقية. إن رسم الامتداد الخلفي للشعاعين المنكسرين لتعيين مكان تقاطعهما الظاهري يحدّد موضع الصورة الخيالية، ويكون موضعها في جانب العدسة نفسه الذي يوجد فيه الجسم، وتكون الصورة معتدلة ومكبّرة. لاحظ أن الصورة الحقيقية تتكوّن بفعل الضوء الذي يمرّ خلال العدسة، ولكن بإمكانك تحديد الصورة الخيالية بواسطة رسم امتدادات الأشعة التي لا تمرّ فعلاً من خلال العدسة.

15. إذا وضعت صحيفة على بُعد 6.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 20.0 cm فأوجد بُعد الصورة المتكوّنة لها.
16. إذا وضعت عملة معدنية قطرها 2.0 cm على بُعد 3.4 cm من عدسة مكبّرة بعدها البؤري 12.0 cm فحدّد موقع صورة العملة المعدنية، وقطر الصورة.
17. يريد أحد هواة جمع الطوابع تكبير طابع بمقدار 4.0 مرات عندما يكون الطابع على بُعد 3.5 cm من العدسة. ما البعد البؤري للعدسة اللازمة؟

العدسات المقعرة Concave Lenses

تفرّق العدسة المقعرة الأشعة كلّها. والشكل 14-3 يبيّن كيف تكوّن مثل هذه العدسة صورة خيالية، حيث يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازياً المحور الرئيس. ويخرج من العدسة على



■ الشكل 14-3 تكوّن العدسات المقعرة صوراً خيالية ومعتدلة ومصغرة فقط مقارنة بالأجسام.



شكل شعاع يمر امتداده في البؤرة. أما الشعاع 2 فيصل إلى العدسة كما لو كان سيمر خلال البؤرة في الجانب المعاكس، ويتعد عن العدسة موازيًا المحور الرئيس. وتتقاطع الامتدادات الخلفية للشعاعين 1 و 2 في الجانب نفسه من العدسة الذي يوجد فيه الجسم. ولأن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة، فإنها تكوّن صورة خيالية. ويكون موضع الصورة عند النقطة التي يظهر عندها أن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة منها. وتكون الصورة أيضًا معتدلة وأصغر من الجسم (مصغرة). وهذا صحيح بغض النظر عن بُعد الجسم عن العدسة، كما يكون البعد البؤري للعدسة المقعرة سالبًا.

يجب أن تتذكّر عند استخدام معادلة العدسة الرقيقة لحل مسائل على العدسات المقعرة أن نظام الإشارات للبعد البؤري مختلف عنه للعدسة المحدبة. فإذا كان البعد البؤري للعدسة المقعرة 24 cm فإن عليك أن تستخدم القيمة $f = -24$ cm في معادلة العدسة الرقيقة. وتكون الصور المتكوّنة بالعدسة المقعرة جميعها خيالية، لذا فإذا كان بُعد الصورة 20 cm عن العدسة فإن عليك أن تستخدم القيمة $d_i = -20$ cm. أما بُعد الجسم فيكون موجبًا دائمًا.

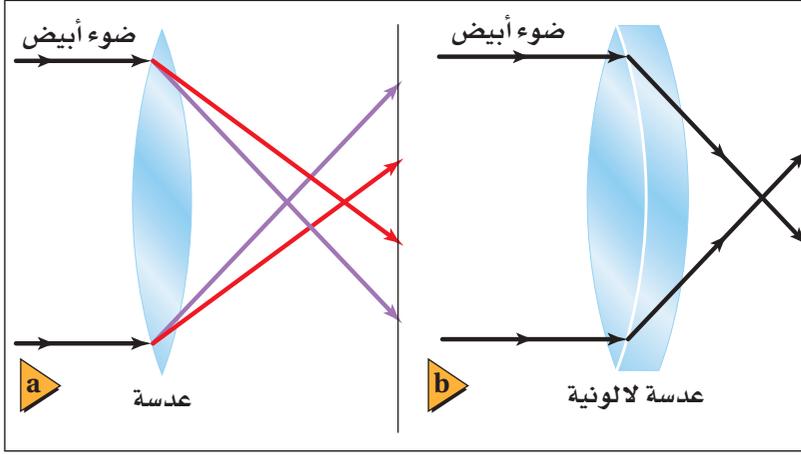
عيوب العدسات الكروية Defects of Spherical Lenses

درست خلال هذا الفصل العدسات التي تكوّن صورة كاملة عند مواضع محدّدة. وفي الواقع، فإن للعدسات الكروية عيوبًا جوهرية - مثل المرايا الكروية - ينجم عنها مشكلات في وضوح الصورة وألوانها. حيث تواجه العدسات الكروية تشبّثًا (زوغانًا) متعلقًا بتصميمها الكروي، مثل المرايا تمامًا. وإضافة إلى ذلك، فإن تشبّث الضوء خلال العدسة الكروية يسبّب زوغانًا لا تسببه المرايا.

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

الزوغان اللوني هناك عيب آخر في العدسات لا يوجد في المرايا. فالعدسة مثل المنشور، تنكسر فيها الأطوال الموجية المختلفة للضوء بزوايا مختلفة، كما يبين الشكل 15a-3. ولذلك يتجمّع الضوء أو يتفرق عند مروره خلال العدسة المحدبة أو المقعرة على الترتيب، وخصوصًا بالقرب من الأطراف، ويظهر الجسم عند النظر إليه من خلال العدسة محاطًا بالألوان.





ويُسمّى هذا التأثير **الزوغان اللوني**.

ويحدث الزوغان اللوني دائماً عندما تستخدم عدسة مفردة. ويمكن تخفيض أثر هذا العيب كثيراً باستخدام **العدسات اللالونية**؛ وهي نظام مكون من عدستين أو أكثر، كعدسة محدبة مع عدسة مقعرة، لهما معامل انكسار مختلفين. ويبيّن الشكل 3-15b مثل هذا التركيب للعدسات. فكلتا العدستين في الشكل تشتت الضوء، ولكن التشتت الذي

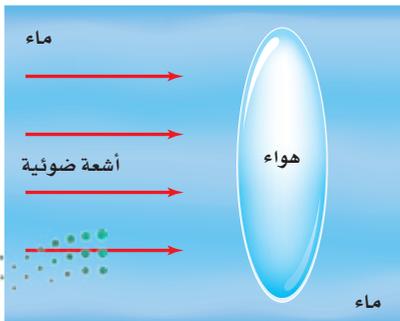
■ الشكل 3-15 للعدسات البسيطة

جميعها زوغان لوني، حيث يتركز الضوء ذو الأطوال الموجية المختلفة في نقاط مختلفة (a). العدسة اللالونية نظام من العدسات يؤدي إلى تقليل العيب اللوني (b).

تُسببه العدسة المحدبة يلغيه تقريباً التشتت الذي تُسببه العدسة المقعرة. ويُختار معامل انكسار العدسة المحدبة على أن يؤدي النظام المكوّن من العدسات إلى تجميع الضوء.

3-2 مراجعة

21. **الزوغان اللوني** للعدسات البسيطة كلها زوغان لوني. فسر ذلك. لماذا لا ترى هذا الأثر عندما تنظر خلال الميكروسكوب (المجهر)؟
22. **الزوغان اللوني** إذا سمحت لضوء أبيض بالمرور من خلال عدسة محدبة إلى شاشة، وضبطت المسافة بين الشاشة والعدسة لتجمّع اللون الأحمر، ففي أي اتجاه يجب أن تحرك الشاشة لتجمّع الضوء الأزرق؟
23. **التفكير الناقد** تتكون عدسة هوائية من زجاجتي ساعتين، موضوعة في خزان ماء. انقل الشكل 3-17 إلى دفترك، وارسم تأثير هذه العدسة في أشعة الضوء المتوازية الساقطة عليها.

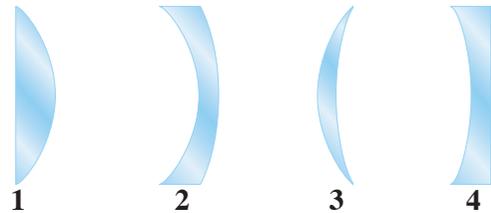


■ الشكل 3-17

18. **التكبير** تُستخدم العدسات المكبّرة عادة لتكوين صور أكبر من الأجسام، ولكنها أيضاً يمكن أن تكون صوراً أصغر من الأجسام. وضح ذلك.
19. **بُعد الصورة وطولها** وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 2.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 6.0 cm. ارسم مخطّط الأشعة لتحديد موقع الصورة وطولها، واستخدم معادلة العدسة الرقيقة ومعادلة التكبير للتحقق من إجابتك.
20. **أنواع العدسات** يبيّن الشكل 3-16 المقطع العرضي لأربع عدسات رقيقة. أيّ هذه العدسات:

a. محدبة؟

b. مقعرة؟



■ الشكل 3-16



3-3 تطبيقات العدسات Applications of Lenses

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

العدسات في العينين Lenses in Eyes

من بديع صنع الخالق - عز وجل - خلق العين البشرية وهي أداة بصرية، مملوءة بسائل. وهي على هيئة وعاء كروي تقريباً كما يبين الشكل 18-3. ويتنقل الضوء المنبعث أو المنعكس عن الجسم إلى داخل العين خلال القرنية، ثم يمر الضوء بعدها خلال العدسة ويتجمّع على الشبكية الموجودة في مؤخرة العين. وتمتص خلايا متخصصة في الشبكية الضوء وترسل المعلومات المتعلقة بالصورة بواسطة العصب البصري إلى الدماغ.

تكوّن الصور قد تعتقد - بسبب التسمية - أن عدسة العين هي المسؤولة عن تجميع الضوء على الشبكية. ولكن في الحقيقة، يتجمّع الضوء الداخل إلى العين أساساً بواسطة القرنية؛ لأن الفرق بين معاملي انكسار الهواء ومادة القرنية كبير نسبياً. أما العدسة فهي المسؤولة عن التجميع الدقيق الذي يسمح لك برؤية الأجسام البعيدة والقريبة بوضوح تام. وتستطيع العضلات المحيطة بالعين من خلال عملية تسمى التكيف أن تجعل العدسة تنقبض أو تنبسط، مما يغيّر من شكلها، فيؤدي بدوره إلى تغيير البعد البؤري لعدسة العين. فعندما ترتخي العضلات تتركز صورة الجسم البعيد على الشبكية. وعندما تنقبض العضلات يقل البعد البؤري للعدسة، مما يسمح لصور الأجسام القريبة بالتجمع على الشبكية.

الأهداف

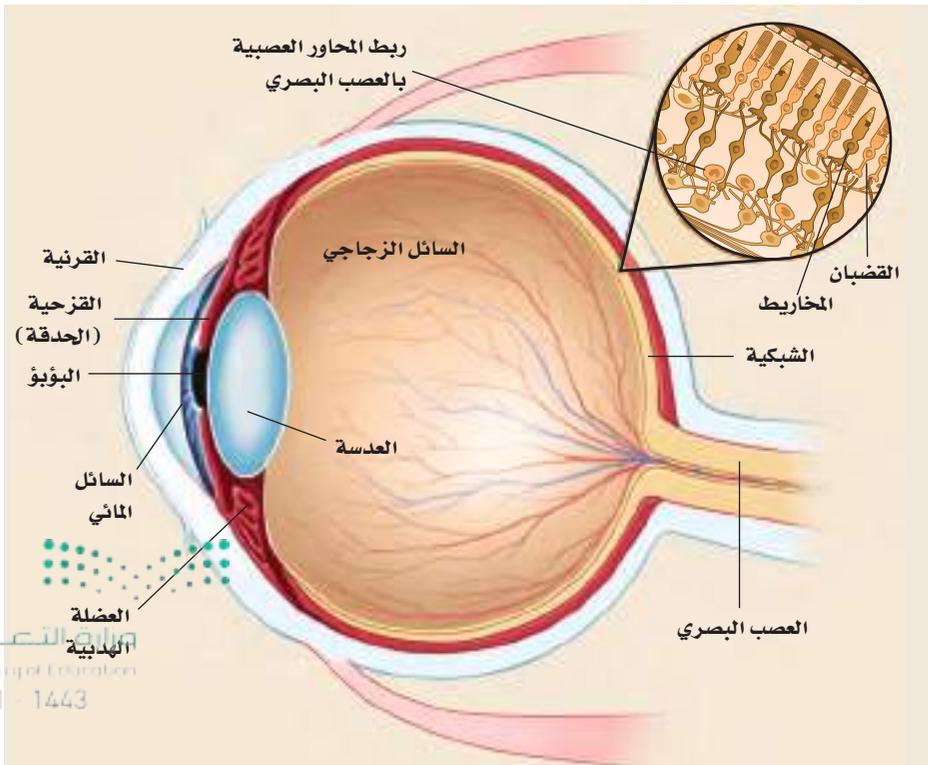
- تصف كيف تُجمّع العين الضوء لتكوّن الصور.
- توضّح المقصود بكل من: قصر النظر وطول النظر، وكيف تُصحّح عدسات النظارات هذه العيوب.
- تصف الأنظمة البصرية في بعض الأدوات البصرية الشائعة.

المفردات

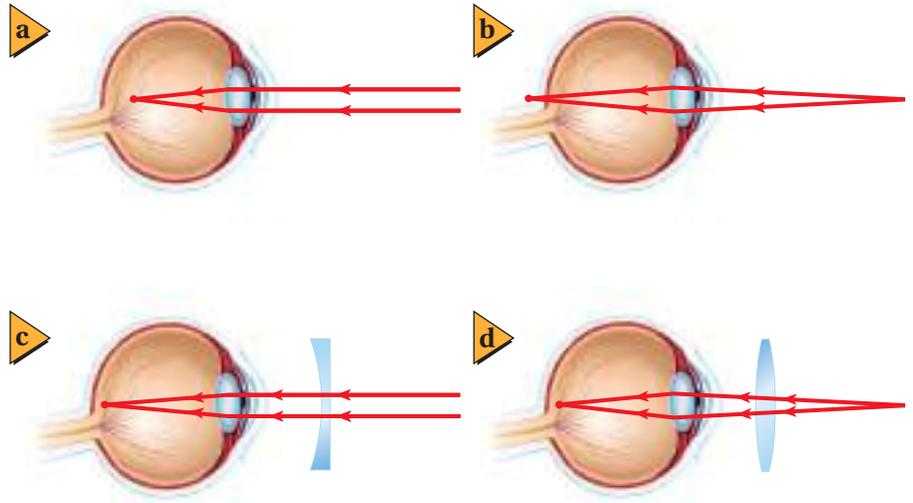
- قصر النظر
- طول النظر

الربط مع الأحياء

■ الشكل 18-3 العين البشرية معقدة، وتتركّب من أجزاء متعدّدة تعمل جميعها بدقة متناهية.



■ الشكل 19-3 لا يستطيع شخص مصاب بقصر النظر رؤية الأجسام البعيدة بوضوح؛ لأن الصور تتركز أمام الشبكية (a). وتصحح العدسة المقعرة هذا العيب (c). ولا يستطيع شخص مصاب بطول النظر رؤية الأجسام القريبة بوضوح؛ لأن الصور تتركز خلف الشبكية (b). وتصحح العدسة المحدبة هذا العيب (d).

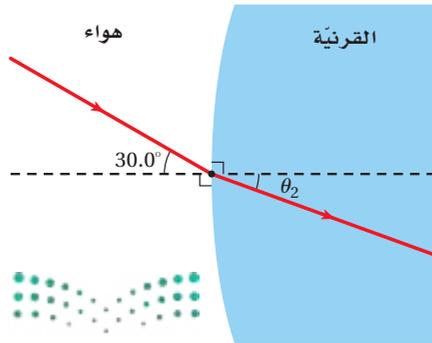


قصر النظر وطول النظر لا تُكوّن عيون بعض الناس صوراً واضحة على الشبكية؛ إذ تتكوّن الصور إما أمام الشبكية وإما خلفها. فتصبح هناك حاجة إلى العدسات الخارجية على هيئة نظارات أو عدسات لاصقة؛ لضبط الصور لتقع على الشبكية. ويبين الشكل 19a-3 حالة **قصر النظر**؛ حيث يكون البعد البؤري للعين أقل من البعد البؤري للعين السليمة، مما لا يمكنها من تجميع الضوء على الشبكية، فتتكون الصور أمام الشبكية. وتُستخدم عدسات مقعرة لتصحيح ذلك بتفريق الضوء كما يبين الشكل 19c-3، لذا يؤدي ذلك إلى زيادة بعد الصور عن العدسة، وتكوين الصور على الشبكية.

تطبيق الفيزياء

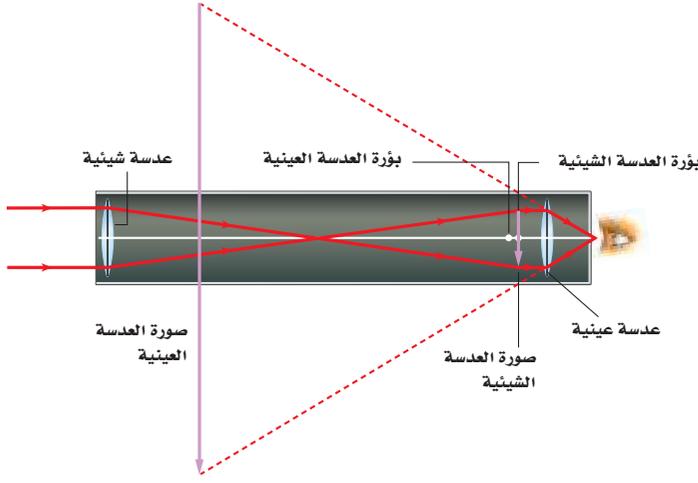
◀ **العدسات اللاصقة** تعمل العدسات اللاصقة عمل النظارات الزجاجية؛ حيث توضع هذه العدسات الصغيرة الرقيقة مباشرة على القرنية. وتعمل طبقة رقيقة من الدمع بين القرنية والعدسة على ثبات العدسة في مكانها، ويحدث أغلب الانكسار عند سطح الهواء والعدسة، حيث يكون الفرق بين معاملتي الانكسار كبيراً.

ويبين الشكل 19b-3 حالة **طول النظر**، حيث يكون البعد البؤري للعين أكبر من البعد البؤري للعين السليمة، فتتشكل الصور خلف الشبكية، وتحدث حالة مماثلة أيضاً للأشخاص فوق عمر 45 عاماً، حيث تزداد صلابة عدسات العينين، ولا تستطيع العضلات تقصير البعد البؤري إلى الحد الذي يكفي لتكوين صور الأجسام القريبة على الشبكية. وتُستخدم عدسات محدبة لتصحيح هذا العيب؛ إذ تُكوّن صوراً خيالية أبعد عن العين من أجسامها، كما يبين الشكل 19d-3، فتصبح الصور عندئذ هي الأجسام بالنسبة لعدسة العين، ومن ثم تتكوّن على الشبكية.



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

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



■ الشكل 20-3 يُكوّن المنظار الفلكي الكاسر صورة خيالية ومقلوبة مقارنة بالجسم.

المنظار الفلكي (التلسكوب) الكاسر

Refracting Telescopes

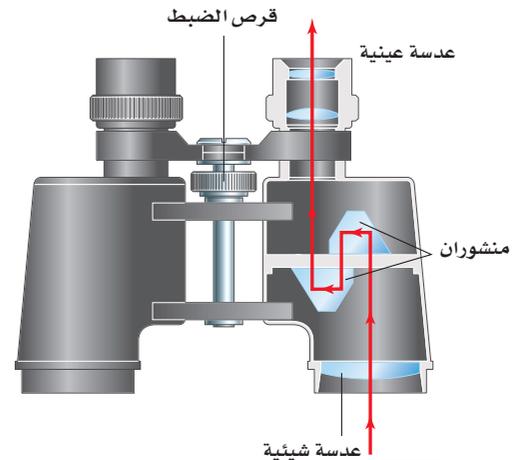
يستخدم المنظار الفلكي الكاسر العدسات لتقريب الأجسام البعيدة وتكبير صورها. ويبين الشكل 20-3 النظام البصري للمنظار الكبلري؛ حيث يكون الضوء القادم من النجوم والأجسام الفلكية الأخرى عادة بعيداً جداً؛ لذا يمكن اعتبار الأشعة متوازية. وتدخل أشعة الضوء المتوازية العدسة الشيئية المحدبة، وتتجمع بوصفها صورة حقيقية عند بؤرة العدسة الشيئية، وتكون الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. ثم تصبح هذه الصورة بمنزلة الجسم بالنسبة للعدسة العينية المحدبة. لاحظ أن العدسة العينية موضوعة بحيث تقع بؤرة العدسة الشيئية بين العدسة العينية وبؤرتها. وذلك يعني أنه تتكوّن صورة خيالية معتدلة وأكبر من الصورة الأولى عن طريق العدسة العينية. ولأن الصورة الأولى كانت مقلوبة فإن الصورة النهائية تبقى مقلوبة. وبعد انعكاس الصورة مقبولاً لمشاهدة الأجسام الفلكية.

وتستخدم عدسات عينية محدبة لالونية في المنظار دائماً. وتعمل مجموعة العدسات هذه على إزالة الألوان المحيطة، أو التخلص من الزوغان اللوني المتشكل مع الصورة.

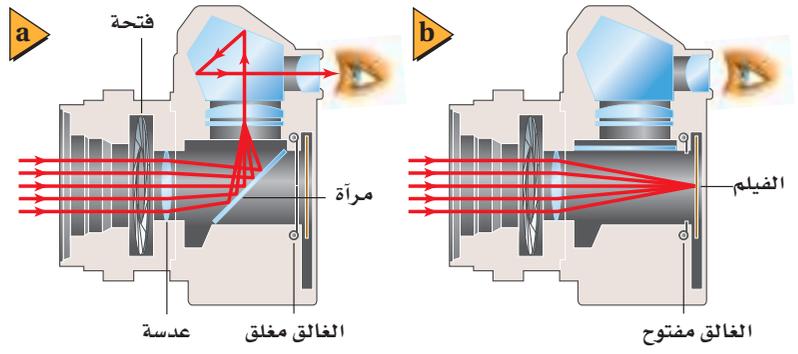
المنظار Binoculars

■ الشكل 21-3 المنظار عبارة عن تلسكوبين كاسرين متجاورين.

يكون المنظار - مثل المنظار الفلكي الكاسر - صوراً مكبرة للأجسام البعيدة. ويبين الشكل 21-3 تصميمًا لمنظار نموذجي. ويشبه كل جانب من المنظار تلسكوباً صغيراً؛ حيث يدخل الضوء العدسة الشيئية المحدبة فتكون صورة مقلوبة، ثم ينتقل الضوء خلال منشورين يستخدمان ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي ليقبلا الصورة مرة أخرى، حيث يرى المشاهد صورة معتدلة للجسم. ويؤدي المنشوران كذلك إلى إطالة مسار انتقال الضوء وتوجيهه إلى العدسة العينية للمنظار. وكما تزداد المسافة الفاصلة بين عينيك بإحساس الأبعاد الثلاثية والعمق، فإن المنشورين يؤديان إلى زيادة المسافة الفاصلة بين العدستين الشيئيتين، مما يحسّن من الرؤية الثلاثية الأبعاد للجسم البعيد عن المنظار.



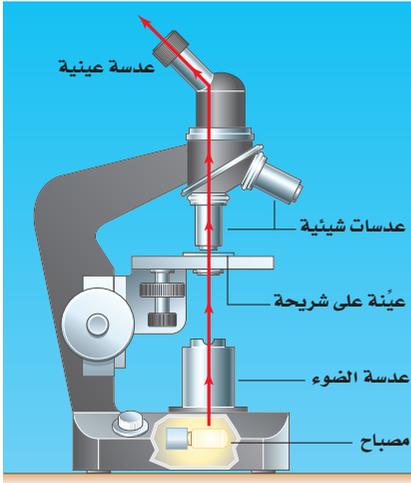
■ الشكل 22-3 يبين الشكل آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة، التي تعكس الصورة المتكوّنة بواسطة العدسة من خلال المنشور لمشاهدتها (a)، أو توجيهها في اتجاه الفيلم (b).



آلات التصوير Cameras

يبين الشكل 22a-3 النظام البصري المستخدم في آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة. فعندما يدخل الضوء إلى آلة التصوير، فإنه يمر خلال عدسة لالونية. ويعمل نظام العدسة هذا على كسر الضوء، بطريقة تُشبه إلى حد كبير عمل عدسة محدبة مفردة، ويكوّن صورة مقلوبة على المرآة العاكسة. وتنعكس هذه الصورة إلى أعلى في اتجاه المنشور، والذي يؤدي بدوره إلى عكس الضوء وتوجيهه إلى عين المشاهد. وعندما يحمل الشخص آلة التصوير لالتقاط صورة فإنه يضغط زر الغالق، الذي يرفع المرآة لفترة وجيزة، كما في الشكل 22b-3. وبدل أن يتجه الضوء إلى المنشور فإنه ينتقل في خط مستقيم ليكوّن صورة على الفيلم.

■ الشكل 23-3 تُكوّن العدسة الشيئية والعدسة العينية في هذا المجهر صورة مقلوبة ومكبرة مقارنة بالجسم.



المجهر (الميكروسكوب) Microscopes

للمجهر عدستان محدبتان مثل المنظار الفلكي، إحداها شيئية والأخرى عينية. ويستخدم المجهر في مشاهدة الأجسام الصغيرة. ويبين الشكل 23-3 النظام البصري المستخدم في المجهر المركب، حيث يوضع الجسم في المنطقة ما بين بؤرة العدسة الشيئية ومركز تكورها، فتكوّن صورة حقيقية مقلوبة ومكبرة. ثم تصبح هذه الصورة بمثابة جسم للعدسة العينية؛ إذ يكون هذا الجسم بين العدسة العينية وبؤرتها، فتكوّن له صورة خيالية معتدلة ومكبرة مقارنة بالصورة التي كوّنتها العدسة الشيئية. لذا يرى المشاهد صورة مقلوبة مكبرة جداً.

3-3 مراجعة

28. **البعد البؤري** افترض أنك ركزت آلة التصوير التي لديك على شخص يبعد 2 m، ثم أردت أن تُركّزها على شجرة أبعد من ذلك، فهل يتعين عليك أن تحرك العدسة قريباً من الفيلم أم بعيداً عنه؟
29. **التفكير الناقد** عندما تستخدم التكبير الأقصى في المجهر فإن الصورة تكون معتمة أكثر منها في حالة التكبير الأقل. ما الأسباب المحتملة لتكوّن الصورة المعتمة؟ وما الذي يمكن أن تفعله للحصول على صورة أوضح؟

24. **الانكسار** فسر لماذا تعدّ القرنية عنصر التجميع الرئيس للأشعة في العين؟
25. **أنواع العدسات** أيّ العدسات المحدبة أم المقعرة ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بقصر النظر؟ وأيها ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بطول النظر؟
26. **الصورة** لماذا تكون الصورة المُشاهدة في التلسكوب مقلوبة؟
27. **المنشور** ما المزايا الثلاث لاستخدام المنشورين في المنظار؟

مختبر الفيزياء

العدسات المحدبة والبعد البؤري Convex Lenses and Focal Length

تنصّ معادلة العدسة الرقيقة على أن مقلوب البعد البؤري يساوي مجموع مقلوب بُعد الصورة عن العدسة ومقلوب بعد الجسم عن العدسة.

سؤال التجربة

كيف يرتبط بُعد الصورة عن العدسة الرقيقة المحدبة مع كلٍّ من بُعد الجسم والبعد البؤري؟

الأهداف

- مصباح كهربائي 25 W (أو شمعة)
- قاعدة مصباح (أو قاعدة شمعة)
- عدسة محدبة رقيقة
- مسطرة مترية

المواد والأدوات

حامل عدسات

بطاقة فهرسة (لوحة كرتون)

الخطوات

1. ضع مسطرة مترية على طاولة المختبر حتى تتزن على حافتها، وتظهر الأرقام معتدلة على أحد جانبيها.
2. ضع عدسة محدبة على حامل العدسة، وثبتها على المسطرة المترية بين التدرجين 10 cm و 40 cm. (ستتفاوت المسافات اعتمادًا على البعد البؤري للعدسة المستخدمة).
3. أضئ المصباح، وضعه بجانب طرف المسطرة المترية، على أن يكون مركزه عند التدرج 0 cm للمسطرة المترية.
4. احمل بطاقة الفهرسة، بحيث تكون العدسة بين المصباح والبطاقة.
5. حرّك بطاقة الفهرسة إلى الأمام وإلى الخلف حتى تظهر صورة مقلوبة واضحة للمصباح بأطراف حادة قدر الإمكان.
6. سجّل بُعد المصباح عن العدسة d_o ، وبُعد الصورة عن العدسة d_i .

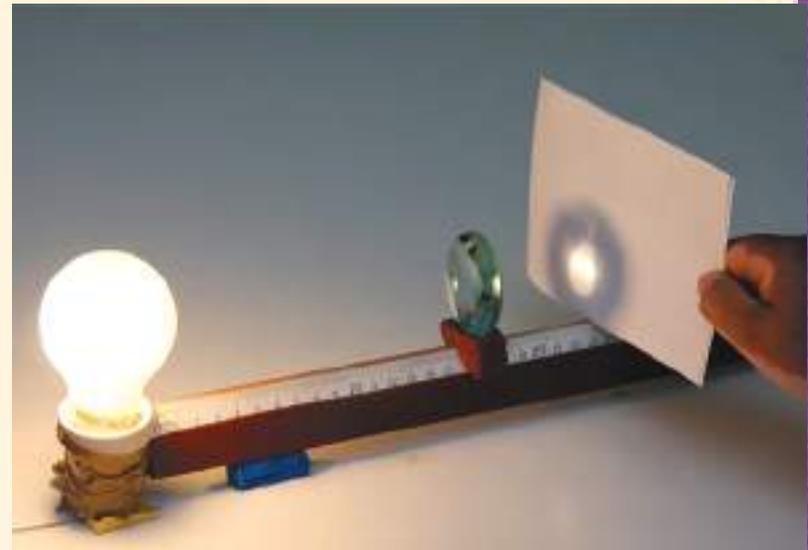
الاحتياطات

- تنشئ الرسوم البيانية وتستخدمها لوصف العلاقة بين بُعد الصورة عن العدسة الرقيقة المحدبة وبُعد الجسم.
- تستخدم النماذج لتبيّن عدم أهمية بُعد الصورة عندما يكون البعد البؤري ثابتًا.



احتياطات السلامة

- تأكد من أن المصباح مطفأ قبل وصله بالكهرباء وبعد فصله.
- كن حذرًا عند التعامل مع المصابيح؛ فهي ساخنة وقد تحرق الجلد.
- للعدسات أطراف حادة، لذا تعامل معها بحذر.



جدول الحسابات					جدول البيانات		
$f(cm)$	$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} (cm^{-1})$	$\frac{1}{d_i} (cm^{-1})$	$\frac{1}{d_o} (cm^{-1})$	المحاولة	$d_i (cm)$	$d_o (cm)$	المحاولة
				1			1
				2			2
				3			3
				4			4
				5			5

7. حرك العدسة إلى موقع آخر بين 10 cm و 40 cm، وكرّر الخطوات 5 و 6. (ستتفاوت المسافات اعتمادًا على البعد البؤري للعدسة المستخدمة).
8. كرّر الخطوة 7 ثلاث مرات أخرى.
3. **تفسير البيانات** قارن بين نتائج حسابات البعد البؤري للمحاولات الخمس. هل نتائجك متماثلة؟
4. **تقنيات المختبر** لماذا تعتقد أنه كان عليك ألا تضع العدسة عند نقطة أقرب من 10 cm أو أكثر من 40 cm؟

التحليل

التحليل

1. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** مثل العلاقة بيانيًا بين بُعد الصورة (على المحور الرأسي) وبُعد الجسم (على المحور الأفقي). استخدم الحاسوب أو الآلة الحاسبة لإنشاء رسم بياني إذا أمكن ذلك.
2. **استخدام الأرقام** احسب $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$ وسجّل القيم في جدول الحسابات.
3. **استخدام الأرقام** احسب مجموع $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$ ، وسجّل القيم في جدول الحسابات. واحسب مقلوب هذا الرقم، وسجّله في جدول الحسابات على أنه القيمة f .
1. أي القياسات أكثر دقة: d_i أم d_o ؟ ولماذا تعتقد ذلك؟
2. ما الذي يمكنك أن تفعله لجعل أحد الحسايين أو كليهما أدق؟
1. إذا أردت التقاط صورة بآلة التصوير لجسم بعيد، ثم لجسم آخر يبعد أقل من متر، فكيف يجب تغيير المسافة بين العدسة والفيلم؟
2. هناك فرقان بين الصورة التي تتكوّن على شبكية عينك والجسم الذي تنظر إليه، ما هما؟ (تذكر أن العدسة في عينك محدبة).

التحليل

الاستنتاج والتطبيق

1. **تفسير البيانات** انظر إلى الرسم البياني، وصف العلاقة بين d_o و d_i .
2. **تفسير البيانات** احصل على مقدار البعد البؤري الفعلي للعدسة من معلمك. ما مدى دقة حساباتك لـ f ؟



وفي عام 1919 أثبتت مقارنة لضوء نجم قبل كسوف الشمس وفي أثنائه صحة نظرية أينشتاين. فاقترح أينشتاين في عام 1936 ظاهرة عدسة الجاذبية. ولأنّ الضوء يمكنه أن ينحني بفعل مجالات الجاذبية للأجسام الضخمة، لذا على المراقبين أن يروا صور حلقات خيالية عندما يكون هناك جسم ضخم بين الأرض والجسم المراقب. ولم يشاهد أينشتاين أبداً مثل هذه الظاهرة، ولكن نظريته في النسبية دعمت إمكانية وجود عدسات الجاذبية هذه.

يبين الرسم أدناه كيف أنّ الضوء القادم من مجرة بعيدة ينحني حول تجمع مجرات قبل أن يصل إلى الأرض.



الدليل عندما يكتشف شخص شيئاً ما للمرة الأولى فإنّ العديد من الاكتشافات الداعمة تعقب ذلك. فمنذ قدّم أينشتاين اقتراحاته إلى أن اكتشفت الصورة المزدوجة للنجم البعيد (الكوازار) عام 1979، اكتشفت العديد من عدسات الجاذبية، كما شوهدت كل من حلقات أينشتاين والصور المتعددة. ونتجت حلقات أينشتاين عندما أصبحت عدسة الجاذبية والضوء القادم من الجسم على استقامة واحدة تقريباً. وتشكّل الصور المتعددة عندما لا تكون عدسة الجاذبية والضوء على استقامة واحدة. وحتى الآن اكتُشف أكثر من 50 عدسة جاذبية.

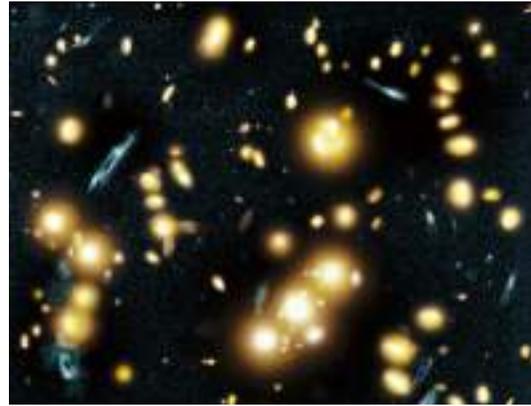
التوسع

1. **استنتج** لماذا كان اكتشاف عدسات الجاذبية مهماً؟
2. **قارن** و**ميّز** فيم تشابه عدسات الجاذبية والعدسات المحدبة؟ وفيم تختلفان؟

عدسات الجاذبية Gravitational Lenses

اكتشف الفلكيون عام 1979 في مرصد جودرل Jodrell Bank في بريطانيا نجمين من النجوم البعيدة (quasars) تفصل بينها مسافة 7 ثوانٍ قوسية.

وبيّنت القياسات أنّ النجمين يبعد أحدهما عن الآخر 500,000 سنة ضوئية. وبدا أنّ النجمين يتذبذبان في السطوع وفي الإيقاع معاً، ولكنّ المدهش أنّه كان للنجمين أطراف متماثلة. فقد ظهرا وكأنهما جسمان مختلفان، ولكن في الحقيقة كان الجسمان عبارة عن جسم واحد.



الأشكال الزرقاء صور متعددة للمجرة نفسها ناتجة عن عدسة الجاذبية القادمة من مجرة عنقودية 1654 + 0024 في مركز الصورة.

وأكدت دراسات أخرى لفلكيين من مختلف أنحاء العالم أنّه لا يوجد إلاّ نجم واحد فقط، انحنى ضوءه بفعل تجمع من المجرات تسيطر عليها مجرة إهليلجية ضخمة تقع على الخط البصري بين النجم والأرض. فأدرك الفلكيون أنّهم شاهدوا صورتين لنجم واحد. وأثرت المجرة كأنها عدسة محدبة ناقصة، تركّز الضوء المنحرف بطريقة ما، بحيث تتكوّن صورتان لجسم واحد. ولكن ما الذي دفعهم إلى الاعتقاد بأنّ الضوء قد انحنى؟

الجاذبية والضوء تذكر الفلكيون أبحاث ألبرت أينشتاين ونظريته النسبية. فقد اقترح أينشتاين أنّ الضوء ينحني بفعل مجال الجاذبية للأجسام الضخمة. ففي نظرية الفضاء الكلاسيكية المعروفة بالفضاء الإقليدي، يتنقل الضوء في خطوط مستقيمة. واستناداً إلى أينشتاين فإنّ الضوء ينحني عندما يمر بجانب الأجسام الضخمة.

3-1 انكسار الضوء Refraction of Light

المفردات

- معامل الانكسار
- قانون سنل في الانكسار
- الزاوية الحرجة
- الانعكاس الكلي الداخلي
- التفريق (التحليل)

المفاهيم الرئيسية

- ينحرف مسار الضوء عندما ينتقل من وسط ذي معامل انكسار n_1 إلى وسط آخر معامل انكساره مختلف n_2 .

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

- النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ c إلى سرعته في أي وسط آخر تساوي معامل انكسار الوسط n .

$$n = \frac{c}{v}$$

- عندما ينتقل الضوء من وسط لوسط آخر معامل انكساره أقل وبزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة θ_c فإن الضوء ينعكس انعكاسًا كليًا داخليًا في الوسط نفسه الذي هو فيه، ولا ينفذ إلى الوسط الآخر.

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

3-2 العدسات المحدبة والمقعرة Convex and Concave Lenses

المفردات

- العدسة
- العدسة المحدبة
- العدسة المقعرة
- معادلة العدسة الرقيقة
- الزوجان اللوني
- العدسة اللالونية

المفاهيم الرئيسية

- يرتبط كل من البعد البؤري f ، وبُعد الجسم d_o ، وبُعد الصورة d_i للعدسة الرقيقة بالمعادلة الآتية:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

- يُعرّف التكبير m للصورة الناتجة عن عدسة بالطريقة نفسها التي عُرّف بها التكبير للصورة الناتجة عن مرآة.

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

- تُكوّن العدسة المحدبة المفردة صورة حقيقية مقلوبة عندما يكون بُعد الجسم أكبر من البعد البؤري، وتكون الصورة مصغرة أو مكبرة وفقًا لبعد الجسم.
- تُكوّن العدسة المحدبة المفردة صورة خيالية معتدلة ومكبرة عندما يوضع الجسم بين العدسة والبؤرة.
- تُكوّن العدسة المقعرة صورًا خيالية دائمة، وتكون معتدلة ومصغرة.
- جميع العدسات لها زوجان لوني، وجميع العدسات التي لها سطوح كروية لها زوجان كروي.

3-3 تطبيقات العدسات Applications of Lenses

المفردات

- قصر النظر
- طول النظر

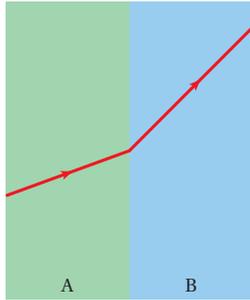
المفاهيم الرئيسية

- يُعدّ الفرق بين معاملي انكسار الهواء والقرنية المسؤول الرئيس عن تجميع الضوء في العين.
- تستخدم الآلات البصرية مجموعة من العدسات للحصول على صور واضحة للأجسام الصغيرة أو البعيدة.

37. ما الحالة التي يكون عندها البعد البؤري للعين قصيراً جداً بحيث لا يمكنه تجميع الضوء على الشبكية؟ (3-3)
38. ما طبيعة الصورة المتكوّنة بالعدسة الشيئية في المنظار الفلكي الكاسر؟ (3-3)
39. لماذا تعد زيادة المسافة بين العدستين الشبكتين في المنظار أمراً نافعاً؟ (3-3)
40. ما الغرض من المرآة العاكسة في آلة التصوير؟ (3-3)

تطبيق المفاهيم

41. أي المادتين، A، أم B، في الشكل 24-3 لها معامل انكسار أكبر؟ وضح ذلك.

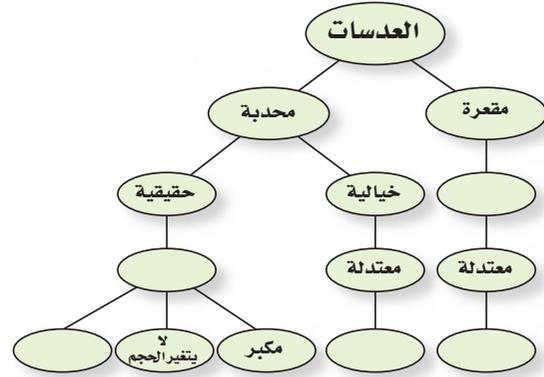


الشكل 24-3 ■

42. كيف يتغير مقدار الزاوية الحرجة مع زيادة معامل الانكسار؟
43. الزجاج الأمامي المتشقّق إذا نظرت خلال زجاج سيارة متشقّق فإنك ترى خطاً فضياً على امتداد الشق، حيث يكون الزجاج منفصلاً عنده، وهناك هواء في الشق. ويشير هذا الخط الفضي إلى أن الضوء ينعكس عن الشق. ارسم مخطّط أشعة لتفسير سبب حدوث هذا. وما الظاهرة التي يمثّلها؟
44. قوس المطر لماذا لا تستطيع رؤية قوس المطر في السماء جنوباً إذا كنت في نصف الكرة الأرضية

خريطة المفاهيم

30. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: مقلوبة، مكبرة، مصغرة، خيالية.



إتقان المفاهيم

31. قارن زاوية السقوط بزاوية الانكسار عندما ينتقل شعاع الضوء من الزجاج إلى الهواء بزاوية لا تساوي صفراً؟ (3-1)
32. على الرغم من أن الضوء القادم من الشمس ينكسر في أثناء مروره في الغلاف الجوي للأرض، إلّا أنّ الضوء لا يتحلّل إلى طيفه. فإلامّ يشير هذا بالنسبة لسرعات الألوان المختلفة للضوء المنتقلة في الهواء؟ (3-1)
33. فسّر لماذا يبدو القمر أحمر اللون في أثناء الخسوف؟ (3-1)
34. ما العامل الذي يحدّد موقع البؤرة للعدسة، غير تقوُّس سطح العدسة؟ (3-2)
35. عند عرض صورة بواسطة آلة عرض الأفلام على شاشة فإنّ الفيلم يوضع بين F و $2F$ لعدسة مجمّعة. ويُنْتِج هذا الترتيب صورة مقلوبة، فلماذا يظهر مشهد الفيلم معتدلاً عندما يعرض الفيلم؟ (3-2)
36. وضح لماذا تستخدم الآلات البصرية الدقيقة العدسات اللالونية؟ (3-2)

تقويم الفصل 3

المقام. فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج $n=1.50$ ، فاحسب مقدار:

a. زاوية انكسار الضوء في الزجاج.

b. زاوية انكسار الضوء في الماء.

50. ارجع إلى الجدول 3-1، واستخدم معامل انكسار الألماس لحساب سرعة الضوء فيه.

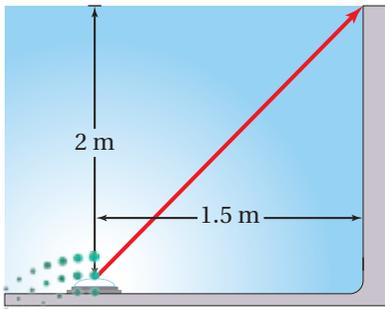
51. ارجع إلى الجدول 3-1، وأوجد الزاوية الحرجة للألماس في الهواء.

52. **حوض سمك** استخدمت صفيحة سميكة من البلاستيك $n=1.50$ ، في صنع حوض سمك، فإذا انعكس ضوء عن سمكة موجودة في الماء وسقط على صفيحة البلاستيك بزاوية 35.0° ، فما مقدار الزاوية التي سيخرج فيها الضوء إلى الهواء؟

53. **أضواء حوض السباحة** وضع مصدر ضوء في قاع حوض سباحة على عمق 2.0 m من سطح الماء ويبعد عن طرف الحوض 1.5 m كما في الشكل 3-26. وكان الحوض مملوءاً بالماء إلى قمته.

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

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



الشكل 3-26 ■

الشمالي؟ وإذا كنت في نصف الكرة الأرضية الجنوبي فإلى أي اتجاه يجب أن تنظر لترى قوس المطر؟

45. يستخدم سباح عدسة مكبرة لمشاهدة جسم صغير في قاع بركة سباحة، واكتشف أنها لا تكبر الجسم بشكل جيد، فسّر لماذا لا تعمل العدسة المكبرة في الماء كما كانت تعمل في الهواء.

46. لماذا يكون هنالك زوجان لوني للضوء المرار خلال عدسة، في حين لا يكون للضوء الذي ينعكس عن مرآة زوجان لوني؟

47. يكون بؤبؤ العينين صغيراً عندما تتعرض لضوء الشمس الساطع مقارنة بالتعرض لضوء أخفت، وضح لماذا تستطيع عينك تجميع الضوء بشكل أفضل في الضوء الساطع؟

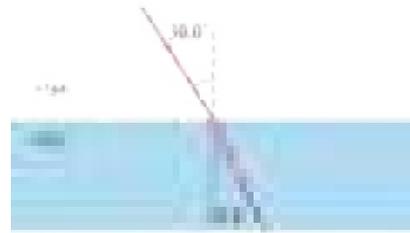
إتقان حل المسائل

1-3 انكسار الضوء

48. ينتقل شعاع ضوء من الهواء إلى سائل ما، كما في الشكل 3-25، حيث يسقط الشعاع على السائل بزاوية 30.0° ، وينكسر بزاوية 22.0° .

a. احسب معامل انكسار السائل باستخدام قانون سنل.

b. قارن معامل الانكسار الذي حسبته بالقيم الموجودة في الجدول 3-1، وماذا يمكن أن يكون هذا السائل؟



الشكل 3-25 ■

49. يسقط شعاع ضوئي على زجاج مسطح لأحد جوانب حوض سمك، بزاوية مقدارها 40.0° بالنسبة للعمود

3-3 تطبيقات العدسات

59. **النظارات** يجب أن يكون الكتاب على بُعد 25 cm من العين لقراءته بوضوح. فإذا كان هناك فتاة تعاني من طول النظر، وتحتاج أن يكون الكتاب على بُعد 45 cm من عينيها لقراءته بوضوح، فما البعد البؤري اللازم لعدستي نظارتها؟

60. **آلة نسخ** البعد البؤري للعدسة المحدبة الخاصة بآلة نسخ يساوي 25.0 cm. فإذا وضعت رسالة على بُعد 40.0 cm من العدسة لنسخها

a. فعلى أي بُعد من العدسة يجب أن تكون ورقة النسخ؟

b. ما تكبير ورقة النسخ؟

61. **الميكروسكوب (المجهر)** وضعت شريحة من خلايا البصل على بُعد 12 mm من عدسة المجهر الشيئية، فإذا كان البعد البؤري لهذه العدسة 10.0 mm:

a. فما بُعد الصورة المتكوّنة عن العدسة؟

b. ما تكبير هذه الصورة؟

c. تتكوّن الصورة الحقيقية على بُعد 10.0 mm تحت العدسة العينية. فإذا كان بعدها البؤري 20.0 mm فما موقع الصورة النهائية؟

d. ما التكبير النهائي لهذا النظام المركّب؟

مراجعة عامة

62. **العمق الظاهري** ينعكس ضوء الشمس من قاع حوض سمك ويتنشر في جميع الاتجاهات. ويوضّح الشكل 27-3 شعاعين من هذه الأشعة المنعكسة من نقطة في قاع الحوض ينتقلان إلى السطح، فتتكسر الأشعة في الهواء كما هو مبين. إنَّ امتداد الخط الأحمر المتقطع إلى الخلف، من شعاع الضوء المنكسر هو

54. إذا كانت سرعة الضوء في بلاستيك شفاف 1.90×10^8 m/s. وسقط شعاع ضوء على البلاستيك بزاوية 22.0° ، فما مقدار الزاوية التي ينكسر بها الشعاع؟

3-2 العدسات المحدبة والمقعرة

55. إذا وضع جسم على بُعد 10.0 cm من عدسة مجمّعة بعدها البؤري 5.00 cm، فعلى أي بُعد من العدسة تتكوّن الصورة؟

56. إذا أردنا استخدام عدسة محدبة لتكوّن صورة حجمها يساوي 0.750 من حجم الجسم، وأن تكون الصورة على بُعد 24 cm من الجانب الآخر للعدسة، فما البعد البؤري للعدسة الذي يحقق ذلك؟

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

a. ما البعد البؤري للعدسة؟

b. إذا استُبدلت العدسة الأصلية، ووُضع مكانها عدسة أخرى لها ضعف البعد البؤري، فحدّد موقع الصورة وطولها واتجاهها.

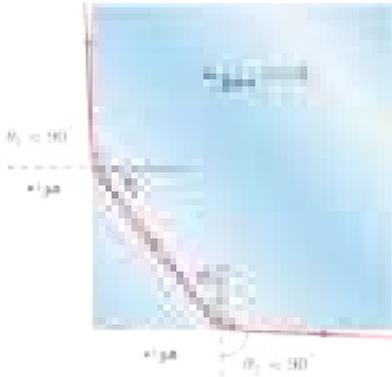
58. وضع جسم بالقرب من عدسة مفرّقة بعدها البؤري 15 cm، فتكوّنت له صورة طولها 2.0 cm على بُعد 5.0 cm من العدسة.

a. ما بُعد الجسم عن العدسة؟ وما طوله؟

b. إذا استُبدلت العدسة المفرّقة، ووُضع مكانها عدسة مجمّعة لها البعد البؤري نفسه فما موقع الصورة وطولها واتجاهها؟ وهل هي خيالية أم حقيقية؟

تقويم الفصل 3

68. من غير الممكن الرؤية من خلال الجوانب المتجاورة لقوالب مربعة الشكل من زجاج معامل انكساره 1.5. حيث يؤثر الجانب المجاور للجانب الذي ينظر من خلاله مراقبٌ كأنه مرآة. ويمثل الشكل 28-3 الحالة المحددة لجانب مجاور لا يؤثر كأنه مرآة. استخدم معلوماتك في الهندسة، والزوايا الحرجة، لتثبت أن هيئة هذا الشعاع لا يمكن تحقيقها عندما تكون $n_{\text{الزجاج}} = 1.5$.



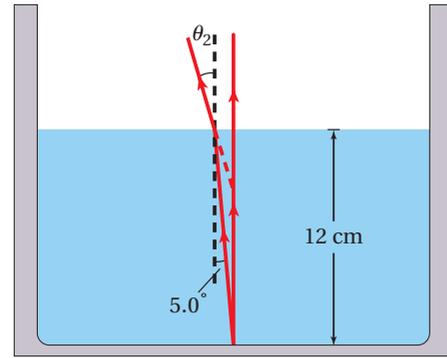
الشكل 28-3 ■

التفكير الناقد

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

70. قارن أو وجد الزاوية الحرجة للجليد الذي معامل انكساره 1.31. في المناطق الباردة جدًا، هل تكون أسلاك الألياف الضوئية المصنوعة من الجليد أفضل من تلك المصنوعة من الزجاج لحفظ الضوء داخل السلك؟ وضح ذلك.

خط النظر الذي يتقاطع مع الشعاع الرأسي عند الموقع الذي سيرى فيه المشاهد صورة قاع الحوض. a. أوجد زاوية انكسار الشعاع في الهواء. b. على أي عمق سيبدو قاع الحوض عندما تنظر إلى الماء؟ اقسم العمق الظاهري على العمق الحقيقي وقارن هذه النسبة بمعامل الانكسار.



الشكل 27-3 ■

63. إذا كانت الزاوية الحرجة لقلب زجاجي 45.0° فما معامل انكساره؟

64. أوجد سرعة الضوء في حجر ثالث أو أكسيد الأنتيموني (antimony trioxide)، إذا كان معامل انكساره 2.35.

65. وضع جسم طوله 3 cm على بُعد 20 cm أمام عدسة مجمعة. فتكوّن له صورة حقيقية على بُعد 10 cm من العدسة. ما البعد البؤري للعدسة؟

66. اشتق العلاقة $n = \sin \theta_1 / \sin \theta_2$ من الصيغة العامة لقانون سنل في الانكسار $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$. واذكر الافتراضات والمحددات.

67. افلك كم دقيقة إضافية يستغرق وصول الضوء من الشمس إلى الأرض إذا امتلأ الفضاء بينهما بالماء بدلاً من الفراغ؟ علمًا بأن بُعد الشمس عن الأرض 1.5×10^8 km.

تقويم الفصل 3

مراجعة تراكمية

74. وضع جسم طوله 2.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطرها 48.0 cm، وعلى بُعد 12.0 cm منها. احسب بُعد الصورة وطولها. (الفصل 2).

71. التفكير الناقد تستخدم عدسة لعرض صورة جسم على شاشة. افترض أنك غطيت النصف الأيمن من العدسة، فما الذي يحدث للصورة؟

الكتابة في الفيزياء

72. إنَّ عملية تكيف العين - وهي عملية انقباض العضلات المحيطة بعدسة العين أو انبساطها لرؤية الأجسام القريبة أو البعيدة - تختلف من كائن لآخر. ابحث هذه الظاهرة في حيوانات مختلفة، وأعدّ تقريراً للصف تبين من خلاله كيفية التكيف في عيونها لرؤية الأشياء.

73. ابحث في نظام العدسات المستخدم في الآلات البصرية، ومنها جهاز عرض الشفافيات أو آلات التصوير الخاصة أو التلسكوب، وحضر عرضاً تصويرياً للصف تبين من خلاله كيف تكوّن هذه الآلات الصور.



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

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

A 18° C 33°

B 30° D 44°

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

A 0.0422 C 1.24

B 0.413 D 2.42

3. أي مما يأتي لا يؤثر في تشكيل قوس المطر؟

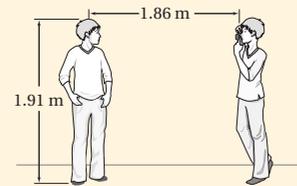
A الحيود C الانعكاس

B التشتت D الانكسار

4. التقط أحمد صورة لأخيه أسامة كما في الشكل مستخدماً كاميرا بعدسة محدبة بعدها البؤري 0.0470 m حدّد موضع صورة أسامة.

A 1.86 cm C 4.82 cm

B 4.70 cm D 20.7 cm



5. أي مما يأتي لا يؤثر في تشكيل السراب؟

A تسخين الهواء القريب من الأرض

B موجات هيجنز

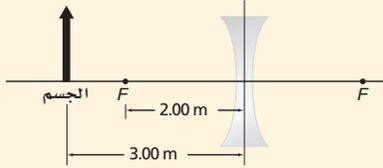
C الانعكاس

D الانكسار

6. ما بُعد الصورة للحالة الموضحة في الشكل؟

A -6.00 m C 0.167 m

B -1.20 m D 0.833 m



7. ما الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي، عندما

ينتقل الضوء من زجاج معامل انكساره 1.52 إلى الماء الذي معامل انكساره 1.33؟

A 29.0° C 48.8°

B 41.2° D 61.0°

8. ماذا يحدث للصورة المتكوّنة من عدسة محدبة عندما يُغطّى نصفها؟

A تختفي نصف الصورة C تصبح الصورة ضبابية

B تعتم الصورة D تنعكس الصورة

الأسئلة الممتدة

9. إذا كانت الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي

عند الحدّ الفاصل بين الألماس والهواء 24.4° ، فما زاوية

الانكسار في الهواء إذا كانت زاوية سقوط الشعاع على

الحدّ الفاصل 20° ؟

10. يتكوّن جسم يبعد 6.98 cm عن عدسة صورةً تبعد 2.95 cm

عن العدسة في الجانب نفسه. حدّد نوع العدسة، ووضّح

كيف عرفت ذلك؟

إرشاد

أعط نفسك الوقت الكافي

لن تحصل على نقاط إضافية إذا أنهيت الاختبار مبكراً. لذا

اعمل ببطء وبحذر؛ تجنباً للوقوع في أخطاء عدم الانتباه

الذي يمكن أن يحدث عندما تريد إنهاء الاختبار بسرعة.

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 المدججة بالحيود بوضوح، كما يظهر التداخل في الفقاعات، في حين تُظهر أجنحة الفراشة الزرقاء كلاً من التداخل والحيود معاً.

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

فكر

كيف يُظهر محلول فقاعات الصابون ألوان قوس المطر؟

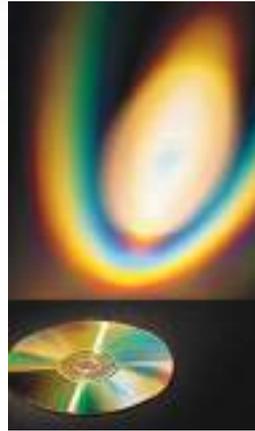


لماذا يعكس القرص المدمج الضوء بألوان قوس المطر؟

سؤال التجربة كيف يتأثر الضوء عندما ينعكس عن قرص مدمج؟

الخطوات

1. احصل على قرص مدمج (CD أو DVD) وجهاز عرض الضوء، ومرشحات ضوئية - من معلمك.
2. ضع القرص المدمج على سطح الطاولة، بحيث يكون سطحه العاكس إلى أعلى.
3. ضع مرشح لون على جهاز عرض الضوء.
4. شغل جهاز عرض الضوء، وأسقط 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، وغير مرشح اللون مستخدماً مرشح لون آخر.
 7. كرر الخطوات من 4 إلى 5 باستخدام مرشح لون جديد.
 8. كرر 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 تأمل ملاحظاتك حول الضوء الأبيض المنعكس عن القرص، واقترح مصادر أخرى مُمكنة تُظهر حزماً من الألوان.

4-1 التداخل Interference

الأهداف

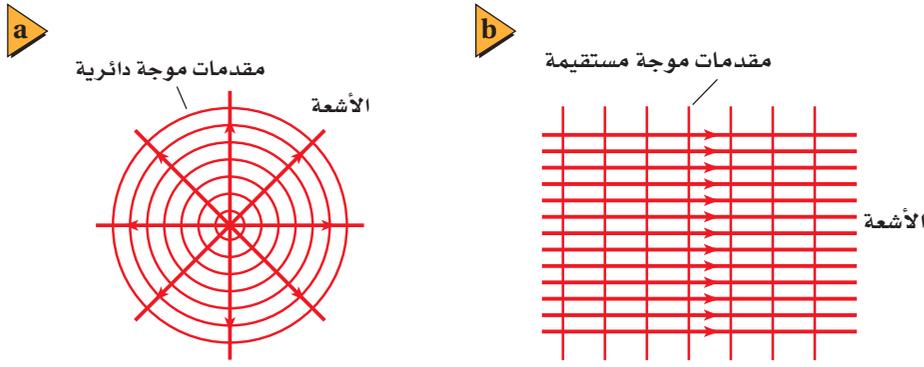
- تفسر تكون نمط تداخل بإسقاط الضوء على شقين.
- تحسب الأطوال الموجية للضوء من أنماط التداخل.
- تطبق النمذجة على التداخل في الأغشية الرقيقة.

المفردات

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

تعلمت أن الضوء يسلك سلوك الموجات أحياناً؛ إذ يمكن أن يجيد عندما يمر بحافة، كما تفعل موجات الماء والموجات الصوتية تماماً. وتعلمت أيضاً أنه يمكن تفسير كل من ظاهرتي الانعكاس والانكسار بناءً على النموذج الموجي للضوء، واللّتين يفسرهما أيضاً نموذج الشعاع الضوئي. فما الذي دفع العلماء للاعتقاد بأن للضوء خصائص موجية؟ لقد اكتشف العلماء أن سلوك الضوء يرتبط بالطبيعة الموجية نفسها؛ حيث يجيد ويتداخل.

فعندما تنظر إلى الأجسام التي أضيئت بمصدر ضوء أبيض - مثل مصباح ضوئي قريب - ترى ضوءاً غير مترابط؛ وهو ضوء ذو مقدمات موجية غير مترامنة. 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 جداً فإن الضوء غير المترابط لا يظهر لك متقطّعاً أو غير مترابط. فعندما يُضاء جسم من مصدر ضوئي أبيض غير مترابط فإنك ترى تراكب موجات الضوء غير المترابط كأنها ضوء أبيض منتظم.



■ الشكل 1-4 تتولد مقدمات موجات الضوء المنتظمة من المصادر النقطية (a)، وأشعة الليزر (b).

تداخل الضوء المترابط (المتزامن)

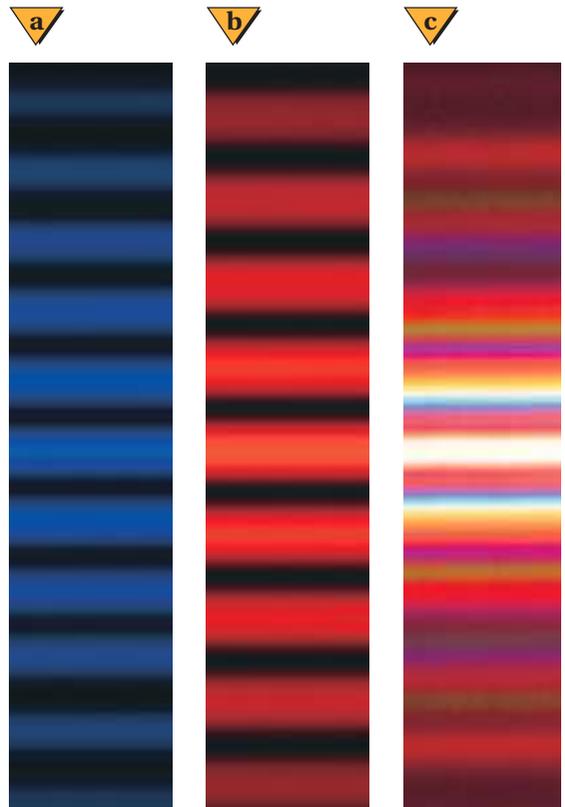
Interference of Coherent Light

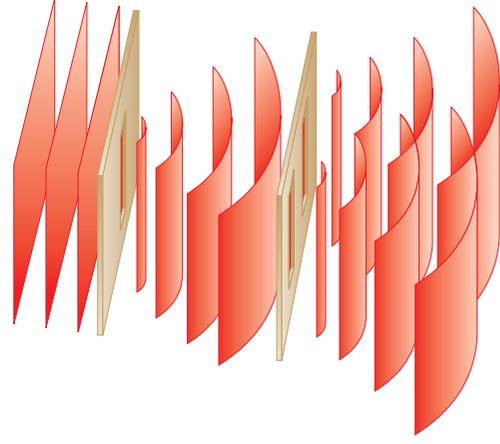
إن نقيض الضوء غير المترابط هو **الضوء المترابط**؛ وهو الضوء الناتج عن تراكب ضوء صادر من مصدرين أو أكثر، مُشكلاً مقدمات موجات منتظمة. ويمكن توليد مقدمة موجة منتظمة من مصدر نقطي، كما يتضح من الشكل 1a-4، كما يمكن توليدها أيضاً من مصادر نقطية عدّة عندما تتزامن هذه المصادر النقطية جميعها، كما في أشعة الليزر، وكما هو موضح في الشكل 1b-4. وتحدث ظاهرة التداخل نتيجة تراكب موجات ضوئية صادرة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط، كما ستلاحظ في هذا الفصل.

أثبت الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج أن للضوء خصائص موجية، وذلك عندما أنتج نمط تداخل من إسقاط ضوء من مصدر نقطي مترابط أحادي خلال شقين. فقد وجّه يونج ضوءاً مترابطاً على شقين ضيقين وقريبين في حاجز. وعند تداخل الضوء الخارج من الشقين وسقوطه على الشاشة لوحظ أن الضوء المتداخل لم يُنتج إضاءة منتظمة، وبدلاً من ذلك ولّد نمطاً مكوناً من حزم مضيئة وأخرى معتمة، سمّاها يونج **أهداب التداخل**. وقد فسّر يونج تكوّن هذه الحزم نتيجة التداخل البناء والتداخل الهدّام للموجات الضوئية الصادرة من الشقين في الحاجز.

في تجربة تداخل الشقّ المزدوج (تجربة يونج) حيث استخدم **ضوء أحادي اللون**؛ وهو ضوء له طول موجي واحد فقط، يُنتج التداخل البناء حزمة ضوئية مركزية مضيئة (هدباً مضيئاً) بلون معين على الشاشة، كما يُنتج على كل جانب حزمًا مضيئة أخرى تفصلها فراغات متساوية تقريباً، وعرضها متساوٍ تقريباً، كما يتضح من الشكلين 2a-4 و 2b-4. وتتناقص شدة إضاءة الأهداب المضيئة كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي. ويمكنك ملاحظتها بسهولة في الشكل 2a-4. وتوجد بين الأهداب المضيئة مساحات معتمة (أهداب معتمة)؛ بسبب حدوث تداخل هدام. وتعتمد مواقع حزم التداخل البناء والهدّام على

■ الشكل 2-4 أنماط تداخل الشقّ المزدوج للضوء الأزرق (a)، وللضوء الأحمر (b)، وللضوء الأبيض (c).



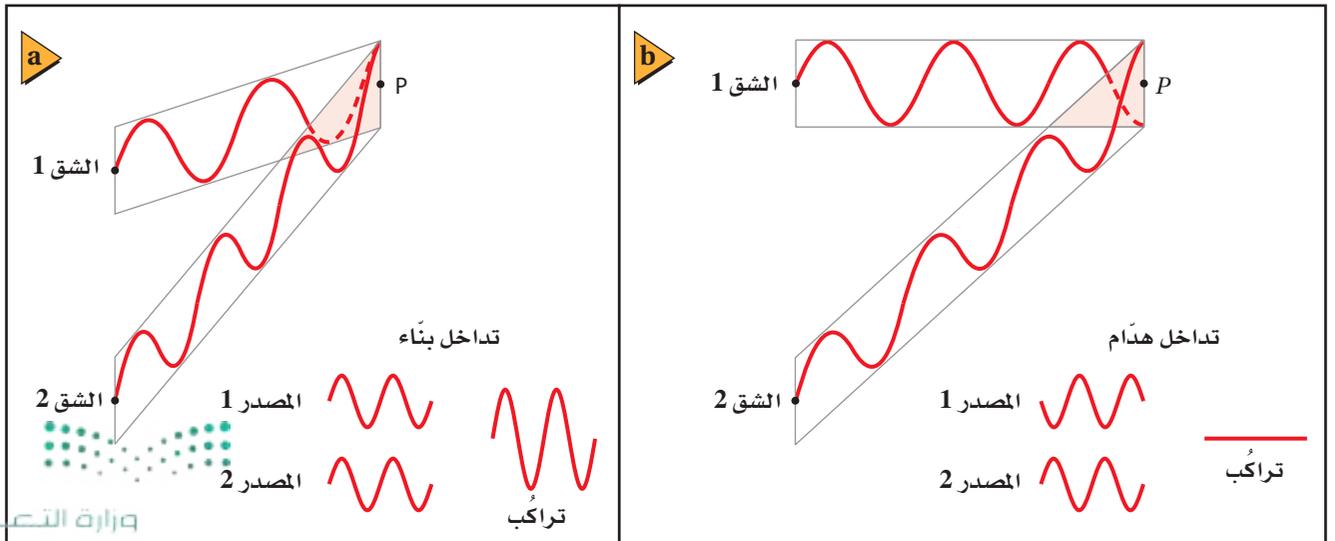


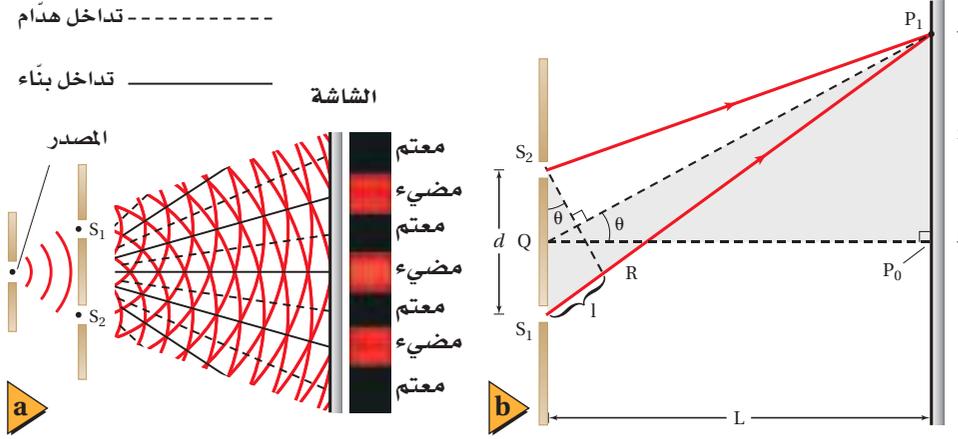
■ **الشكل 3-4** مصدر الضوء المتوافق الذي يتكوّن بواسطة الشقّ الأحادي الضيق يُنتج موجات متوافقة أسطوانية الشكل تقريباً، تنتقل إلى شقين في الحاجز الثاني. وتغادر موجتان متوافقتان أسطوانيتا الشكل تقريباً الشقّ المزدوج.

الطول الموجي للضوء الساقط. وعندما يُستخدم ضوء أبيض في تجربة شقي يونج فإن التداخل يسبّب ظهور أطيف ملوّنة بدلاً من الأهداب المضيئة والمعتمّة، كما يتضح من الشكل 2c-4. وتداخل الأطوال الموجية جميعها تداخلاً بناءً في الهدب المركزي المضيء؛ لذا يكون هذا الهدب أبيض دائماً. وتنتج مواقع الأهداب الأخرى الملوّنة عن تراكم أهداب التداخل التي تحدث، حيث تتداخل الأطوال الموجية لكل لون منفصل تداخلاً بناءً.

تداخل الشقّ المزدوج لتوليد ضوء مترابط من ضوء غير مترابط، وضع يونج حاجزاً ضوئياً ذا شقّ ضيق أمام مصدر ضوئي أحادي اللون. ولأن عرض هذا الشقّ كان صغيراً جداً، فقد نفذ الجزء المترابط من الضوء فقط، ثم حاد هذا الجزء بواسطة الشقّ، فتولّدت مقدمات موجات أسطوانية تقريباً بسبب حيودها، كما في الشكل 3-4. وبسبب تماثل مقدمات الموجة الأسطوانية فإن جزأي مقدمة الموجة يصلان إلى الحاجز الثاني ذي الشقين متفقين في الطور. ثم ينتج عن الشقين في الحاجز الثاني مقدمات موجات مترابطة وأسطوانية الشكل تقريباً تداخل بعد ذلك، كما في الشكل 3-4، تداخلاً بناءً أو هداماً؛ اعتماداً على العلاقة بين طوريهما، كما موضّح في الشكل 4-4.

■ **الشكل 4-4** تولّد عند الشقين زوج من الموجات المتفقة في الطور. ويمكن أن يحدث للموجات عند بعض المواقع تداخل بناءً لتشكيل أهداب مضيئة (a)، أو تداخل هدام لتشكيل أهداب معتمّة (b).





■ الشكل 5-4 يولّد تداخل الضوء الأحادي اللون الذي يمر خلال الشقّ المزدوج أهداباً مضيئة وأخرى معتمة على الشاشة (a). يمثل هذا الشكل (b) تحليلاً للهدبة المضيئة الأولى؛ حيث تكون المسافة الفاصلة بين الشقين والشاشة L أكبر بـ 10^5 مرة تقريباً من المسافة الفاصلة بين الشقين d . (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قياس الطول الموجي للضوء يوضح الشكل 5a-4 منظرًا علويًا لمقدمات موجات أسطوانية الشكل تقريباً وتجربة شقي يونج، حيث تتداخل مقدمات الموجات تداخلات بناءً وهدمًا لتشكيل أنماط الأهداب المضيئة والمعتمة. ويوضح الشكل 5b-4 الرسم التخطيطي النموذجي الذي يستخدم لتحليل تجربة يونج. وتلاحظ من الشكل أن الموجتين تتداخلان تداخلًا بناءً على الشاشة لتكوين الهدب المركزي المضيء عند النقطة P_0 ؛ وذلك لأن للموجتين الطور نفسه، وتقطعان المسافة نفسها من كل شق إلى النقطة. كما يوجد أيضًا تداخل بناءً 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:

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

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

يحدث تداخل بناءً للضوء النافذ من شقين عند مواقع x_m ، على جانبي الهدب المركزي المضيء، ويتم تحديد هذه المواقع باستخدام المعادلة $m\lambda = \frac{x_m d}{L}$ ؛ حيث $m = 0, 1, 2, \dots$ والمحددة 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 حلاً رياضياً للطبيعة الموجية للضوء من خلال مسابقة. وبين أحد حكّام المسابقة سيمون دينس بويسون أنه إذا كان اقتراح فريسنل صحيحاً فسوف تتكون بقعة مضيئة عند مركز ظل جسم دائري مُضاء بضوء مترابط. وأثبت حكّم آخر - اسمه جين أرجو - وجود تلك البقعة تجريبياً؛ حيث كان كل من بويسون وأرجو متشكّكين حول الطبيعة الموجية للضوء قبل هذا الإثبات.

تجربة
عملية

ما الطول الموجي؟

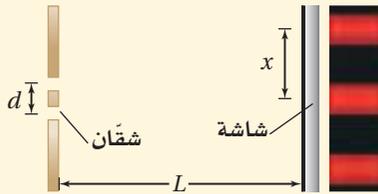
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

مثال 1

الطول الموجي للضوء طُبِّقت تجربة 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 الشقين 0.0190 mm، ووضعت الشاشة على بُعد 0.600 m منها، فما الطول الموجي للضوء الأحمر؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الشقين والشاشة برسم تخطيطي.
- ارسم نمط التداخل موضحًا فيه الأهداب في مواقعها المناسبة على الشاشة.



المجهول

$$\lambda = ?$$

المعلوم

$$d = 1.90 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$x = 2.11 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$L = 0.600 \text{ m}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بتعريفاتها
العلمية 264

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$\lambda = xd/L$$

$$= \frac{(2.11 \times 10^{-2} \text{ m})(1.90 \times 10^{-5} \text{ m})}{(0.600 \text{ m})}$$

$$= 6.68 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$= 668 \text{ nm}$$

$$عوض مستخدمًا $x = 2.11 \times 10^{-2} \text{ m}$, $d = 1.90 \times 10^{-5} \text{ m}$, $L = 0.600 \text{ m}$$$

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.

ما الهولوجرام؟

تجربة
عملية

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

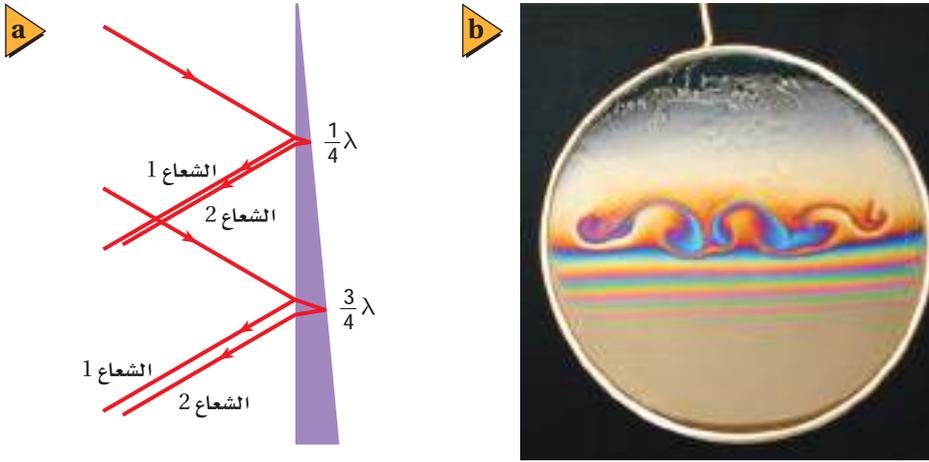


وزارة التعليم

Ministry of Education

2021/3

105



■ الشكل 4-6 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 ملونة (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 البناء والهدام للموجات الضوئية؛ بسبب انعكاسها عن الغشاء الرقيق، وتسمى هذه الظاهرة **التداخل في الأغشية الرقيقة**.

إذا حُجِّلَ غشاء الصابون رأسياً - كما في الشكل 4-6 - فإن وزنه يجعله أكبر سمكاً عند القاع منه عند القمة، ويتغير السمك تدريجياً من أعلى إلى القاع. وعندما تسقط موجة ضوء على الغشاء ينعكس جزء منها، كما يوضح الشعاع 1، بينما ينفذ جزء آخر منها أيضاً، ويكون للموجتين المنعكسة والنافذة تردد 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 معزّزاً (شدة إضاءته أكبر)؟ يحدث هذا عندما يكون للموجتين المنعكستين الطُّور نفسه بالنسبة لطول موجي محدد. فإذا كان سمك غشاء الصابون في الشكل 4-6 يساوي ربع الطول الموجي $\lambda/4$ للموجة في الغشاء، فإن طول المسار ذهاباً وإياباً داخل الغشاء يساوي $\lambda/2$. وسيبدو في هذه الحالة أن الشعاع 2 يعود إلى السطح الأمامي مختلفاً في الطُّور مع الشعاع 1 بنصف طول موجي، وأن كلاً من الموجتين ستُلغِي أثر الأخرى اعتماداً على مبدأ التراكب. 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 الطُّور.

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

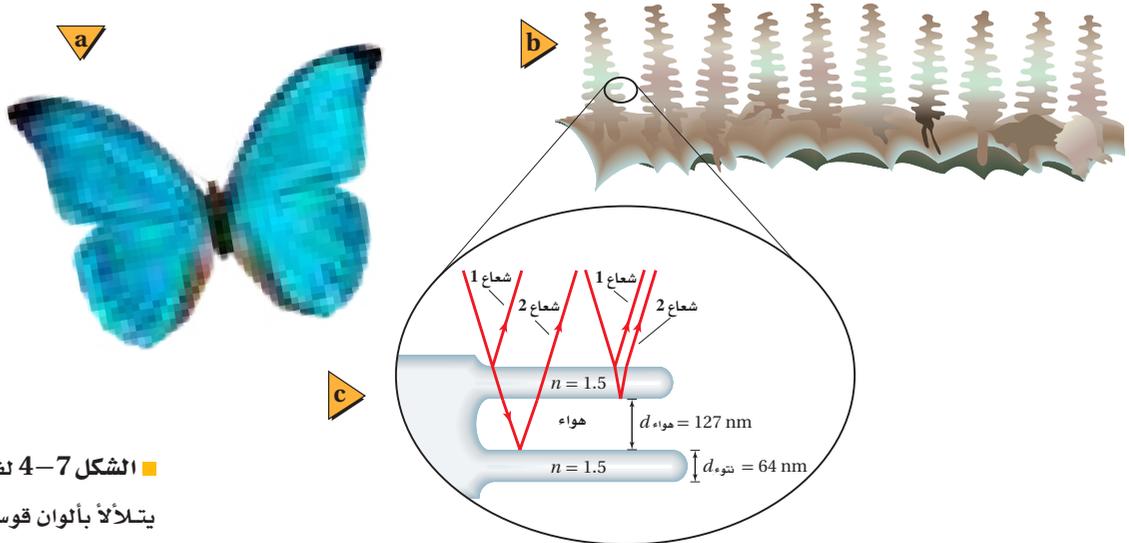
تطبيق الفيزياء

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

الموجي في الهواء الغشاء $d = \lambda_{\text{الفراغ}} / 4n$. لاحظ أن كلتا الموجتين تعزز إحداهما الأخرى عندما تغادران الغشاء. بينما يحدث تداخل هدام للضوء عند الأطوال الموجية الأخرى.

وكما تعلم فإن ألوان الضوء المختلفة لها أطوال موجية مختلفة. أما الغشاء المتغير السمك -ومنه الغشاء الموضح في الشكل 6-4- فإن شرط الطول الموجي سيتحقق عند درجات سُمك مختلفة للألوان المختلفة. والنتيجة هي تكوّن ألوان قوس المطر. وعندما يكون الغشاء رقيقاً جداً بحيث لا يُنتج تداخلاً بناءً لأيّ طول موجي من ألوان الضوء، يبدو الغشاء معتمًا. لاحظ تكرار الطيف في الشكل 6b-4؛ فعندما يكون سمك الغشاء $3\lambda/4$ تكون مسافة الذهاب والإياب $3\lambda/2$ ، ويحدث التداخل البناء مرة أخرى. وسيحقق أي سمك للغشاء مساوياً لـ $\lambda/4$ ، $3\lambda/4$ ، $5\lambda/4$ ، ... إلخ شروط التداخل البناء لطول موجي محدد.

تطبيقات التداخل في الأغشية الرقيقة إن مثال غشاء الماء المحتوي على الصابون في الهواء يتضمن تداخلاً بناءً مع انقلاب إحدى الموجتين عند الانعكاس. ففي المثال الذي استُهل به الفصل حول فقاعات الصابون، كلما تغير سُمك غشاء محلول الفقاعات فإن الطول الموجي الذي يحدث له تداخل بناءً يتغير. وهذا يؤدي إلى تكوّن طيف مزاح للون على سطح الغشاء الصابوني عندما يضاء بضوء أبيض. وفي أمثلة أخرى على التداخل في الأغشية الرقيقة يمكن أن تنقلب كلتا الموجتين أو لا ينقلب أيّ منهما. ويمكنك أن تحل أي مسألة تتضمن تداخل الغشاء الرقيق، وذلك باستخدام استراتيجيات حل المسألة أدناه. ويمكنك أن تضع حلاً لأي مسألة تتضمن التداخل في الأغشية الرقيقة، باستخدام استراتيجيات حل المسألة أدناه.



■ الشكل 7-4 لفراشة المورفو لون أزرق

يتألأ بألوان قوس المطر (a). استخدم

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

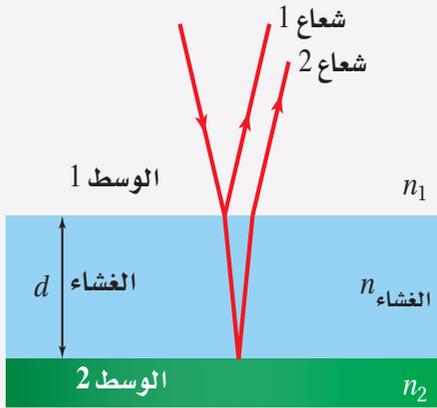
والأشعة المنعكسة عن نتوءات متعددة (c).

ويحدث تداخل الغشاء الرقيق طبيعياً في جناحي فراشة المورفو، كما في الشكل 7a-4. فاللون الأزرق المتألأ للفراشة هو نتيجة للنتوءات التي تبرز خارجة من القشور الداخلية لجناح الفراشة، كما في الشكل 7b-4؛ حيث ينعكس الضوء وينكسر خلال سلسلة من التراكيب التي تشبه الدرج، كما في الشكل 7c-4، مما يؤدي إلى تكوين نمط تداخل أزرق اللون؛ يؤدي بدوره إلى ظهور الفراشة كأنها تصدر وميضاً يمكن ملاحظته عند النظر إليها.

التداخل في الأغشية الرقيقة

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

انعكاس عن غشاء رقيق



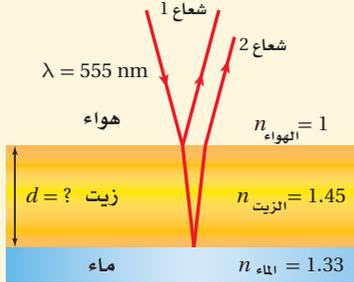
1. ارسم رسماً توضيحياً للغشاء الرقيق وللموجتين المترابطين. وللتسهيل ارسم الموجات على شكل أشعة.
2. اقرأ المسألة، وحدد هل حدث تقوية أم إضعاف للضوء المنعكس؟ فإذا حدثت تقوية له تكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلاً بناءً، أما إذا ضعف فتكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلاً هداماً.
3. هل تنقلب إحدى الموجتين أو كليهما عند الانعكاس؟ إذا تغير 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.

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



مثال 2

الزيت والماء لاحظت حلقات ملوَّنة في بركة ماء صغيرة، واستنتجت أنه لا بدَّ من وجود طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء. فنظرت مباشرة إلى أسفل نحو البركة، فشاهدت منطقة صفراء مخضرة ($\lambda=555 \text{ nm}$). فإذا كان معامل الانكسار للزيت 1.45، وللماء 1.33، فما أقل سمك لطبقة الزيت تسبَّب ظهور هذا اللون؟



1 تحليل المسألة ورسمها

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

المجهول

$$d = ?$$

المعلوم

$$n_{\text{الماء}} = 1.33$$

$$n_{\text{الزيت}} = 1.45$$

$$\lambda = 555 \text{ nm}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

لأن $n_{\text{الماء}} < n_{\text{الزيت}} > n_{\text{الهواء}}$ 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:

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

$$\begin{aligned} d &= \frac{\lambda}{4n_{\text{الزيت}}} \\ &= \frac{555 \text{ nm}}{4(1.45)} \\ &= 95.7 \text{ nm} \end{aligned}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنونة 256

ولأنك تريد أقل سمك، فإن $m=0$.

عوض مستخدماً $m = 0$

عوض مستخدماً $n_{\text{الزيت}} = 1.45$ ، $\lambda = 555 \text{ nm}$

3 تقويم الجواب

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

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

9. **أنماط التداخل** مثل ما يحدث لنمط التداخل في المسألة 7

عند استخدام ضوء أزرق بدلاً من الضوء الأحمر.

10. **سمك الغشاء** غشاء بلاستيكي عاكس معامل انكساره

1.83، ثبت على نافذة زجاجية، فإذا علمت أن معامل

انكسار الزجاج 1.52:

a. فما أقل سمك ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر؟

b. إذا علمت أن هذا الغشاء لا يمكن صناعته بهذا

السمك، فما السمك الآتي الذي يحدث التأثير نفسه؟

11. **التفكير الناقد** تستخدم معادلة الطول الموجي المشتقة

من تجربة يونج عندما تكون الزاوية θ صغيرة جداً،

وعندها يكون $\sin \theta \approx \tan \theta$. إلى أي زاوية يبقى هذا

التقريب جيداً؟ وهل تزداد الزاوية العظمى للتقريب

الجيد والصحيح أم تتناقص عندما تزيد دقة قياسك لها؟

6. **سمك الغشاء** يمسك خالد بلعبة الفقاعات، وينفخ في

غشاء الصابون المعلق رأسياً في الهواء مكوناً فقاعات.

ما العرض الثاني الأقل سمكاً 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

جداً في قطعة كبيرة من الكرتون، وأضيء الشقان بضوء

أحمر أحادي اللون. وعند وضع ورقة بيضاء بعيداً عن

الشقين شوهد نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على

الورقة. صف كيف تسلك الموجة عندما تقابل شقاً.

وفسر لماذا تظهر أهداب مضيئة وأخرى معتمة.

8. **أنماط التداخل** وضح بالرسم النمط الذي وصف في

المسألة السابقة.





الأهداف

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

المفردات

- نمط الحيود
- محزوز الحيود
- معيار ريليه

درست سابقاً 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 وفقاً لمبدأ هيجنز، الذي يبين أن النقاط جميعها على مقدمات الموجات تُمثّل مصادر ضوئية نقطية، فإذا عبر الضوء المترابط حافتين متقاربتين يتكوّن **نمط حيود**؛ وهو نمط يتكوّن على شاشة نتيجة التداخل البناء والهدّام لموجات هيجنز.

حيود الشق الأحادي Single-Slit Diffraction

عندما يمر الضوء الأزرق المترابط خلال شقّ صغير عرضه أكبر من الطول الموجي للضوء فإن الضوء يجرد عن كلتا الحافتين، وتتكوّن سلسلة من الأهداب المضيئة والمعتمة على شاشة بعيدة، كما في الشكل 4-8. وتلاحظ أنه بدلاً من تكوّن أنماط تفصلها مسافات متساوية كتلك التي تكوّن من مصدرين ضوئيين مترابطين في تجربة يونج يتكوّن في هذه الحالة نمط عبارة عن هدب مركزي عريض ومضيء مع أهداب أقل سمكاً وأقل إضاءة على كلا الجانبين. ويزداد عرض الحزمة المركزية المضيئة عندما نستخدم الضوء الأحمر بدلاً من الضوء الأزرق، وعند استخدام الضوء الأبيض يكون النمط مزيجاً من أنماط ألوان الطيف جميعها.

وملاحظة كيف تُنتج موجات هيجنز نمط الحيود، تخيّل شقّاً عرضه w مجزّأ إلى عدد زوجي من نقاط هيجنز، كما في الشكل 4-9، حيث تعمل كل نقطة من هذه النقاط بوصفها مصدراً نقطياً لموجات هيجنز. جزئ الشقّ ذهنيًا 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 موجة هيجنز تتكوّن في النصف العلوي من الشقّ موجة هيجنز أخرى تتكوّن في النصف السفلي منه، وتفصلها مسافة $w/2$ ممّا يؤدي إلى تداخلها تداخلًا هدامًا وتكوين هدب معتم على الشاشة، وتتداخل كل الأزواج المماثلة من موجات هيجنز تداخلًا هدامًا

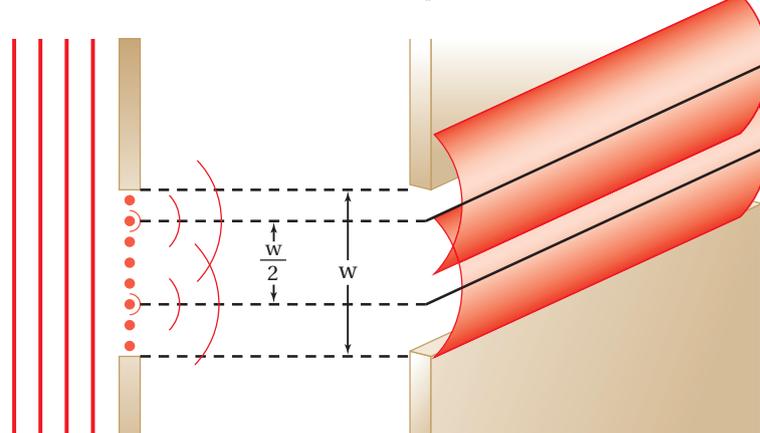
■ الشكل 4-8 لاحظ الهدب المركزي العريض والأهداب الضيقة على كلا الجانبين. إن نمط حيود الشقّ المفرد للضوء الأحمر له هدب مركزي أكثر عرضًا من الضوء الأزرق، وذلك عندما يُستخدم شقّ له الحجم نفسه لكلا اللونين.



■ الشكل 4-9 شقّ عرضه w جزئ إلى أزواج من الخطوط التي تشكّل موجات هيجنز، ويفصل بين كل زوج مسافة مقدارها $w/2$.

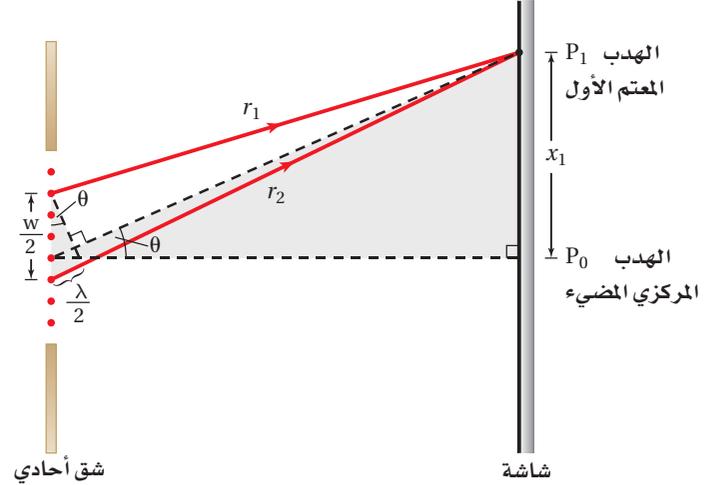
منظر علوي

منظر جانبي



عند الأهداب المعتمة. أما الأهداب المضئية على الشاشة فهي نتيجة تداخل أزواج من موجات هيجنز تداخلًا بناءً، في حين يحدث تداخل هدام جزئياً في المنطقة ذات الإضاءة الخافتة التي تقع بين الأهداب المضئية والمعتمة.

نمط الحيود عندما يُضاء الشق المفرد يظهر هدب مركزي مضيء عند الموقع P_0 على الشاشة، كما في الشكل 10-4. ويظهر الهدب المعتم الأول عند الموقع P_1 ، لأن طولي المسارين r_1 و r_2 لموجتي هيجنز يختلف أحدهما عن الآخر بمقدار نصف طول موجي عند هذا الموقع، لذا ينتج هدب معتم نتيجة للتداخل الهدام، وهذا النموذج مشابه رياضياً لتداخل الشق المزدوج. إن مقارنة نمط حيود الشق الأحادي بنمط



■ الشكل 10-4 يمثل هذا الرسم تحليلاً للهدب المعتم الأول. ويكون بعد الشق عن الشاشة L أكبر كثيراً من عرضه w .

تداخل الشق المزدوج باستخدام شقوق لها العرض نفسه، تُظهر أن جميع أهداب التداخل المضئية لنمط تداخل الشق المزدوج متطابقة مع عرض الحزمة المركزية المضئية لنمط حيود الشق الأحادي؛ وذلك لأن تداخل الشق المزدوج ينتج عن تداخل أنماط حيود الشق الأحادي للموجات الناتجة عن الشقين.

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

تلاحظ من الشكل 10-4 أنه يصعب قياس المسافة من مركز الحزمة المركزية المضئية إلى الحزمة المعتمة الأولى. والطريقة المثلى لحساب x_1 هي أن تقيس عرض الحزمة المركزية المضئية $2x_1$. وتُعطي المعادلة الآتية عرض الحزمة المركزية المضئية في حيود الشق الأحادي:

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

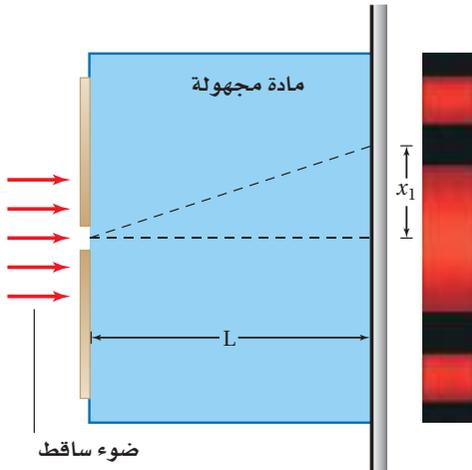
عرض الحزمة المركزية المضئية يساوي حاصل ضرب ضعف الطول الموجي في البعد عن الشاشة مقسوماً على عرض الشق.

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 مساوياً لـ $3\lambda/2$ ، $5\lambda/2$ وهكذا، ويُعبّر عنها بالمعادلة $x_m = m\lambda L/w$ ، حيث $m = 1, 2, 3 \dots$ مع مراعاة أن تكون الزوايا صغيرة وفقاً للتقريب الذي تم تناوله. وبتعويض قيمة $m=1$ في هذه المعادلة نُحدّد موقع الهدب المعتم ذي الرتبة الأولى، أما الهدب المعتم ذو الرتبة الثانية فيحدث عند $m=2$ ، وهكذا لسائر الأهداب.

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 مرشحًا أزرق - بنفسجيًا ($\lambda = 441 \text{ nm}$) على الشقّ، ثم أزاله ووضع مرشحًا أحمر ($\lambda = 622 \text{ nm}$)، ثم قاس الطالب عرض الهدب المركزي المضيء:
- a. فأَيّ المرشّحين ينتج هدبًا ضوئيًا أكثر عرضًا؟
- b. احسب عرض الهدب المركزي المضيء لكل من المرشّحين.

يُقدّم حيود الشقّ الأحادي تصويرًا واضحًا للطبيعة الموجية للضوء عندما يتراوح عرض الشقّ بين 10 و 100 ضعف الطول الموجي للضوء. أما إذا كانت الفُتحات أكبر من ذلك فإنها تكوّن ظلالًا 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.

لديك مجموعة من المواد غير المعروفة، وأردت 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 λ ، وعرض الشق w ، والمسافة بين الشقّ والشاشة L ، والمسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول x_1 .
2. إذا كان الطول الموجي للضوء المصدر الذي تستخدمه 634 nm ، وعرض الشقّ 0.10 mm ، والبعد بين الشقّ والشاشة 1.15 m ، وغمرت الأدوات في الماء ($n_{\text{الماء}} = 1.33$) فكم تتوقع أن يكون عرض الهدب المركزي؟



محزوزات الحيود Diffraction Gratings

درست أن تداخل الشقّ المزدوج وحيود الشقّ المفرد يعتمدان على الطول الموجي للضوء المستخدم، لذا فإننا بحاجة إلى قياسات دقيقة للطول للموجي. ومن أجل ذلك تُستخدم محزوزات الحيود الموضحة في الشكل 11-4. **ومحزوز الحيود** أداة مكونة من شقوق عدة مفردة تسبب حيود الضوء، وتكوّن نمط حيود ناتجاً عن تراكّب أنماط ناتجة عن حيود شقّ مفرد. ويمكن أن يتكوّن محزوز الحيود من 10,000 شقّ لكل سنتيمتر. لذا فإن المسافة بين الشقوق تكون صغيرة جداً 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 جداً 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 مائل للمحزوز الزجاجي. وتُصنع المجوهرات أحياناً على صورة محزوزات نفاذ تنتج أطياًً ضوئية، كما هو موضح في الشكل 12a-4.

وهناك نوع آخر من محزوزات الحيود تُسمّى محزوزات الانعكاس. ويُصنع هذا النوع بواسطة حفر خطوط رفيعة جداً 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-4. فإذا وجهت ضوءاً أحادي اللون إلى DVD فيسكوّن الضوء المنعكس نمط حيود على شاشة. وتنتج محزوزات النفاذ ومحزوزات الانعكاس أنماط حيود متشابهة يُمكن تحليلها بالطريقة نفسها. يبين الشكل 13-4 إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.



■ الشكل 11-4 تستخدم محزوزات الحيود لتكوين أنماط الحيود من أجل تحليل مصادر الضوء.



■ الشكل 12-4 جوهرة مصنوعة في صورة محزوز نفاذ تنتج أطياًً ضوئية (a). تُعدّ الأقراص المدمجة محزوزات انعكاس؛ إذ تكوّن نمط طيف الحيود عندما يسقط عليها ضوء أبيض (b).



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

■ الشكل 13-4 خط زمني يبين إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.

القرن الحادي عشر

القرن العاشر

القرن التاسع الميلادي

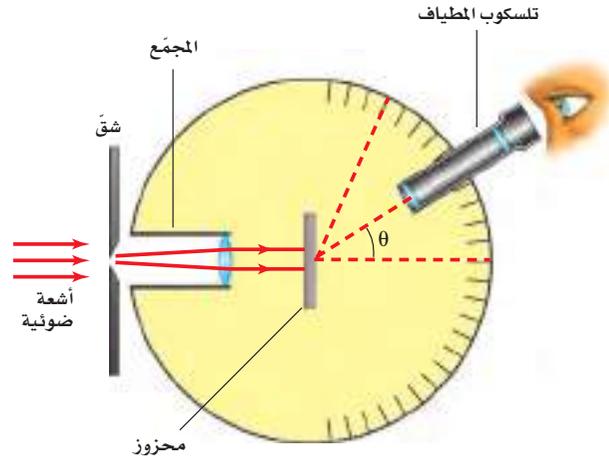
القرن الحادي عشر (م) ابن الهيثم أحد العلماء المسلمين، أوجد علم البصريات معتمداً على التجربة والبرهان، كما وُمدت على يديه نظرية الورد (الانعكاس)، وفسّر كيفية رؤية العين للأجسام، ودرس العين البشرية وعرف أجزاءها، وأعطى كل جزء الاسم الخاص به.



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.



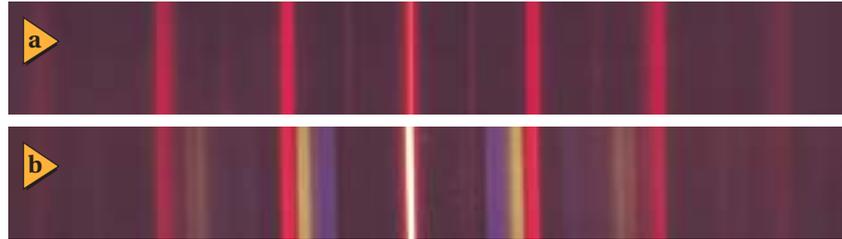
■ الشكل 14-4 يستخدم المطياف لقياس الأطوال الموجية للضوء المنبعث من مصدر ضوئي.



قياس الطول الموجي الجهاز الذي تُقاس به الأطوال الموجية للضوء باستخدام محزوز الحيود يُسمّى المطياف، كما هو موضح في الشكل 14-4. حيث يبعث المصدر المراد تحليله ضوءاً يوجّه نحو شقّ، وينفذ الضوء عبر الشقّ ليسقط على محزوز الحيود، فينتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بتلسكوب المطياف.

ويكون نمط الحيود المتكوّن بوساطة محزوز حيود عبارة عن أهداب مضيئة ضيقة تفصلها مسافات متساوية، كما في الشكل 15-4. وكلّما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول من المحزوز تكوّنت أهداب أكثر ضيقاً في نمط الحيود. لذا يمكن قياس المسافة بين الأهداب المضيئة باستخدام المطياف بدقة أكبر، مقارنة باستخدام الشقّ المزدوج.

■ الشكل 15-4 استخدم محزوز لإنتاج أنماط الحيود للضوء الأحمر (a) وللضوء الأبيض (b).



درست سابقاً في هذا الفصل أنه يمكن استخدام نمط التداخل الناتج بواسطة شق مزدوج لحساب الطول الموجي للضوء المستخدم. ويمكن الحصول على معادلة محزوز الحيود بالطريقة نفسها التي اتبعت للحصول على معادلة الشق المزدوج. ولكن الزاوية θ في محزوز الحيود تكون كبيرة؛ لذا لا يُطبَّق التبسيط الخاص بالزاوية الصغيرة. ويمكن إيجاد الطول الموجي بقياس الزاوية θ بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى.

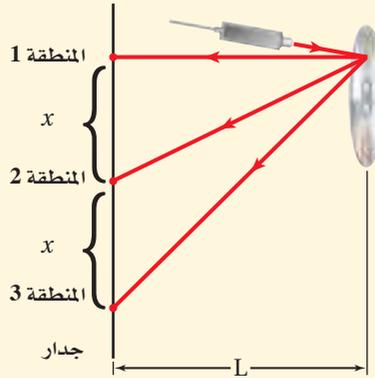
$$\lambda = d \sin \theta \quad \text{الطول الموجي من محزوز الحيود}$$

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

ويحدث التداخل البناء بواسطة محزوز الحيود عند زوايا على جانبي الهدب المركزي المضيء، ويعبّر عنه من خلال المعادلة $m\lambda = d \sin \theta$ ، حيث $m = 0, 1, 2, \dots$ ، ويحدث الهدب المركزي عند $m=0$.

مثال 3

استخدام قرص DVD بوصفه محزوز حيود أسقط طالب شعاعاً ضوئياً 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

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

المجهول

المعلوم

$$d = ? \quad x = 1.29 \text{ m}, L = 1.25 \text{ m}, \lambda = 532 \text{ nm}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الزاوية المحصورة بين المنطقة المركزية المضيئة ومنطقة أخرى

$$\tan \theta = x/L$$

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

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

$$\text{عوض مستخدمًا } x = 1.29 \text{ m}, L = 1.25 \text{ m}$$

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

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

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

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

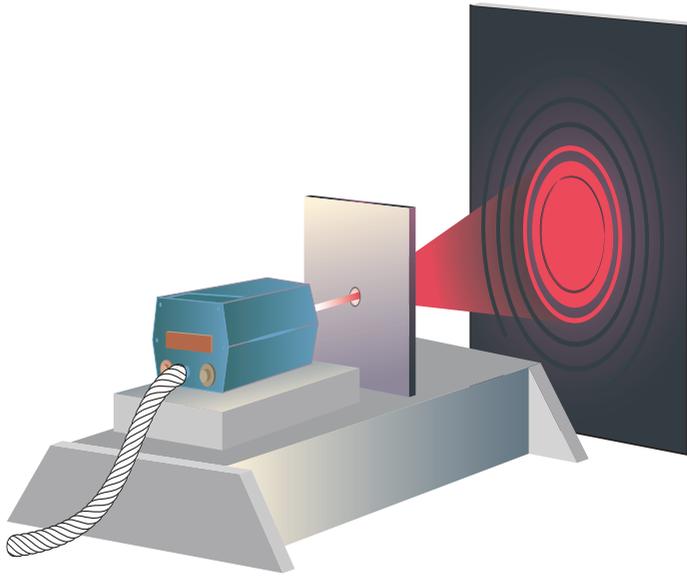
$$\text{عوض مستخدمًا } \theta = 45.9^\circ, \lambda = 532 \times 10^{-9} \text{ m}$$

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 .

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 شقوقه مسافة $8.60 \times 10^{-7} \text{ m}$ 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. يسقط ضوء أزرق على قرص DVD في المثال 3، فإذا كانت المسافات 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، ويكون نمطاً على شاشة تبعد عن المحزوز مسافة 0.55 m. فإذا كان الهدب المركزي الأول يبعد 5.6 cm عن الهدب المركزي المضيء، فما عدد الشقوق لكل سنتيمتر في المحزوز؟



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

■ الشكل 16-4 نمط الحيود لثقب

دائري ينتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قوة التمييز للعدسات Resolving Power of lenses

تعمل العدسة المستديرة في المنظار الفلكي والمجهر - وحتى في عينك - عمل ثقب أو فتحة تسمح للضوء بالمرور من خلالها. وتسبب الفتحة حيود الضوء تماماً كما يفعل الشقّ الأحادي، وتنتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة بواسطتها، كما في الشكل 16-4. وتكون معادلة الفتحة ماثلة لمعادلة الشقّ المفرد، إلا أن للفتحة حافة دائرية بدلاً من حافتي الشقّ. لذا يُعوّض قطر الفتحة D بدلاً من عرض الشقّ 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 بواسطة فتحة المنظار الفلكي فإن الصورة تنتشر بسبب الحيود. وإذا كان هناك نجمان قريبان جداً أحدهما إلى الآخر فإن صورتيهما تتداخلان



معاً، كما في الشكل 17-4. وفي عام 1879 وضع الفيزيائي والرياضي البريطاني لورد ريليه، الحائز على جائزة نوبل، معياراً 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 المعتمدة الأولى للنجم الثاني فإن الصورتين تكونان عند حد الفصل أو التمييز؛ أي يكون المشاهد قادراً على تحديد وجود نجمين بدلاً من نجم واحد فقط.

إذا كانت الصورتان عند حد التمييز فكم يبعد الجسمان أحدهما عن الآخر؟ يبعد مركزا البقعتين المضيئتين للصورتين أحدهما عن الآخر مسافة x_1 ، وذلك باستخدام معيار ريليه. ويوضح الشكل 17-4 أنه يمكن استخدام تشابه المثلثات لإيجاد أن 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:

$$\text{معيار ريليه} \quad x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L}{D}$$

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

الحيود في العين البشرية عندما يكون الضوء ساطعاً يكون قطر بؤبؤ العين 3 mm تقريباً. وحساسية العين البشرية كبيرة للون الأصفر- المخضر؛ حيث الطول الموجي يساوي 550 nm. وتطبيق معيار ريليه على العين يُعطي $x_{\text{الجسم}} = 2 \times 10^{-4} L$. وحيث إن المسافة بين البؤبؤ والشبكية 2 cm تقريباً، 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 تقريباً. لذا تُسجّل المخاريط الثلاثة المتجاورة في الحالة المثالية ضوءاً، وعتمة، وضوءاً، وعندئذ تبدو العين مثالية التركيب. وإذا كانت المخاريط متقاربة جداً فإنها سترى تفاصيل نمط الحيود لا المصادر. أما إذا كانت المخاريط متباعدة فلن يكون باستطاعتها تمييز التفاصيل الممكنة كلها.

شاشات عرض الشبكة



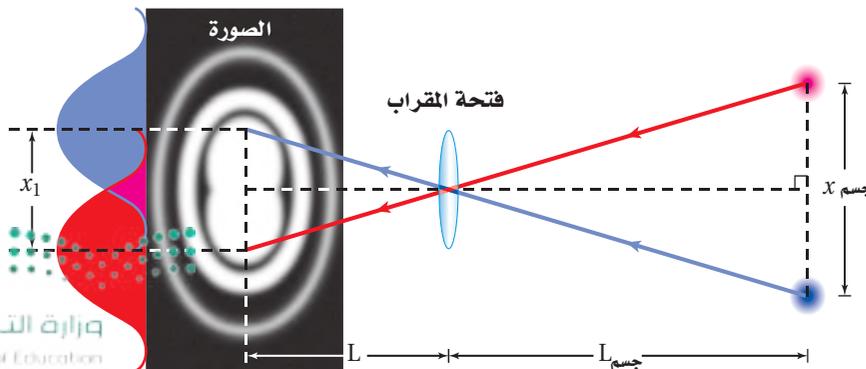
هل تعلم أنك تستطيع اتخاذ شبكية عينك شاشة؟ تحذير: لا تنفذ الخطوات الآتية مستخدماً أشعة الليزر أو ضوء الشمس.

1. صل مصباحاً متوهجاً له فتيل مستقيم بمصدر طاقة، ثم أشعله، ووقف على بُعد 2 m من المصباح.
2. أمسك بمحزوز حيود، وضعه أمام عينك على أن يكون طيف الألوان المتكوّن أفقياً.

3. لاحظ أنماط ألوان الأطياف المتكوّنة، وسجّل ملاحظاتك مستخدماً أقلاماً ملونة.

التحليل والاستنتاج

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



الشكل 17-4 تسمح لك هندسة المثلثات المتماثلة بحساب المسافة الفعلية التي تفصل بين جسمين. تم استخدام اللونين الأزرق والأحمر فقط بغرض التوضيح. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

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

ويعلن بعض صانعي أجهزة المنظار الفلكي أن أجهزتهم محدودة الحيود؛ أي يدعون أن لأجهزتهم القدرة على التمييز بين مصدرين نقطيين عند حد معيار ريليه. وللوصول إلى هذا الحد يتعين عليهم صقل المرايا والعدسات بدقة تصل إلى عُشر (1/10) الطول الموجي أو 55 nm تقريباً. وكلما كبر قطر المرآة زادت قدرة التمييز للمنظار الفلكي. إلا أن الضوء المنبعث من الكواكب أو النجوم يجب أن يمر خلال 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 كثيراً من التلسكوبات الكبرى الموجودة على سطح الأرض؛ وذلك بسبب وجوده فوق الغلاف الجوي للأرض.

4-2 مراجعة

حول الآخر فإذا وجه تلسكوب هابل الفضائي (قطر فتحة 2.4 m) نحو هذا النظام الذي يبعد 8.44 سنوات ضوئية عن الأرض، فما أقل مسافة فاصلة بين النجمين تلزمنا للتمييز بينهما باستخدام التلسكوب؟ (افتراض أن متوسط الطول الموجي للضوء القادم من النجمين يساوي 550 nm)

22. **التفكير الناقد** شاهدت جهاز مطياف، إلا أنك لا

تعلم ما إذا كان الطيف الناتج عنه باستخدام منشور أو محزوز. كيف تعرف ذلك من خلال النظر إلى طيف الضوء الأبيض؟

20. **المسافة بين الأهداب المعتمدة ذات الرتبة الأولى**

يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طول موجته 546 nm على شق مفرد عرضه 0.080 mm. ويقع الشق على بُعد 68.0 cm من شاشة. ما المسافة الفاصلة بين الهدب المعتم الأول على أحد جانبي الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول على الجانب الآخر؟

21. **معياري ريليه** نجم الشُّعري اليمانية (سيرْيوس)

أكثر النجوم سطوعاً في السماء في فصل الشتاء في نصف الكرة الأرضية الشمالي. ونجم الشُّعري - في الحقيقة - نظام مكون من نجمين يدور كل منهما



مختبر الفيزياء

تداخل الضوء بواسطة الشق المزدوج Double-Slit Interference of Light

يسلك الضوء أحياناً سلوك الموجة؛ فعندما يسقط ضوء مترابط على شقين قريبين جداً أحدهما إلى الآخر يكون الضوء النافذ خلال الشقين نمطاً من التداخل البناء والتداخل الهدام على شاشة. وفي هذا الاستقصاء ستطوّر إجراءات وخطوات قياس الطول الموجي لمصدر ضوء أحادي اللون باستخدام شقين.

سؤال التجربة

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

الخطوات

الأهداف

1. حدّد المعادلة التي تطبق على تداخل الشق المزدوج.
2. استخدم شقاً مزدوجاً على أن تكون المسافة الفاصلة بين الشقين معلومة d ، أو طوّر طريقة لتحديد d .
3. وضح بالرسم التخطيطي كيف ينفذ الضوء خلال شق 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 تفحص تجربتك، كما يتعين عليك الحصول على موافقته قبل بدء تنفيذ التصميم.
8. نفذ تجربتك، وسجّل بياناتك في جدول بيانات مماثل للجدول الموجود في الصفحة الآتية.

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

احتياطات السلامة



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

المواد والأدوات

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



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

التحليل

2. **تحليل الخطأ** صف بعض الأمور التي يمكنك تنفيذها في المستقبل لتقليل الخطأ المنهجي في تجربتك.
3. **قَوِّم** افحص أداة القياس التي استخدمتها، وحدد أي الأدوات قللت من دقة حساباتك؟ وأيها حققت لك دقة أكبر؟
4. **تقنيات المختبر** كيف يمكنك أن تعدل في إعدادات التجربة لكي تستخدم ضوءاً أبيضاً من مصباح كهربائي عادي لتوليد نمط تداخل الشقّ المزدوج؟

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

التغييرات في التجربة

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

1. **استخلص** هل مكنتك الخطوات التي نفذتها من استخدام نمط التداخل للشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي للضوء؟ وضح إجابتك.
2. **قدر** ما النتائج التي ستحصل عليها إذا استخدمت لوحة تكون فيها المسافة الفاصلة d بين الشقين أقل، مقارنة بالحالة الأولى، وأجريت التجربة مرة أخرى وبالطريقة نفسها تماماً؟
3. **استنتج** ما التغييرات التي تطرأ على ملاحظتك إذا استخدمت ضوءاً أخضر، وكانت لوحة الشقّ المزدوج هي نفسها التي استخدمتها سابقاً، والمسافة بين الشقين 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؟



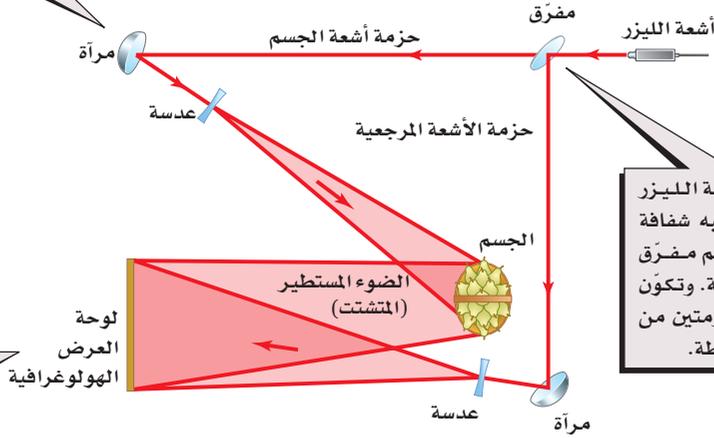
كيف يعمل

الهولوجرافية؟

How it works Holography

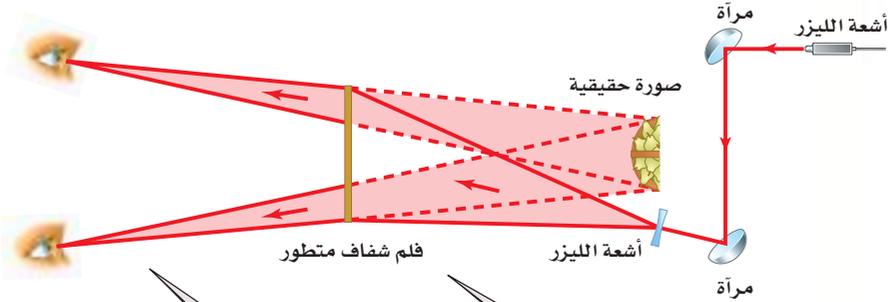
يُعدُّ الهولوجرافية أحد أشكال التصوير الفوتوغرافي الذي يعطي صورة ثلاثية الأبعاد. لقد صنع دينس جابور أول جهاز هولوغرام عام 1947، وبقي التصوير الهولوجرافي غير عملي إلى أن اخترع ليزر الغاز عام 1960. ويستخدم الهولوجرام في بطاقات الاعتماد البنكية للمساعدة على منع عمليات التزييف، ويمكن أن يستخدم مستقبلاً في تخزين بيانات فائقة الكثافة. فكيف يصنع الهولوجرام؟

2 تُوجّه حزمتا الأشعة المرجعية وأشعة الجسم بواسطة مرايا، ويتباعد بعضها عن بعض باستخدام العدسات.



1 تسقط أشعة الليزر على مرآة شبه شفافة تُعرف باسم مفترق حزمة الأشعة. وتكوّن حزمة المرآة حزمتين من الأشعة المترابطة.

3 يتشتت الضوء نتيجة انعكاسه عن الجسم - سلة الكمثرى في هذه الحالة - ويتداخل مع حزمة الأشعة المرجعية. ويسجّل نمط التداخل المتكوّن من حزمتي الأشعة في لوحة العرض الهولوجرافية.



4 عندما يوضع فيلم شفاف للوحة الأفلام المتطورة في مسار حزمة أشعة الليزر المتباعدة يكوّن الضوء المار خلال الفيلم صورة خيالية ثلاثية الأبعاد للجسم الأصلي بحزم ألوان قوس المطر.

5 يشاهد الشخص الصورة كما لو كان يشاهد الجسم الأصلي من خلال نافذة؛ فإذا حرك الشخص رأسه تغير المنظر.

التفكير الناقد

1. استنتج يُسجّل الهولوجرام نمطاً معقداً لأهداب التداخل البناء والتداخل الهدام. فلماذا نفترض أن الحصول على نتائج جيدة يتطلب سطح اهتزاز معزولاً؟
2. استخدام التوضيح العلمي حدّد أين تحدث الخصائص الموجية الآتية في الرسوم البيانية ووضحها: الانعكاس، والانكسار، والتداخل.

4-1 التداخل Interference

المفردات

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

المفاهيم الرئيسية

- يضيء الضوء غير المترابط الجسم بالتساوي، كما يضيء المصباح الكهربائي سطح مكتبك.
- ينتج نمط التداخل من تراكب موجات ضوئية ناتجة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط.
- يبرهن التداخل أن للضوء خصائص موجية.
- يُنتج الضوء المار خلال شقين ضيقين متقاربين نمطاً من أهداب معتمة ومضيئة على شاشة تُسمى أهداب التداخل.
- يمكن استخدام أنماط التداخل لقياس الطول الموجي للضوء.

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

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

4-2 الحيود Diffraction

المفردات

- نمط الحيود
- محزوز الحيود
- معيار ريليه

المفاهيم الرئيسية

- يحيد الضوء المار خلال شق ضيق، أو ينتشر بعيداً عن مسار الخط المستقيم، ويُنتج نمط حيود على شاشة.
- يكون نمط الحيود من شق 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 جداً، وتنتج خطوطاً ضيقة ناتجة عن تراكب أنماط التداخل للشقوق المفرد لجميع الشقوق في المحزوز.
- تُستخدم محزوزات الحيود لقياس الطول الموجي للضوء بدقة كبيرة، أو تُستخدم لتحليل الضوء المتكوّن من أطوال موجية مختلفة.

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

- يجدّ الحيود من قدرتنا على التمييز بين جسمين متقاربين جداً عند النظر إليها من خلال فتحة أو ثقب.

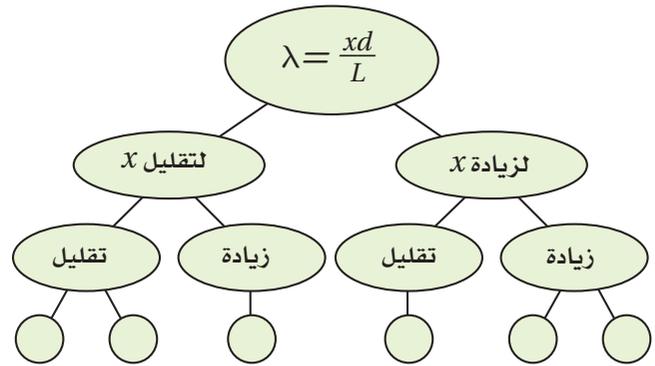
$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L}{D}$$

- إذا سقطت البقعة المركزية المضيئة لإحدى الصور على الحلقة المعتمة الأولى للصورة الثانية فإن الصورتين تكونان عند حد التمييز.



خريطة المفاهيم

23. يضيء ضوء أحادي اللون طوله الموجي λ شقين في تجربة يونج. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقين d ، وتكوّن نمط على شاشة تبعد مسافة L عن الشقين، فأكمل خريطة المفاهيم الآتية مستخدماً λ و L و d لتبيّن كيف يمكنك تغييرها لتحصل على التغير المشار إليه في الفراغ بين الأهداب المضيفة المتجاورة x .



إتقان المفاهيم

24. لماذا يُعدّ استخدام ضوء أحادي اللون مهمّاً في تكوين نمط التداخل في تجربة التداخل ليونج؟ (4-1)
25. وضح لماذا لا يمكن استخدام موقع الهدب المركزي المضيء لنمط تداخل الشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي لموجات الضوء؟ (4-1)
26. اقترح طريقة تمكنك من استخدام ضوء معلوم الطول الموجي لإيجاد المسافة بين شقين. (4-1)
27. يشع ضوء أبيض خلال محزوز حيود. هل تكون الفراغات بين الخطوط الحمراء الناتجة متقاربة أم متباعدة أكثر مقارنة بالخطوط البنفسجية الناتجة؟ ولماذا؟ (4-2)
28. ما لون الضوء المرئي الذي ينتج خطأ ساطعاً قريباً

جداً من الهدب المركزي المضيء بالنسبة لمحزوز حيود معين؟ (2-4)

29. لماذا يكون التلسكوب ذو القطر الصغير غير قادر على التمييز بين صورتين لنجمين متقاربين جداً؟ (4-2)

تطبيق المفاهيم

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

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

31. صف التغيرات في نمط حيود الشقّ المفرد عندما يتناقص عرض الشقّ.

32. **معرض العلوم** إحدى المعروضات في معرض العلوم عبارة عن غشاء كبير جداً من الصابون ذي عرض ثابت تقريباً، ويضاء بواسطة ضوء طوله الموجي 432 nm، فيظهر السطح كاملاً تقريباً على شكل ظل أرجواني اللون. فماذا ستشاهد في الحالات الآتية؟

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

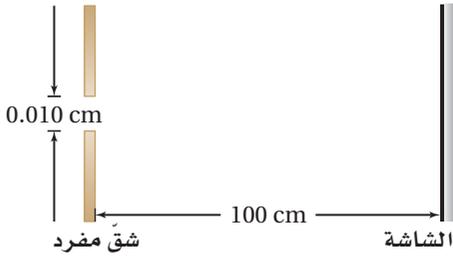
33. **تحديّ مؤشر الليزر** إذا كان لديك مؤشر ليزر؛ أحدهما ضوءه أحمر، والآخر ضوءه أخضر، واختلفت زميلك أحمد وفيصل في تحديد أيهما له طول موجي أكبر، وأصرّ أحمد على أن اللون الأحمر طوله الموجي أكبر، بينما فيصل متأكد أن الضوء الأخضر له طول موجي أكبر. فإذا كان لديك محزوز حيود

تقويم الفصل 4

وُبُعد الشاشة عنهما 0.80 m ، فرتب المجموعات الثلاث اعتماداً على المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى، وذلك من المسافة الفاصلة الأصغر إلى الأكبر.

2-4 الحيود

37. يعبر ضوء أحادي اللون خلال شق مفرد عرضه 0.010 cm ، ثم يسقط على شاشة تبعد عنه مسافة 100 cm ، كما في الشكل 19-4. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 1.20 cm ، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



الشكل 19-4 ■

38. يمرّ ضوء طوله الموجي $4.5 \times 10^{-5}\text{ cm}$ 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. يمرّ ضوء أحادي اللون طوله الموجي 425 nm خلال شق مفرد، ويسقط على شاشة تبعد 0.60 cm ، فإذا كان عرض الحزمة المركزية المضيئة 0.60 cm ، فما عرض الشق؟

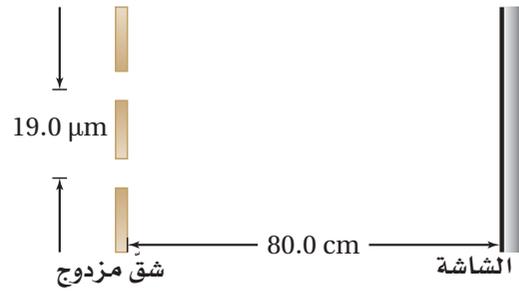
40. انطيف يستخدم في جهاز المطياف محزوز حيود يحوي 12000 cm خط. أوجد الزاويتين اللتين توجد عندهما الأهداب المضيئة ذات الرتبة الأولى لكل من الضوء الأحمر الذي طوله الموجي 632 nm ، والضوء الأزرق الذي طوله الموجي 421 nm .

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

إتقان حل المسائل

1-4 التداخل

34. يسقط ضوء على شقين متباعدين بمقدار $19.0\text{ }\mu\text{m}$ ، ويبعدان عن شاشة 80.0 cm ، كما في الشكل 18-4. فإذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد 1.90 cm عن الهدب المركزي المضيء، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



الشكل 18-4 ■

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

36. يوجّه علي مؤشر ليزر أحمر نحو ثلاث مجموعات من الشقوق المزدوجة المختلفة. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقين في المجموعة A 0.150 mm ، وُبُعد الشاشة عن الشقين 0.60 m ، أما في المجموعة B فكانت المسافة الفاصلة بين الشقين 0.175 mm ، وُبُعد الشاشة عنهما 0.80 m ، وفي المجموعة C كانت المسافة الفاصلة بين الشقين 0.150 mm .

مراجعة عامة

41. يوضع طلاء مانع للانعكاس معامل انكساره 1.2 على عدسة، فإذا كان سمك الطلاء 125 nm، فما لون/ ألوان الضوء التي يحدث عندها تداخل هدام بصورة كاملة؟ تلميح: افترض أن العدسة مصنوعة من الزجاج.

التفكير الناقد

42. **تطبيق المفاهيم** سقط ضوء أصفر على محزوز حيود، فتكوّنت ثلاث بقع على الشاشة خلف المحزوز؛ إحداها عند الدرجة صفر حيث لا يحدث حيود، والثانية عند $+30^\circ$ ، والثالثة عند -30° . فإذا أسقطت ضوءاً أزرق متماثل الشدة في اتجاه الضوء الأصفر نفسه، فما نمط البقع التي سترها على الشاشة الآن؟

43. **تطبيق المفاهيم** يمر ضوء أزرق طوله الموجي λ عبر شقّ مفرد عرضه w ، حيث يظهر نمط حيود على شاشة. فإذا استخدمت الآن ضوءاً أخضر طوله الموجي 1.5λ بدلاً من الضوء الأزرق، فكم يجب أن يكون عرض الشقّ للحصول على النمط السابق نفسه؟

الكتابة في الفيزياء

44. ابحث، ثم صِف مساهمات العالم توماس يونج في الفيزياء. وقوم تأثير أبحاثه في الفكر العلمي حول طبيعة الضوء.

45. ابحث ثم فسر دور الحيود في كل من الطب وعلم الفلك. وِصف 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. (الفصل 3).



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

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° (B) 0.68°
(C) 1.0° (D) 11°

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

- (A) $5.8 \times 10^{-8} \text{ m}$ (B) $6.3 \times 10^{-7} \text{ m}$
(C) $2.1 \times 10^{-5} \text{ m}$ (D) $6.3 \times 10^{-5} \text{ m}$

7. وضعت شاشة مسطحة على بعد 4.200 m من زوج من الشقوق، وأضيء الشقان بحزمة ضوء أحادي اللون. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الثانية 0.082 m ، والمسافة الفاصلة بين الشقين $5.3 \times 10^{-5} \text{ m}$ ، فحدّد الطول الموجي للضوء.

- (A) $2.6 \times 10^{-7} \text{ m}$ (B) $5.2 \times 10^{-7} \text{ m}$
(C) $6.2 \times 10^{-7} \text{ m}$ (D) $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}$

الأسئلة الممتدة

8. ينتج محزوز حيود له 6000 شق 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

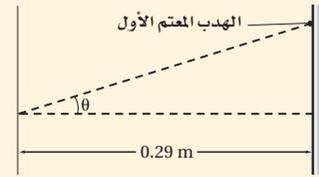
إذا كنت تتدرب على إجابة اختبار، وكانت لديك صعوبة في فهم السؤال أو الوصول إلى الإجابة، فاسأل أحد المشرفين على الاختبار ليساعدك. وعليك أن تطلب المساعدة قبل بدء الاختبار لا في أثناءه.

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 $3.8 \times 10^{-6} \text{ m}$ ، فما عرض الهدب المركزي المضيء؟

- (A) 0.024 m (B) 0.031 m
(C) 0.048 m (D) 0.063 m



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

- (A) 3.1° (B) 6.2°
(C) 12.4° (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 تلزمننا للتمييز بينهما باستخدام ضوء طوله الموجي 610 nm ؟

- (A) $5.0 \times 10^{-5} \text{ m}$ (B) $6.1 \times 10^{-5} \text{ m}$
(C) $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$ (D) $1.5 \times 10^7 \text{ m}$

الكهرباء الساكنة Static Electricity

الفصل 5

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 حالتها الشرارة الكهربائية الصغيرة والبرق - إلى حد كبير من حيث المقدار، إلا أنها متماثلتان في طبيعتهما الأساسية.

فكر

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





أي القوى تؤثر عن بُعد؟

سؤال التجربة ماذا يحدث عند ذلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف ثم تقربها 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. قرب المسطرة إلى القصاصات، ولاحظ تأثيرها فيها.

التحليل

ماذا حدث لقصاصات الورق عندما قربت 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 فصفها.

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 توضح التأثير الذي أحدثته المسطرة في القصاصات الورقية، مستعيناً بإجاباتك عن السؤالين السابقين.



1-5 الشحنة الكهربائية Electric Charge

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 (الكهر وسكونية)
- الجسم المتعادل
- مادة عازلة
- مادة موصلة

لعلك مشيت يوماً على سجادة، وقد احتكّ حذاؤك بنسيجها، مما ولد شرارة كهربائية ظهرت عندما لمست شخصاً آخر. هل هناك تشابه بين هذه الشرارة والبرق؟ لاختبار ذلك، أجرى بنيامين فرانكلين عام 1752م تجربة على طائرة ورقية؛ حيث طير الطائرة، وربط مفتاحاً في نهاية الخيط المتصل بها، وعندما اقتربت عاصفة رعدية من الطائرة لاحظ أن ألياف الخيط الرخوة قد انتصبت وتنافر بعضها عن بعض. وعندما قرب 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 مصعوقاً. 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 تتولد بهذه الطريقة الكهرباء الساكنة.

وفي هذا الفصل ستستقصي **الكهرباء الساكنة (الكهر وسكونية)**؛ وهي دراسة الشحنات الكهربائية التي تتجمع وتحتجز في مكان ما. ويمكن ملاحظة آثار الكهرباء الساكنة على نطاق واسع؛ بدءاً بالبرق، ووصولاً إلى المستوى المجهرى للذرات والجزيئات. أما الكهرباء التيارية (المتحركة) المتولدة عن البطاريات والمولدات فستدرسها في الفصول اللاحقة.



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 مجففة الملابس. ولعلك لاحظت كذلك انجذاب قصاصات الورق إلى المسطرة البلاستيكية الموضحة في التجربة الاستهلاكية وفي الشكل 1-5. من المؤكد وجود قوة ناتجة كبيرة نسبيًا سببت 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 ذلك المسطرة، كما أن المسطرة تفقد خاصية الجذب هذه بعد فترة قصيرة. أما قوة الجاذبية الأرضية فلا تحتاج إلى ذلك حتى تتولد، كما أنها لا تفقد خاصية الجذب. لقد لاحظ قدماء الإغريق آثارًا مماثلة للمسطرة المدلوكة عندما دلخوا العنبر (الكهرمان). (وترجمة كلمة عنبر إلى اللغة اليونانية هي "إلكترون")، وتسمى خاصية الجذب هذه الآن الكهرباء. وتسمى الأجسام التي تبدي تفاعلًا كهربائيًا بعد ذلك الأجسام المشحونة.

الشحنات المتماثلة يمكنك استكشاف التفاعلات الكهربائية باستخدام أجسام بسيطة، مثل شريط لاصق. اطو 5 cm تقريبًا من الشريط حتى يتخذ ذلك الجزء مقبضًا، ثم ثبت الجزء المتبقي من الشريط من الشريط 8-12 cm على سطح جاف وأملس كسطح الطاولة. بالطريقة نفسها، ثبت شريطًا آخر مماثلًا للشريط الأول بالقرب منه، ثم اسحب الشريطين بسرعة عن سطح الطاولة، وقرب أحدهما إلى الآخر. ستلاحظ أن هناك خاصية جديدة تجعلها يتنافران؛ فلقد أصبحا مشحونين كهربائيًا. ولأنهما أُعدّا 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

■ الشكل 1-5 يوّد ذلك 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 رأسياً إلى أعلى في اتجاه معاكس لتسارع قوة الجاذبية الأرضية.



■ الشكل 2-5 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، وخصوصاً في الطقس الرطب، فستلاحظ اختفاء الشحنة الكهربائية. ويمكنك إعادة شحن الشريط مرة أخرى بالصاقه بسطح الطاولة وسحبه عنها. كما يمكنك إزالة الشحنة عن الشريط بذلك جانبيه بأصابعك بلطف.

الشحنات المختلفة ألصق الآن شريطاً على سطح الطاولة، ثم ضع الشريط الثاني فوق الأول. وكما هو موضح في الشكل 2a-5، استخدم مقبض الطرف السفلي لكلا الشريطين لسحبهما معاً 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 بعيداً عن الآخر، ستجد أنهما قد شحنا، وانجذبا ثانية إلى يدك، فهل سيتنافران؟ لا، سيتجاذبان الآن؛ لأن لهما شحنتين مختلفتين، إلا أنهما لن يبقيا مشحونين فترة طويلة؛ لأنهما سيلتصقان معاً.

هل الشريط هو الجسم الوحيد الذي يمكنك شحنه؟ للإجابة عن هذا السؤال ألصق مرة أخرى شريطاً لاصقاً على سطح الطاولة، وضع شريطاً آخر فوقه. علم الشريط السفلي بالرمز B، والشريط العلوي بالرمز T، ثم اسحب الشريطين معاً. فرغهما من الشحنات، ثم اسحب أحدهما بعيداً عن الآخر، وألصق طرف مقبض كل منهما في طرف طاولة أو أسفل غطاء مصباح أو أي جسم مماثل. ينبغي أن يعلقا بحيث يتدليان إلى أسفل، على أن تكون بينهما مسافة قصيرة. أخيراً ادلك مشطاً بلاستيكياً أو قلم حبر بقطعة صوف، وقربه إلى أحد الشريطين، ثم قربه إلى الشريط الآخر. ستلاحظ أن أحد الشريطين ينجذب إلى المشط، بينما يتنافر الآخر معه، كما هو موضح في الشكل 2b-5. 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 جافاً فحكّ حذاءك بالسجاد وأنت تمشي، وقرب 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، وقربه هو والقطعة التي دلكتها إلى الشريطين اللاصقين.

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



أنواع الشحنات يمكنك من خلال تجاربك إعداد قائمة بالأجسام المألوفة بـB، التي لها نفس شحنة الشريط الملصق على سطح الطاولة. كما يمكنك إعداد قائمة أخرى للأجسام المألوفة بـT التي لها شحنة ماثلة 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 بعيداً عن الآخر، لذا يمكنك توضيح أنه عند ذلك البلاستيك بالصوف يصبح البلاستيك سالب الشحنة والصوف موجب الشحنة. ولا يتكوّن نوعاً 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 تعرّف 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 جداً سالبة الشحنة تسمى الإلكترونات. وبين عامي 1909 و 1911م اكتشف أرنست راذرفورد - تلميذ طومسون من نيوزلندا- أن هناك جسماً مركزياً ذا شحنة موجبة تتركز فيه كتلة الذرة تسمى النواة. وتكون الذرة متعادلة عندما تكون الشحنة الموجبة في النواة مساوية للشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول النواة.

يمكن إزالة إلكترونات المدارات الخارجية للذرات المتعادلة بإضافة طاقة إليها، وعندما 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 معاً فقد يصبح كل منهما مشحوناً حسب ترتيب المواد في سلسلة الدلك الكهربائي. كما هو موضح في الشكل 3-5. ففي حالة دلك المطاط بالصوف - كما هو موضح في الشكل 4-5 - تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط. وتعمل الإلكترونات الإضافية التي اكتسبها المطاط على جعل شحنته



الشكل 3-5 ترتب سلسلة الدلك الكهربائي قائمة المواد من حيث الأكثر فقداً للإلكترونات عند أعلى السهم إلى الأكثر اكتساباً للإلكترونات في ذيل السهم.

دلالة الألوان

- وضّحت الشحنات الموجبة باللون الأحمر.
- وضّحت الشحنات السالبة باللون الأزرق.

الشكل 4-5 عند استعمال قطعة صوف لشحن قضيب مطاط تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط. وبهذه الطريقة يُشحن الجسمان.



الكلية سالبة، في حين تجعل الإلكترونات التي فقدتها الصوف شحنته الكلية موجبة. أما المجموع الكلي للشحنة على الجسمين فيبقى هو نفسه؛ أي أن الشحنة محفوظة؛ وهذا يعني أن الشحنات المفردة لا يمكن أن تفنى أو تستحدث، 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، وأعلىها موجب الشحنة. وفي كلتا الحالتين السابقتين لا تُستحدث الشحنة، بل تنفصل.

الموصلات والعوازل Conductors and Insulators

أمسك قضيباً بلاستيكياً أو مشطاً من منتصفه وادلك أحد طرفيه، ستجد أن الطرف المدلوك فقط أصبح مشحوناً؛ أي أن الشحنات التي انتقلت إلى البلاستيك بقيت في المكان الذي وضعت فيه ولم تتحرك. وتسمى المادة التي لا تنتقل خلالها الشحنة بسهولة **مادة عازلة**. فالزجاج والخشب الجاف ومعظم المواد البلاستيكية والملابس والجو الجاف جميعها عوازل جيدة.

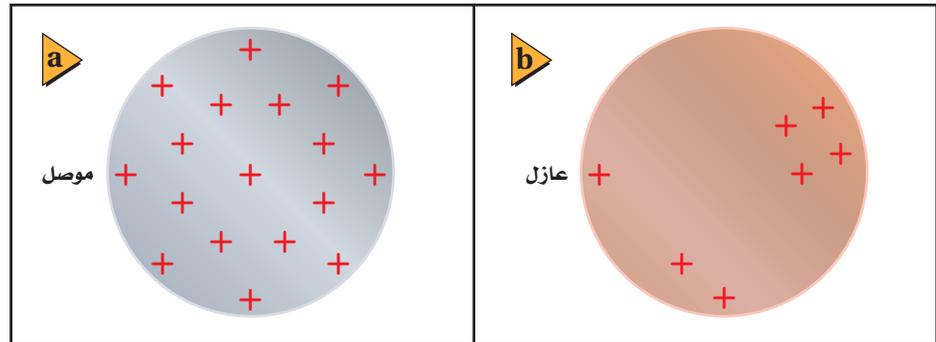
افترض أنك وضعت قضيباً فلزيّاً فوق قضيب بلاستيكي معزول. فإذا لمست بعد ذلك أحد طرفي القضيب الفلزي بمشط مشحون فستجد أن الشحنة تنتشر بسرعة داخل القضيب الفلزي. وتسمى المادة التي تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة **مادة موصلية**. وتعمل الإلكترونات على نقل الشحنة الكهربائية أو توصيلها خلال الفلز. لذا تعد الفلزات موصلات جيدة؛ لأنه يوجد في كل ذرة إلكترون واحد على الأقل يمكن أن انفصل عنها بسهولة. وتؤثر هذه الإلكترونات وكأنها تابعة لذرات الفلز جميعها وليس لذرة معينة؛ أي تتحرك هذه الإلكترونات بحرية خلال قطعة الفلز. والشكل 5-5 يقارن بين سلوك الشحنات عندما توضع على موصل، وسلوكها عندما توضع على عازل. فالنحاس والألمنيوم موصلان ممتازان؛ لذا فهما يستخدمان 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 اعتماداً على الشكل الذي يتخذه العنصر. فالكربون مثلاً يكون عازلاً في حالة الألماس، أما في الجرافيت فيوصل 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 5-5 تتوزع الشحنات التي توضع على موصل على كامل سطحه الخارجي (a). بينما تبقى الشحنات على العازل في المكان الذي توضع فيه (b).



عندما يصبح الهواء موصلًا يعدّ الهواء عازلاً، إلا أنه تحت ظروف معينة تتحرك الشحنات خلاله كما لو كان موصلًا. فالشرارة الكهربائية التي تحدث بين إصبعك ومقبض الباب الفلزي بعد ذلك قدميك بالسجاد تُفرِّغ الشحنات من جسمك كما هو موضح في الشكل 6-5؛ فيصبح متعادلاً؛ لأن الشحنات الزائدة الموجودة عليه قد انفصلت عنه. وبالمثل يفرِّغ 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 والذرات الموجبة الشحنة والذرات السالبة الشحنة، والتي تتكوّن من الإلكترونات والذرات الموجبة الشحنة والتي تعدّ موصلًا. ويولّد تفريغ الشحنات الذي يحدث بين الأرض والسحب الرعدية - من خلال هذه الموصلات - شرراً لامعاً يسمى البرق. أما في حالة إصبعك ومقبض الباب الفلزي فيسمى تفريغ الشحنات شرارة كهربائية.



■ الشكل 6-5 تتفرغ الشحنات الكهربائية من جسمك عند اقتراب يدك من مقبض الباب.

1-5 مراجعة

5. **شحن الموصلات** افترض أنك علّقت قضيباً فلزياً طويلاً بخيوط حرير بحيث أصبح القضيب معزولاً، ثم لامست أحد طرفي القضيب الفلزي بقضيب زجاجي مشحون. صِف كيف يُشحن القضيب الفلزي، وحدد نوع الشحنات عليه.
6. **الشحن بالدلك** يمكنك شحن قضيب مطاط بشحنة سالبة بدلكه بالصوف. ماذا يحدث عند ذلك قضيب نحاس بالصوف؟
7. **التفكير الناقد** يمكن أن يفترض أحدهم أن الشحنة الكهربائية تشبه الموائع تندفق من أجسام لديها فائض في المائع إلى أجسام لديها نقص فيه. لماذا يكون نموذج التيار الثنائي الشحنة أفضل من نموذج المائع الأحادي؟

1. **الأجسام المشحونة** بعد ذلك مشط بستره 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 كهربائياً، أو ذات شحنة موجبة، أو ذات شحنة سالبة؟
4. **فصل الشحنات** يُشحن قضيب مطاط بشحنة سالبة عند دلكه بالصوف. ماذا يحدث لشحنة الصوف؟ ولماذا؟





2-5 القوة الكهربائية Electric Force

القوى الكهربائية قوى كبيرة؛ لأنها يمكن أن تنتج بسهولة تسارعًا أكبر من التسارع الذي ينتج بفعل قوة الجاذبية الأرضية. وتعلم أن القوة الكهربائية قد تكون قوة تجاذب أو قوة تنافر. أما قوة الجاذبية الأرضية فهي قوة تجاذب فقط. وعلى مر السنوات الماضية أجرى الكثير من العلماء محاولات عديدة لقياس القوة الكهربائية. فأجرى دانيال برنولي المعروف بأعماله المتعلقة بالموائع عدة قياسات بسيطة عام 1760م. وبيّن هنري كافندش في سبعينيات القرن الثامن عشر أن القوى الكهربائية يجب أن تخضع لقانون التربيع العكسي. إلا أن خجله الشديد دفعه إلى عدم نشر عمله. ولقد اكتشفت 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 5-7. إذا قرّبت قضيبًا آخر ذا شحنة سالبة من القضيب المعلق فسوف يدور القضيب المعلق مبتعدًا؛ حيث تتنافر الشحنات السالبة على القضيبين. وليس من الضروري أن يحدث تلامس بين القضيبين حتى يظهر هذا التأثير؛ فالقوة التي تسمى القوة الكهربائية تؤثر عن بُعد. وإذا علقت قضيبًا زجاجيًا مشحونًا بشحنة موجبة، ثم قرّبت إليه قضيبًا زجاجيًا آخر مشحونًا بشحنة موجبة أيضًا فسيتنافر القضيبان. أما إذا قرّبت قضيبًا مشحونًا بشحنة سالبة إلى قضيب آخر مشحون بشحنة موجبة فسيجذب كل منهما الآخر، وسيدور القضيب المعلق مقربًا 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.

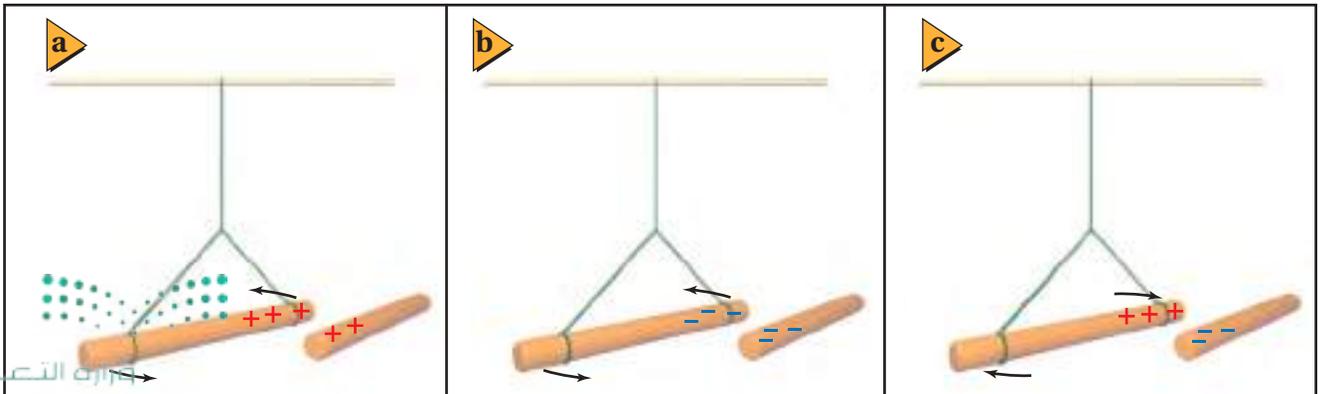
الأهداف

- تلخّص العلاقات بين القوى الكهربائية والشحنات الكهربائية والبعد بينها.
- توضّح كيفية شحن الأجسام بطريقتي التوصيل والحث.
- تطوّر نموذجًا يوضّح كيف يمكن للأجسام المشحونة أن تجذب أجسامًا متعادلة.
- تطبق قانون كولوم في حل مسائل في بُعد واحد وفي بُعدين.

المفردات

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

■ الشكل 5-7 عند تقريب قضيب مشحون إلى آخر معلق ومشحون فإنهما يتجاذبان أو يتنافران.



لا يعد الشريط اللاصق ولا القضيب المعلق في الهواء طريقة دقيقة أو ملائمة لتحديد الشحنة. و عوضاً عن ذلك يستخدم جهاز يسمى **الكشاف الكهربائي**، يتركب من كرة فلزية مثبتة على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين، تسميان الورقتين. وبين الشكل 8-5 كشافاً كهربائياً متعادلاً. لاحظ أن الورقتين معلقتان بصورة حرة داخل إناء زجاجي شفاف مغلق؛ وذلك للحد من تأثير تيارات الهواء.



■ الشكل 8-5 الكشاف الكهربائي؛ جهاز يستخدم للكشف عن الشحنات الكهربائية. في الكشاف الكهربائي المتعادل تكون الورقتان معلقتين رأسياً بحرية، وتلامس إحداهما الأخرى.

الشحن بالتوصيل عندما يلمس قضيب مشحون بشحنة سالبة كرة كشاف كهربائي تنتقل الإلكترونات منه إلى الكرة، وتوزع هذه الشحنات على جميع سطوح الفلز. وكما هو موضح في الشكل 9a-5، تشحن الورقتان بشحنات سالبة وتتفران، لذا تفرجان، ويصبح الكشاف الكهربائي مشحوناً. ويُسمى شحن الجسم المتعادل بملامسته جسمًا آخر مشحوناً **الشحن بالتوصيل**. كما تفرج الورقتان أيضاً عند شحن الكشاف بشحنات موجبة، فكيف يمكنك إذاً معرفة ما إذا كان الكشاف الكهربائي مشحوناً بشحنة موجبة أم سالبة؟ يمكن تحديد نوع الشحنة بملاحظة ورقتي الكشاف الكهربائي المشحون عند تقريب قضيب مشحون بشحنة معلومة من كرتته؛ إذ يزداد انفراج الورقتين أكثر عند تقريب جسم شحنته مشابهة لشحنة الكشاف، كما في الشكل 9b-5، وسيقل انفراج الورقتين إذا كانت شحنة الكشاف مخالفة لشحنة الجسم المقرب، كما في الشكل 9c-5.

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



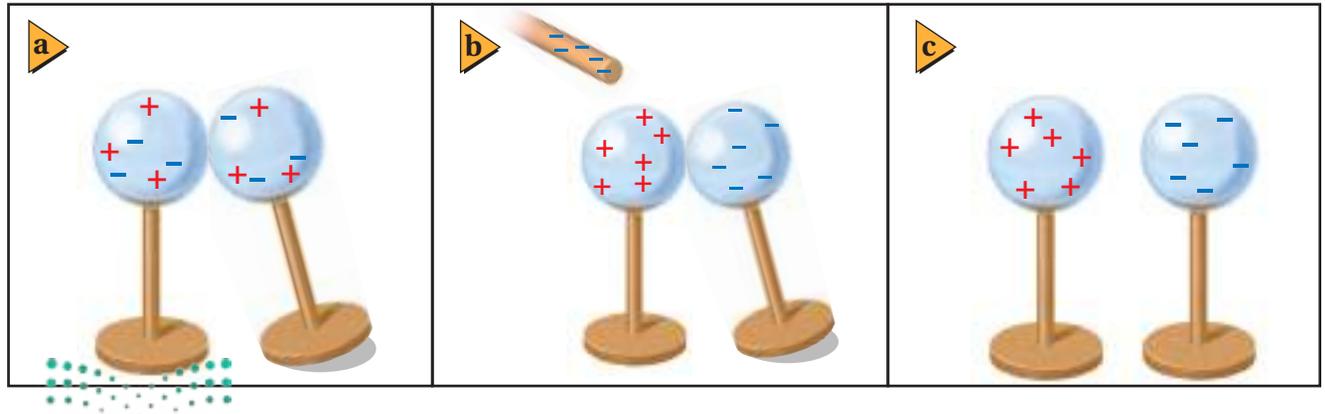
■ الشكل 9-5 تكون ورقتا الكشاف الكهربائي المشحون بشحنة سالبة منفرجتين (a). يدفع القضيب ذو الشحنة السالبة الإلكترونات من الكرة إلى الورقتين فيزداد انفراجهما (b). يجذب القضيب ذو الشحنة الموجبة بعض الإلكترونات من الورقتين إلى الكرة فيقل انفراجهما (c).

افترض أنك قَرَبت 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 كهربائياً، 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 أيضاً 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 مساراً موصلاً من الأرض إلى الغيوم. ويحدث البرق الذي تلاحظه عندما تنتقل صاعقة بسرعة $500,000 \text{ km/h}$ تقريباً 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-5. عند تقريب قضيب مشحون إلى إحدهما، كما في الشكل 10b-5، 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 سيشحنان بشحنتين متساويتين مقداراً ومختلفتين نوعاً، كما هو موضح في الشكل 10c-5. 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 غالباً إلى الأرض.



الشكل 10-5 من طرائق شحن الأجسام الشحن بالحث، حيث يبدأ بتلامس كرتين متعادلتين (a)، ثم يقرب 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 11-5 يحث قضيب سالب الشحنة على فصل الشحنات على الكشاف الكهربائي (a). يتم تأريض الكشاف الكهربائي عن طريق لمسه، فتنتقل الإلكترونات السالبة من الكشاف الكهربائي إلى الأرض (b). يفصل تأريض الكشاف قبل إبعاد القضيب، فيصبح الكشاف الكهربائي موجب الشحنة (c).

في إذا قُرب قضيب مشحون بشحنة سالبة إلى كرة كشاف كهربائي متعادل، كما في الشكل 11a-5، فإن الشحنات السالبة (الإلكترونات) تتنافر مع شحنات القضيب، وتتحرك مبتعدة نحو الورقتين، مع بقاء الشحنات الموجبة على الكرة. وإذا أرضنا (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-5. وبفصل التأريض ثم إبعاد القضيب المشحون تصبح شحنة الكشاف موجبة، كما في الشكل 11c-5. ويمكن استخدام التأريض أيضًا مصدرًا للإلكترونات؛ فعند تقريب قضيب موجب الشحنة إلى كرة كشاف كهربائي مع توصيل الطرف المقابل للكرة بالأرض فإن الإلكترونات تنجذب من الأرض نحو الكشاف الكهربائي، ويصبح سالب الشحنة. وفي هذه الخطوة تكون الشحنات المستحثة على الكشاف الكهربائي مخالفة لشحنة الجسم المؤثر. ولأن القضيب المشحون لم يلمس كرة الكشاف 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 قربت 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 12-5، وهي قضيب عازل في طرفيه كرتان صغيرتان موصلتان A و A، ومعلق 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 12-5 استعمال كولوم جهازًا مماثلًا لقياس القوة بين كرتين، A و B. ولاحظ انحراف الكرة A مع تغير المسافة بين A و B.

■ الشكل 12-5 استعمال كولوم جهازًا مماثلًا لقياس القوة بين كرتين، A و B. ولاحظ انحراف الكرة A مع تغير المسافة بين A و B.



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

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

تعتمد القوة الكهربائية على مقدار الشحنة لاستقصاء كيفية اعتماد القوة الكهربائية على مقدار الشحنة، تعيّن على كولوم تغيير الشحنات على الكرات بطريقة مدروسة. فشحن أولاً الكرتين A و B بالتساوي، كما فعل ذلك سابقاً، ثم اختار كرة غير مشحونة C، مساحة سطحها الخارجي مماثلة للكرة B. عند ملاسة 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 تماماً لاحظ أن القوة بين الكرتين A و B أصبحت تساوي نصف قيمتها السابقة؛ أي أن القوة الكهربائية تتناسب طردياً مع مقدار شحنتي الجسمين.

$$F \propto q_A q_B$$

وبعد قياسات كثيرة مماثلة لحُصّ 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 طردياً مع مقدار كل من الشحنتين، وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.

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

وحدة الشحنة الكهربائية: الكولوم يصعب قياس كمية الشحنة على جسم مباشرة. وقد بيّنت تجارب كولوم أنه يمكن ربط كمية الشحنة بالقوة الكهربائية، لذا تمكن 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 غالباً 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 مثلاً، فإنها يمكن أن تولّد قوى كهربائية كبيرة.

البحث والتوصيل

استعمل بالوناً وكشافاً كهربائياً لاستقصاء الشحن بالبحث وبالتوصيل.

1. توقع ماذا يحدث إذا شحنت بالوناً بدلكه بالصوف، ثم قرّبته إلى قرص كشاف كهربائي متعادل؟

2. توقع ماذا يحدث إذا لامس البالون قرص الكشاف الكهربائي؟

3. اختبر توقعاتك.

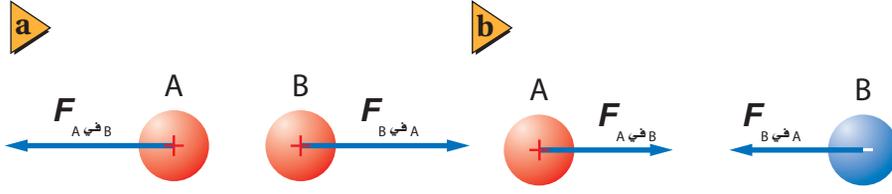
التحليل والاستنتاج

4. صف نتائجك.

5. وضع حركة الورقتين في كل خطوة من خطوات التجربة، على أن تضمّن الشرح رسوماً توضيحية.

6. صف النتائج إذا استعملت الصوف لشحن الكشاف الكهربائي.





■ الشكل 13-5 قاعدة تحديد اتجاه القوة هي: الشحنات المتشابهة تتنافر؛ والشحنات المختلفة تتجاذب.

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

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

القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين تساوي ثابت كولوم مضروباً في حاصل ضرب مقدار الشحنتين مقسوماً على مربع المسافة بينهما.

إذا قيست الشحنات بوحدة الكولوم، والمسافة بالأمتار، والقوة بالنيوتن، فإن ثابت كولوم K يساوي $9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$.

يُمكننا قانون كولوم من حساب مقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة q_A في الشحنة q_B ، كما يُمكننا أيضاً 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 عملياً عندما تقرب 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 تزودنا بمقدار القوة فقط، فإننا بحاجة إلى تحديد اتجاهها، ويتم ذلك برسم مخطط للشحنات وتفسير العلاقات بينها بدقة. فإذا قرب جسمان A و B مشحونان بشحنتين موجبتين أحدهما إلى الآخر فإن كلاهما سيؤثر في الآخر بقوة تنافر، كما في الشكل 13a-5. أما إذا كانت شحنة الجسم B مثلاً سالبة فستكون القوة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر قوة تجاذب، كما كما موضح في الشكل 13b-5.

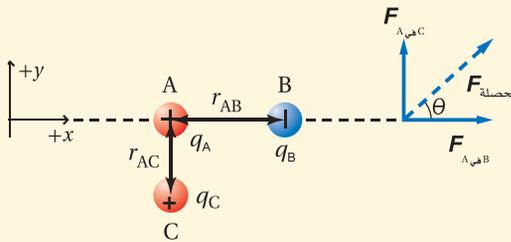


مسائل القوة الكهربائية

- استخدم هذه الخطوات لإيجاد مقدار القوة المتبادلة بين الشحنات، واتجاهها.
1. ارسم مخططاً للنظام مبيّناً 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 جيداً. هل هي منطقية؟

مثال 1

- قانون كولوم في بعدين** إذا كانت الكرة A مشحونة بشحنة مقدارها $+6.0 \mu\text{C}$ ، وموضوعة على بُعد 4.0 cm عن يسار كرة أخرى B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها $3.0 \mu\text{C}$ 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 $+1.5 \mu\text{C}$ 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، وسمّها، ودوّنها على الرسم.
- ارسم متجهات القوة، وسمّها، ودوّنها على الرسم.

المجهول

$$F_{A \text{ في } B} = ?$$

$$F_{A \text{ في } C} = ?$$

$$F_{\text{حصلة}} = ?$$

المعلوم

$$q_A = +6.0 \mu\text{C} \quad r_{AB} = 4.0 \text{ cm}$$

$$q_B = -3.0 \mu\text{C} \quad r_{AC} = 3.0 \text{ cm}$$

$$q_C = +1.5 \mu\text{C}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

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

$$= (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(6.0 \times 10^{-6} \text{ C})(3.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(4.0 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

بالتعويض عن

$$q_B = 3.0 \mu\text{C}, q_A = 6.0 \mu\text{C}$$

$$r_{AB} = 4.0 \text{ cm}$$

$$= 1.0 \times 10^2 \text{ N}$$

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.

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

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

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

بالتعويض عن

$$q_A = 6.0 \mu\text{C}, q_C = 1.5 \mu\text{C}$$

$$r_{AC} = 3.0 \text{ cm}$$

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 $F_{A \text{ في } B}$ و $F_{A \text{ في } C}$ لإيجاد $F_{\text{المحصلة}}$ المؤثرة في الكرة A.

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

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

$$= 130 \text{ N}$$

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

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

دليل الرياضيات

معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل ص 282

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

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

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

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

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

$$= 42^\circ$$

فوق المحور x بزاوية مقدارها 42° ، $F_{\text{محصلة}} = 130 \text{ N}$

3 تقويم الجواب

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



8. تفصل مسافة مقدارها 0.30 m بين شحنتين؛ الأولى سالبة مقدارها $2 \times 10^{-4} \text{ C}$ ، والثانية موجبة مقدارها $8.0 \times 10^{-4} \text{ C}$. ما القوة المتبادلة بين الشحنتين؟
9. إذا أثرت الشحنة السالبة $6.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ 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 $3.0 \mu\text{C}$ فارسم الحالة الجديدة للمثال، وأوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.
11. وضعت كرة A شحنتها $2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ عند نقطة الأصل، في حين وضعت كرة B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها $3.6 \times 10^{-6} \text{ C}$ عند الموقع 0.60 m على المحور x . أما الكرة C المشحونة بشحنة مقدارها $4.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ 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.

تذكر دائماً عند استخدام قانون كولوم أن هذا القانون يُطبَّق فقط على الشحنات النقطية أو التوزيعات الكروية المنتظمة للشحنة. وهذا يعني أنه يمكن التعامل مع كرة مشحونة وكأن كل شحنتها مجمعة في مركزها، فقط إذا كانت الشحنة موزعة بالتساوي على سطحها أو على حجمها. فإذا كانت الكرة موصلة وقُربت إليها شحنة أخرى فإن الشحنات على الكرة ستتجاذب أو تتنافر مع هذه الشحنة؛ فلا تؤثر شحنة الكرة كما لو كانت مجمعة 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 أسلاكاً طويلة أو ألواحاً مستوية فيجب تعديل قانون كولوم ليناسب توزيعات غير نقطية من الشحنات.





■ الشكل 14-5 الرماد المتصاعد من المداخن نتيجة ثانوية لاحتراق الفحم. ويمكن استعمال مرشحات الترسيب الكهروستاتيكية لتقليل هذا الرماد.

تطبيقات القوى الكهروستاتيكية

Applications of Electrostatic Forces

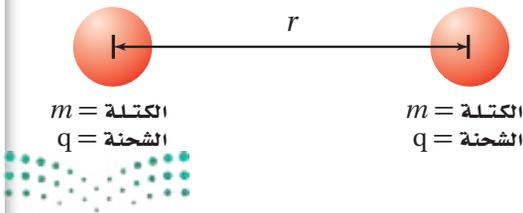
هناك العديد من تطبيقات القوى الكهربائية على الجسيمات. وتستطيع هذه القوى مثلاً تجميع السناج (السواد الناتج عن الدخان) من المداخن، ومن ثم تحدد من تلوث الهواء، كما هو موضح في الشكل 14-5، كما يمكن شحن قطرات الطلاء الصغيرة جداً بالحث، واستعمالها لطلاء السيارات وأجسام أخرى بصورة منظمة وموحدة جداً. وتستخدم آلات التصوير الفوتوجرافي الكهربائي الساكنة لوضع الحبر الأسود على الورق، بحيث يتم نسخ صورة طبق الأصل للوثيقة الأصلية. ويُعدّ تجمع شحنات ساكنة سبباً لحدوث التلف. فمثلاً تجمع شحنات الساكنة على فيلم قد يكون سبباً 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 تطبيق

يبين الشكل المجاور كرتين لهما الكتلة نفسها m ، وشحنة كل منهما $+q$ ، والبعد بين مركزيهما r .
1. اشتق تعبيراً للشحنة q التي يجب أن تكون على كلتا الكرتين لتكونا في حالة اتزان. هذا يعني أن هناك اتزاناً بين قوتي التجاذب والتنافر.

2. إذا تضاعفت المسافة بين الكرتين فكيف يؤثر هذا في قيمة الشحنة q التي حدّدتها في المسألة السابقة؟ وضح 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.



- بشحنة موجبة والأجسام المشحونة بشحنة سالبة؟
13. **القوة والشحنة** ما نوع العلاقة بين القوة الكهربائية والشحنة؟ صف 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. **الكشاف الكهربائي** عند شحن كشاف كهربائي ترتفع ورقته الفلزييتان لتشكلاً زاوية معينة، وتبقى الورقتان محافظتين على تلك الزاوية. لماذا لا ترتفع الورقتان أكثر من ذلك؟
16. **شحن كشاف كهربائي** اشرح كيف يمكن شحن كشاف كهربائي بشحنة موجبة باستخدام:
- a. قضيب موجب.
- b. قضيب سالب.
17. **جذب الأجسام المتعادلة** ما الخاصيتان اللتان تفسران انجذاب جسم متعادل إلى كل من الأجسام المشحونة
18. **الشحن بالحث** ماذا يحدث عند شحن كشاف كهربائي بالحث، وإبعاد قضيب الشحن قبل فصل تأريض الكرة؟
19. **القوى الكهربائية** كرتان A و B مشحونتان، المسافة بين مركزيهما r . إذا كانت شحنة الكرة A تساوي $3 \mu\text{C}$ وشحنة الكرة B تساوي $9 \mu\text{C}$ 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 ووجد 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. وتعلمت أن كلاً من المطاط الصلب والبلاستيك يميل إلى أن تصبح شحنته سالبة بعد الدلك، في حين يميل كل من الصوف والزجاج إلى يصبح موجب الشحنة. ولكن ماذا يحدث إذا دلكت جسمين معاً يميل كل منهما إلى أن يصبح سالب الشحنة؟ هل تنتقل الإلكترونات؟ وإذا كان الأمر كذلك فأأي المادتين ستكتسب إلكترونات، وأيها ستفقدتها؟ 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؟

المواد والأدوات

مسطرة بلاستيكية طولها 15 cm
خيوط
حامل
شريط لاصق

مواد قابلة للشحن، مثل: قضيب مطاطي، وقضيب بلاستيكي، وقضيب زجاجي، وأنبوب البولي فينيل كلورايد PVC، وأنبوب نحاسي، وأنبوب فولاذي، وأقلام رصاص، وأقلام حبر، وقطعة صوف، وقطعة حرير، وغلاف طعام بلاستيكي، وأكياس بلاستيكية، وورق زبد، وورق ألومنيوم.

الأهداف

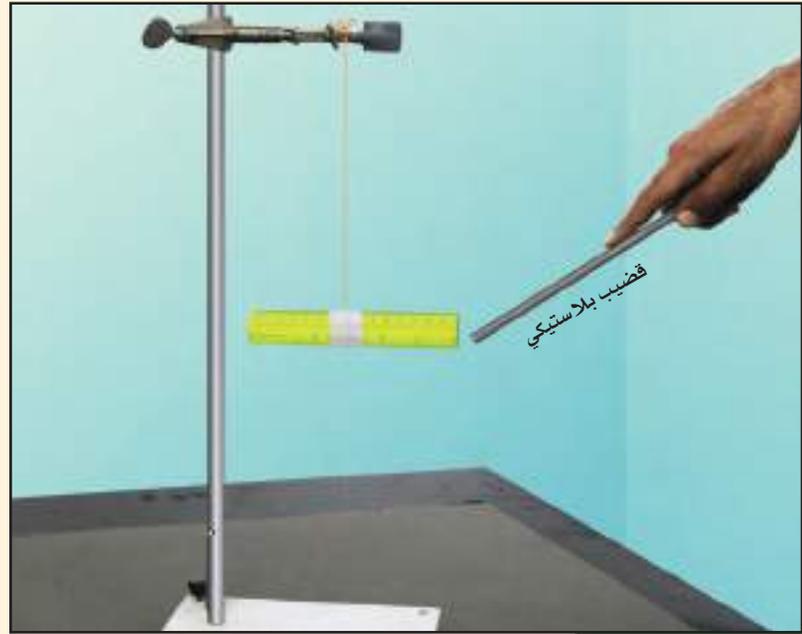
- تلاحظ أن المواد المختلفة تميل إلى أن تُشحن بشحنة موجبة أو تُشحن بشحنة سالبة.
- تقارن بين قدرة المواد على اكتساب الشحنات السالبة والشحنات الموجبة والاحتفاظ بها.
- تفسّر البيانات لترتّب قائمة بالمواد من الأكثر ميلاً لتصبح سالبة الشحنة إلى الأكثر ميلاً لتصبح موجبة الشحنة.



احتياطات السلامة

الخطوات

- انظر إلى الصورة المجاورة لتستفيد منها في تعليق المسطرة البلاستيكية. يُفضّل غسل المسطرة بالماء والصابون، وتجفيفها تماماً قبل كل استعمال، وخصوصاً إذا كان الجو رطباً. اربط الخيط بمنتصف المسطرة، على أن يفصل بينه وبين المسطرة لفة إلى ثلاث لفات من الشريط اللاصق.
- استخدم الحالتين الآتيتين مرجعاً لأنواع الشحنات التي يمكن أن تكون للمواد: (1) عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف تشحن المسطرة البلاستيكية بشحنة سالبة، أما قطعة الصوف فتشحن بشحنة موجبة. (2) عند دلك مسطرة بلاستيكية بغلاف طعام بلاستيكي تشحن المسطرة البلاستيكية بشحنة موجبة، أما غلاف الطعام البلاستيكي فيشحن بشحنة سالبة.



جدول البيانات

المادة 1	المادة 2	الشحنة على المسطرة (+،-،0)	ملاحظات على حركة المسطرة	الشحنة على المادة 1 (+،-،0)	الشحنة على المادة 2 (+،-،0)

الاستنتاج والتطبيق

1. وضح المقصود بتعبير الشحنة الفائضة، وعدم التوازن في الشحنة عند الإشارة إلى الكهرباء الساكنة.
2. هل تبقى الشحنة الفائضة في المادة أم تنتقل مع مرور الوقت؟
3. هل يمكنك إكمال هذا النشاط باستخدام قضيب فلزي بدلاً من المسطرة البلاستيكية المعلقة؟ وضح إجابتك.
4. تستعمل الأغلفة البلاستيكية الشفافة لتغطية أوعية الطعام، فلماذا يلتصق الغلاف البلاستيكي الشفاف بعبء بعض بعد سحبه عن أوعية الطعام التي كان يغطيها؟

التوسع في البحث

راجع المعلومات في كتابك حول الكشاف الكهربائي. وأعد تصميم النشاط على أن تستعمل الكشاف الكهربائي بدلاً من المسطرة البلاستيكية المعلقة؛ لتفحص نوع الشحنة التي على الجسم.

الفيزياء في الحياة

للشاحنات غالباً حزام مطاطي أو سلسلة متدلّية منها تتصل بسطح الطريق. لماذا؟

3. صمّم خطوات وإجراءات لمعرفة أي الأجسام تميل إلى أن تُشحن بشحنة سالبة، وأيها تميل إلى أن تُشحن بشحنة موجبة. جرّب مجموعات مختلفة من المواد، ودوّن ملاحظتك في جدول البيانات.
4. طوّر اختباراً لتكشف ما إذا كان جسم ما متعادلاً أم لا. وتذكر أن المسطرة المشحونة قد تنجذب إلى جسم متعادل إذا عملت على فصل شحنات هذا الجسم بالحث.
5. تأكد من أن معلمك قد تفحص تجربتك، و عليك الحصول على موافقته قبل متابعة تنفيذ النشاط.

التحليل

1. لاحظ واستنتج عندما قربت مواد مشحونة بعضها إلى بعض، هل لاحظت وجود قوة بين هذه المواد المشحونة؟ صف هذه القوة.
2. صياغة النماذج أنشئ رسماً 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 جيداً؟
4. استخلص النتائج أي المواد لها ميل لتشحن بشحنة سالبة، وأيها لها ميل لتشحن بشحنة موجبة؟
5. فسّر البيانات استخدم جدول بياناتك لتعدّ قائمة بالميل النسبية للمواد لتصبح موجبة الشحنة أو سالبتها.



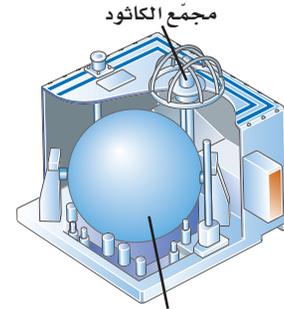
Spacecraft and Static Electricity المركبة الفضائية والكهرباء الساكنة

بصورة خاصة لضرر القوس الكهربائي. وإضافة إلى الأضرار التي قد تلحق بمكونات المركبة الفضائية فإن تراكم الشحنة قد يعرّض طاقم المركبة إلى الخطر في أثناء سيرهم في الفضاء.

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



وحدة قواطع البلازما



مستودع الزينون

نموذج PCU

تطبيقات مستقبلية قد تصمّم المركبة الفضائية المستقبلية بدمج قواطع البلازما في نظام الدفع. ففي صاروخ البلازما المغناطيسية ذي الدفع النوعي المتغير مثلاً 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.

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 بألاف الفولتات.

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

هناك صعوبة إضافية على متن محطة الفضاء الدولية؛ ناجمة عن صفّ الألواح الشمسية التي تحوّل الطاقة الشمسية إلى كهرباء. فعندما تزود هذه الألواح محطة الفضاء بالطاقة يصبح جهد سطح المركبة قريباً 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 تكوّن القوس درجة حرارة الأقواس الكهربائية المتكوّنة كبيرة جداً، كما أنها تحمل تياراً كهربائياً كبيراً، 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

التوسع

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

5-1 الشحنة الكهربائية Electric Charge

المفردات

- الكهرباء الساكنة (الكهروستاتيكية)
- الجسم المتعادل
- مادة عازلة
- مادة موصلة

المفاهيم الرئيسية

- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: الشحنات الموجبة والشحنات السالبة، وتفاعلات هذه الشحنات معاً 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 سالباً، أما المناطق التي فيها نقص في الإلكترونات فيكون صافي شحنتها موجباً.
- 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 معينة، يمكن أن تنتقل شحنات خلال مادة معروفة على أنها مادة عازلة. ويعدّ البرق الذي يتحرك خلال الهواء أحد الأمثلة على ذلك.

5-2 القوة الكهربائية Electric Force

المفردات

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

المفاهيم الرئيسية

- عند شحن كشاف كهربائي تؤدي القوة الكهربائية إلى انفراج ورقتيه.
- يمكن شحن جسم ما بالتوصيل بملامسته جسماً آخر مشحوناً.
- يحث جسم مشحون شحنات موصلي متعادل على الانفصال عند تقريبه إليه، وتحدث هذه العملية نتيجة قوة التجاذب بين الجسم المشحون والموصل المتعادل.
- لشحن جسم موصل بالحث يقرب إليه جسم مشحون، فيؤدي ذلك إلى انفصال شحنات الجسم الموصل المراد شحنه؛ أي تتجمع 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 كشاف كهربائي بالحث.
- ينص قانون كولوم على أن القوة بين جسيمين مشحونين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب مقداري شحنتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.

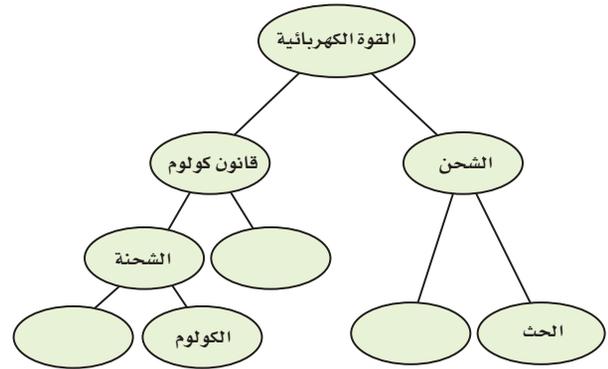
$$F = K \frac{q_A q_B}{r^2}$$

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 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

خريطة المفاهيم

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



إتقان المفاهيم

22. إذا مشطت شعرك في يوم جاف فسوف يُشحن المشط بشحنة موجبة. هل يمكن أن يبقى شعرك متعادلاً؟ وضح إجابتك. (1-5)

23. أعد قائمة ببعض المواد العازلة والمواد الموصلة. (1-5)

24. ما الخاصية التي تجعل الفلز موصلاً جيداً، والمطاط عازلاً جيداً؟ (1-5)

25. غسالة الملابس عندما نخرج الجوارب من مجففة الملابس تكون أحياناً ملتصقة بملابس أخرى. لماذا؟ (2-5)

26. الأقراص المدمجة لماذا يجذب قرص مدمج الغبار إذا مسحته بقطعة قماش نظيفة؟ (2-5)

27. عملات معدنية مجموع شحنة جميع إلكترونات عملة مصنوعة من النيكل تصل إلى 10^6 C. هل يجبرنا هذا بشيء عن صافي الشحنة على هذه العملة؟ وضح إجابتك. (2-5)

28. كيف تؤثر المسافة بين شحنتين في القوة المتبادلة بينهما؟ وإذا قلت المسافة وبقي مقدار الشحنتين كما هو فماذا يحدث للقوة؟ (2-5)

29. اشرح كيف يمكنك شحن موصل بشحنة سالبة إذا كان لديك قضيب موجب الشحنة فقط. (2-5)

تطبيق المفاهيم

30. فيم تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون؟ وفيما تشابهان؟

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

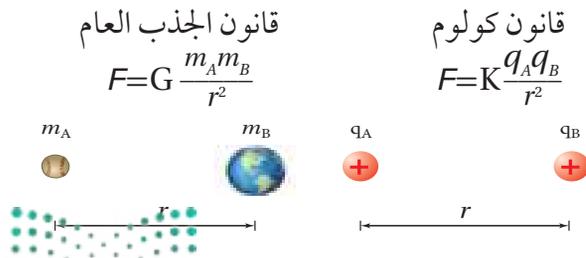
32. قُرب قضيب مشحون إلى مجموعة كرات بلاستيكية صغيرة جداً، فانجذبت بعض الكرات إلى القضيب، إلا أنها لحظة ملامستها للقضيب اندفعت مبتعدة عنه في اتجاهات مختلفة. فسّر ذلك.

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. وضح ما يحدث لورقتي كشاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة عند تقريب قضيب مشحون بالشحنات الآتية إليه، مع مراعاة عدم لمس القضيب للكشاف الكهربائي:

- a. شحنة موجبة.
b. شحنة سالبة.

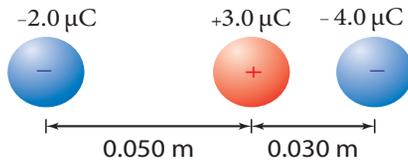
35. يبدو أن قانون كولوم وقانون نيوتن في الجذب العام متشابهان، كما هو موضح في الشكل 15-5. فيم تتشابه القوة الكهربائية وقوة الجاذبية؟ وفيما تختلفان؟



الشكل 15-5 (الرسم ليس وفق مقياس رسم) وزارة التعليم

تقويم الفصل 5

- 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 و r 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 و 3.0×10^{-5} C تساوي 2.4×10^2 N فاحسب مقدار المسافة بينهما.
46. إذا أثرت 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 $3.0 \mu\text{C}$ بشحنتين سالبتين، كما هو موضح في الشكل 16-5. فإذا كانت إحدى الشحنتين $2.0 \mu\text{C}$ - تبعد مسافة 0.050 m إلى الغرب، وتبعد الشحنة الأخرى $4.0 \mu\text{C}$ - مسافة 0.030 m إلى الشرق فما مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة الموجبة؟



الشكل 16-5

36. قيمة الثابت K في قانون كولوم أكبر كثيرًا من قيمة الثابت G في قانون الجذب العام. علام 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 لثالث 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 معين أحدهما من الآخر. فإذا قُرَّب أحدهما إلى الآخر بحيث أصبحت المسافة بينهما رُبُع المسافة السابقة فما مقدار القوة المؤثرة في كل منهما؟

40. القوى الكهربائية بين الشحنتان كبيرة جدًا عند مقارنتها بقوى الجاذبية بينهما، 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

2-5 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، وحدد القوة الجديدة التي تنتج تحت الظروف الآتية:
- a. مضاعفة الشحنة q_A مرتين.

تقويم الفصل 5

52. تؤثر قوة مقدارها 0.36 N في كرة صغيرة شحنتها $2.4 \mu\text{C}$ ، 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 $3.6 \times 10^{-8} \text{ C}$ مسافة 1.4 cm عن مركز كرة ثانية غير معلومة الشحنة. إذا كانت القوة بين الكرتين $2.7 \times 10^{-2} \text{ N}$ فما شحنة الكرة الثانية؟

55. إذا كانت القوة بين بروتون وإلكترون $3.5 \times 10^{-10} \text{ N}$ فما المسافة بين الجسيمين؟

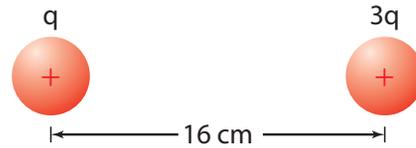
التفكير الناقد

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

57. **حلل واستنتج** وضعت الكرة A التي تحمل شحنة مقدارها $+64 \mu\text{C}$ عند نقطة الأصل، ووضعت كرة ثانية B تحمل شحنة سالبة مقدارها $16 \mu\text{C}$ عند النقطة $+1.00 \text{ m}$ على محور x . أجب عن الأسئلة الآتية:

- أين يجب وضع كرة ثالثة C شحنتها $+12 \mu\text{C}$ بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفراً؟
- إذا كانت شحنة الكرة الثالثة C تساوي $+6 \mu\text{C}$ فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفراً؟
- إذا كانت شحنة الكرة الثالثة سالبة ومقدارها $12 \mu\text{C}$ ، فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفراً؟

48. يوضح الشكل 17-5 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 17-5

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

- أوجد عدد الذرات في قطعة النقد إذا كانت كتلة القطعة 5 g ، منها 75% نحاس، أما الـ 25% المتبقية فمن النيكل، لذا تكون كتلة كل مول من ذرات القطعة 62 g .
- أوجد عدد الإلكترونات في قطعة النقد، علماً أن متوسط عدد الإلكترونات لكل ذرة يساوي 28.75 .
- أوجد شحنة الإلكترونات بالكولوم.

مراجعة عامة

- إذا لامست كرة فلزية صغيرة شحنتها $1.2 \times 10^{-5} \text{ C}$ كرة ماثلة متعادلة، ثم وُضعت على بُعد 0.15 m منها فما القوة الكهربائية بين الكرتين؟
- الذرات ما القوة الكهربائية بين إلكترون وبروتون يبعد أحدهما عن الآخر $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ ؟ (هذه المسافة تساوي نصف القطر التقريبي لذرة الهيدروجين).



تقويم الفصل 5

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

- فحدّد مقدار كل قوة من القوتين اللتين تؤثران في شحنة الاختبار q_T .
- ارسم مخطّط القوة.
- حدّد بالرسم القوة المحصلة المؤثرة في شحنة الاختبار q_T .

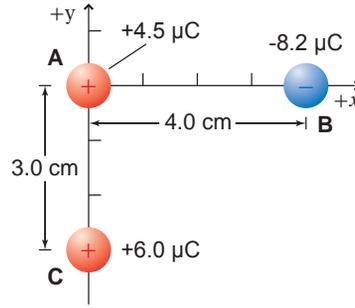
الكتابة في الفيزياء

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

مراجعة تراكمية

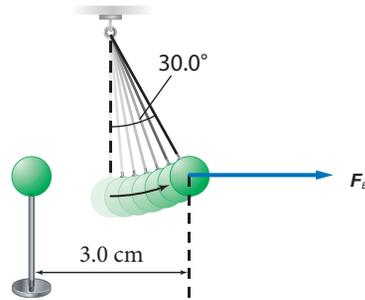
- إذا أثرت شحنتان $2.0 \times 10^{-5} \text{ C}$ و $8.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ أحدهما في الأخرى بقوة مقدارها 9.0 N فاحسب مقدار البعد بينهما. (الفصل 5)

- وضعت ثلاث كرات مشحونة، كما هو موضح في الشكل 18-5. أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.



الشكل 18-5

- يوضح الشكل 19-5 كرتي بيلسان، كتلة كل منهما 1.0 g ، وشحنتاهما متساويتان؛ إحداهما معلقة بخيط عازل، والأخرى قريبة منها ومثبتة على حامل عازل، والبعد بين مركزيهما 3.0 cm . إذا اتزنت الكرة المعلقة عندما شكّل الخيط العازل الذي يحملها زاوية مقدارها 30.0° مع الرأسى فاحسب كلا مما يأتي:
 - المؤثرة في الكرة المعلقة. F_g
 - المؤثرة في الكرة المعلقة. F_E
 - الشحنة على كل من الكرتين.



الشكل 19-5

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



أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

5. القوة الكهربائية المتبادلة بين جسمين مشحونين تساوي 86 N. إذا حُرِّك الجسمان بحيث أصبحا على بُعد يساوي ستة أمثال البعد الذي كانا عليه سابقاً 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 جسماً 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 الكهروستاتيكية 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

1. ما عدد الإلكترونات المنتقلة من كشاف 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

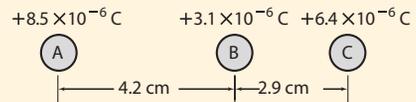
3. إذا وُضعت ثلاث شحنات A و B و C، على خط واحد، كما هو موضح أدناه، فما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة B؟

(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 كشاف 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



9. ذلك أحمد بالوناً بقطعة صوف، فُشِّحَ البالون بشحنة سالبة ومقدارها $8.9 \times 10^{-14} \text{ C}$. ما القوة المتبادلة بين البالون وكرة فلزية مشحونة بـ 25 C وتبعد 2 km عنه؟

(A) $8.9 \times 10^{-15} \text{ N}$

(B) $5.0 \times 10^{-9} \text{ N}$

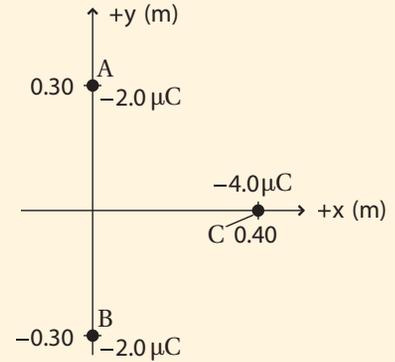
(C) $2.2 \times 10^{-12} \text{ N}$

(D) $5.6 \times 10^4 \text{ N}$

الأسئلة الممتدة

10. بالرجوع إلى الرسم أدناه، ما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة C من قبل الشحنتين A و B؟ ضمّن إجابتك رسماً بيانياً يوضح متجهات القوى.

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



✓ إرشاد

أجب بتأن

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



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- ربط المجالات الكهربائية مع القوى الكهربائية، والتميز بينهما.
- ربط فرق الجهد الكهربائي مع الطاقة والشغل.
- وصف كيفية توزيع الشحنات على الموصلات.
- توضيح كيف تخزن المكثفات الشحنات الكهربائية.

الأهمية

تعدّ الكهرباء الشكل الرئيس للطاقة بالنسبة للمجتمعات الحديثة. تفريغ الطاقة الكبيرة يحدث مولّد جهد عالٍ التوهّج الذي تشاهده داخل كرات التفريغ المجاورة.

فكر

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





كيف تتفاعل الأجسام المشحونة عن

بعد؟

التحليل

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

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



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

الخطوات

1. انفخ بالونين، ثم اربط كلاً منهما بخيط طوله $\frac{1}{2}$ m.
2. ادلك أحد البالونين بثوبك 5-8 مرات حتى تشحنه، ثم علّقه في خزانة أو طاولة أو غيرهما من وسائل التعليق، مستعملاً شريطاً لاصقاً لتثبيت طرف الخيط.
3. ادلك البالون الثاني بالطريقة نفسها، ثم علّقه.
4. **لاحظ** قرب البالون الثاني إلى البالون الأول ببطء، وصف سلوك البالونين. ألصق طرف خيط البالون الثاني بحيث يصبح معلّقاً بجانب البالون الأول.
5. **لاحظ** قرب يدك من البالونين المشحونين. ماذا يحدث؟

1-6 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

الأهداف

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

المفردات

- المجال الكهربائي
- شحنة الاختبار
- خط المجال الكهربائي

تشبه القوة الكهربائية قوة التجاذب الكتلي التي درستها سابقاً؛ حيث تتناسب القوة الكهربائية عكسياً مع مربع المسافة بين جسمين نقطيين مشحونين، كما تؤثر القوتان عن بُعد من مسافات كبيرة نسبياً، فكيف يمكن لقوة ما التأثير خلال ما يبدو أنه حيز فارغ؟ لاحظ مايكل فاراداي أنّ الجسم المشحون كهربائياً وليكن A يؤثر بقوة في جسم آخر مشحون كهربائياً وليكن B عندما يكون موضوعاً في أي مكان في الفراغ أو الوسط، واقترح تفسيراً لذلك أنّ الجسم A يجب أن يغيّر بطريقة 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 الموضوع فيه.

ويمكن للقوى التي تؤثر بها المجالات الكهربائية أن تبذل شغلاً، فتنتقل الطاقة من المجال إلى جسم آخر مشحون. وأنت تستخدم هذه الطاقة يومياً؛ سواء وصلت جهازاً كهربائياً بمقبس، أو استعملت جهازاً كهربائياً متنقلاً يعمل ببطارية.



المجال الكهربائي The Electric Field

كيف يمكن قياس شدة المجال الكهربائي؟ ضع جسيماً صغيراً مشحوناً في موقع معين. إذا كان هناك أي قوة كهربائية تؤثر فيه فسوف يكون هناك مجال كهربائي في ذلك الموقع. (هذه الشحنة الموجودة على الجسيم الصغير والتي استعملت لاختبار المجال تسمى **شحنة الاختبار**). ويجب أن تكون هذه الشحنة موجبة وصغيرة بحيث لا تؤثر في الشحنات الأخرى.

لاحظ الشكل 1-6 الذي يوضح جسمًا مشحونًا بشحنة مقدارها q . وافترض أنك وضعت شحنة الاختبار الموجبة في نقطة معينة، ولتكن النقطة A مثلاً، ثم حسبت القوة F . ستتناسب هذه القوة طردياً مع مقدار شحنة الاختبار q' ، وذلك وفق قانون كولوم؛ أي أنه إذا تضاعفت الشحنة ستتضاعف القوة كذلك، لذا تبقى النسبة بين القوة والشحنة ثابتة. وإذا قسمت القوة F على شحنة الاختبار q' فستحصل على كمية متجهة F/q' . وهذه الكمية لا تعتمد على شحنة الاختبار، وإنما تعتمد فقط على كل من القوة F والمسافة بين الشحنة وشحنة الاختبار A. ويعبر عن شدة المجال الكهربائي عند النقطة A؛ أي النقطة التي تمثل موقع شحنة الاختبار بالمعادلة الآتية:

$$E = \frac{F_{\text{في } q'}}{q'}$$

شدة المجال الكهربائي

شدة المجال الكهربائي تساوي مقدار القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة مقسوماً على مقدار تلك الشحنة.

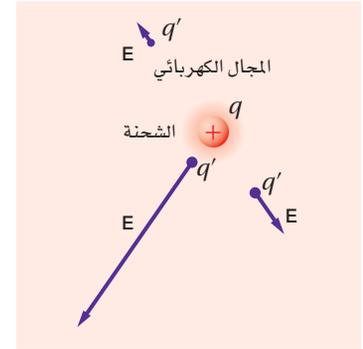
ويكون اتجاه شدة المجال الكهربائي في نفس اتجاه القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة. وتقاس شدة المجال الكهربائي بوحدتي نيوتن/ كولوم (N/C).

يمكن تكوين صورة لشدة المجال الكهربائي باستعمال الأسهم لتمثيل متجهات المجال عند مواقع مختلفة، كما هو موضح في الشكل 1-6؛ حيث يستخدم طول السهم لبيان شدة المجال، أما اتجاه السهم فيمثل اتجاه المجال. ولإيجاد شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنتين عند نقطة يتم إيجاد شدة المجال الكهربائي الناشئ عن كل شحنة على انفراد عند تلك النقطة، ثم يُجمع هذان المجالان جمعاً اتجاهياً. وتستخدم شحنة اختبار لرسم المجال الناشئ عن أي تجمع للشحنات. ويوضح الجدول 1-6 قيم شدة المجالات الكهربائية المثالية الناتجة عن تجمعات معينة للشحنات.

يجب قياس شدة المجال الكهربائي باستخدام شحنة اختبار صغيرة جداً فقط؛ وذلك لأن شحنة الاختبار تؤثر أيضاً بقوة في الشحنة q . ومن المهم ألا تؤدي القوة التي تؤثر بها شحنة الاختبار إلى إعادة توزيع شحنات الموصل، مما يسبب تحريك الشحنة q إلى موقع آخر عليه، فيؤدي ذلك إلى تغيير القوة المؤثرة في q' ، ومن ثم تغيير شدة المجال الكهربائي الذي يتم قياسه. لذا يجب أن تكون شحنة الاختبار صغيرة جداً، بحيث يمكن إهمال تأثيرها في الشحنة q .

دلالة الألوان

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



■ الشكل 1-6 تُستخدم الأسهم لتمثيل مقدار المجال الكهربائي المتولد حول شحنة كهربائية عند مواقع مختلفة، واتجاهه.

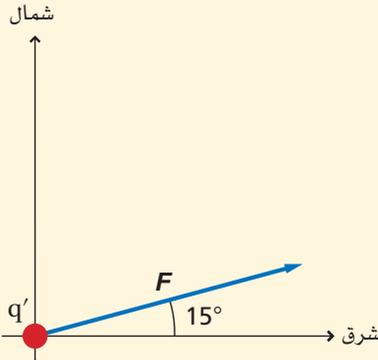


الجدول 6-1

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

مثال 1

شدة المجال الكهربائي قيس مجال كهربائي في الهواء باستخدام شحنة اختبار موجبة مقدارها $3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ ، 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.

المجهول

$$E = ?$$

المعلوم

$$q' = +3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$F = 0.12 \text{ N, بزاوية } 15^\circ \text{ شمال الشرق}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

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

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

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية ص 256

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

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

$$E = 4.0 \times 10^4 \text{ N/C, ويميل بزاوية } 15^\circ \text{ شمال الشرق}$$

3 تقويم الجواب

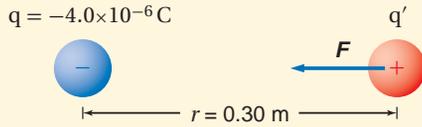
- هل الوحدات صحيحة؟ وحدة قياس شدة المجال الكهربائي N/C .
- هل للاتجاه معنى؟ اتجاه المجال في اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة نفسه؛ لأن شحنة الاختبار موجبة.
- هل الجواب منطقي؟ شدة المجال تتفق مع القيم الموجودة في الجدول 6-1.

مثال 2

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

1 تحليل المسألة ورسمها

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



المجهول

$$E = ?$$

المعلوم

$$q = -4.0 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$r = 0.30 \text{ m}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

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

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

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

$$F = K \frac{qq'}{r^2} \text{ بالتعويض عن}$$

بالتعويض عن

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

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

$$q = -4.0 \times 10^{-6} \text{ C}, d = 0.30 \text{ m}$$

$$K = 9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

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

3 تقويم الجواب

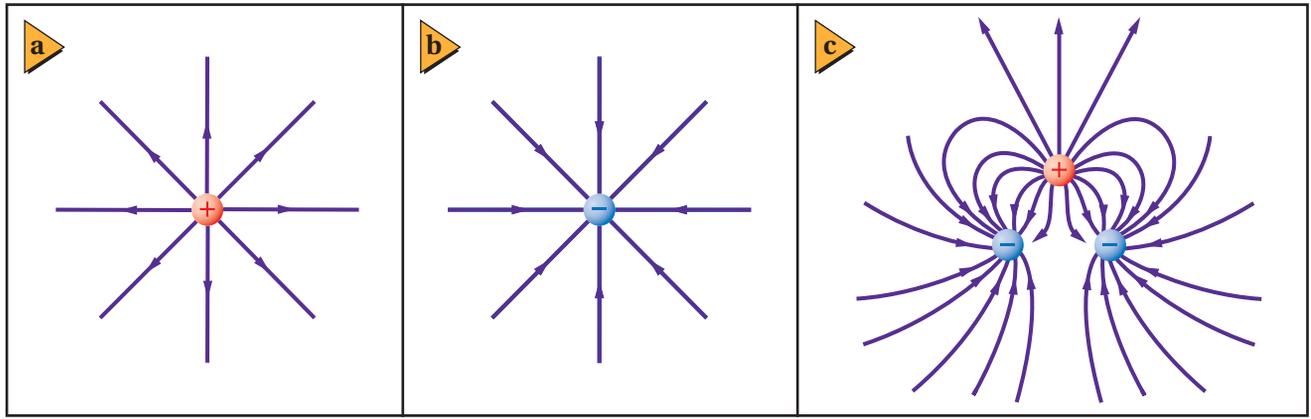
- هل الوحدات صحيحة؟ $(\text{N.m}^2/\text{C}^2)(\text{C})/\text{m}^2 = \text{N/C}$. تكون الوحدات الناتجة N/C وهي صحيحة لشدة المجال الكهربائي.
- هل للاتجاهات معنى؟ تشير الإشارة السالبة إلى أن شحنة الاختبار الموجبة تنجذب إلى الشحنة النقطية السالبة.
- هل الجواب منطقي؟ شدة المجال متفقة مع القيم الموجودة في الجدول 1-6.

1. يؤثر مجال كهربائي بقوة مقدارها $2.0 \times 10^{-4} \text{ N}$ في شحنة اختبار موجبة مقدارها $5.0 \times 10^{-6} \text{ C}$. ما شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟
2. وُضعت شحنة سالبة مقدارها $2.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ في مجال كهربائي، فتأثرت بقوة مقدارها 0.060 N في اتجاه اليمين. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند موقع الشحنة؟
3. وُضعت شحنة موجبة مقدارها $3.0 \times 10^{-7} \text{ C}$ في مجال كهربائي شدته 27 N/C يتجه إلى الجنوب. ما مقدار القوة المؤثرة في الشحنة؟

4. وُضعت كرة بيلسان وزنها $2.1 \times 10^{-3} \text{ N}$ في مجال كهربائي شدته $6.5 \times 10^4 \text{ N/C}$ ، يتجه رأسياً إلى أسفل. ما مقدار الشحنة التي يجب أن توضع على الكرة ونوعها، بحيث توازن القوة الكهربائية المؤثرة فيها قوة الجاذبية الأرضية، وتبقى الكرة معلقة في المجال؟
5. يفحص زيد المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة مجهولة المقدار والنوع. فيرسم أولاً المجال بشحنة اختبار مقدارها $1.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ ، ثم يكرّر عمله بشحنة اختبار أخرى مقدارها $2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$.
- a. هل يحصل زيد على القوى نفسها في الموقع نفسه عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضح إجابتك.
- b. هل يجد زيد أن شدة المجال هي نفسها عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضح إجابتك.
6. ما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.2 m عن شحنة نقطية مقدارها $4.2 \times 10^{-6} \text{ C}$ ؟
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 $+7.2 \times 10^{-6} \text{ C}$ ؟
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 $2.4 \times 10^{-6} \text{ C}$ يجب وضع شحنة اختبار للحصول على مجال كهربائي شدته 360 N/C ؟

حسبت حتى الآن المجال الكهربائي عند نقطة مفردة. تخيل 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 موجوداً عند أي نقطة حتى لو لم يكن عندها شحنة اختبار. وستأثر أي شحنة توضع في مجال كهربائي بقوة ناتجة عن المجال الكهربائي في ذلك الموقع، حيث يعتمد مقدار هذه القوة على مقدار كل من المجال الكهربائي E والشحنة q الموضوعية في تلك النقطة؛ أي أن $F = Eq$. ويعتمد اتجاه هذه القوة على اتجاه المجال وعلى نوع الشحنة المتأثرة q .





تمثيل المجال الكهربائي Picturing the Electric Field

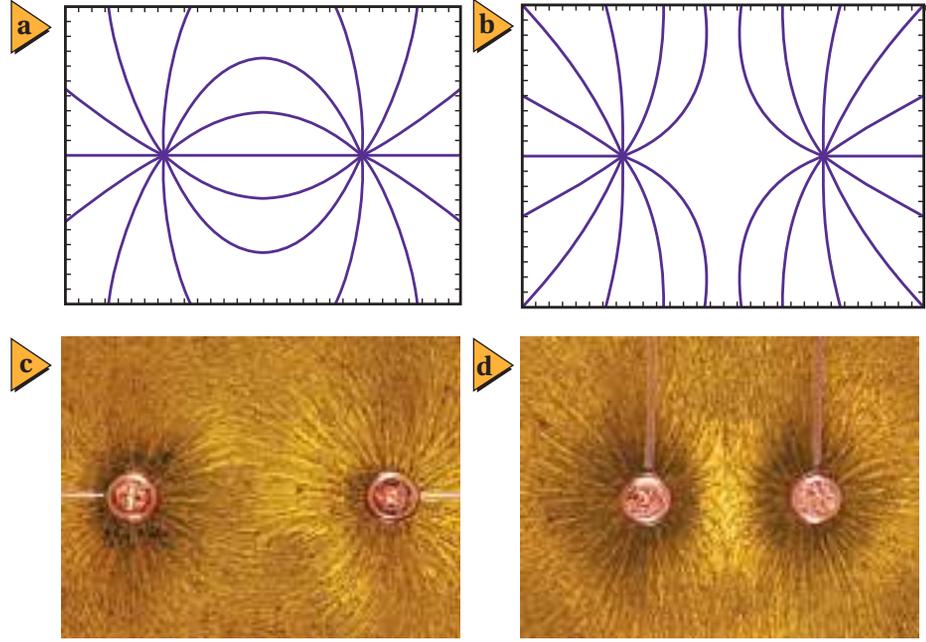
يُظهر الرسم في الشكل 2-6 شكل خطوط المجال الكهربائي. وكل خط من هذه الخطوط المستخدمة لتمثيل المجال الكهربائي الفعلي في الفراغ أو الوسط المحيط بالشحنة يسمى **خط المجال الكهربائي**. ويكون اتجاه المجال الكهربائي عند أي نقطة هو اتجاه المماس المرسوم على خط المجال عند تلك النقطة. وتشير المسافات الفاصلة بين خطوط المجال الكهربائي إلى شدة المجال الكهربائي؛ فكلما كانت هذه الخطوط متقاربة كان المجال الكهربائي أقوى، وكلما كانت الخطوط متباعدة كان المجال الكهربائي أضعف. وقد مثلت 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 شعاعياً إلى الخارج كما هو موضح في الشكل 2a-6 مثل أسلاك عجالات الدراجة الهوائية. أما اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة سالبة فهو في اتجاه الخط المقرب من الشحنة السالبة؛ أي في اتجاه الخط الداخل إليها، كما هو موضح في الشكل 2b-6. وفي حالة وجود شحنتين أو أكثر يكون المجال الناتج عبارة عن الجمع الاتجاهي للمجالات الناتجة عن هذه الشحنت، وعندما تصبح خطوط المجال منحنية وأنماطها أكثر تعقيداً، كما هو موضح في الشكل 2c-6. لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي تخرج دائماً من الشحنة الموجبة وتدخل إلى الشحنة السالبة، ولا يمكن أن تتقاطع مطلقاً.

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 نمطاً لخطوط المجال الكهربائي، كما هو موضح في الشكل 3-6. وخطوط المجال الكهربائي خطوط وهمية لا وجود لها في الواقع، وهي وسيلة لتقديم نموذج للمجال الكهربائي. أما المجالات الكهربائية فهي موجودة،

■ الشكل 2-6 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 سالبين الشحنة وآخر شحنته موجبة (c).

■ الشكل 3-6 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 (a و b) رسم تصويري لخطوط المجال الكهربائي للصورتين السفليتين تم تنفيذه بالحاسوب.



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

ابتكر روبرت فان دي جراف في ثلاثينيات القرن العشرين مولّد الكهرباء الساكنة ذا الفولتية الكبيرة الموضح في الشكل 4a-6. وهو جهاز يعمل على نقل كميات كبيرة من الشحنة الكهربائية من جزء محدد 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. ويبدل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي. ويُشحن الشخص كهربائياً عندما يلمس قبة مولّد فان دي جراف الفلزية؛ حيث تؤدي هذه الشحنات إلى تناثر شعر الشخص بعضه عن بعض، مسبباً تغير اتجاهه، فيصبح اتجاه الشعر في اتجاه خطوط المجال الكهربائي، كما هو موضح في الشكل 4b-6.

■ الشكل 4-6 في مولّد فان دي جراف (a)، تنتقل الشحنات إلى الحزام المتحرك عند النقطة A، ثم تنتقل من الحزام المتحرك إلى القبة الفلزية عند B. ويبدل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي. وعندما يلمس شخص قبة مولّد فان دي جراف تكون النتائج متبيرة (b).



يمكنك تحديد أيّ الشحنتين موجبة، وأيها 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 6-2c هي شحنة اختبار موضوعة في ذلك المكان؛ لقياس محصلة المجال الناشئ عن الشحنتين السالبتين. هل الشحنة صغيرة بدرجة كافية للقيام بعملية القياس بدقة؟ وضح إجابتك.

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 تحدّد اتجاه المجال؟

12. **شدة المجال واتجاهه** تؤثر قوة كهربائية مقدارها $1.50 \times 10^{-3} \text{ N}$ في اتجاه الشرق في شحنة اختبار موجبة مقدارها $2.40 \times 10^{-8} \text{ C}$ ، أوجد المجال الكهربائي في موقع شحنة الاختبار.

13. **خطوط المجال الكهربائي** في الشكل 3-6، هل





6-2 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

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
- السعة الكهربائية

إن مفهوم الطاقة مفيد جداً في الميكانيكا، كما تعلمت من قبل. ويُمكننا 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.

الطاقة والجهد الكهربائيان Energy and Electric Potential

تذكر التغير في طاقة وضع الجاذبية لكرة عند رفعها، كما هو موضح في الشكل 5-6. إن كلاً من قوة الجاذبية F ومجال الجاذبية $g = \frac{F}{m}$ يتجه نحو الأرض. فإذا رفعت كرة في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية فإنك تبذل شغلاً عليها، مما يؤدي إلى زيادة طاقة وضعها.

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

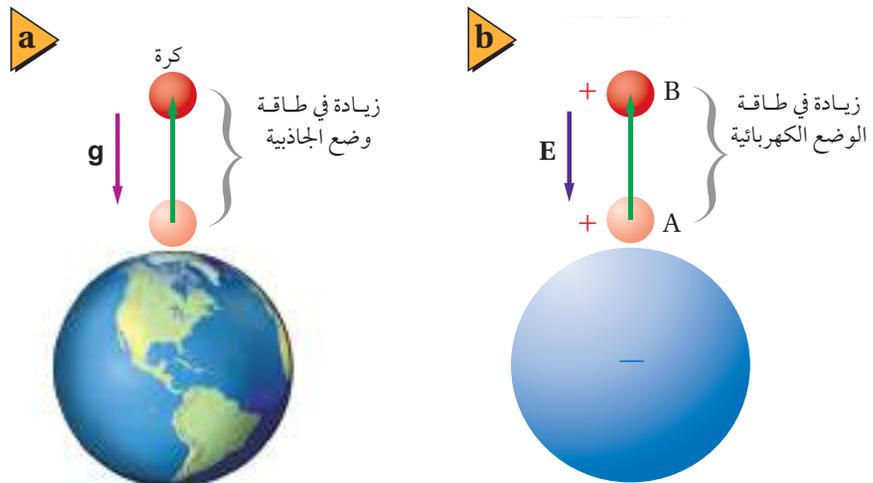
على الرغم من اعتماد القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار q' على مقدارها، إلا أن المجال الكهربائي في موقعها لا يعتمد عليه؛ حيث إن المجال الكهربائي $E = \frac{F}{q'}$ هو القوة لكل وحدة شحنة. وبطريقة مشابهة يُعرّف **فرق الجهد الكهربائي** ΔV بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بين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

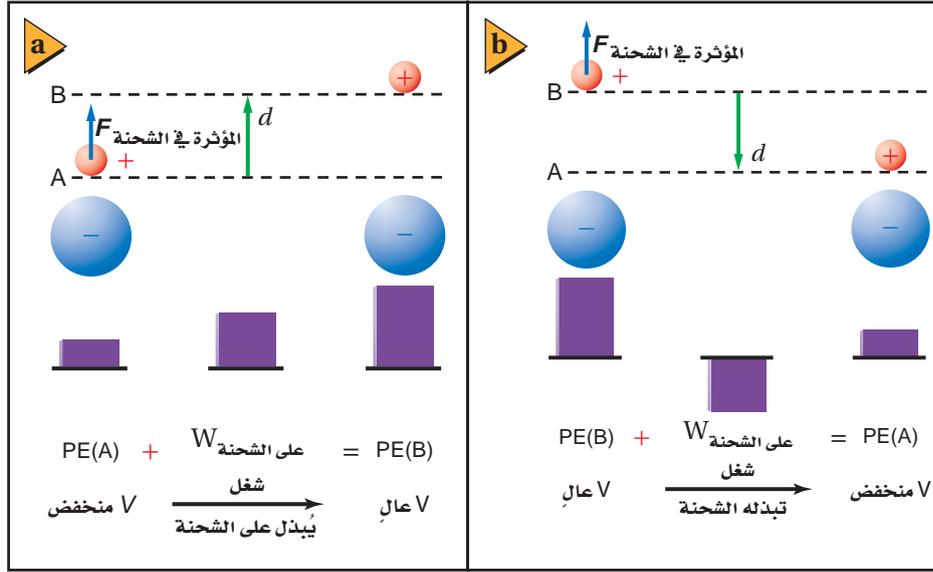
$$\Delta V = \frac{W_{\text{على } q'}}{q'}$$

فرق الجهد الكهربائي

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

- الشكل 5-6 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 6-6 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).

ويُقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة جول لكل كولوم، ويسمى الجول الواحد لكل كولوم **الفولت**، ويعبر عنه بالرموز $V = J/C$.

ادرس الحالة الموضحة في الشكل 6-6، حيث تُؤدّ الشحنة السالبة مجالاً كهربائياً متجهاً نحوها. افترض أنك وضعت شحنة اختبار صغيرة موجبة عند النقطة A، ستأثر عندها الشحنة بقوة في اتجاه المجال. وإذا حرّكت الآن شحنة الاختبار الموجبة بعيداً عن الشحنة السالبة إلى النقطة B، كما هو موضح في الشكل 6-6a، 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 موجباً. وسيكون التغير في فرق الجهد الكهربائي موجباً أيضاً؛ فالتغير في فرق الجهد الكهربائي لا يعتمد على مقدار شحنة الاختبار، بل على المجال الكهربائي والإزاحة فقط.

افتراض أنك حرّكت شحنة الاختبار مرة أخرى من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضح في الشكل 6-6b، فسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها في عكس اتجاه الإزاحة، لذا يكون الشغل الذي تبذله سالباً. وسيكون فرق الجهد الكهربائي سالباً أيضاً ومساوياً ومعاكساً لفرق الجهد الكهربائي عند نقل الشحنة من النقطة A إلى النقطة B. ولا يعتمد فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين على المسار الذي يسلك للحركة من نقطة إلى أخرى، بل يعتمد على موقع النقطتين.

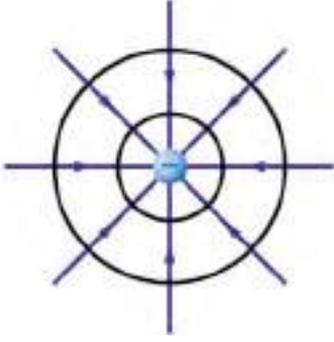
هل هناك دائماً فرق جهد كهربائي بين نقطتين؟ افترض أنك حرّكت شحنة الاختبار في مسار دائري حول الشحنة السالبة. ويُحدث المجال الكهربائي قوة يؤثر بها في شحنة الاختبار ويكون المجال دائماً عمودياً على اتجاه حركة القوة، ولذلك لا تبذل شغلاً في تحريك الشحنة، لذا فإن فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على المسار 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 مؤرّضة؛ حيث يعمل السوار الفلزي على تفريغ الشحنات الزائدة على الفني في الأرض، ويزيل أي فرق جهد كهربائي قد يتكون مع المعدات المؤرّضة. ▶



صفرًا. وعندما يكون فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين أو أكثر يساوي صفرًا نسمي هذه النقاط **سطح تساوي الجهد**، كما هو موضح في الشكل 6-7.

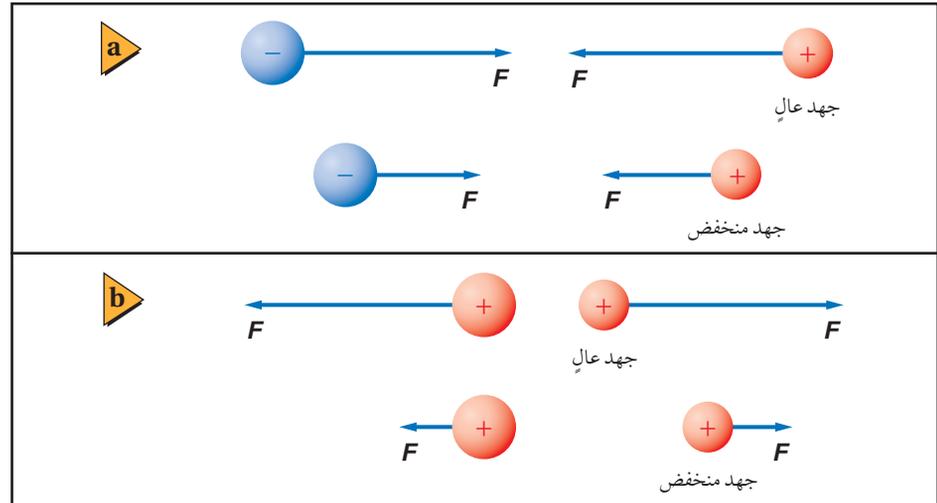


■ الشكل 6-7 فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على أي مسار دائري حول شحنة يساوي صفر.

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 الفولتметр. ويُسمى 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 6-8.

■ الشكل 6-8 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).



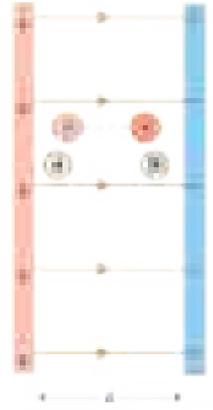
تعلمت سابقًا أنه يمكن تعريف مقدار طاقة الوضع لنظام ما بأنها تساوي صفرًا عند أي نقطة إسناد. وبالطريقة نفسها يمكن تعريف مقدار الجهد الكهربائي لأي نقطة بأنه يساوي صفرًا. وسيكون مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطة A والنقطة B هو نفسه دائمًا، بغض النظر عن نقطة الإسناد المختارة.



الجهود الكهربائية في مجال كهربائي منتظم

The Electric Potential in a Uniform Field

يمكننا الحصول على قوة كهربائية ثابتة ومجال كهربائي منتظم بوضع لوحين موصلين مستويين أحدهما مواز للآخر، على أن يُشحن أحدهما بشحنة موجبة، ويُشحن الآخر بشحنة سالبة. يكون المجال الكهربائي بين اللوحين ثابتاً مقداراً واتجاهاً عند النقاط جميعها ما عدا النقاط التي تكون عند حواف اللوحين، ويكون اتجاه المجال الكهربائي من اللوح الموجب إلى اللوح السالب. ويمثل النمط المُتشكّل من بذور الأعشاب الموضّح في الشكل 9-6 المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين.



إذا حُرّكت شحنة اختبار موجبة q' مسافة d في عكس اتجاه المجال الكهربائي من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضح في الشكل 6-9 فإنه يمكننا حساب الشغل المبذول عليها بالعلاقة الآتية: $W = q'Fd$. لذا يكون فرق الجهود الكهربائي؛ أي الشغل المبذول لكل وحدة شحنة، مساوياً $\Delta V = \frac{Fd}{q'} = \frac{F}{q'}d$. ولكن شدة المجال الكهربائي هي القوة لكل وحدة شحنة $E = \frac{F}{q'}$ ، لذا يُعبّر عن فرق الجهود الكهربائي (ΔV) بين نقطتين المسافة بينهما d في مجال كهربائي منتظم E بالمعادلة الآتية:

$$\Delta V = Ed$$

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



الشكل 9-6 تمثيل لمجال كهربائي بين لوحين متوازيين.

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 تعريفاً لـ $1 V$.

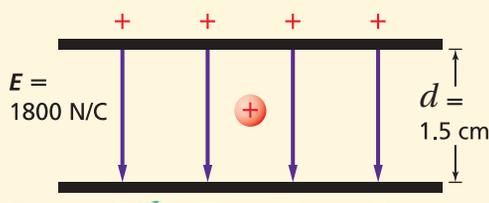
مثال 3

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:

- فرق الجهود الكهربائي بين اللوحين.
- 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 شحنات موجبة على أحدهما، وشحنات سالبة على الآخر.
- ارسم خطوط المجال الكهربائي، على أن تكون المسافات بين هذه الخطوط متساوية، وأن تتجه الخطوط من اللوح الموجب إلى اللوح السالب.
- بيّن شدة المجال الكهربائي بين اللوحين على الرسم.
- ضع بروتوناً في المجال الكهربائي.



دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها
العلمية ص 264

المجهول

$$\Delta V = ?$$

$$W = ?$$

المعلوم

$$E = 1800 \text{ N/C}$$

$$d = 1.5 \text{ cm}$$

$$q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$\Delta V = Ed$$

$$= (1800 \text{ N/C})(0.015 \text{ m})$$

$$= 27 \text{ V}$$

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

$$W = q\Delta V$$

$$= (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(27 \text{ V})$$

$$= 4.3 \times 10^{-18} \text{ J}$$

a. أوجد فرق الجهد بين اللوحين.

$$d = 0.015 \text{ m}, E = 1800 \text{ N/C}$$

b. استخدم معادلة فرق الجهد لحساب الشغل.

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

3 تقويم الجواب

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

مسائل تقويمية

- شدة المجال الكهربائي بين لوحين فلزيين واسعين متوازيين ومشحونين 6000 N/C ، والمسافة بينهما 0.05 m . احسب فرق الجهد الكهربائي بينهما.
- إذا كانت قراءة فولتметр متصل بلوحين متوازيين مشحونين 400 V عندما كانت المسافة بينهما 0.020 m ، فاحسب شدة المجال الكهربائي بينهما.
- عندما طُبِّق فرق جهد كهربائي مقداره 125 V على لوحين متوازيين تولّد بينهما مجال كهربائي شدته $4.25 \times 10^3 \text{ N/C}$. ما البعد بين اللوحين؟
- ما الشغل المبذول لتحريك شحنة 3.0 C خلال فرق جهد كهربائي مقداره 1.5 V ؟
- يمكن لبطارية سيارة جهدها 12 V ومشحونة بصورة كاملة أن تحتزن شحنة مقدارها $1.44 \times 10^6 \text{ C}$. ما مقدار الشغل الذي يمكن أن تبذله البطارية قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها؟
- يتحرك إلكترون خلال أنبوب الأشعة المهبطية لتلفاز، فتعرّض لفرق جهد مقداره 18000 V . ما مقدار الشغل المبذول على الإلكترون عند عبوره فرق الجهد هذا؟
- إذا كانت شدة المجال الكهربائي في مسارع جسيمات يساوي $4.5 \times 10^5 \text{ N/C}$ ، فما مقدار الشغل المبذول لتحريك بروتون مسافة 25 cm خلال هذا المجال؟

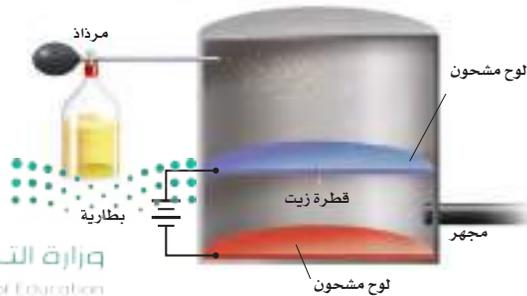
تجربة قطرة الزيت لمليكان

Millikan's Oil-Drop Experiment

يُعدّ قياس شحنة الإلكترون من أهم التطبيقات على المجال الكهربائي المنتظم بين لوحين متوازيين. وأول من قاس شحنة الإلكترون بهذه الطريقة الفيزيائي الأمريكي روبرت مليكان عام 1909م. وبين الشكل 10-6 الطريقة التي استخدمها مليكان لقياس الشحنة التي يحملها إلكترون مفرد. في البداية يُرش في الهواء قطرات زيت دقيقة بمرذاذ، فتُشحن هذه القطرات بسبب احتكاكها بالمرذاذ عند رشها، وتؤثر الجاذبية الأرضية في هذه القطرات مسببة سقوطها إلى أسفل، 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 موجباً بدرجة كافية تُسبب 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 قوة 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 باستخدام العلاقة mg ، والذي يكون صغيراً جداً بحيث لا يمكن قياسه بالطرائق العادية. ولإجراء هذا القياس تم تعليق القطرة أولاً، ثم إيقاف المجال الكهربائي بين اللوحين، وقيس معدل سقوط القطرة؛ حيث تصل القطرة إلى السرعة الحدية خلال زمن قصير بسبب الاحتكاك مع جزيئات الهواء. وتعتمد هذه السرعة على كتلة القطرة من خلال معادلة معقدة. ويمكن حساب مقدار الشحنة q باستخدام السرعة الحدية المقاسة لحساب المقدار mg ، وبمعرفة مقدار المجال الكهربائي E .

شحنة الإلكترون وجد مليكان قدراً كبيراً 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 الشحنة على القطرات يكون دائماً مضمرباً في المقدار $1.60 \times 10^{-19} C$. وكان سبب التغيرات إضافة إلكترون واحد أو أكثر إلى القطرات، أو إزالته منها. ومن هنا استنتج أن أقل تغيير حدث في مقدار الشحنة كان يساوي مقدار شحنة إلكترون واحد، لذا افترض أن كل إلكترون له دائماً الشحنة نفسها وهي $1.60 \times 10^{-19} C$. وقد بينت تجربة مليكان أن الشحنة مكّاة؛ وهذا يعني أن شحنة أي جسم هي فقط مضاعفات صحيحة لشحنة الإلكترون.



■ الشكل 10-6 يوضح هذا الشكل مقطوعاً عرضياً للجهاز الذي استخدمه مليكان في حساب شحنة الإلكترون.



المجالات الكهربائية

اربط كرة بيلسان بخيط نايلون طوله 20 cm، واربط الطرف الآخر في منتصف ماصة عصير بلاستيكية. أمسك الماصة أفقياً، وتحقق من أن الكرة معلقة ومتدلية رأسياً إلى أسفل. ثم استخدم قطعة صوف لشحن كل من الكرة ولوح بلاستيكي مربع الشكل أبعاده $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ بالمثل، وثبت اللوح البلاستيكي رأسياً، 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

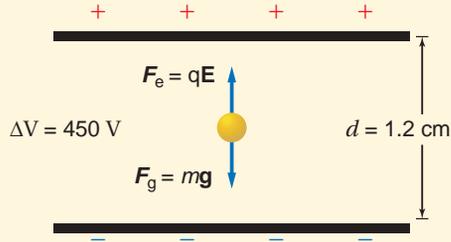
5. وضح بدلالة المجال الكهربائي، لماذا تتأرجح الكرة في اتجاه اللوح البلاستيكي المشحون؟
6. قارن بين زوايا ميلان الخيط في نقاط متعددة حول اللوح، ولماذا تتغير زوايا الميلان؟
7. استنتج ما الذي تشير إليه زاوية ميلان الخيط فيما يتعلق بشدة المجال الكهربائي واتجاهه؟

مثال 4

إيجاد شحنة قطرة زيت في تجربة قطرة الزيت لمليكان، وُجد أن وزن قطرة زيت $2.4 \times 10^{-14} \text{ N}$ ، والمسافة بين اللوحين 1.2 cm ، وعندما أصبح فرق الجهد بين اللوحين 450 V تعلقت 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 معلقة بينهما.
- ارسم المتجهات التي تمثل القوى، وسمّها.
- بيّن فرق الجهد والمسافة بين اللوحين.

المجهول

شحنة قطرة الزيت $q = ?$

عدد الإلكترونات $n = ?$

المعلوم

$\Delta V = 450 \text{ V}$

$F_g = 2.4 \times 10^{-14} \text{ N}$

$d = 1.2 \text{ cm}$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لتعليق قطرة الزيت في الهواء يجب أن تُوازن القوة الكهربائية قوة الجاذبية الأرضية.

$$F_e = F_g$$

$$qE = F_g$$

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

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

$$= \frac{(2.4 \times 10^{-14} \text{ N})(0.012 \text{ m})}{450 \text{ V}}$$

$$= 6.4 \times 10^{-19} \text{ C}$$

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

$$= \frac{(6.4 \times 10^{-19} \text{ C})}{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}$$

$$= 4$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير ص 267

$$\text{بالتعويض عن } F_e = qE$$

$$\text{بالتعويض عن } E = \frac{\Delta V}{d}$$

حل لإيجاد q :

بالتعويض عن

$$\Delta V = 450 \text{ V}, d = 0.012 \text{ m}, F_g = 2.4 \times 10^{-14} \text{ N}$$

b. لإيجاد عدد الإلكترونات على القطرة:

$$\text{بالتعويض عن } q = 6.4 \times 10^{-19} \text{ C}, e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ وحدة الشحنة $C = J/(J/C) = N \cdot m / V$.

• هل الجواب منطقي؟ النتيجة عدد صحيح وصغير من مضاعفات الشحنة الأساسية.



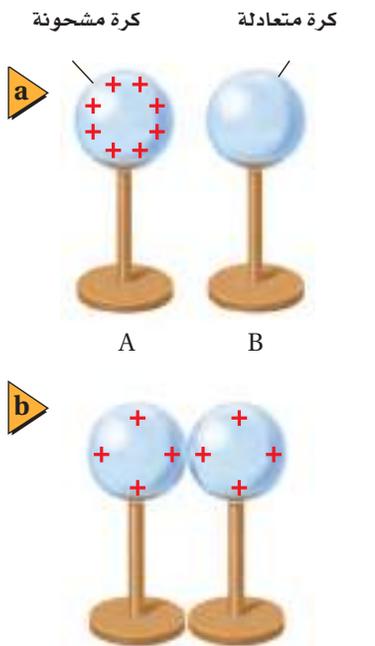
23. تسقط قطرة زيت في جهاز مليكان مع عدم وجود مجال كهربائي. ما القوى المؤثرة فيها؟ وإذا سقطت القطرة بسرعة متجهة ثابتة فصف القوى المؤثرة فيها.
24. إذا علقت قطرة زيت وزنها $1.9 \times 10^{-15} \text{ N}$ في مجال كهربائي شدته $6.0 \times 10^3 \text{ N/C}$ فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد فائض الإلكترونات التي تحملها القطرة؟
25. قطرة زيت وزنها $6.4 \times 10^{-15} \text{ N}$ تحمل إلكترونًا فائضًا واحدًا. ما شدة المجال الكهربائي اللازم لتعليق القطرة ومنعها من الحركة؟
26. علقت قطرة زيت مشحونة بشحنة موجبة وزنها $1.2 \times 10^{-14} \text{ N}$ 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 مثلاً 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 موضح في الشكل 6-11.

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 شغلاً سالباً عليها، ويكون فرق الجهد الكهربائي من A إلى B سالباً. 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 صفراً. وبعد حالة الاتزان هذه يجب بذل شغل على الشحنة الآتية لنقلها من A إلى B، وهذا لا يحدث تلقائياً، بل يتطلب زيادة في طاقة النظام. وإذا استمر نقل الشحنات سيصبح فرق الجهد الكهربائي من A إلى B موجباً. لذا يمكنك مشاهدة أن الشحنات تتحرك من A إلى B دون التأثير فيها بقوى خارجية إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين صفراً.

الشكل 11-6 عندما تلمس كرة فلزية مشحونة كرة فلزية أخرى متعادلة مساوية لها في الحجم تتوزع الشحنات على الكرتين بالتساوي.





■ الشكل 6-12 تنتقل الشحنات من الكرة ذات الجهد الأعلى إلى الكرة ذات الجهد الأقل عند تلامسهما، ويستمر انتقال الشحنات إلى أن ينعدم فرق الجهد بينهما.

كرات بأحجام مختلفة افترض أن الكرتين الموصلتين مختلفتان في الحجم، كما هو موضح في الشكل 6-12. 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.

يوضح 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 مركبة 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 فستحدث انفجارًا. ولتفادي حدوث ذلك يوصل سلك فلزي بالصهريج حتى يوصل الشحنات ويُفرغها في الأرض بطريقة آمنة، كما يوضح الشكل 6-13. وبالمثل إذا لم يتم تأريض جهاز حاسوب بوصله بالأرض فسيولد فرق جهد كهربائي بين جهاز الحاسوب والأرض، وإذا لامس شخص جهاز الحاسوب فستدفع الشحنات من الحاسوب إلى الشخص، مما قد يؤدي إلى تلف الجهاز، أو إيذاء الشخص.



■ الشكل 6-13 سلك التأريض المتصل بصهريج نפט يمنع اشتعال بخار البنزين.

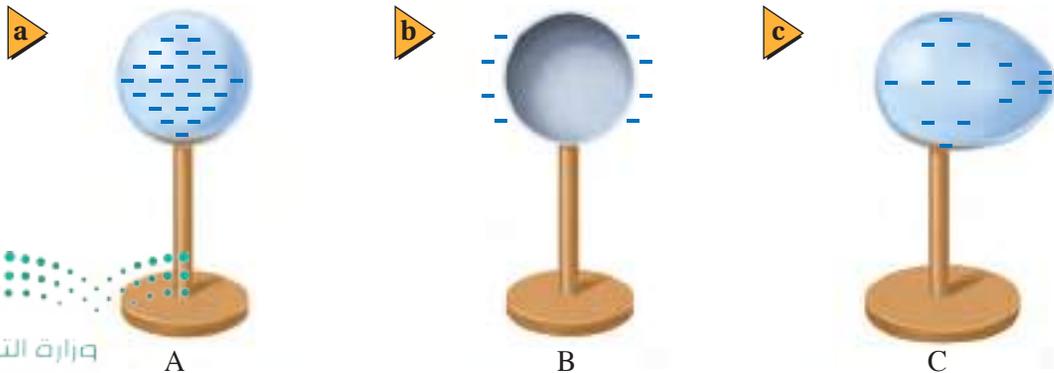
المجالات الكهربائية بالقرب من الموصلات

Electric Fields Near Conductors

تتوزع الشحنات الكهربائية على موصل مشحون مبتعداً بعضها عن بعض أقصى ما يمكن، بحيث تكون طاقة النظام أقل ما يمكن، مما يؤدي إلى توزيع الشحنات الفائضة على سطح الموصل المصمت، وكذا الحال مع الموصل الأجوف. إذا شُحن وعاء فلزي أجوف فستتوزع الشحنات على سطحه الخارجي، ولن يكون هناك أي شحنات على سطحه الداخلي، وبهذه الطريقة يعمل الوعاء الفلزي المغلق عمل درع واقية تحمي ما بداخلها من المجالات الكهربائية. فمثلاً يكون الناس داخل السيارة محميين من المجالات الكهربائية الناتجة عن البرق، وبالمثل بالنسبة لعلبة مشروبات غازية مفتوحة سيكون عدد الشحنات داخل العلبة صغيراً جداً، ولا توجد شحنات بالقرب من قاعدة العلبة، حتى وإن كان السطح الداخلي لجسم ما مُنقراً أو خشناً، مما يجعل مساحة سطحه الداخلي أكبر من مساحة سطحه الخارجي، إلا أن الشحنات ستتوزع كلها على سطحه الخارجي.

لا يكون المجال الكهربائي خارج موصل مشحون صفراً غالباً. وعلى الرغم من أن سطح الموصل يعدّ سطح تساوي جهد إلا أن المجال الكهربائي خارجه يعتمد على شكل الموصل، كما يعتمد على فرق الجهد الكهربائي بين الموصل والأرض. وتكون الشحنات أكثر تقارباً عند الرؤوس المدببة من سطح الموصل، وتكون كثافتها كبيرة، كما هو موضح في الشكل 14-6؛ لذا تكون خطوط المجال الكهربائي عند هذه الرؤوس أكثر تقارباً، ويكون المجال الكهربائي أكبر. وإذا أصبحت شدة هذا المجال كبيرة بدرجة كافية فإنه يكون قادراً على مسارعة الإلكترونات والأيونات الناتجة عن مرور الأشعة الكونية خلال الذرات، فتصطدم هذه الإلكترونات والأيونات بذرات أخرى، مما يؤدي إلى تأين المزيد من الذرات. وتظهر هذه السلسلة من التفاعلات في صورة وهج وردي اللون، كالذي يُشاهد داخل كرة التفريغ الكهربائي التي تحوي غازات. وإذا كان المجال الكهربائي كبيراً بصورة كافية فستنتج حزمة أو تيار من الأيونات والإلكترونات التي تشكل البلازما- وهي مادة موصلة- عندما تصطدم الجسيمات بجزيئات أخرى، وتصدر حرارة كهربائية، أما في الحالات الشديدة فينتج البرق. وللتقليل من عمليات التفريغ الكهربائي وحدوث الحرارة الكهربائية تُجعل الموصلات ذات الشحنة الكبيرة أو التي تعمل تحت فروق جهد كبيرة ملساء وانسيابية الشكل لتقليل المجالات الكهربائية.

■ الشكل 14-6 تتوزع الشحنات على سطح الكرة الموصلة بانتظام (a). أما الكرة الجوفاء (b) فتستقر الشحنات دائماً على سطحها الخارجي. وأما في الأشكال غير المنتظمة (c) فتقترب الشحنات بعضها من بعض عند الأطراف المدببة.



أما في مانعة الصواعق فيثبتت قضيب بطريقة تجعل المجال الكهربائي كبيراً بالقرب من طرفه، ومع استمرار تسريع المجال الكهربائي للإلكترونات والأيونات، يبدأ تشكّل مسار موصل من طرف القضيب إلى الغيوم أو العكس. ونتيجة لشكل القضيب المدبب جداً تُفَرِّغ شحنتات الغيمة في صورة شرارة في قضيب مانعة الصواعق بدلاً من تفريغها في أي نقطة مرتفعة من المنزل أو البناية. ثم تنتقل الشحنتات من قضيب مانعة الصواعق عبر موصل لتفريغ بصورة آمنة في الأرض.

يتطلب حدوث البرق عادة فرق جهد كبيراً بين غيمتين أو بين الأرض والغيوم في حالة الصاعقة يصل إلى ملايين الفولتات. وعلى الرغم من أن تشغيل أنبوب التفريغ الكهربائي الصغير الذي يحتوي على الغاز يتطلب آلاف الفولتات، إلا أن أسلاك التمديدات الكهربائية في المنازل لا تحمل عادة فرق جهد كافياً لإحداث مثل هذا التفريغ الكهربائي.

تخزين الشحنتات: المكثف

Storing Charges: The Capacitor

عند رفع كتاب عن سطح الأرض تزداد طاقة وضع جاذبية الكتاب. ويمكن تفسير ذلك على أنه تخزين للطاقة في مجال الجاذبية الأرضي. وبطريقة مماثلة يمكن تخزين الطاقة في المجال الكهربائي؛ ففي عام 1746م اخترع الفيزيائي الهولندي بيتر فان مسجنبروك جهازاً صغيراً يمكنه تخزين كمية كبيرة من الشحنتات الكهربائية. وتكريماً للمدينة ليدن التي عمل بها هذا العالم سُمي هذا الجهاز زجاجة (قارورة) ليدن. واستخدم العالم بنيامين فرانكلين زجاجة ليدن لتخزين الشحنتات الكهربائية الناتجة عن البرق، كما استخدمها في عدة تجارب أخرى. وأصبح لهذا الجهاز الذي يعمل على تخزين الشحنتات شكل جديد، بحيث أصبح أصغر حجماً، ويسمى **المكثف الكهربائي**.

عند إضافة شحنتات كهربائية إلى جسم يزداد فرق الجهد الكهربائي بين ذلك الجسم والأرض. وإذا كان شكل الجسم وحجمه ثابتين تبقى النسبة بين الشحنة المخزنة على الجسم وفرق الجهد الكهربائي $q/\Delta V$ ثابتة، وتسمى 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 شحنتات أكبر عند فرق الجهد نفسه، وبذلك تكون سعتها الكهربائية أكبر.

تجربة
عملية

هل يمكن تخزين كميات كبيرة
من الشحنتات؟

ارجع الى دليل التجارب العملية على منصة عين





■ الشكل 15-6 تبيّن الصورة
المجاورة أنواعاً 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. ويوضح الشكل 15-6 مجموعة من المكثفات التجارية التي تحوي عادة شرائط من الألومنيوم مفصولة بطبقة رقيقة من البلاستيك، ثم تلف بصورة أسطوانية حتى يقل حجمها ولا تشغل حيّزاً كبيراً.

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.

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

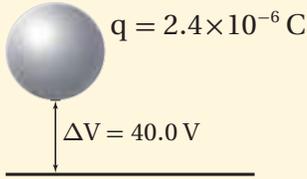
السعة الكهربائية هي النسبة بين الشحنة على أحد اللوحين و فرق الجهد بينها.

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 جداً لقياس الشحنة، فإن 1 F وحدة كبيرة جداً أيضاً لقياس السعة الكهربائية؛ فأغلب المكثفات المستخدمة في الإلكترونيات الحديثة لها سعات كهربائية تتراوح بين 10 بيكوفاراد ($10 \times 10^{-12} F$) و 500 ميكروفاراد ($500 \times 10^{-6} F$). 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 أيضاً؛ لأن سعة المكثف لا تعتمد على الشحنة q ، وإنما تعتمد على الأبعاد الهندسية للمكثف فقط.



مثال 5

إيجاد السعة الكهربائية إذا كان فرق الجهد الكهربائي بين كرة موصلة والأرض يساوي 40.0 V عند شحنها بشحنة مقدارها 2.4×10^{-6} C فما مقدار سعتها الكهربائية؟



1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم كرة فوق الأرض، وعيّن عليها الشحنة و فرق الجهد.

المجهول

المعلوم

$$C = ?$$

$$\Delta V = 40.0 \text{ V}$$

$$q = 2.4 \times 10^{-6} \text{ C}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية ص 256

$$\begin{aligned} C &= q / \Delta V \\ C &= \frac{2.4 \times 10^{-6} \text{ C}}{40.0 \text{ V}} \\ &= 6.0 \times 10^{-8} \text{ F} \\ &= 0.060 \mu\text{F} \end{aligned}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$q = 2.4 \times 10^{-6} \text{ C}, \Delta V = 40.0 \text{ V}$$

3 تقويم الجواب

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

27. مكثف كهربائي سعته $27 \mu\text{F}$ وفرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 45 V. ما مقدار شحنة المكثف؟
28. مكثفان؛ سعة الأول $3.3 \mu\text{F}$ ، وسعة الآخر $6.8 \mu\text{F}$. إذا وصل كل منهما بفرق جهد 24 V فأَي المكثفين له شحنة أكبر؟ وما مقدارها؟
29. إذا شحن كل من المكثفين في المسألة السابقة بشحنة مقدارها 3.5×10^{-4} C فأَيهما له فرق جهد كهربائي أكبر بين طرفيه؟ وما مقدارها؟
30. شحن مكثف كهربائي سعته $2.2 \mu\text{F}$ حتى أصبح فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 6.0 V. ما مقدار الشحنة الإضافية التي يتطلبها رفع فرق الجهد بين طرفيه إلى 15.0 V؟
31. عند إضافة شحنة مقدارها 2.5×10^{-5} C إلى مكثف يزداد فرق الجهد بين لوحيه من 12.0 V إلى 14.5 V. احسب مقدار سعة المكثف.





يجذب لوحا مكثف كهربائي أحدهما الآخر لأنها يحملان شحنتين مختلفتين، فإذا كانت المسافة بين لوحين 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 تخزن في مكثف سعته $22 \mu F$ ، والمسافة بين لوحيه 1.5 mm لتكون القوة بين لوحيه 2.0 N ؟

أنواع المكثفات المختلفة تصنع المكثفات بأشكال وأحجام مختلفة، كما يوضح الشكل 15-6؛ فبعض المكثفات كبيرة وضخمة جداً 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 جداً إذا لمُست. 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. وتسمى 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 لوحين المكثف بفاعلية وكفاءة، بحيث تسمح بتخزين كمية أكبر من الشحنة.



32. فرق الجهد الكهربائي ما الفرق بين طاقة الوضع الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي؟
33. المجال الكهربائي وفرق الجهد بين أن الفولت لكل متر هو نفسه نيوتن لكل كولوم.
34. تجربة مليكان عندما تتغير شحنة قطرة الزيت المعلقة 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 فعلاَم يدل ذلك بشأن الشحنة الجديدة على القطرة؟
36. السعة الكهربائية ما مقدار الشحنة المختزنة في مكثف سعته $0.47 \mu\text{F}$ عندما يُطبَّق 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 4a-6، وضح كيف تستمر الشحنات في التراكم على القبة الفلزية لمولّد فان دي جراف، ولماذا لا تتنافر الشحنات لتعود إلى الحزام عند النقطة B؟



مختبر الفيزياء

شحن المكثفات

المكثف الكهربائي جهاز مكوّن من موصلين، أو لوحين فلزيين يفصل بينهما مادة عازلة، ويُصمّم ليكون له سعة كهربائية محدّدة. وتعتمد السعة الكهربائية للمكثف على خصائصه الفيزيائية (نفاذية الوسط الكهربائي)، والأبعاد الهندسية للموصلين والعازل. وفي الرسم التخطيطي للدائرة الكهربائية يبدو المكثف أنه ينشئ دائرة مفتوحة، حتى عندما يكون المفتاح الكهربائي مغلقاً. 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 المترجمة 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؟

الأهداف

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

احتياطات السلامة



المواد والأدوات

بطارية 9V، وفولتметр، ومشابك أو مرابط خاصة ببطارية 9V، ومقاومة كهربائية $47\text{ k}\Omega$ ، وأسلاك توصيل، وساعة إيقاف، ومفتاح كهربائي، ومكثفات $1000\ \mu\text{F}$ و $500\ \mu\text{F}$ و $240\ \mu\text{F}$

الخطوات

- قبل بدء تنفيذ التجربة دع المفتاح الكهربائي مفتوحاً، ولا تصل البطارية. تحذير: كن حذراً وتجنّب تكون دائرة قصر كهربائية، وخصوصاً عند تلامس السلكين الموصلين بقطبي

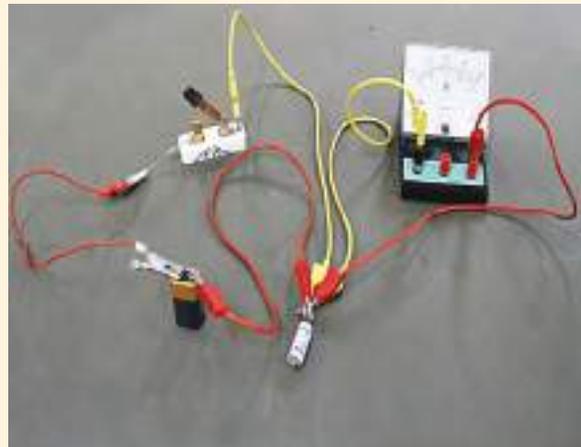
البطارية معاً. ركّب الدائرة كما هو موضح في الصورة، وذلك بتوصيل أحد طرفي المقاومة بطرف المفتاح الكهربائي، حيث تستخدم المقاومة لتقليل شحن المكثف إلى معدل يكون فيه قابلاً للقياس، ثم صل الطرف الآخر للمقاومة مع القطب السالب للبطارية 9V. ثم تفحص المكثف $1000\ \mu\text{F}$ ؛ لتحديد أيّ طرفيه قد علّم بإشارة سالبة، أو سَهْم مع إشارة سالبة عليه، حيث يُشير ذلك إلى الطرف الذي سيوصل مع القطب السالب للبطارية، ثم صل هذا القطب بالطرف الآخر للمفتاح الكهربائي. وصل الطرف الموجب للمكثف مع الطرف الموجب للبطارية.

2. صل الطرف الموجب للفولتметр مع الطرف الموجب للمكثف، والطرف السالب للفولتметр مع الطرف السالب للمكثف، ثم قارن بين الدائرة التي ركبتها والدائرة الموضحة في الصورة لتتأكد من صحة توصيلاتك. ولا تصل البطارية إلا بعد أن يتحقق المعلم من صحة التوصيلات.

3. جهّز جدول بيانات على أن تخصّص أعمدة للزمن وأخرى لفرق الجهد لكل من المكثفات 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 مقداره 5 s. افتح المفتاح الكهربائي بعد جمع البيانات.

5. عند الانتهاء من المحاولة، خذ سلكاً معزولاً وصله بطرفي المكثف. سيعمل هذا على تفريغ المكثف.



جدول البيانات

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

التجربة صُيِّمَتْ مقاومة تدفق الشحنات عن طريق توصيل مقاومة مقدارها $47\text{ k}\Omega$ 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 المطبق يساوي حاصل ضرب السعة في المقاومة، ويسمى هذا ثابت الزمن. لذا فإن $T = RC$ ؛ حيث T مقيسة بالثواني، و R مقيسة بالأوم، و C مقيسة بالفاراد. احسب ثابت الزمن لكل مكثف عند توصيله بالمقاومة $47\text{ k}\Omega$.

2. قارن بين ثابت الزمن الذي حصلت عليه والقيم التي حصلت عليها من الرسم البياني.

الفيزياء في الحياة

وضّح آلات التصوير (الكاميرات) الصغيرة المزوّدة بواضع (فلاش) مخصّص 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.

6. ضع المكثف $500\text{ }\mu\text{F}$ بدلًا من المكثف $1000\text{ }\mu\text{F}$ ، وكرّر الخطوتين 4 و 5، ودوّن البيانات في الجدول في العمود الخاص بالمكثف $500\text{ }\mu\text{F}$.

7. ضع المكثف $240\text{ }\mu\text{F}$ بدلًا من المكثف $500\text{ }\mu\text{F}$ ، وكرّر الخطوتين 4 و 5، ودوّن البيانات في الجدول في العمود الخاص بالمكثف $240\text{ }\mu\text{F}$.

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** أعد رسمًا بيانيًا على أن يكون الزمن على المحور الأفقي (x)، وفرق الجهد على المحور الرأسي (y). ارسم خطًا بيانيًا منفصلاً خاصًا بكل مكثف.

الاستنتاج والتطبيق

1. **فسّر البيانات** هل يصل جهد المكثف لحظيًا 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 يُشحن 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



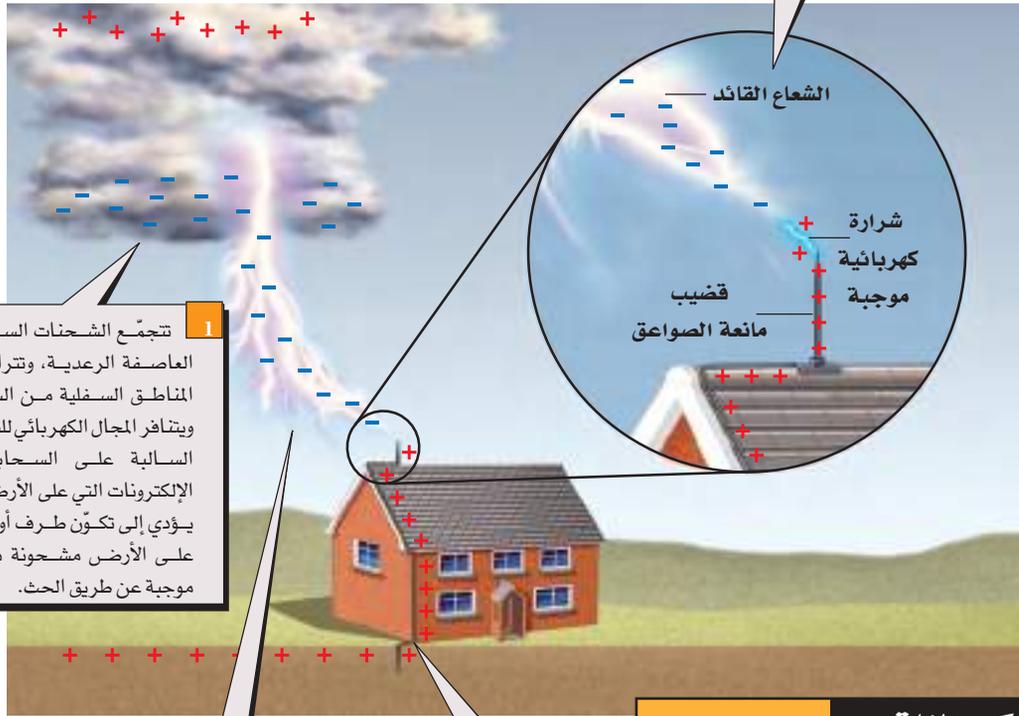
How it Works

مانعة الصواعق؟ lightning Rods?

كيف تعمل

قد يكون البرق مدمراً بصورة كبيرة؛ إذ ينتج عنه تيارات كهربائية كبيرة جداً في مواد رديئة التوصيل؛ مما يؤدي إلى توليد كمية كبيرة من الحرارة. لذا تستخدم مانعة الصواعق لحماية الأبنية عن طريق تبديد بعض الشحنات قبل حدوث ضربة الصاعقة؛ حيث توفر قضبان مانعة الصواعق مساراً آمناً للتيار الكهربائي؛ وذلك لأنها موصلات جيدة. وقد اخترع مانعة 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 قادراً على الوصول إلى قضيب مانعة الصواعق، وهو المسار الأقل ممانعة (مقاومة) إلى الأرض.



1 تتجمع الشحنات السالبة في العاصفة الرعدية، وتتراكم في المناطق السفلية من السحب، ويتناثر 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 مكوناً البلازما. ويعدّ الهواء المتأين مادة موصلة، حيث يتفرع خارجاً من الغيوم مكوناً ما يسمى عتبات قيادة التفريغ (الشعاع القائد) (step leaders).

4 ينتقل التيار الكهربائي بأمان خلال الموصل إلى سطح الأرض.

التفكير الناقد

1. كَوْنُ فرضية ما المسار الذي يسلكه التيار الكهربائي ليصل إلى الأرض إذا لم يكن المنزل مزوداً بمانعة صواعق في أثناء ضربة الصاعقة؟
2. قَوِّم 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؟



6-1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

المفردات

- المجال الكهربائي
- شحنة الاختبار
- خط المجال الكهربائي

المفاهيم الرئيسية

- 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.
- توفر خطوط المجال الكهربائي صورة للمجال الكهربائي؛ حيث تكون دائماً خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى الشحنة السالبة، ولا تتقاطع مطلقاً، وترتبط كثافتها بشدة المجال.

6-2 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

المفردات

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

المفاهيم الرئيسية

- فرق الجهد الكهربائي يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات الكهربائية في المجال الكهربائي.
- يُقاس فرق الجهد الكهربائي بوحد الفولت.
- يكون المجال الكهربائي بين لوحين مشحونين متوازيين منتظماً ما عدا النقاط التي تكون عند أطراف اللوحين؛ فيكون المجال عندها غير منتظم. ويرتبط فرق الجهد مع شدة المجال الكهربائي من خلال العلاقة الآتية:

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

$$\Delta V = Ed$$

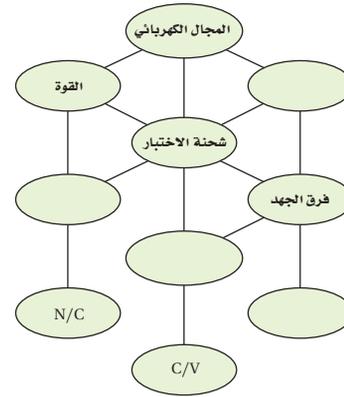
- بيّنت تجربة مليكان أن الشحنة الكهربائية مكّمة.
- بيّن مليكان أيضاً أن مقدار الشحنة السالبة التي يحملها الإلكترون تساوي $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- تتحرك الشحنات على سطح موصل حتى يصبح الجهد الكهربائي متساوياً في جميع النقاط على سطحه.
- يعمل التأريض على جعل فرق الجهد بين الجسم والأرض صفراً.
- يمنع التأريض حدوث الشرارة الكهربائية الناتجة عن ملاصقة الجسم المتعادل لأجسام أخرى تراكم عليها كمية كبيرة من الشحنات.
- يكون المجال الكهربائي أكبر ما يمكن عند المناطق المدببة 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 المكثف الكهربائي في تخزين الشحنات الكهربائية.

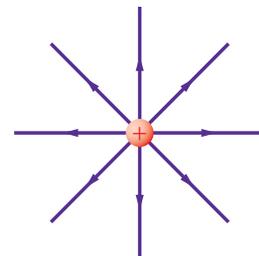
خريطة المفاهيم

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؟ (6-1)
41. كيف يحدّد اتجاه المجال الكهربائي؟ (6-1)
42. ما المقصود بخطوط المجال الكهربائي؟ (6-1)
43. ارسم بعض خطوط المجال الكهربائي لكل من الحالات الآتية: (6-1)
- 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 6-16، أين تنتهي خطوط المجال الكهربائي الخارجة من الشحنة الموجبة؟ (6-1)



الشكل 6-16 ■

45. كيف يتم الإشارة لشدة المجال الكهربائي من خلال خطوط المجال الكهربائي؟ (6-1)
46. ما وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائي؟ وما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي، وفق النظام الدولي للوحدات SI؟ (6-2)
47. عرّف الفولت بدلالة التغير في طاقة الوضع الكهربائي لشحنة تتحرك في مجال كهربائي. (6-2)
48. لماذا يفقد الجسم المشحون شحنته عند وصله بالأرض؟ (6-2)
49. وضع قضيب مطاطي مشحون على طاولة فحافظ على شحنته بعض الوقت. لماذا لا تُفَرِّغ شحنة القضيب المشحون مباشرة؟ (6-2)
50. شُحن صندوق فلزي. قارن بين تركيز الشحنة على زوايا الصندوق وتركيزها على جوانب الصندوق. (6-2)
51. أجهزة الحاسوب لماذا توضع الأجزاء الدقيقة في الأجهزة الإلكترونية - كتلك الموضحة في الشكل 6-17- داخل صندوق فلزي موضوع داخل صندوق آخر بلاستيكي؟ (6-2)



الشكل 6-17 ■

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 الكهربائي لجسيم مشحون موجود داخل مجال كهربائي عندما يُطلق الجسيم مشحون ليصبح حر الحركة؟

تقويم الفصل 6

من الشحنات، أم سيكون لهما المقدار نفسه منها؟



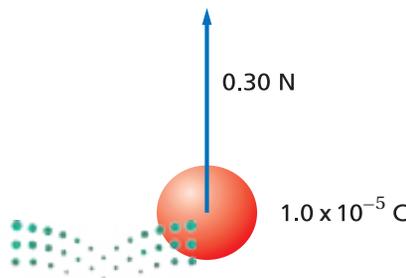
الشكل 19-6 ■

61. إذا كان قطرا كرتي ألومنيوم 1 cm و 10 cm فأَيّ الكرتين لها سعة أكبر؟
62. كيف يمكنك تخزين كميات مختلفة من الشحنة في مكثف؟

تقنان حل المسائل

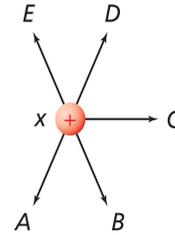
1-6 توليد المجالات الكهربائية وقياسها

- شحنة الإلكترون تساوي $-1.60 \times 10^{-19} C$ ، استخدم هذه القيمة حيث يلزم.
63. ما مقدار شحنة اختبار إذا تعرضت لقوة مقدارها $1.4 \times 10^{-8} N$ عند نقطة شدة المجال الكهربائي فيها $5.0 \times 10^{-4} N/C$ ؟
64. يوضح الشكل 20-6 شحنة موجبة مقدارها $1.0 \times 10^{-5} C$ ، تتعرض لقوة $0.30 N$ ، عند وضعها عند نقطة معينة. ما شدة المجال الكهربائي عند تلك النقطة؟



الشكل 20-6 ■

55. يبيّن الشكل 18-6 ثلاث كرات مشحونة بالمقدار نفسه. بالشحنات الموضّحة في الشكل. الكرتان y و z ثابتتان في مكانيهما، والكرة x حرة الحركة. والمسافة بين الكرة x وكل من الكرتين y و z في البداية متساوية. حدّد المسار الذي ستبدأ الكرة x في سلوكه، مفترضاً أنه لا يوجد أي قوى أخرى تؤثر في الكرات.



الشكل 18-6 ■

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 للمليكان يفضل عند إجراء هذه التجربة استخدام قطرات زيت لها شحنات صغيرة. هل يتعين عليك البحث عن القطرات التي تتحرك سريعاً أو تلك التي تتحرك ببطء عندما يتم تشغيل المجال الكهربائي؟ وضح إجابتك.
59. في تجربة مليكان تم تثبيت قطرتي زيت في المجال الكهربائي.
- a. هل يمكنك استنتاج أن شحنتيهما متماثلتان؟
- b. أيّ خصائص قطرتي الزيت نسبها متساوية؟
60. يقف زيد وأخيه يوسف على سطح مستوٍ معزول متلامسين بالأيدي عندما تم إكسابهما شحنة، كما هو موضح في الشكل 19-6. إذا كانت المساحة السطحية لجسم زيد أكبر من أخيه فمن منهما يكون له كمية أكبر

69. تتسارع الإلكترونات في أنبوب الأشعة المهبطية في تلفاز نتيجة مجال كهربائي مقداره $1.00 \times 10^5 \text{ N/C}$. احسب ما يأتي:
a. القوة المؤثرة في الإلكترون.

b. تسارع الإلكترون إذا كان المجال منتظماً. افترض أن كتلة الإلكترون $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

70. أوجد شدة المجال الكهربائي على بُعد 20.0 cm من شحنة نقطية مقدارها $8.0 \times 10^{-7} \text{ C}$.

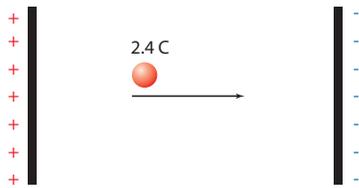
71. شحنة نواة ذرة رصاص تساوي شحنة 82 بروتوناً.

a. أوجد مقدار واتجاه المجال الكهربائي على بُعد $1.0 \times 10^{-10} \text{ m}$ من النواة.

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

2-6 تطبيقات المجالات الكهربائية

72. إذا بُدِّل شغل مقداره 120 J لتحريك شحنة مقدارها 2.4 C من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، كما هو موضح في الشكل 6-22، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؟



الشكل 6-22 ■

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 $1.5 \times 10^3 \text{ N/C}$ ، والبعد بينهما 0.060 m ، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين بوحدة الفولت؟

65. إذا كان المجال الكهربائي في الغلاف الجوي يساوي 150 N/C تقريباً، 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.

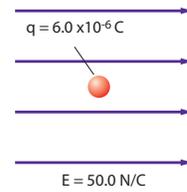
c. قارن بين القوة في الفرع **b** وقوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الإلكترون نفسه. (كتلة الإلكترون تساوي $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$)

66. ارسم بدقة الحالات الآتية:

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

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

67. وضعت شحنة اختبار موجبة مقدارها $6.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ في مجال كهربائي شدته 50.0 N/C ، كما هو موضح في الشكل 6-21. ما مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار؟



الشكل 6-21 ■

68. ثلاث شحنات X و Y و Z يبعد بعضها عن بعض مسافات متساوية. إذا كان مقدار الشحنة X يساوي $+1.0 \mu\text{C}$ ، ومقدار الشحنة Y يساوي $+2.0 \mu\text{C}$ ، والشحنة Z صغيرة وسالبة:
a. فارسم سهمًا يُمثل القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة Z.

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

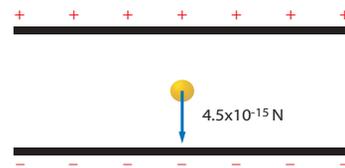
تقويم الفصل 6

76. تبين قراءة فولتметр 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. يخزن مكثف موصول بمصدر جهد 45.0 V شحنة مقدارها $90.0 \mu\text{C}$. ما مقدار سعة المكثف؟

78. تم تثبيت قطرة الزيت الموضحة في الشكل 23-6 والمشحونة بشحنة سالبة في مجال كهربائي شدته $5.6 \times 10^3 \text{ N/C}$. إذا كان وزن القطرة $4.5 \times 10^{-15} \text{ N}$:

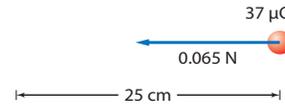
- a. فما مقدار الشحنة التي تحملها القطرة؟
b. وما عدد الإلكترونات الفائضة التي تحملها القطرة؟



الشكل 23-6

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 $37 \mu\text{C}$ مسافة 25 cm في مجال كهربائي منتظم، كما يوضح الشكل 24-6، فما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين؟



الشكل 24-6

81. آلة التصوير يعبر عن الطاقة المخزنة في مكثف سعته C ، و فرق 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 25-6. إذا سُحِن مكثف في آلة تصوير ماثلة



الشكل 25-6

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 $1.0 \times 10^{-4} \text{ s}$. 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 الليزر نبضات صغيرة من الطاقة تُخزّن في غرف كبيرة مملوءة بالمكثفات. وتقدر السعة الكهربائية لغرفة واحدة بـ $61 \times 10^{-3} \text{ F}$ تشحن حتى يبلغ فرق الجهد عليها 10.0 kV .

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

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

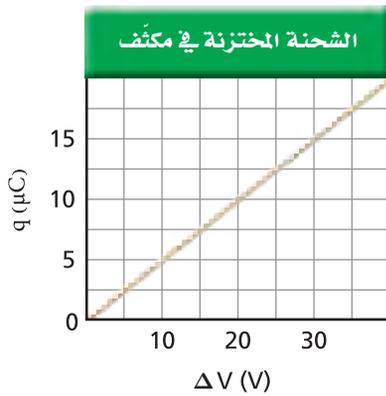
c. إذا تم شحن المكثفات بمولّد قدرته 1.0 kW ، فما الزمن بالثواني اللازم لشحن المكثفات؟



مراجعة عامة

ارجع إلى الرسم البياني الموضح في الشكل 28-6، الذي يمثل الشحنة المخزنة في مكثف في أثناء زيادة فرق الجهد عليه، عند حل المسائل 91-95.

91. ماذا يمثل ميل الخط الموضح على الرسم البياني؟
92. ما سعة المكثف الممثل في هذا الشكل؟
93. ماذا تمثل 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 $q\Delta V$ ؟



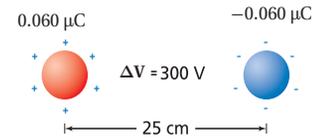
الشكل 28-6 ■

96. مثل بيانياً 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 صفراً؟
98. ما شدة المجال الكهربائي على بُعد 0 m من شحنة نقطية؟ هل هناك شيء يشبه الشحنة النقطية تماماً؟

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؟

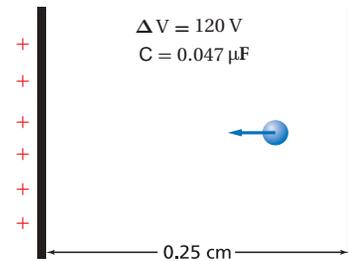
84. ما مقدار الشغل المبذول لتحريك شحنة مقدارها $0.25 \mu\text{C}$ بين لوحين متوازيين، البعد بينهما 0.40 cm ، إذا كان المجال بين اللوحين 6400 N/C ؟
85. ما مقدار الشحنات المخزنة في مكثف ذي لوحين متوازيين سعته $0.22 \mu\text{F}$ ، إذا كان البعد بين لوحيه 1.2 cm ، والمجال الكهربائي بينهما 2400 N/C ؟
86. يبين الشكل 26-6 كرتين فلزيتين صغيرتين متماثلتين، البعد بينهما 25 cm ، وتحملان شحنتين مختلفتين في النوع، مقدار كل منهما $0.060 \mu\text{C}$. إذا كان فرق الجهد بينهما 300 V فما مقدار السعة الكهربائية للنظام؟



الشكل 26-6 ■

ارجع إلى المكثف الموضح في الشكل 27-6 عند حل المسائل 87-90.

87. إذا شُحن هذا المكثف حتى أصبح فرق الجهد بين لوحيه 120 V فما مقدار الشحنة المخزنة فيه؟
88. ما مقدار شدة المجال الكهربائي بين لوحَي المكثف؟
89. إذا وضع إلكترون بين لوحَي المكثف فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟
90. ما مقدار الشغل اللازم لتحريك شحنة إضافية مقدارها $0.010 \mu\text{C}$ بين لوحَي المكثف عندما يكون فرق الجهد بينهما 120 V ؟

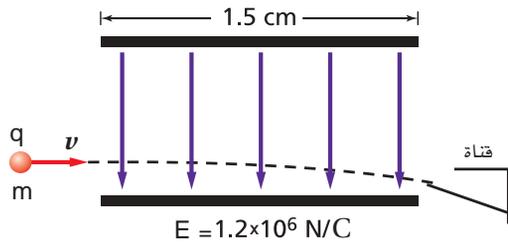


الشكل 27-6 ■

تقويم الفصل 6

c. ما الزمن الذي بقيت فيه القطرات بين اللوحين؟

d. ما إزاحة القطرات؟



الشكل 30-6 ■

102. **تطبيق المفاهيم** افترض أن القمر يحمل شحنة فائضة

تساوي $-q$ ، وأن الأرض تحمل شحنة فائضة تساوي

$+10q$ ، ما مقدار الشحنة q التي تنتج مقدار القوة

نفسه الناتج عن قوة الجاذبية بين كتليهما؟

الكتابة في الفيزياء

103. اختر اسماً 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 برَّر 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 5)

a. مضاعفة r ثلاث مرات.

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

c. مضاعفة كل من r ، و Q ثلاث مرات.

d. مضاعفة كل من r ، و Q مرتين.

e. مضاعفة كل من r ، و Q ، و q ثلاث مرات.

100. **حلل واستنتج** وُضعت الكرتان الصغيرتان A

و B على محور x ، كما هو موضح في الشكل 29-6.

فإذا كانت شحنة الكرة A تساوي $3.00 \times 10^{-6} \text{ C}$ ،

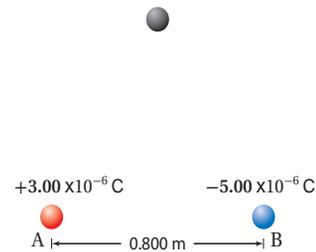
والكرة B تبعد مسافة مقدارها 0.800 m عن يمين

الكرة A، وتحمل شحنة مقدارها $-5.00 \times 10^{-6} \text{ C}$

فما شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة فوق

المحور x ، بحيث تشكل هذه النقطة رأس مثلث

متساوي الأضلاع مع الكرتين A و B؟



الشكل 29-6 ■

101. **حلل واستنتج** في طباعة نفث الحبر، تُعطى قطرات الحبر

كمية معينة من الشحنة قبل أن تتحرك بين لوحين كبيرين

متوازيين، الهدف منها توجيه الشحنات بحيث يتم

إيقافها لتتحرك في قناة؛ لكي لا تصل إلى الورقة،

كما هو موضح في الشكل 30-6. ويبلغ طول كل

لوح 1.5 cm ، ويتولد بينهما مجال كهربائي مقدارُه

$1.2 \times 10^6 \text{ N/C}$. فإذا تحركت قطرات حبر، كتلة كل

منها 0.10 ng ، وشحنتها $1.0 \times 10^{-16} \text{ C}$ ، أفقيًا بسرعة

15 m/s في اتجاه مواز 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 الراسي للقطرات؟



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. لماذا يقاس المجال الكهربائي بشحنة اختبار صغيرة فقط؟
 (A) حتى لا تُشَتَّ 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.

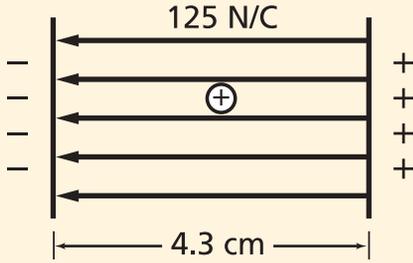
2. إذا تأثرت شحنة مقدارها $2.1 \times 10^{-9} \text{ C}$ بقوة مقدارها 14 N، فما مقدار المجال الكهربائي المؤثر؟
 (A) $0.15 \times 10^{-9} \text{ N/C}$
 (B) $6.7 \times 10^{-9} \text{ N/C}$
 (C) $29 \times 10^{-9} \text{ N/C}$
 (D) $6.7 \times 10^9 \text{ N/C}$

3. تتأثر شحنة اختبار موجبة مقدارها $8.7 \mu\text{C}$ بقوة $8.1 \times 10^{-6} \text{ N}$ في اتجاه يصنع زاوية 24° شمال الشرق. ما مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه في موقع شحنة الاختبار؟
 (A) $7.0 \times 10^{-8} \text{ N/C}$ ، 24° شمال الشرق.
 (B) $1.7 \times 10^{-6} \text{ N/C}$ ، 24° جنوب الغرب.
 (C) $1.1 \times 10^{-3} \text{ N/C}$ ، 24° غرب الجنوب.
 (D) $9.3 \times 10^{-1} \text{ N/C}$ ، 24° شمال الشرق.

4. ما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين لوحين يبعد أحدهما عن الآخر 18 cm، والمجال الكهربائي بينهما $4.8 \times 10^3 \text{ N/C}$ ؟
 (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) $5.5 \times 10^{-23} \text{ J}$
 (B) $8.6 \times 10^{-19} \text{ J}$
 (C) $1.1 \times 10^{-16} \text{ J}$
 (D) 5.4 J

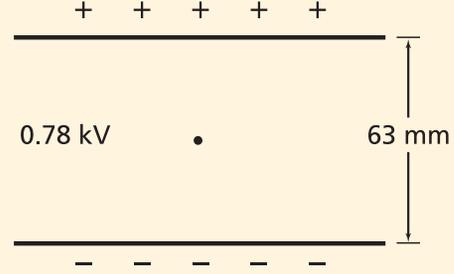


6. كيف تم تحديد قيمة المجال الكهربائي في تجربة قطرة الزيت للمليكان؟
 (A) باستخدام مغناطيس كهربائي قابل للقياس.
 (B) من خلال فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين.
 (C) من خلال مقدار الشحنة.
 (D) بمقياس كهربائي.

7. في تجربة قطرة الزيت، تم تثبيت قطرة زيت وزنها $1.9 \times 10^{-14} \text{ N}$ 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) $-1.5 \times 10^{-18} \text{ C}$
 (B) $-3.9 \times 10^{-16} \text{ C}$
 (C) $-1.2 \times 10^{-15} \text{ C}$
 (D) $-9.3 \times 10^{-13} \text{ C}$





8. مكثف سعته $0.093 \mu\text{F}$. إذا كانت شحنته $58 \mu\text{C}$ فما مقدار فرق الجهد الكهربائي عليه؟

$5.4 \times 10^{-12} \text{ V}$ (A)

$1.6 \times 10^{-6} \text{ V}$ (B)

$6.2 \times 10^2 \text{ V}$ (C)

$5.4 \times 10^3 \text{ V}$ (D)

الأسئلة الممتدة

9. افترض أن قطرة زيت تحمل 18 إلكترونًا إضافيًا. احسب شحنة قطرة الزيت، واحسب فرق الجهد الكهربائي اللازم لتشيتها بين لوحين فلزيين متوازيين ومشحونين البعد بينها 14.1 mm ، إذا كان وزنها $6.12 \times 10^{-14} \text{ N}$.

✓ إرشاد

استعمل نظام الأصدقاء

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



الكهرباء التيارية

Current Electricity

الفصل

7

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- توضيح تحولات 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 غالباً إلى 500, 000 V.

فكر

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



هل يمكنك إنارة مصباح كهربائي؟

سؤال التجربة إذا أعطيت 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 وصلت نهايته بقطبي بطارية.**

- أنشئ رسمًا تخطيطيًا لطريقتين يُمكنك بهما إنارة المصباح. تأكد من كتابة أسماء الأجزاء؛ البطارية والسلك والمصباح على الرسم.
- أنشئ رسمًا تخطيطيًا 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 رسوماتك الخاصة والمصباح المضيء؟ وما العلاقة المشتركة بين رسوماتك الخاصة والمصباح غير المضيء؟ وفقًا لملاحظاتك، ما الشروط التي يجب توافرها لكي يضيء المصباح؟

التفكير الناقد ما الذي يؤدي إلى سريان الكهرباء في المصباح؟



7-1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية Current and Circuits

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	المقاومة الكهربائية
الأمبير	التوصيل على التوازي
التوصيل على التوالي	

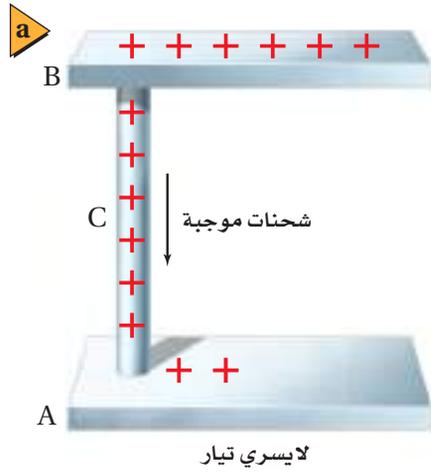
لا يمكن الاستغناء عن الطاقة الكهربائية في حياتنا اليومية؛ وهي لا تفتنى بل تتحول إلى أشكال أخرى بسهولة. فهناك أمثلة كثيرة على ذلك؛ ففي منزلك تساعدك الأنوار على القراءة، كما يعتمد عمل الحواسيب على الكهرباء. أما خارج المنزل فمصابيح إنارة الشوارع والإشارات الضوئية تستخدم تدفق الشحنات الكهربائية. وستتعلم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

تعلم أن للماء المتدفق من أعلى شلال طاقة وضع وطاقة حركية. ورغم توافر كمية كبيرة من طاقتي الوضع والحركة الطبيعيين 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.

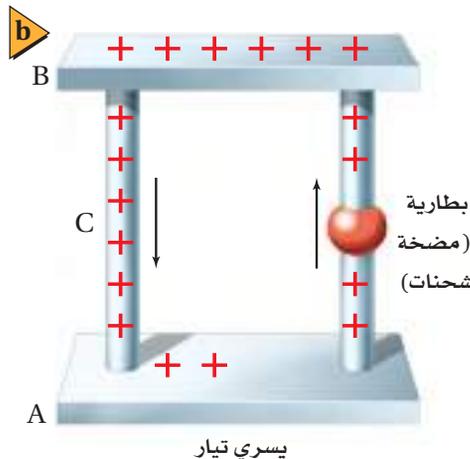
توليد التيار الكهربائي Producing Electric Current

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

ويسمى المعدل الزمني لتدفق الشحنة الكهربائية **التيار الكهربائي**. ويوضح الشكل 7-1a 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. ويسمى تدفق الشحنات الموجبة **التيار الاصطلاحي**. ويتوقف التدفق عندما يصبح فرق الجهد بين A و B و C صفراً. ويمكنك المحافظة أو الإبقاء على وجود فرق جهد كهربائي بين A و B عن طريق ضخ جسيمات مشحونة من اللوح A لتعود إلى اللوح B، كما هو موضح في الشكل 7-1b. ولأن المضخة (مصدر الجهد) تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات فإنها تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي حتى تعمل. ولهذه الطاقة مصادر متنوعة؛ فمثلاً 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 معاً 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 1-7 يُعرّف التيار الاصطلاحي بأنه تدفق الشحنات الموجبة من اللوح الموجب إلى اللوح السالب (a). ويوضح المؤد 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.



الدوائر الكهربائية Electric Circuits

تتحرك الشحنات الموضحة في الشكل 1b-7 في مسار مغلق، بحيث تتحرك في دورة تبدأ من البطارية (المضخة)، ثم تصل إلى اللوح B من خلال الموصل C، وتصل بعد ذلك إلى اللوح A لتعود إلى المضخة مرة أخرى. وتسمى أي حلقة مغلقة أو مسار موصل يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية **الدائرة 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 الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من B إلى A. وتتحول عادة طاقة الوضع التي تفقدها الشحنات المتحركة (qV) بهذه الأداة إلى أشكال أخرى للطاقة. فمثلًا يعمل المحرك على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية، ويحوّل المصباح 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 تيارًا كهربائيًا.

حفظ الشحنة الشحنات لا تبنى ولا تستحدث، ولكن يمكن فصلها؛ لذا فإن الكمية الكلية للشحنة - عدد الإلكترونات السالبة والأيونات الموجبة - في الدائرة لا تتغير. فإذا تدفق كولوم واحد من الشحنات الكهربائية خلال ثانية واحدة في جزء من الدائرة الكهربائية المغلقة فسيُتدفق المقدار نفسه من الشحنات في جميع أجزاء الدائرة نفسها، لذا تكون كمية الشحنة محفوظة. كما تكون الطاقة محفوظة أيضًا؛ حيث إن التغير في الطاقة الكهربائية ΔE يساوي qV . ولأن q محفوظة فإن التغير الكلي في طاقة الوضع للشحنات التي تحركت دورة كاملة في الدائرة الكهربائية يساوي صفرًا. وتكون الزيادة في فرق الجهد في جزء من دائرة كهربائية مساوية للنقصان في فرق الجهد خلال الأجزاء الأخرى منها.

معدل تدفق الشحنة ومعدل تحول الطاقة

Rates of Charge Flow and Energy Transfers

تمثل القدرة المعدل الزمني لتحويل الطاقة، وتُقاس بوحدة الواط W ، فإذا حوّل مولّد كهربائي I من الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية في كل ثانية فعندئذ يمكننا القول إن المولد يحول الطاقة بمعدل I J/s أو I W. وتعتمد الطاقة التي يحملها التيار الكهربائي على كمية الشحنات المنقولة q ، كما تعتمد أيضًا على فرق الجهد V بين طرفي المسار الذي يتحرك فيه التيار؛ أي أن $E = qV$. ويسمى معدل تدفق الشحنة الكهربائية q/t شدة التيار الكهربائي، ويقاس بوحدة كولوم لكل ثانية؛ حيث وحدة قياس كمية الشحنة الكهربائية هي الكولوم، كما درست سابقًا. ويُرمز إلى التيار الكهربائي بالرمز I ، لذا فإن $I = q/t$. ويسمى تدفق I C/s **الأمبير**، ويرمز له بالرمز A . وهي الوحدة المعيارية لشدة التيار الكهربائي في النظام الدولي للوحدات SI.



ترتبط الطاقة التي يحملها التيار الكهربائي مع الجهد الكهربائي من خلال العلاقة $E = qV$. وحيث إن التيار $I = q/t$ يمثل 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 مضروباً في فرق الجهد.

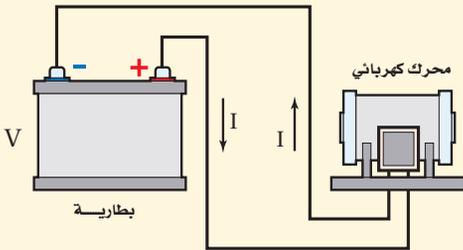
إذا كان التيار المار في محرك كهربائي يساوي 3.0 A، وفرق الجهد 120 V فإن قدرة المحرك تحسب كما يأتي: $P = (3.0 \text{ C/s})(120 \text{ J/C}) = 360 \text{ J/s}$ والتي تساوي 360 W.

مثال 1

القدرة الكهربائية والطاقة ولدت بطارية جهدها 6.0 V تياراً 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.
- وضح اتجاه التيار الاصطلاحي.

المجهول

$$P = ?$$

$$E = ?$$

المعلوم

$$V = 6.0 \text{ V}$$

$$I = 0.50 \text{ A}$$

$$t = 5.0 \text{ min}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

$$\text{بالتعويض عن } V = 6.0 \text{ V}, I = 0.50 \text{ A}$$

دليل الرياضيات
الأرقام المعنوية ص 253

$$P = IV$$

$$= (0.50 \text{ A})(6.0 \text{ V})$$

$$= 3.0 \text{ W}$$

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

$$E = Pt$$

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

$$= 9.0 \times 10^2 \text{ J}$$

بالتعويض عن $t = 5.0 \text{ min}$, $P = 3.0 \text{ W}$

3 تقويم الجواب

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

مسائل تدريبية

1. إذا مرَّ تيار كهربائي مقداره 0.50 A في مصباح كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 125 V ، فما المعدل الزمني لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية؟ افترض أن كفاءة المصباح 100% .
2. توكَّد تيار مقداره 2.0 A في مصباح متصل ببطارية سيارة. ما مقدار القدرة المستهلكة في المصباح إذا كان فرق الجهد عليه 12 V ؟
3. ما مقدار التيار الكهربائي المار في مصباح قدرته 75 W متصل بمصدر جهد مقداره 125 V ؟
4. يمرَّ تيار كهربائي مقداره 210 A في جهاز بدء التشغيل في محرك سيارة. فإذا كان فرق الجهد بين قطبي البطارية 12 V فما مقدار الطاقة الكهربائية التي تصل إلى جهاز بدء التشغيل خلال 10.0 s ؟
5. مصباح 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

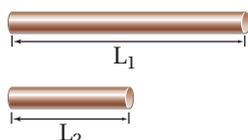
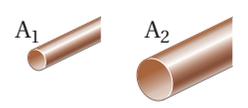
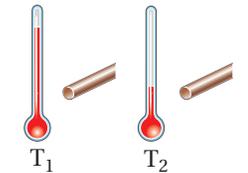
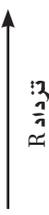
درس العالم أوم (1854-1787) العلاقة بين التيار وفرق الجهد، وتوصل إلى أن التيار الكهربائي يتناسب طردياً مع فرق الجهد، وعُرفت هذه النتيجة باسم قانون أوم. افترض أن هناك فرق جهد كهربائي بين موصلين، فإذا وصلا بقضيب نحاسي، فسينتج عن ذلك تيار كهربائي كبير. أما عند وضع قضيب زجاجي بينهما فغالباً لن يسري تيار كهربائي. وتسمى الخاصية التي تحدد مقدار التيار الذي سيمر **المقاومة الكهربائية**. يحتوي الجدول 1-7 على قائمة لبعض العوامل التي تؤثر في المقاومة، حيث يتم قياس المقاومة بتطبيق فرق جهد على طرفي الموصل، ثم قسمة الجهد على التيار المتولد. وتعرف المقاومة R بأنها نسبة فرق الجهد الكهربائي V إلى التيار الكهربائي I.

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

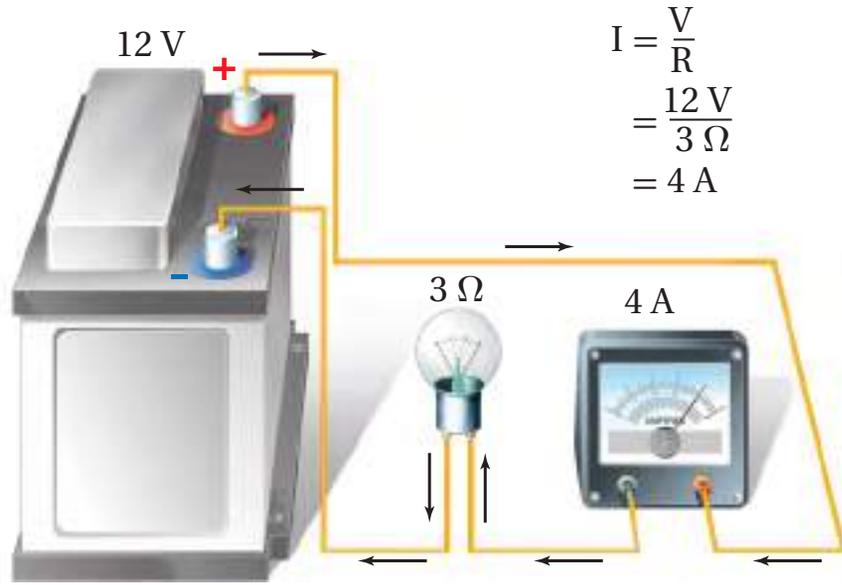
المقاومة

المقاومة تساوي فرق الجهد الكهربائي مقسوماً على شدة التيار.

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

الجدول 1-7		
تغير المقاومة		
مثال	كيفية تغير المقاومة	العامل
$R_{L1} > R_{L2}$ 	تزداد المقاومة الكهربائية بزيادة الطول.	الطول
$R_{A1} > R_{A2}$ 	تزداد المقاومة الكهربائية بتقصان مساحة المقطع العرضي.	مساحة المقطع العرضي
$R_{T1} > R_{T2}$ 	تزداد المقاومة بزيادة درجة الحرارة.	درجة الحرارة
البلاتين الحديد الألومنيوم الذهب النحاس الفضة 	عند تثبيت كل من الطول ومساحة المقطع العرضي ودرجة الحرارة، تتغير المقاومة الكهربائية وفق نوع المادة المستخدمة.	نوع المادة

■ الشكل 2-7 يُعرّف الأوم الواحد
 (1 Ω) بأنه 1 V/A. يمر تيار كهربائي
 مقداره 4 A في دائرة كهربائية تحوي
 مقاومة كهربائية مقدارها 3 Ω عند
 وصلها ببطارية فرق الجهد بين قطبيها
 12 V.



يمر فيه تيار شدته 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V. ويوضح الشكل 2-7 دائرة كهربائية بسيطة تربط بين المقاومة والتيار والجهد. وقد أكملت الدائرة الكهربائية بتوصيل أميتر بها؛ وهو جهاز يقيس شدة التيار الكهربائي.

وقد سُميت 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 المطبق عليها. ويُقال عن الموصل إنه يُحقق قانون أوم إذا كانت مقاومته ثابتة لا تعتمد على فرق الجهد بين طرفيه.

وتُحقق 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 تُحقق قانون أوم. فالمزدياح والآلة الحاسبة يحتويان عددًا من الترانزستورات والصمامات الثنائية (الدايودات)، وحتى المصباح الكهربائي له أيضًا مقاومة تعتمد على درجة حرارته، كما أنه لا يُحقق قانون أوم.

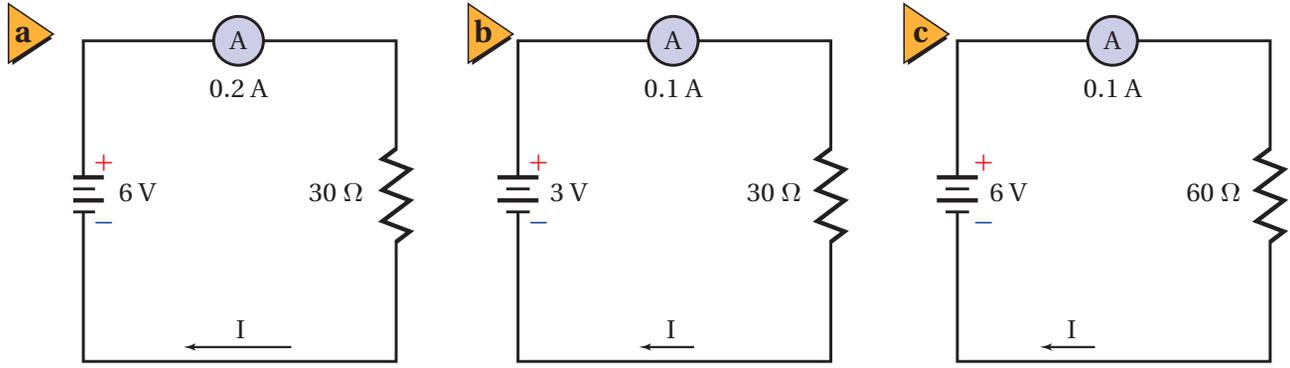
إن مقاومة الأسلاك المستخدمة في توصيل الأجهزة الكهربائية قليلة. فمقاومة سلك مثالي طوله 1 m من النوع المستخدم في مختبرات الفيزياء تساوي 0.03 Ω، أما الأسلاك المستخدمة في التمديدات المنزلية فتكون مقاومتها صغيرة وتساوي 0.004 Ω تقريبًا لكل متر من طولها. ولأن مقاومة هذه الأسلاك قليلة جدًا فإنه لا يحدث - غالبًا - نقصان أو هبوط للجهد خلالها. ولإنتاج هبوط أكبر في الجهد يلزم وجود مقاومة كبيرة مُركزة في حجم صغير. ويمكن صنع المقاومات من الجرافيت أو أشباه الموصلات أو باستعمال أسلاك طويلة ورفيعة.

وهناك طريقتان للتحكم في شدة التيار المار في دائرة كهربائية؛ حيث يمكن التحكم في

تطبيق الفيزياء

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



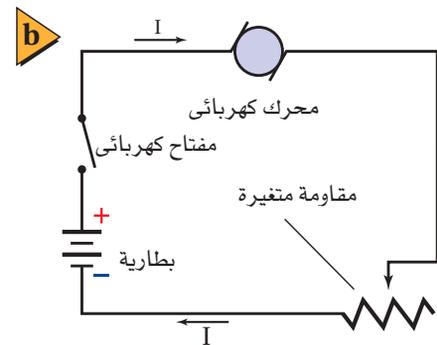
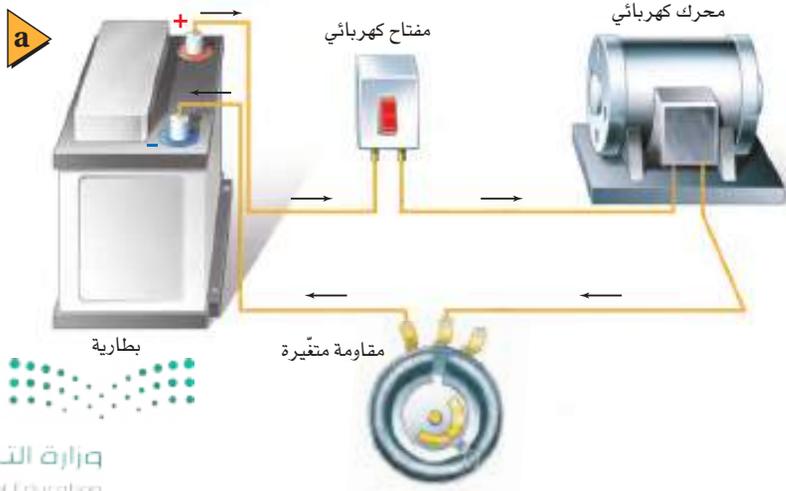


شدة التيار الكهربائي I عن طريق تغيير V أو R أو كليهما؛ وذلك لأن $I = V/R$. ويوضح الشكل 7-3a دائرة بسيطة؛ فعندما تكون V تساوي $6V$ ، و R تساوي 30Ω يكون مقدار التيار $0.2A$. فكيف يمكن تقليل مقدار التيار ليصبح $0.1A$ ؟ بالرجوع إلى قانون أوم، تلاحظ أنه كلما زاد فرق الجهد المُطبَّق على مقاومة زادت شدة التيار الكهربائي المار فيه، أما إذا قلَّ فرق الجهد المُطبَّق على المقاومة إلى النصف فسوف تقل شدة التيار المار فيه إلى النصف أيضًا. ويوضح الشكل 7-3b أن الجهد المُطبَّق على طرفي المقاومة قلَّ من $6V$ إلى $3V$ ؛ وذلك لتقليل التيار ليصبح $0.1A$. وهناك طريقة أخرى لتقليل التيار حتى يصبح $0.1A$ ، وذلك بوضع مقاومة 60Ω بدلاً من المقاومة 30Ω ، كما هو موضح في الشكل 7-3c.

وتُستخدم المقاومات عادةً للتحكم في التيار المار في الدائرة الكهربائية، أو في أجزاء منها. ونحتاج أحيانًا في بعض التطبيقات إلى تغيير سلس ومستمر للتيار. فمثلًا 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 4-7 دائرة كهربائية تحتوي على مقاومة متغيرة. وتتكون بعض المقاومات المتغيرة من ملف مصنوع من سلك فلزي ونقطة اتصال منزلق (متحركة). وبتحريك نقطة الاتصال إلى مواقع مختلفة على

الشكل 7-3 يمكن التحكم في التيار المار في الدائرة البسيطة الموضحة في الشكل (a) عن طريق إزالة بعض الخلايا الجافة (b) أو بزيادة مقاومة الدائرة (c).

الشكل 4-7 يمكن استعمال مقاومة متغيرة للتحكم في التيار المار في دائرة كهربائية.



الملف يتغير طول السلك الذي يصبح ضمن الدائرة الكهربائية؛ فزيادة طول السلك في الدائرة تزداد مقاومة الدائرة، لذا يتغير التيار وفق المعادلة $I = V/R$. وهذه الطريقة يمكن تعديل سرعة محرك من دوران سريع عندما يكون طول السلك في الدائرة قصيرًا، ليصبح دورانه بطيئًا عند زيادة طول السلك في الدائرة. وهناك أمثلة أخرى على استخدام المقاومات المتغيرة للتحكم في مستويات الطاقة الكهربائية في التلفاز وضبطها، مثل التحكم في الصوت ودرجة سطوع الصورة وتباينها والألوان، وتعدّ جميع أدوات الضبط هذه مقاومات متغيرة.

الربط مع الأحياء

جسم الإنسان يؤثر جسم الإنسان 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 خطيرة. ويمكن الشعور بتيار كهربائي صغير يصل مقداره إلى قيمة قريبة من 1 mA في صورة صدمة كهربائية خفيفة. أما التيارات التي مقاديرها قريبة من 15 mA فقد تؤدي إلى فقدان السيطرة على العضلات. في حين أن التيارات التي مقاديرها قريبة من 100 mA قد تؤدي إلى الموت.

تمثيل الدوائر الكهربائية Diagramming Circuits

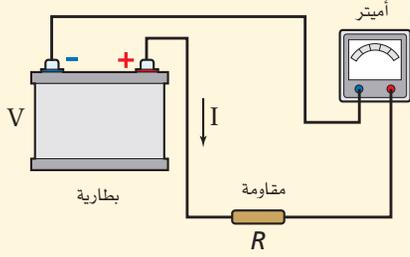
يمكن وصف دائرة كهربائية بسيطة بالكلمات، كما يمكن أيضًا تصويرها فوتوجرافيًا أو بالرسم الفني لأجزائها. وترسم الدوائر الكهربائية غالبًا باستخدام رموز معينة لأجزاء الدائرة، ومثل هذا الرسم يسمى الرسم التخطيطي للدائرة. ويوضح الشكل 5-7 بعض الرموز المستخدمة في الرسوم التخطيطية للدوائر الكهربائية.

الشكل 5-7 تستخدم هذه الرموز عادةً

لرسم التخطيطي للدوائر الكهربائية.

موصل	مقاومة ثابتة	تأريض	لا يوجد نقطة توصيل كهربائي	بطارية
مفتاح كهربائي	مقاومة متغيرة			
منصهر كهربائي	ملف (محث)			
مكثف		مولد تيار مستمر (DC) أو محرك كهربائي	فولتметр	أميتر

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



1 تحليل المسألة ورسمها

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

المجهول

$$I = ?$$

المعلوم

$$R = 10.0 \Omega$$

$$V = 30.0 V$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية ص 256

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

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

3 تقويم الجواب

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

افتراض 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 33Ω ، ومقدار التيار المار في تلك الدائرة 3.8 A، فما مقدار جهد المصدر؟

7. يمر تيار مقداره $2.0 \times 10^{-4} A$ 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. وُصل مصباح كُتب عليه 75 W بمصدر جهد 125 V، احسب مقدار:

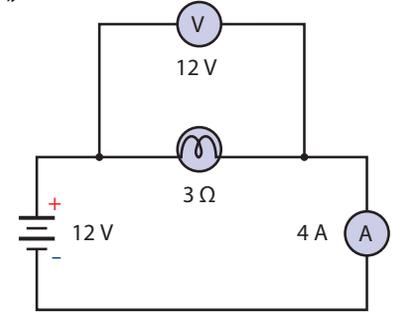
a. التيار المار في المصباح. b. مقاومة المصباح.

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؟

a**b**

■ الشكل 6-7 تمثيل تصويري لدائرة بسيطة (a)، وتمثيل آخر تخطيطي (b).

يوضح الشكلان 7-6a و 7-6b الدائرة نفسها بالرسم التصويري والرسم التخطيطي. ولعلك تلاحظ أن الشحنة الكهربائية في كلا الشكلين تتدفق خارجاً من القطب الموجب للبطارية. ولإنشاء الرسوم التخطيطية للدوائر الكهربائية استخدم استراتيجية حل المسألة أدناه، وحدد دائماً اتجاه التيار الاصطلاحي.

تعلمت أن الأميتر يقيس التيار، والفولتметр يقيس فرق الجهد. ولكل جهاز طرفان يميزان عادة بـ + و - لأجهزة قياس التيار المستمر. يقيس الفولتметр فرق الجهد على أي من أجزاء الدائرة أو عناصرها. ولقياس فرق الجهد الكهربائي على أي عنصر في الدائرة، يوصل دائماً طرف الفولتметр الموجب + بطرف العنصر الأقرب إلى القطب الموجب للبطارية، ويوصل الطرف الآخر للفولتметр بالطرف الآخر للعنصر.

تأثيرات التيار الكهربائي



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

1. ارسم دائرة كهربائية تتضمن مصدر قدرة ومصباحين كهربائيين صغيرين.

2. ارسم الدائرة مرة أخرى، وضمن رسمك أميترًا؛ حتى تتمكن من قياس التيار بين مصدر القدرة والمصباحين.

3. ارسم رسمًا تخطيطيًا ثالثًا للدائرة الكهربائية، على أن توضح فيه الأميتر في موقع يُمكنك 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 تركيب الدوائر الكهربائية. تخذير: السلك حاد، وقد يجرح الجلد.

استراتيجيات حل المسألة

إنشاء الرسوم التخطيطية

اتبع هذه الخطوات عند إعداد الرسوم التخطيطية:

1. ارسم رمز البطارية أو رمز أي مصدر آخر للطاقة الكهربائية، مثل البطارية الموضحة في الجانب الأيسر من أعلى الصفحة، واجعل الطرف الموجب، وهو الخط الأكبر، في الأعلى.
2. ارسم سلكًا خارجًا من الطرف الموجب للبطارية، وعند الوصول إلى مقاومة أو أي مكون (عنصر) آخر، ارسم الرمز الخاص به.
3. عند الوصول إلى نقطة يكون عندها مساران للتيار الكهربائي، كتلك النقطة الموصولة عندها الفولتметр، نرسم الرمز في الرسم التخطيطي. اتبع أحد المسارين إلى أن يتجمع مسارا التيار مرة أخرى، ثم ارسم بعد ذلك المسار الثاني.
4. اتبع مسار التيار حتى تصل إلى الطرف السالب للبطارية، والذي يرسم على شكل خط موازٍ للطرف الموجب، ولكنه أقصر.
5. تحقّق من صحة عملك، وأنه تضمن كل الأجزاء، وأن المسارات مكتملة ليمر التيار.

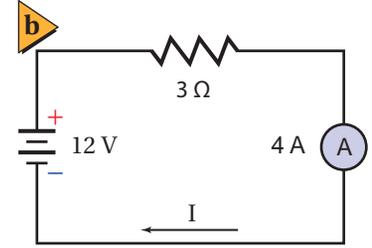
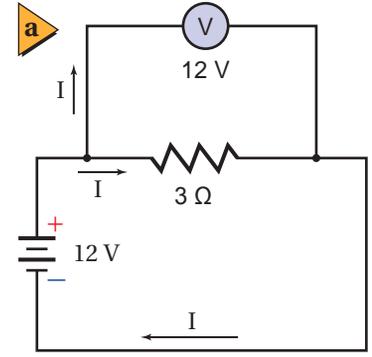
11. ارسم رسمًا تخطيطيًا لدائرة توالي تحتوي على بطارية فرق الجهد بين طرفيها 60.0 V ، وأميتير، ومقاومة مقدارها $12.5\ \Omega$ ، وأوجد قراءة الأميتير، وحدد اتجاه التيار.

12. أضف فولتметр إلى الرسم التخطيطي للدائرة الكهربائية في المسألة السابقة لقياس فرق الجهد بين طرفي المقاومتين، ثم أعد حلها.

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

عند توصيل فولتметр بين طرفي عنصر في دائرة كهربائية فإن هذا التوصيل يسمى **التوصيل على التوازي**، كما هو موضح في الشكل 7a-7. ويسمى أيّ توصيل كهربائي يتفرّع فيه التيار إلى مسارين أو أكثر التوصيل على التوازي. ويكون فرق الجهد بين طرفي الفولتметр مساويًا لفرق الجهد بين طرفي العنصر في الدائرة، لذا يرافق حالة التوصيل على التوازي دائمًا العبارة الآتية: "الجهد متساو".

يقيس الأميتير التيار المار في عنصر في الدائرة. والتيار نفسه الذي يمر في العنصر يجب أن يمر في الأميتير، لذا يكون هناك مسار واحد فقط للتيار. ويسمى التوصيل في حالة وجود مسار واحد فقط للتيار في الدائرة **التوصيل على التوالي**، كما هو موضح في الشكل 7b-7. ولإضافة أميتير إلى دائرة كهربائية يجب فصل أحد السلكين الموصلين بعنصر الدائرة، ومن ثم يوصل ذلك السلك بالأميتير، ثم يتم توصيل سلك آخر من الطرف الثاني للأميتير بعنصر الدائرة. ويكون هناك مسار واحد فقط للتيار في دائرة التوالي، لذا يرافق حالة التوصيل على التوالي دائمًا العبارة الآتية: "التيار متساو".



الشكل 7-7 يبين هذان الرسمان التخطيطيان دائرة توازي (a) ودائرة توالي (b) كهربائيتين.

7-1 مراجعة

17. القدرة تتصل دائرة كهربائية مقاومتها $12\ \Omega$ ببطارية جهدها 12 V . حدّد التغير في القدرة إذا قلت المقاومة إلى $9.0\ \Omega$ ؟

18. الطاقة تحوّل دائرة كهربائية طاقة مقدارها $2.2 \times 10^3\text{ J}$ عندما تُشغّل ثلاث دقائق. حدّد مقدار الطاقة التي ستحوّلها عندما تشغّل مدة ساعة واحدة.

19. التفكير الناقد نقول إن القدرة تستهلك وتُستنفد في مقاومة. والاستنفاد يعني الاستخدام أو الضياع. في (الاستخدام) عند مرور شحنات في مقاومة كهربائية؟

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

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

16. المقاومة الكهربائية إذا أردت قياس مقاومة سلك طويل فبين كيف تركيب دائرة كهربائية باستخدام بطارية وفولتметр وأميتير والسلك الذي تريد قياس مقاومته. حدّد ما الذي ستقيسه؟ وبين كيف تحسب المقاومة؟



7-2 استخدام الطاقة الكهربائية Using Electric Energy

الأهداف

- توضّح كيف تُحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.
- تستكشف طرائق نقل الطاقة الكهربائية.
- تُعرف الكيلوواط. ساعة.

المفردات

- الموصل الفائق التوصيل
- الكيلوواط. ساعة

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

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 الكهربائي إلى ضوء. ولا تتحوّل جميع الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك أو المصباح إلى شكل مفيد للطاقة؛ فالمصابيح الكهربائية - وبخاصة المتوهجة منها - تسخن، كما ترتفع غالباً درجة حرارة المحركات إلى درجة يتعدّر معها لمسها، وفي كلتا الحالتين يتحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. وستفحص الآن بعض الأدوات التي صُمّمت لتحويل أكبر كمية ممكنة من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

تسخين مقاومة عند مرور تيار كهربائي في مقاومة فإنه يسخن؛ وذلك بسبب تصادم الإلكترونات مع ذرات المقاومة؛ حيث تعمل هذه التصادمات على زيادة الطاقة الحركية للذرات، ونتيجة لذلك ترتفع درجة حرارة المقاومة. لقد صُمّمت كل من المدفأة الحرارية وشفرة التسخين وعنصر التسخين في مجفّف الشعر لتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. هذه التطبيقات وغيرها من التطبيقات المنزلية - كتلك الموضّحة في الشكل 7-8 - تعمل عمل مقاومات عند وصلها بدائرة كهربائية. فعندما تتحرك شحنة q خلال مقاومة يقل فرق جهدها بمقدار V . وكما تعلمت سابقاً، فإن التغير في الطاقة يعبر عنه بالعلاقة qV . كما تعبر القدرة $(P = E/t)$ عن المعدل الزمني لتحوّل الطاقة، وهي ذات أهمية كبيرة في التطبيقات العملية. وتعلمت أيضاً أن التيار الكهربائي هو المعدل الزمني لتدفق الشحنات $(I = q/t)$ ، وأن القدرة المستنفدة في مقاومة تمثل بالعلاقة $P = IV$ ، وأن فرق جهد المقاومة يُعبّر عنه بالعلاقة $V = IR$. لذا، إذا علمت مقدار كلٍّ من I و R



■ الشكل 7-8 صُمّمت هذه الأجهزة لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

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:

$$P = I^2R \quad \text{القدرة}$$

القدرة تساوي مربع التيار مضروباً 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:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{القدرة}$$

القدرة تساوي مربع الجهد مقسوماً على المقاومة.

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

وإذا استمر استهلاك القدرة بمعدل منتظم فإن الطاقة المتحوّلة 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:

$$E = Pt$$

$$E = I^2 Rt \quad \text{الطاقة الحرارية}$$

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

الطاقة الحرارية تساوي القدرة المستهلكة مضروبة في الزمن، كما أنها تساوي مربع التيار مضروباً في المقاومة والزمن، وتساوي مربع الجهد مقسوماً على المقاومة، ومضروباً في الزمن.

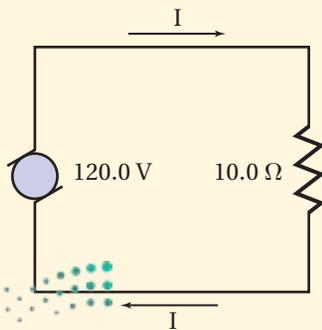
مثال 3

التسخين الكهربائي يعمل سخّان كهربائي مقاومته 10.0Ω 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 10.0Ω



المجهول

$$P = ?$$

$$E = ?$$

المعلوم

$$R = 10.0 \Omega$$

$$V = 120.0 \text{ V}$$

$$t = 10.0 \text{ s}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

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

دليل الرياضيات

الأسس ص 260

بالتعويض عن $R=10.0 \Omega$ ، $V=120.0 \text{ V}$

b. حل لإيجاد الطاقة:

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

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

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.

20. يعمل سخان كهربائي مقاومته 15Ω 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 39Ω 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 11Ω .

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 سخان 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 المستفيدة في موصل تعطى من ناتج IV فإنه يمكن للموصل الفائق التوصيل توصيل 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 المغناط 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 7-9، ومحطات التوليد الكهربائية في كافة الدول - قادرة على إنتاج كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية. حيث تُنقل هذه الطاقة غالباً 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 .

كيف تصل الكهرباء إلى منازلنا؟



الشكل 7-9 يُزوّد السد العالي مصر بجزء من احتياجاتها من الطاقة الكهربائية.





لجميع أسلاك التوصيل مقاومة، إلا أن مقاومتها صغيرة؛ فمقاومة السلك المستعمل لنقل التيار الكهربائي إلى بيت تساوي 0.20Ω 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 تُمثل بالمعادلة التالية:

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

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

ويتم تحويل كل هذه القدرة إلى طاقة حرارية، لذا فإنها تُفقد. ويمكن تقليل هذا الفقد 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 أيضاً تقليل القدرة الضائعة في أسلاك نقل الكهرباء من خلال جعل مقدار التيار المار فيها قليلاً؛ لأن فقد الطاقة يتناسب أيضاً 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 جهوداً تصل إلى 132 KV ؛ حيث يقلل التيار المنخفض المار في الأسلاك من ضياع I^2R فيها، وذلك بالإبقاء على قيمة المعامل I^2 قليلة. تكون الجهود المطبقة على النقل في الأسلاك الطويلة دائماً أكبر كثيراً من الجهود المطبقة 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 1431/9/20 هـ، القاضي بموافقة على خطة متدرجة لتغيير جهد توزيع الكهرباء في المناطق السكنية والتجارية في المملكة العربية السعودية من الجهد الحالي ($220/127$) فولت إلى الجهد الدولي ($400/230$) فولت، وأن يتم التغيير على مراحل بحيث يبدأ في المناطق الجديدة والمشاركين الجدد في المناطق القائمة اعتباراً من تاريخ نفاذ القرار، ويكون التغيير إلى الجهد الجديد في المناطق القائمة خلال المدة (25) سنة من تاريخ نفاذ القرار، وتقسّم المدة على مرحلتين تمهيدية مدتها (10) سنوات، والثانية تنفيذية مدتها (15) سنة.

الكيلوواط. ساعة The Kilowatt-Hour

تسمّى شركات الكهرباء غالباً شركات القدرة، إلا أنها في الواقع تُزوّدنا بالطاقة بدلاً من القدرة. فالقدرة هي المعدل الزمني لتوصيل الطاقة. فعندما يُسدّد المستهلكون فواتير منازلهم الكهربائية - ومنها الفاتورة الموضّحة في الشكل 10-7 - فهم يُسدّدون ثمن الطاقة الكهربائية المستهلكة، وليس القدرة.

إن كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة في جهاز تساوي معدل استهلاكه للطاقة، بوحدة جول لكل ثانية (W) مضروباً في زمن تشغيل الجهاز بوحدة ثانية. إن الجول لكل ثانية مضروباً في ثانية s (J/s) يساوي الكمية الكلية للطاقة المستهلكة بوحدة الجول. إن الجول - الذي يُعرف أيضاً على أنه واط. ثانية (Watt.second) - يُعبّر عن كمية

■ الشكل 10-7 يستخدم مقياس الواط. ساعة في قياس مقدار الطاقة الكهربائية التي يستهلكها المستخدم. وتستعمل قراءة المقياس لحساب تكلفة الطاقة المستهلكة.



قليلة نسبياً من الطاقة، وهو وحدة قياس صغيرة جداً للطاقة المستهلكة في الاستخدامات العملية. لهذا السبب تقيس شركات الكهرباء استهلاك الطاقة بوحدة تساوي عدداً كبيراً من الجولات، وتسمى 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 والمكيفات الكهربائية والطباخات ومجففات الملابس وأفران الميكروويف والمدافئ ومجففات الشعر. فتشغيل عشرة مصابيح ضوئية قدرة كل منها 100 W في الوقت نفسه يستهلك فقط 1 kWh من الطاقة إذا تركت مضاءة مدة ساعة كاملة. يوضح الجدول 2-7 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 أيضاً 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

المدينة	القيمة	القيمة	القيمة
الرياض	1.000.000	1.000.000	1.000.000
جدة	1.000.000	1.000.000	1.000.000
دمشق	1.000.000	1.000.000	1.000.000
بغداد	1.000.000	1.000.000	1.000.000
القاهرة	1.000.000	1.000.000	1.000.000
المنامة	1.000.000	1.000.000	1.000.000
الكويت	1.000.000	1.000.000	1.000.000
البحرين	1.000.000	1.000.000	1.000.000
عمان	1.000.000	1.000.000	1.000.000
السعودية	1.000.000	1.000.000	1.000.000

* المصدر: مسح الطاقة المنزلي الهيئة العامة للإحصاء جدول 2-7

استخدم الشكل المجاور للإجابة عن الأسئلة التالية:

1. في البداية، المكثف غير مشحون، والمفتاح 1 مغلق، والمفتاح 2 مفتوحاً. احسب فرق الجهد بين طرفي المكثف.

2. إذا فُتح المفتاح 1 الآن، وبقي المفتاح 2 مفتوحاً فما فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ لماذا؟

3. بعد ذلك، أُغلق المفتاح 2، وبقي المفتاح 1 مفتوحاً. 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؟

25. يمر تيار كهربائي مقداره 15.0 A في مدفأة كهربائية عند وصلها بمصدر فرق جهد 120 V . فإذا تم تشغيل المدفأة بمتوسط 5.0 h يومياً فاحسب:
- مقدار القدرة التي تستهلكها المدفأة.
 - مقدار الطاقة المستهلكة في 30 يوماً بوحدة kWh .
 - تكلفة تشغيلها مدة 30 يوماً، إذا كان ثمن الكيلوواط. ساعة 0.18 ريال.
26. تبلغ مقاومة ساعة رقمية $12,000\ \Omega$ ، وهي موصولة بمصدر فرق جهد مقداره 115 V . احسب:
- مقدار التيار الذي يمر فيها.
 - مقدار القدرة الكهربائية التي تستهلكها الساعة.
 - تكلفة تشغيل الساعة 30 يوماً، إذا كان ثمن الكيلوواط. ساعة 0.18 ريال.
27. تنتج بطارية سيارة تياراً مقداره 55 A لمدة 1.0 h ، وذلك عندما يكون فرق جهدها 12 V . ويتطلب إعادة شحنها طاقة أكبر 1.3 مرة من الطاقة التي تزودنا بها؛ لأن كفاءتها أقل من الكفاءة المثالية. ما الزمن اللازم لشحن البطارية باستخدام تيار مقداره 7.5 A ؟ افترض أن فرق جهد الشحن هو نفسه فرق جهد التفريغ.

2-7 مراجعة

- إذا قل الجهد المطبق إلى النصف.
31. **الكفاءة** قوم أثر البحث لتحسين خطوط نقل القدرة الكهربائية في المجتمع والبيئة.
 32. **الجهد** لماذا يتم توصيل الطباخ الكهربائي وسخان الماء الكهربائي بدائرة جهدها 220 V بدلاً من دائرة جهدها 127 V ؟
 33. **التفكير الناقد** عندما يرتفع معدل استهلاك القدرة الكهربائية تقوم شركات الكهرباء أحياناً بتقليل الجهد، مما يؤدي إلى خفوت الأضواء. ما الذي يبقى محفوظاً ولا يتغير؟
 28. **الطاقة** يُشغّل محرك السيارة المولّد الكهربائي، الذي يولّد بدوره التيار الكهربائي اللازم لعمل السيارة، ويُحزّن شحنات كهربائية في بطارية السيارة. وتستخدم المصابيح الرئيسة في السيارة الشحنة الكهربائية المخترنة في بطارية السيارة. جهّز قائمة بأشكال الطاقة في العمليات السابقة.
 29. **المقاومة الكهربائية** يتم تشغيل مجفّف الشعر بوصله بمصدر جهد 120 V ، ويكون فيه خياران: حار ودافئ. في أيّ الخيارين تكون المقاومة أصغر؟ ولماذا؟
 30. **القدرة** حدّد مقدار التغير في القدرة في دائرة كهربائية



مختبر الفيزياء

الجهد والتيار والمقاومة

درست في هذا الفصل العلاقات بين الجهد والتيار والمقاومة في دوائر كهربائية بسيطة. فالجهد هو فرق الجهد الذي يدفع التيار خلال الدائرة، في حين تحدّد المقاومة التيار الذي يمر عند تطبيق فرق جهد. وستجمع في هذه التجربة البيانات، وتعد رسوماً بيانية لاستقصاء العلاقات الرياضية بين الجهد والتيار، وكذلك بين المقاومة والتيار.

سؤال التجربة

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

المواد والأدوات

أربع بطاريات من نوع D جهد كل منها 1.5 V، وأربع حوامل للبطاريات، وأميتير 500 μA ، ومقاومة 10 k Ω ، ومقاومة 20 k Ω ، ومقاومة 30 k Ω ، ومقاومة 40 k Ω ، وخمسة أسلاك مزوّدة بمشابك فم التمساح.

الخطوات

الجزء A

1. ضع البطارية في حاملها.
2. ركّب دائرة تحتوي على بطارية، ومقاومة 10 k Ω ، وأميتير 500 μA .
3. دوّن مقداري المقاومة والتيار في جدول البيانات 1، على أن تدوّن مقدار المقاومة في عمود المقاومة، أما لعمود التيار فاستخدم قراءة الأميتير.
4. ضع المقاومة 20 k Ω بدلاً من المقاومة 10 k Ω .
5. دوّن مقداري المقاومة والتيار في جدول البيانات 1.
6. كرّر الخطوتين 4 و5، على أن تضع المقاومة 30 k Ω بدلاً من المقاومة 20 k Ω .
7. كرّر الخطوتين 4 و5، على أن تضع المقاومة 40 k Ω بدلاً من المقاومة 30 k Ω .

الجزء B

8. أعد تركيب الدائرة التي ركّبتها في الخطوة 2، ثم تحقق من مرور التيار في الدائرة، ودوّن مقداري الجهد والتيار في جدول البيانات 2.

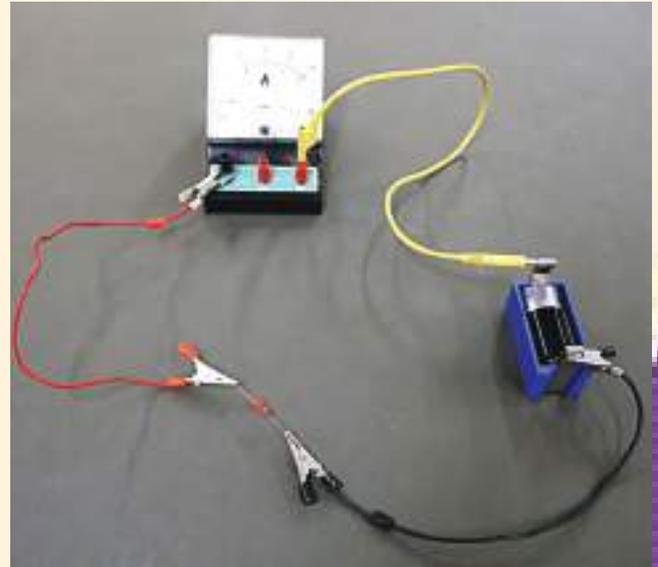
الأهداف

- تقيس التيار وفقاً للنظام الدولي SI.
- تصف العلاقة بين مقاومة دائرة كهربائية والتيار الكهربائي الكلي المار فيها.
- تصف العلاقة بين الجهد والتيار الكلي المار في الدائرة الكهربائية.
- تنشئ رسوماً بيانية وتستخدمها لتبين العلاقة بين التيار والمقاومة، وبين التيار والجهد.

احتياطات السلامة



- تحذير: قد تسخن الدوائر الكهربائية والمقاومات.
- تحذير: الأسلاك حادة، وقد تجرح الجلد.



جدول البيانات 2		
التيار (μA)	المقاومة ($k\Omega$)	الجهد (V)
	10	
	10	
	10	
	10	

جدول البيانات I		
التيار (μA)	المقاومة ($k\Omega$)	الجهد (V)
		1.5
		1.5
		1.5
		1.5

4. لماذا افترضت وجود هذه العلاقة بين الجهد والتيار؟

التوسع في البحث

1. ما مقدار التيار الكهربائي الذي يمر في دائرة كهربائية إذا كان الجهد $3.0 V$ والمقاومة $20 k\Omega$ ؟ كيف حدّدت هذا التيار؟
2. بالاستعانة ببياناتك التي حصلت عليها في التجربة، هل يمكنك اشتقاق علاقة بين الجهد والتيار والمقاومة؟ مساعدة: انظر إلى العلاقة البيانية بين التيار وفرق الجهد، وافترض أنها خط مستقيم تمر في نقطة الأصل.
3. كيف تتفق بياناتك مع هذه العلاقة؟ وضح إجابتك.

الفيزياء في الحياة

1. اذكر بعض التطبيقات الشائعة التي تستخدم فرق جهد $220 V$ ، بدلاً من $127 V$.
2. لماذا تحتاج التطبيقات التي ذكرتها إلى $220 V$ ؟ وما العواقب التي تترتب على تشغيل مثل هذه التطبيقات على جهد $127 V$ ؟

9. أضف بطارية ثانية جهدها $1.5 V$ إلى الدائرة، ودوّن مقدار الجهد والتيار في جدول البيانات 2. عندما تستعمل أكثر من بطارية واحدة دوّن مجموع جهود البطاريات بوصفها قيمة للجهد في جدول البيانات 2.
10. كرّر الخطوة 9 مع ثلاث بطاريات جهد كل منها $1.5 V$.
11. كرّر الخطوة 9 مع أربع بطاريات جهد كل منها $1.5 V$.

التحليل

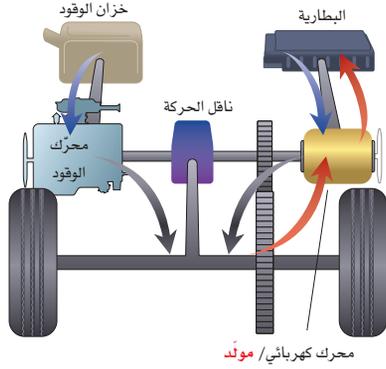
1. أنشئ رسوماً بيانية واستخدمها ارسم التيار بوصفه متغيراً مقابل المقاومة، على أن تضع المقاومة على المحور x ، والتيار على المحور y .
2. أنشئ رسوماً بيانية واستخدمها ارسم التيار بوصفه متغيراً مقابل الجهد، على أن تضع الجهد على المحور x ، والتيار على المحور y .
3. حلل الخطأ ما العوامل التي تؤثر في التيار في الجزء A إضافة إلى قيم المقاومات؟ وكيف يمكن التقليل من تأثير هذه العوامل؟
4. حلل الخطأ ما العوامل التي تؤثر في التيار في الجزء B إضافة إلى البطاريات المضافة؟ وكيف يمكن التقليل من تأثير هذه العوامل؟

الاستنتاج والتطبيق

1. صف العلاقة بين المقاومة والتيار بالنظر إلى الرسم البياني الأول الذي أنشأته؟
2. لماذا افترضت وجود هذه العلاقة بين المقاومة والتيار؟
3. كيف يمكنك وصف العلاقة بين الجهد والتيار بالنظر إلى الرسم البياني الثاني الذي أنشأته؟



السيارات المهجنة Hybrid Cars



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

- طاقة وضع من الوقود والبطارية
- يدور محرك الوقود والمحرك الكهربائي العجلات
- تعمل الطاقة الحركية على إعادة شحن البطاريات

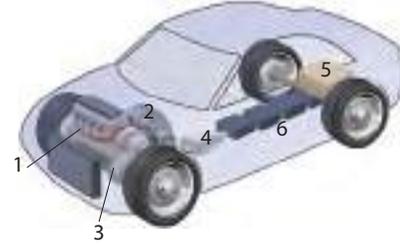
البطاريات بعملية تسمى الكبح المتجدد، كما هو موضح في الرسم التخطيطي. حيث يعمل المحرك الكهربائي فيها مولدًا. فعندما يعمل المحرك الكهربائي على إبطاء حركة السيارة يتم تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية، تعمل بدورها على إعادة شحن البطاريات.

هل تفيد السيارات المهجنة المجتمع؟ زادت السيارات المهجنة من المسافات التي تقطعها السيارات بكمية معينة 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 تسهم هذه الانبعاثات في حدوث بعض المشكلات البيئية كالضبخن (الضباب الدخاني). ولأن السيارات المهجنة تزيد المسافات المقطوعة وتقلل الغازات المنبعثة من العوادم، فإن الكثير من الناس يشعرون أن استخدام هذه السيارات من الطرائق الفعالة للمساعدة على حماية الهواء من التلوث، بالإضافة إلى المحافظة على مصادر الوقود.

السيارات المهجنة ذات كفاءة عالية في استهلاك الوقود ومرمجة وآمنة وهادئة وغير ملوثة للبيئة، وتتسارع بصورة جيدة. لذا فإن مبيعات السيارات المهجنة أخذت في الازدياد.

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

للسيارات التقليدية محركات كبيرة تمكّنها من التسارع جيدًا وصعود التلال الحادة، إلا أن حجم محركها يجعلها تستهلك في الغالب كميات كبيرة من الوقود، إضافة إلى تدني كفاءة استفادتها من الوقود مقارنة بالسيارات المهجنة التي يكون وزن محرك البنزين فيها قليلاً وأكثر فاعلية، مما يجعله يلبي معظم احتياجات القيادة وضرورتها. وعند الحاجة إلى مزيد من الطاقة يمكن الحصول عليها من الكهرباء المخزنة في البطاريات القابلة لإعادة الشحن.



كيف تعمل السيارات المهجنة؟ يبين الرسم التوضيحي أعلاه أحد أنواع السيارات المهجنة، الذي يسمى 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. وبدلاً من ذلك يتم إعادة شحن

التوسع

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

7-1 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 الرئيسية

- يعرف 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 تُسبب المقاومات نقصًا في طاقة وضعها الكهربائية.
- الأمبير يساوي واحد كولوم لكل ثانية 1 C/s .
- يمكن حساب القدرة بضرَب 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 المطبّق عليها أو اتجاه حركة الشحنة فيها- تتحقّق قانون أوم.
- يمكن التحكم في تيار دائرة كهربائية بتغيير الجهد أو المقاومة أو كليهما.

7-2 استخدام الطاقة الكهربائية Using Electric Energy

المفردات

- الموصل الفائق التوصيل
- الكيلوواط. ساعة

المفاهيم الرئيسية

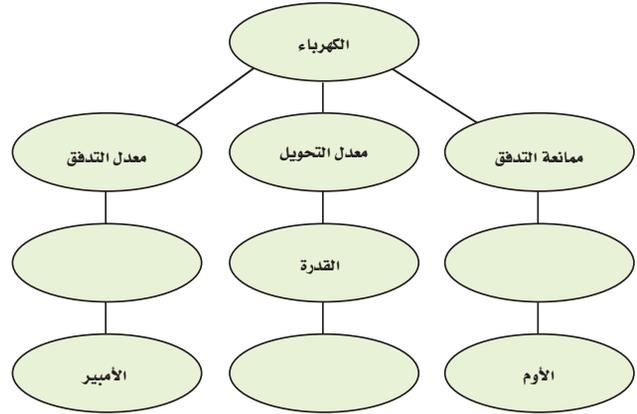
- القدرة في دائرة كهربائية تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة، أو تساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة.
- إذا استُنِفدت القدرة بمعدل منتظم فإن الطاقة الحرارية الناتجة تساوي القدرة مضروبة في الزمن، كما يمكن أيضًا التعبير عن القدرة بـ I^2R و V^2/R كما يأتي:

$$\begin{aligned} E &= Pt \\ &= I^2Rt \\ &= \frac{V^2}{R} t \end{aligned}$$

- 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 فقد 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 $3.6 \times 10^6 \text{ J}$.

خريطة المفاهيم

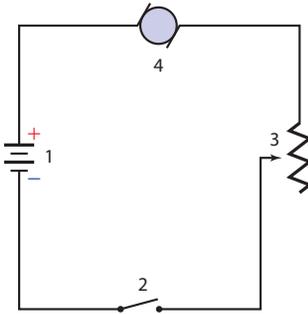
34. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الواط، التيار، المقاومة.



إتقان المفاهيم

35. عرّف وحدة قياس التيار الكهربائي بدلالة النظام الدولي للوحدات SI. (7-1)

ارجع إلى الشكل 7-11 للإجابة عن الأسئلة 36-39 (7-1)



الشكل 7-11

36. كيف يجب وصل فولتметр 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. تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية؟
40. صف تحوّلات الطاقة التي تحدث في الأدوات الآتية: (7-1)

a. مصباح كهربائي متوهّج.

b. مجفّف ملابس.

c. مذياع رقمي مزوّد بساعة.

41. أي السلكين يوصل الكهرباء بمقاومة أقل: سلك مساحة مقطعه العرضي كبيرة، أم سلك مساحة مقطعه العرضي صغيرة؟ (7-1)

42. لماذا يكون عدد المصابيح التي تحترق لحظة إضاءتها أكبر كثيراً من عدد المصابيح التي تحترق وهي مُضاءة؟ (7-2)

43. عند عمل دائرة قصر لبطارية بوصل طرفي سلك نحاسي بقطبي البطارية ترتفع درجة حرارة السلك. فسّر لماذا يحدث ذلك؟ (7-2)

44. ما الكمّيّات الكهربائيّة التي يجب المحافظة على مقاديرها قليلة عند نقل الطاقة الكهربائيّة مسافات طويلة بصورة اقتصادية؟ (7-2)

45. عرف وحدة القدرة الكهربائيّة بدلالة النظام الدولي للوحدات SI. (7-2)

تطبيق المفاهيم

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

47. صف طريقتين لزيادة التيار في دائرة كهربائية.

48. المصابيح الكهربائيّة يعمل مصباحان كهربائيان في دائرة كهربائية جهدها 120 V. إذا كانت قدرة أحدهما 50 W والآخر 100 W، فأَيّ المصباحين مقاومته أكبر؟ وضح إجابتك.

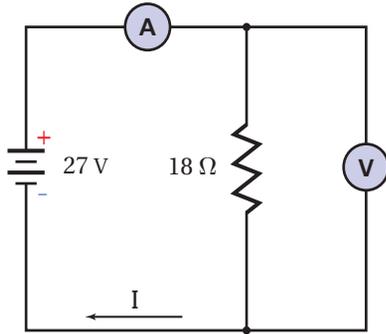
49. إذا بُنيت فرق الجهد في دائرة كهربائية، وتم مضاعفة مقدار المقاومة، فما تأثير ذلك في تيار الدائرة؟

تقويم الفصل 7

56. **مجففات الملابس** وُصِلت مجففة ملابس قدرتها 4200 W بدائرة كهربائية جهدها 220 V، احسب مقدار التيار المار فيها.

57. ارجع إلى الشكل 13-7 للإجابة عن الأسئلة الآتية:

- ما قراءة الأميتر؟
- ما قراءة الفولتметр؟
- ما مقدار القدرة الواصلة إلى المقاومة؟
- ما مقدار الطاقة التي تصل إلى المقاومة كل ساعة؟



الشكل 13-7 ■

58. **المصابيح اليدوية** إذا وُصِل مصباح يدوي بفرق جهد 3.0 V، فمَرَّ فيه تيار مقداره 1.5 A:

- فما معدل الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصباح؟
- ما مقدار الطاقة الكهربائية التي يحولها المصباح خلال 11 min؟

59. ارسم رسماً تخطيطياً لدائرة توالٍ كهربائية تحوي مقاومة مقداره 16 Ω، وبطارية، مع أميتر قراءته 1.75 A، حدّد كلا 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 استخدام بطارية جهدها 9.0 V، أجب عن الأسئلة الآتية:

- هل يحقق المصباح قانون أوم؟
- ما مقدار القدرة المستفيدة في المصباح عند توصيله ببطارية 6.0 V؟

50. ما تأثير مضاعفة كل من الجهد والمقاومة في تيار دائرة كهربائية؟ وضح إجابتك.

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

52. إذا غيّر موقع الأميتر المبين في الشكل 3a-7 ليُصبح أسفل الشكل، فهل تبقى قراءة الأميتر هي نفسها؟ وضح ذلك.

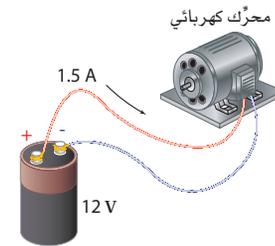
53. سلكان أحدهما مقاومته كبيرة والآخر مقاومته صغيرة. إذا وُصِل كل منهما بقطبي بطارية جهدها 6.0 V، فأبي السلكين ينتج طاقة بمعدل أكبر؟ ولماذا؟

إتقان حل المسائل

1-7 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية

54. وُصِل محرك ببطارية جهدها 12 V كما هو موضّح في الشكل 12-7. احسب مقدار:

- القدرة التي تصل إلى المحرك.
- الطاقة المحوَّلة إذا تم تشغيل المحرك 15 min.



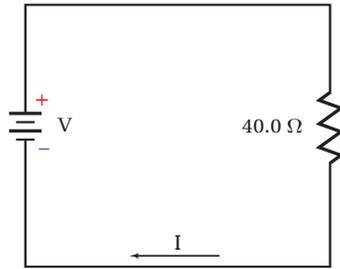
الشكل 12-7 ■

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

- القدرة الواصلة.
- الطاقة التي يتم تحويلها خلال 5.0 min.

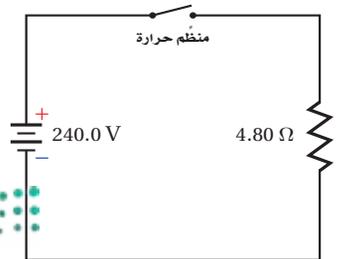
2-7 استخدام الطاقة الكهربائية

64. **البطاريات** يبلغ ثمن بطارية جهدها 9.0 V تقريباً 10.00 ريالاً، وتولد هذه البطارية تياراً مقداره 0.0250 A مدة 26.0 h قبل أن يتم تغييرها. احسب تكلفة كل kWh تُزودنا به هذه البطارية.
65. ما مقدار أكبر تيار ينتج عن قدرة كهربائية مقدارها 5.0 W في مقاومة مقدارها $220\ \Omega$ ؟
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 الموضحة في الشكل 15-7 تبلغ أكبر قدرة كهربائية آمنة 50.0 W . استخدم الشكل لإيجاد كل مما يأتي:
- a. أكبر تيار آمن. b. أكبر جهد آمن.



الشكل 15-7 ■

68. يمثل الشكل 16-7 دائرة فرن كهربائي. احسب قيمة الفاتورة الشهرية (30 يوماً) إذا كان ثمن الكيلوواط. ساعة 0.18 ريال، وتم ضبط منظم الحرارة ليشتغل الفرن 6 ساعات يومياً.



الشكل 16-7 ■

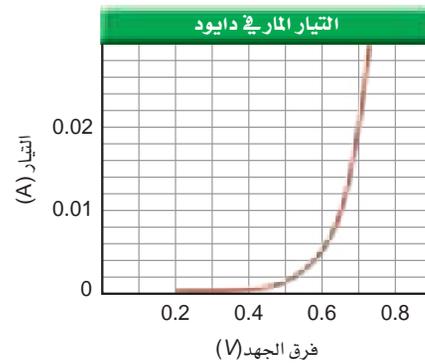
- c. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح عند توصيله ببطارية 9.0 V ؟

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 $1/5$ مقاومته عندما يكون ساخناً. 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 يولدها خلال نصف ساعة؟

63. يمثل الرسم البياني في الشكل 14-7 العلاقة بين فرق الجهد والتيار المار في جهاز يسمى الصمام الثنائي (الدايود) وهو مصنوع من السليكون. أجب عن الأسئلة الآتية:

- a. إذا وصل الدايمود بفرق جهد مقداره 0.70 V فما مقدار مقاومته؟
- b. ما مقدار مقاومة الدايمود عند استخدام فرق جهد مقداره 0.60 V ؟
- c. هل يُحقّق الدايمود قانون أوم؟



الشكل 14-7 ■

تقويم الفصل 7

وعندما تضبط المقاومة ليتحرك المحرك بأكبر سرعة يمر فيه تيار مقداره 1.2 A ، ما مدى المقاومة المتغيرة؟

75. يُشغّل محرك كهربائي مضخة توزيع الماء في مزرعة بحيث تضخ $1.0 \times 10^4\text{ L}$ من الماء رأسياً إلى أعلى مسافة 8.0 m في كل ساعة. فإذا وصل المحرك بمصدر جهد 110 V ، وكانت مقاومته في أثناء تشغيله $22.0\ \Omega$ فما مقدار:

- a.** التيار المار في المحرك؟
b. كفاءة المحرك؟

76. ملف تسخين مقاومته $4.0\ \Omega$ ، 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 يوماً؟

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 $1.10\text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ، و 50% من الطاقة الحرارية الناتجة تعمل على تسخين الهواء في الغرفة، فما مقدار التغير في درجة حرارة الغرفة خلال نصف ساعة؟
c. إذا كان ثمن الكيلوواط ساعة 0.18 ريال، فما تكلفة تشغيل المدفأة 6.0 h في اليوم مدة 30 يوماً؟

69. **التطبيقات** يُكلّف تشغيل مُكيّف هواء 50 ريالاً خلال 30 يوماً، وذلك على اعتبار أن المُكيّف يعمل 12 ساعة يومياً، و ثمن كل kWh هو 0.18 ريال. احسب التيار الذي يمر في المُكيّف عند تشغيله على فرق جهد مقداره 120 V ؟

70. **المذياع** يتم تشغيل مذياع بطارية جهدها 9.0 V ، بحيث تزوّده بتيار مقداره 50.0 mA .

- a.** إذا كان ثمن البطارية 10.00 ريالاً، وتعمل لمدة 300.0 h فاحسب تكلفة كل kWh تُزوّدنا به هذه البطارية عند تشغيل المذياع هذه الفترة.
b. إذا تم تشغيل المذياع نفسه بمحوّل 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 $50.0\ \Omega$ مدة 5.0 min ، احسب مقدار الحرارة المتولدة في المقاومة خلال هذه الفترة.

72. وصلت مقاومة مقدارها $6.0\ \Omega$ ببطارية جهدها 15 V
a. ما مقدار التيار المار في الدائرة؟
b. ما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال 10.0 min ؟

73. **المصباح الكهربائي** تبلغ مقاومة مصباح كهربائي متوهّج $10.0\ \Omega$ قبل إنارته، وتُصبح $40.0\ \Omega$ 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 يستهلك المصباح أكبر قدرة كهربائية؟

74. تستخدم مقاومة مُغيّرة للتحكم في سرعة محرك كهربائي جهده 12 V . عند ضبط المقاومة ليتحرك المحرك بأقل سرعة يمر فيه تيار مقداره 0.02 A ،

التفكير الناقد

- الفرن لتسخين 250 g من الماء إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة.
- d. راجع حساباتك جيداً 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 10Ω بين رأس دبوس إلى وعاء حساء. وضح ذلك.
81. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** الرسم البياني للصلام الثنائي (الدايود) الموضح في الشكل 14-7 أكثر فائدة من رسم بياني مشابه للمقاومة يحقق 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) الأمير الواحد يساوي كولوم واحد لكل ثانية. (2) القوة تساوي الكتلة مضروبة في التسارع. (3) القدرة الكهربائية تساوي مربع الجهد مقسوماً على المقاومة. اكتب صفحة واحدة توضح فيها متى تكون العلاقة "المقاومة تساوي الجهد مقسوماً 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 $3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ مسافة 2.0 m عن شحنة أخرى مقدارها $6.0 \times 10^{-5} \text{ C}$ ، احسب مقدار القوة المتبادلة بينهما. (الفصل 5)

78. **تصميم النماذج** ما مقدار الطاقة المخزنة في مكثف يُعبّر 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 جهازاً لتخزين الطاقة في حاسوب شخصي فمثل بيانياً 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 تمثل الطاقة المخزنة في المكثف فأوجد هذه الطاقة بوحدتي الجول، وتحقق مما إذا كانت تساوي الشحنة الكلية مضروبة في فرق الجهد النهائي أم لا. وضح 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 أيضاً 75% فأجب عما يأتي:

- a. ارسم نموذجاً تخطيطياً للقدرة الكهربائية. ميز وظيفة كل جزء منه وفقاً للجولات الكلية لكل ثانية.
- b. اشتق معادلة لمعدل الزيادة في درجة الحرارة ($\Delta T/s$) لمادة موضوعة في الميكروويف مستعيناً 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 بوحدتي سلسيوس لكل ثانية، وذلك عند استخدام هذا

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؟

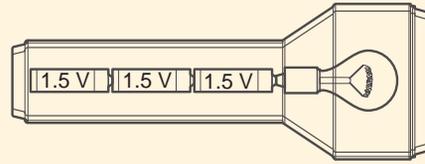
- 0.8 A (A) 1.2 A (C)
1 A (B) 2 A (D)

2. إذا وصلت مقاومة مقدارها 5.0Ω بطارية جهدها 9.0 V فما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال 7.5 min؟

- 1.2×10^2 J (A) 3.0×10^3 J (C)
 1.3×10^3 J (B) 7.3×10^3 J (D)

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؟

- 0.11 W (A) 2.3 W (C)
1.1 W (B) 4.5 W (D)



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

- 6.9 J (A) 2.0×10^2 J (C)
14 J (B) 4.1×10^2 J (D)

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

- 4.8×10^1 J (A) 2.9×10^3 J (C)
 2.0×10^1 J (B) 1.7×10^5 J (D)

6. إذا مرَّ تيار مقداره 5.00 mA في مقاومة مقدارها 50.0Ω في دائرة كهربائية موصولة مع بطارية فما مقدار القدرة الكهربائية المستفدة في الدائرة؟

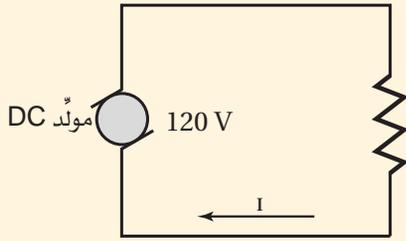
- 1.00×10^{-2} W (A) 1.25×10^{-3} W (C)
 1.00×10^{-3} W (B) 2.50×10^{-3} W (D)

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

- 4.2×10^{-2} J (A) 1.5×10^2 J (C)
 2.4×10^1 J (B) 5.4×10^5 J (D)

الأسئلة الممتدة

8. يبين الرسم أدناه دائرة كهربائية بسيطة تحتوي على مولد DC، ومقاومة. فإذا كانت المقاومة في الرسم تمثل مجفف شعر مقاومته 8.5Ω 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 جميعاً. وإذا اعتمدت في إجابتك على رسم واحد فقط فمن المحتمل أن تفقد جزءاً مهماً من المعلومات.

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- التمييز بين دوائر التوالي ودوائر التوازي والدوائر المركبة، وتحل مسائل عليها.
- توضيح وظيفة كل من المنصهر الكهربائي، والقواطع الكهربائية، وقواطع التفريغ الأرضي الخاطيء، وتصف كيفية استعمال الأميتر والفولتметр 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 الحمل الكهربائي على مجموعة من القواطع الكهربائية يحمي كل منها دائرة مفردة خاصة به تحتوي على أحمالٍ مختلفة موصولة على التوازي.

فكر

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





كيف تحمي المنصهرات الكهربائية الدوائر الكهربائية؟

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

الخطوات

1. صل القطب السالب لبطارية جهدها 9V بأحد طرفي قاعدة مصباح باستخدام سلك توصيل. تحذير: قد تكون نهايتنا السلك النحاسي حادتين، وقد يجرح الجلد.
2. صل الطرف الآخر لقاعدة المصباح بسلك مواعين باستخدام سلك توصيل، وتأكد من تعليق سلك المواعين فوق وعاء زجاجي صغير.
3. صل الطرف الثاني لسلك المواعين بمفتاح كهربائي باستخدام سلك توصيل آخر، وتأكد من أن المفتاح الكهربائي مفتوح.
4. صل الطرف الثاني للمفتاح الكهربائي بالقطب الموجب للبطارية.
5. **كوّن 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 باستخدام سلك مواعين أكثر سمكاً أو لفّ عدة أسلاك من سلك المواعين معاً لتصبح سلكاً واحداً سميكاً، 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؟



8-1 الدوائر الكهربائية البسيطة Simple Circuits

الأهداف

- تصف دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.
- تحسب كلاً من التيارات، والهبوط في الجهد، والمقاومة المكافئة في دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.

المفردات

المقاومة المكافئة



دائرة التوازي

دائرة التوالي

مجزئ الجهد

يمكن اعتبار النهر الجلي نموذجاً 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 تدفقها من فوق شلال 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.

كيف يشكل مسار ماء النهر في الشكل 1-8 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 مولدًا كهربائيًا 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.



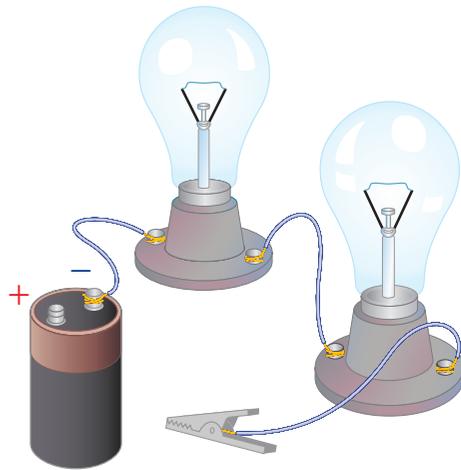
دوائر التوالي الكهربائية Series Circuits

وصَل ثلاثة طلاب مصباحين متماثلين بطرفي بطارية، كما هو موضّح في الشكل 2-8. 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 سيستهلك 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 سطوعًا 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 كل من المصباحين فإن سطوعيهما سيكونان متساويين. كيف تتوقع أنت أن يكون سطوع المصباحين؟

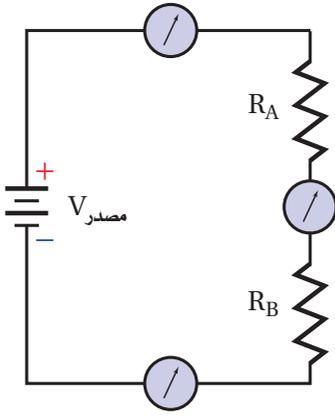
إذا فكرت في نموذج النهر الجبلي وقارنته بهذه الدائرة الكهربائية فستدرك أن توقع الطالب الثالث هو التوقع الصحيح. تذكر مما تعلمته سابقًا أن الشحنة لا تفنى ولا تستحدث. ولأن للشحنة مسارًا واحدًا فقط تسلكه في هذه الدائرة الكهربائية، وهي لا تفنى، فإنه يجب أن تكون كمية الشحنة التي تدخل الدائرة الكهربائية مساوية للكمية التي تخرج منها؛ وهذا يعني أن التيار يكون هو نفسه في أيّ جزء من أجزاء الدائرة. فإذا وصلّت ثلاثة أجهزة أميتر

■ الشكل 1-8 تبقى كمية الماء ومقدار الانحدار في الارتفاع هي نفسها، بغض النظر عن المسار الذي يسلكه النهر عند انحداره من قمة الجبل.



■ الشكل 2-8 ما توقعك بشأن سطوع المصباحين بعد إغلاق الدائرة الكهربائية؟





■ الشكل 3-8 تبين قراءة أجهزة الأميتر أن التيار يكون متساوياً في جميع أجزاء دائرة التوالي.

في الدائرة، كما هو موضَّح في الشكل 3-8، فإن قراءات الأجهزة جميعها ستكون متساوية. وتسمّى مثل هذه الدائرة التي يمر التيار نفسه في كلِّ جزء من أجزائها **دائرة التوالي**.

إذا كان التيار متساوياً في أجزاء الدائرة جميعها فما الذي يستهلكه المصباح لإنتاج الطاقة الحرارية والضوئية؟ تذكر أن القدرة الكهربائية هي المعدل الزمني لتحوُّل الطاقة الكهربائية، وتمثَّل بالعلاقة $P = IV$. لذا إذا كان هناك فرق في الجهد أو هبوط في الجهد عبر المصباح فإن الطاقة الكهربائية ستحوَّل 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 أيضاً الهبوط في الجهد $V = IR$.

التيار والمقاومة في دائرة التوالي تعلمت من نموذج النهر الجبلي أن مجموع الانحدارات في الارتفاع يساوي الانحدار الكلي من قمة الجبل حتى الوصول إلى سفحه. وكذلك الأمر في الدائرة الكهربائية؛ حيث تكون الزيادة في الجهد الذي يوفره المولد أو أيِّ مصدر طاقة مصدر V ، مساويةً لمجموع الهبوط (التقصان) في فرق الجهد في كلا المصباحين A و B، ويمكن تمثيلها بالمعادلة:

$$V_{\text{مصدر}} = V_A + V_B$$

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 $V_{\text{مصدر}} = IR_A + IR_B$ أو $V_{\text{مصدر}} = I(R_A + R_B)$. ويمكن إيجاد التيار من خلال

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

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. إذاً المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة على التوالي هي مجموع المقاومات المفردة، ويُعبّر عنها بالمعادلة الآتية:

$$R = R_A + R_B + \dots \text{ التوازي على التوالي}$$

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 توالي نحسب المقاومة المكافئة أولاً، ثم نستخدم المعادلة الآتية:

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

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



1. وصلت المقاومات $5\ \Omega$ و $15\ \Omega$ و $10\ \Omega$ في دائرة توالٍ كهربائية ببطارية جهدها $90\ V$. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟ وما مقدار التيار المار فيها؟
2. وصلت 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. وصل طرفاً سلك زينة فيه عشرة مصابيح ذات مقاومات متساوية و متصلة 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.

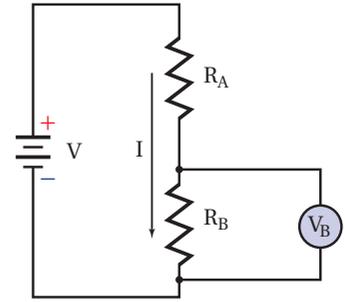
الهبوط (النقصان) في فرق الجهد في دائرة التوالي عند مرور تيار كهربائي في أي دائرة كهربائية يجب أن يكون مجموع التغيرات في الجهد عبر كل عناصر الدائرة صفرًا؛ وذلك لأن مصدر الطاقة الكهربائية للدائرة؛ أي البطارية أو المولد الكهربائي، يعمل على رفع الجهد بمقدار يساوي مجموع الهبوط في الجهد الناتج عن مرور التيار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

ومن التطبيقات المهمة على دوائر التوالي دائرة تسمى **مجزئ الجهد**، وهو دائرة توالٍ تُستخدم لإنتاج مصدر جهد بالقيمة المطلوبة من بطارية ذات جهد كبير. افترض مثلاً أن لديك بطارية جهدها $9\ V$ ، إلا أنك تحتاج إلى مصدر فرق جهد $5\ V$. انظر الدائرة الموضحة في الشكل 4-8 ولاحظ أن المقاومتين R_A و R_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:

$$\begin{aligned} V_B &= IR_B \\ &= \left(\frac{V}{R_A + R_B} \right) R_B \\ &= \left(\frac{V R_B}{R_A + R_B} \right) \end{aligned}$$



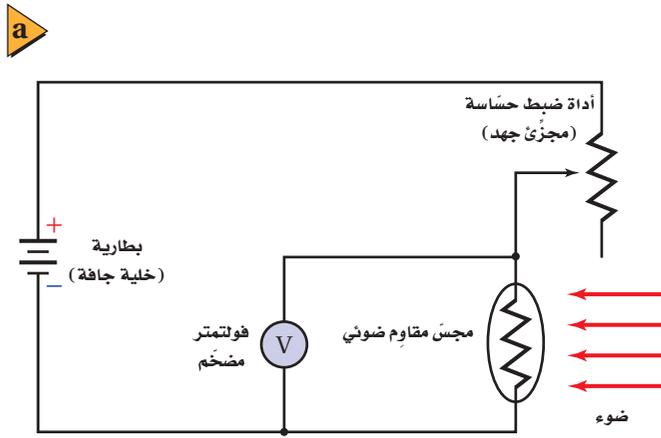
■ الشكل 4-8 في دائرة مجزئ الجهد

هذه اختيرت قيمتا المقاومتين R_A و R_B

بحيث يكون الهبوط في الجهد خلال

المقاومة R_B مساوياً للجهد المطلوب.





b

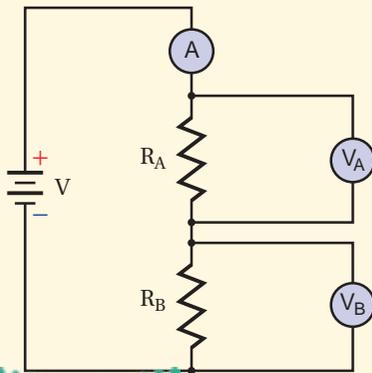


■ الشكل 5-8 الجهد الناتج عن مجزئ الجهد يعتمد على كمية الضوء التي تسقط على مجس المقاومة الضوئية (a). تستفيد أجهزة قياس كمية الضوء المستخدمة في التصوير الفوتوجرافي من مجزئ الجهد (b).

تُستخدم عادة مجزئات الجهد مع المجسات؛ 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 الكاديوم. وتتغير مقاومة ضوئية مثالية من 400Ω عند سقوط ضوء عليه إلى $400,000 \Omega$ عندما تكون المقاومة في مكان معتم. ويعتمد الجهد الناتج عن مجزئ الجهد المستخدم في المقاومة الضوئية على كمية الضوء التي تسقط على مجس المقاومة، ويمكن استعمال هذه الدائرة مقياساً لكمية الضوء، كما هو موضح في الشكل 5-8؛ حيث تكشف دائرة إلكترونية في هذا الجهاز فرق الجهد وتحوله إلى قياس للاستضاءة يمكن قراءته على شاشة رقمية. وستقل قراءة الفولتметр المضخم عند زيادة الاستضاءة.

مثال 1

- الهبوط في الجهد في دائرة التوالي وصلت مقاومتان كل منهما 47.0Ω و 82.0Ω على التوالي بقطبي بطارية جهدها 45.0 V ، أجب عما يأتي:
- ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟
 - ما مقدار الهبوط في الجهد في كل مقاومة؟
 - إذا وضعت مقاومة مقدارها 39.0Ω بدلاً من المقاومة 47.0Ω فهل تزداد شدة التيار أم تقل أم تبقى ثابتة؟
 - ما مقدار الهبوط الجديد في الجهد في المقاومة 82.0Ω ؟



1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم رسماً تخطيطياً للدائرة الكهربائية.

المجهول

$$I = ?$$

$$V_A = ?$$

$$V_B = ?$$

المعلوم

$$V_{\text{مصدر}} = 45.0 \text{ V}$$

$$R_A = 47.0 \Omega$$

$$R_B = 82.0 \Omega$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لحساب التيار نجد أولاً المقاومة المكافئة.

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

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

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

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية ص 256

$$R = R_A + R_B$$

بالتعويض عن

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

b. استخدم المعادلة $V = IR$ لكل مقاومة.

$$I = 0.349 \text{ A}, R_A = 47.0 \Omega$$

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

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

$$R_B = 82.0 \Omega, I = 0.349 \text{ A}$$

c. احسب التيار المار في الدائرة باستخدام المقاومة 39.0Ω بوصفها قيمة جديدة لـ R_A

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

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

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

بالتعويض عن

d. أوجد الهبوط الجديد في الجهد في R_B

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

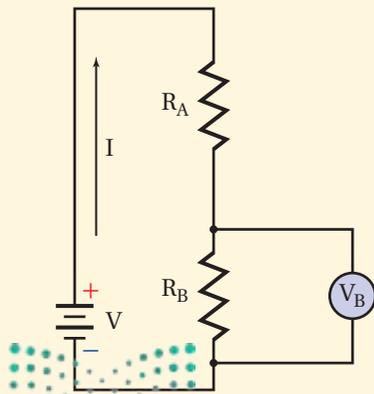
$$R_B = 82.0 \Omega, I = 0.372 \text{ A}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ وحدة التيار الكهربائي عبارة عن $A = V/\Omega$ ، ووحدة الجهد $V = A \cdot \Omega$
- 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)، ومقداراً V_B في الحالتين أقل من $V_{\text{مصدر}}$ التي تساوي 45.0 V

مثال 2

مجزئ الجهد وصلت بطارية جهدها 9.0 V بمقاومتين: 390Ω و 470Ω ، على شكل مجزئ جهده. ما مقدار جهد المقاومة 470Ω ؟



1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم البطارية والمقاومتين في دائرة توالٍ كهربائية.

المجهول

$$V_B = ?$$

المعلوم

$$V_{\text{مصدر}} = 9.0 \text{ V}$$

$$R_A = 390 \Omega$$

$$R_B = 470 \Omega$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

لحساب التيار نجد أولاً المقاومة المكافئة للدائرة.

$$R = R_A + R_B$$

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R}$$

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

$$V_B = IR_B$$

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

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

$$= 4.9 \text{ V}$$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات ص 265

$$R = R_A + R_B$$

احسب جهد المقاومة R_B

بالتعويض عن

$$R_B = 470 \Omega, V_{\text{مصدر}} = 9.0 \text{ V}, R_A = 390 \Omega$$

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 470Ω أكبر من نصف المقاومة المكافئة، لذلك يكون الهبوط في الجهد أكبر من نصف جهد البطارية.

5. إذا أظهرت الدائرة الموضحة في المثال 1 النتائج الآتية: قراءة الأميتر $0A$ ، وقراءة V_A تساوي $0V$ ، وقراءة V_B تساوي $45V$ ، فما الذي حدث؟

6. افترض أن قيم عناصر الدائرة الكهربائية الموضحة في المثال 1 هي: $R_A = 255 \Omega$ و $R_B = 292 \Omega$ و $V_A = 17.0 \text{ V}$ ، وليس هناك أي معلومات أخرى، فأجب عما يأتي:

- ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟
- ما مقدار جهد البطارية؟
- ما مقدار القدرة الكهربائية الكلية المستنفدة؟ وما مقدار القدرة المستنفدة في كل مقاومة؟
- هل مجموع القدرة المستنفدة في كل مقاومة يساوي القدرة الكلية المستنفدة في الدائرة؟ وضح ذلك.

7. توصل مصابيح أسلاك الزينة غالباً 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؟

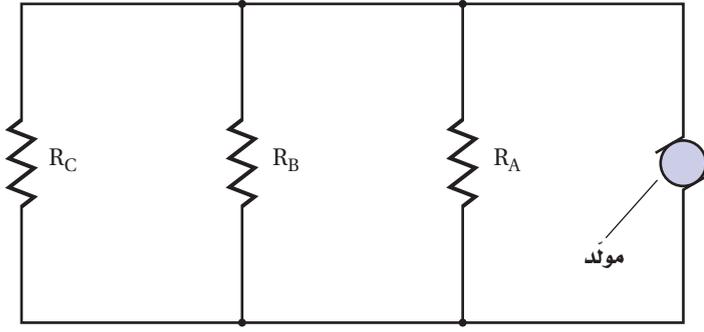
8. تتكوّن دائرة توالٍ كهربائية من بطارية جهدها 12.0 V وثلاث مقاومات. فإذا كان جهد إحدى المقاومات 1.21 V ، وجهد مقاومة ثانية 3.33 V ، فما مقدار جهد المقاومة الثالثة؟

9. وصلت المقاومتان 22Ω و 33Ω في دائرة توالٍ كهربائية بفرق جهد مقداره 120 V . احسب مقدار:

- المقاومة المكافئة للدائرة.
- التيار المار في الدائرة.
- الهبوط في الجهد عبر كل مقاومة.
- الهبوط في الجهد عبر المقاومتين معاً.

10. قام طالب بعمل مجزئ جهد يتكوّن من بطارية جهدها 45 V ومقاومتين قيمتهما $475 \text{ k}\Omega$ و $235 \text{ k}\Omega$. 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 $1.2 \text{ k}\Omega$ ، بحيث يكون الهبوط في الجهد عبر المقاومة $1.2 \text{ k}\Omega$ مساوياً 2.2 V عندما يكون جهد المصدر 12 V ؟



■ الشكل 6-8 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

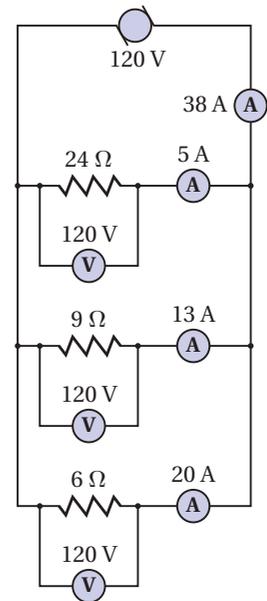
انظر إلى الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل 6-8. ما عدد مسارات التيار فيها؟ يمكن أن يمر التيار الخارج من المولد في أي من المقاومات الثلاث. وتسمى مثل هذه الدائرة التي تحتوي على مسارات متعددة للتيار الكهربائي **دائرة التوازي**. فالمقاومات الثلاثة في الشكل موصولة على التوازي؛ حيث يتصل طرفا كل مسار بطرفي المسار الآخر. بالرجوع إلى نموذج النهر الجبلي، تلاحظ أن مثل هذه الدائرة الكهربائية موضحة بعدة مسارات مختلفة لتدفق الماء في صورة جداول، بعد تدفقه من أعلى الجبل أو سلسلة منحدرات متتالية، حيث يمكن أن يكون تدفق الماء في بعض المسارات كبيراً، وفي بعضها الآخر أقل، ولكن يظل التدفق الكلي مساوياً لمجموع التدفقات 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 مساوياً لمجموع التيارات التي تمر في كل المسارات. أما فرق الجهد فيكون هو نفسه في كل مسار؛ أي أن الجهد متساوٍ في كل المسارات.

ما مقدار التيار المار في كل مقاومة في دائرة توازي كهربائية؟ يعتمد مقدار التيار المار في كل مقاومة على مقدار مقاومتها. ففي الشكل 7-8 مثلاً 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 24Ω كما يأتي: $I = (120 V) / (24 \Omega) = 5.0 A$ ، ثم تحسب التيار المار في كل من المقاومتين الأخرين. ويكون التيار الكلي المار في المولد مساوياً لمجموع التيارات في المسارات الثلاثة، ويساوي في هذه الحالة 38 A.

ماذا يحدث عند فصل المقاومة 6Ω من الدائرة؟ وهل تتغير قيمة التيار المار في المقاومة 24Ω ؟ تعتمد قيمة هذا التيار فقط على فرق الجهد بين طرفي المقاومة وعلى مقدارها. ولأن أيّاً منها لم يتغير فإن التيار يبقى ثابتاً ولا يتغير. وينطبق الشيء نفسه أيضاً على التيار الذي يمر في المقاومة 9Ω ؛ أي أن فروع دائرة التوازي الكهربائية لا يعتمد بعضها على بعض. أما التيار الكلي المار في المولد فيتغير عند فصل أي من المقاومات الثلاث، فعند فصل المقاومة 6Ω يصبح مجموع التيارين في المسارين 18 A.

تجربة عملية
كيف تعمل المقاومات الموصولة معاً على التوازي؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

■ الشكل 7-8 التيار الكلي في دائرة توازي كهربائية يساوي مجموع التيارات في المسارات المفردة.



تطبيق الفيزياء

اختبار قياس المقاومة

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



مقاومة التوازي

رَكَب 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 مقدار التيارين إذا تضمنت الدائرة ثلاث أو أربع مقاومات متماثلة موصولة على التوازي.

4. اختبر توقعك.

التحليل والاستنتاج

5. أنشئ جدول بيانات لتوضيح النتائج.

6. فسّر نتائجك بتضمينها كيفية تغير المقاومة.

المقاومة في دائرة التوازي كيف يمكن إيجاد المقاومة المكافئة لدائرة توازي كهربائية؟ مقدار التيار الكلي المار في الموّلد الموضّح في الشكل 7-8 يساوي 38 A، لذا فإن قيمة المقاومة المُفردة التي يمر فيها تيار مقداره 38 A عند توصيلها بفرق جهد مقداره 120 V هي:

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

لاحظ أن هذه المقاومة تكون أقل من أي مقاومة من المقاومات الثلاث الموصولة على التوازي. فتوصيل مقاومتين أو أكثر على التوازي يقلّل دائماً من المقاومة المكافئة للدائرة؛ وذلك لأن كل مقاومة جديدة توصل على التوازي تُضيف مساراً جديداً للتيار، وهذا يزيد من قيمة التيار الكلي مع بقاء فرق الجهد ثابتاً.

لحساب المقاومة المكافئة لدائرة توازي، لاحظ أولاً أن التيار الكلي في الدائرة هو مجموع التيارات في كل الفروع، فإذا كانت التيارات I_A و I_B و I_C هي التيارات المارة في الفروع 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 معاً على التوازي

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

مقلوب المقاومة المكافئة يساوي مجموع مقلوب المقاومات المفردة.

ويمكن استخدام هذه المعادلة لإيجاد المقاومة المكافئة لأيّ عدد من المقاومات الموصولة على التوازي.



مثال 3

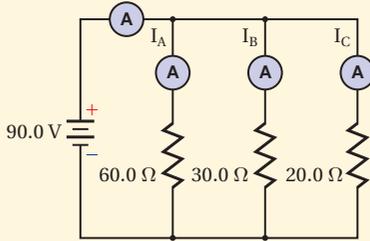
المقاومة المكافئة والتيار في دائرة توازن كهربائية وصلت المقاومات الثلاث الآتية: 60.0Ω و 30.0Ω و 20.0Ω على

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 رسماً تخطيطياً للدائرة الكهربائية.
- ضمّن رسمك مجموعة من الأميترات لتبين أين توصلها لتقيس التيارات جميعها.

المجهول

$$I_A = ?$$

$$I = ?$$

$$I_B = ?$$

$$R = ?$$

$$I_C = ?$$

المعلوم

$$R_A = 60.0 \Omega$$

$$R_C = 20.0 \Omega$$

$$R_B = 30.0 \Omega$$

$$V = 90.0 \text{ V}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لأن الجهد على كل مقاومة يكون هو نفسه لجميع المقاومات، لذا نستخدم العلاقة $I = \frac{V}{R}$ في كل فرع.

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

بالتعويض عن $V = 90.0 \text{ V}$ ، $R_A = 60.0 \Omega$

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

بالتعويض عن $V = 90.0 \text{ V}$ ، $R_B = 30.0 \Omega$

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

بالتعويض عن $V = 90.0 \text{ V}$ ، $R_C = 20.0 \Omega$

b. استخدم معادلة المقاومة المكافئة لدوائر التوازي.

دليل الرياضيات

الكسور ص 258

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

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

بالتعويض عن

$$R_A = 60.0 \Omega, R_B = 30.0 \Omega, R_C = 20.0 \Omega$$

$$R = 10.0 \Omega$$

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

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

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

بالتعويض عن $V = 90.0 \text{ V}$ ، $R = 10.0 \Omega$

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ تم قياس التيار بوحدّة الأمبير، والمقاومة بوحدّة الأوم.

• هل الجواب منطقي؟ المقاومة المكافئة أقل من أي مقاومة مفردة، والتيار في الدائرة I يساوي مجموع التيارات:

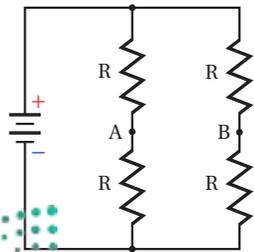
$$I = I_A + I_B + I_C$$

12. وصلت ثلاث مقاومات مقاديرها 120.0Ω و 60.0Ω و 40.0Ω 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 150Ω إلى 93Ω فيجب إضافة مقاومة إلى هذا الفرع. ما مقدار المقاومة التي يجب إضافتها؟ وكيف يتم توصيلها؟
14. وُصلت مقاومة مقدارها 12Ω وقدرتها $2 W$ على التوازي بمقاومة أخرى مقدارها 6.0Ω وقدرتها $4 W$. أيهما يسخن أكثر إذا زاد فرق الجهد بين طرفيهما باستمرار؟

تختلف توصيلات التوالي والتوازي في كيفية تأثيرها في دوائر الإضاءة. تحيّل مصباحين كهربائيين قدرة الأول $60 W$ ، و قدرة الثاني $100 W$ استخدمنا في دائرة إضاءة. تذكر أن سطوع إضاءة المصباح يتناسب طردياً مع القدرة المستنفدة، وأن $P=I^2R$. عند وصل المصباحين على التوازي بجهد $120 V$ يكون سطوع المصباح الذي قدرته $100 W$ أكبر. وعند وصلها على التوالي يكون التيار المار في كل منهما متساوياً. 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.

1-8 مراجعة

- سلكاً استخدم 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 8-8

15. أنواع الدوائر الكهربائية قارن بين الجهود والتيارات في دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.
16. التيار الكلي دائرة توازي فيها أربعة أفرع للتيار، قيم التيارات فيها: $120 mA$ و $250 mA$ و $380 mA$ و $2.1 A$ ، ما مقدار التيار الذي يُولّده المصدر؟
17. التيار الكلي تحتوي دائرة توالٍ على أربع مقاومات. إذا كان التيار المار في إحدى المقاومات يساوي $810 mA$ فاحسب مقدار التيار الذي يُولّده المصدر.
18. التفكير الناقد تحتوي الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل 8-8 على أربع مقاومات متماثلة. افترض أن



8-2 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.
- تحلّل وتحلّ مسائل تتضمن دوائر كهربائية مُركّبة.
- توضّح كيفية توصيل كلّ من الفولتметр والأميتر في الدوائر الكهربائية.

المفردات

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

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

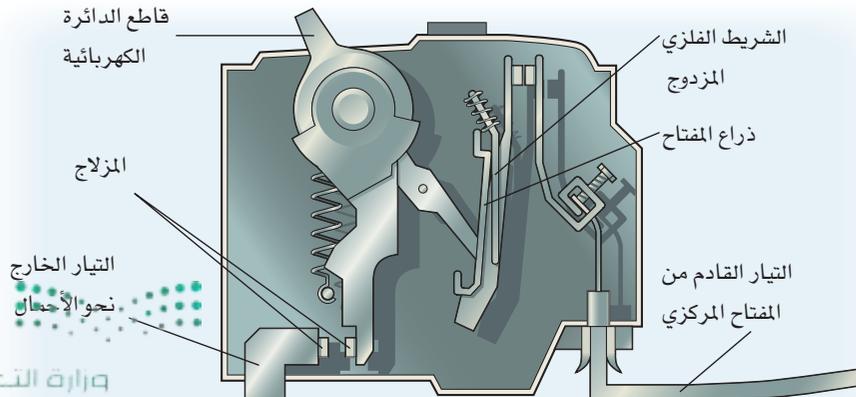
أدوات السلامة Safety Devices

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 جداً؛ ممّا يجعل التيار المار فيها كبيراً جداً. فعند توصيل مجموعة من الأجهزة الكهربائية على التوازي تقل المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية أكثر كلما شغلنا جهازاً 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 وحدث دائرة قصر قد تُحدث حريقاً.

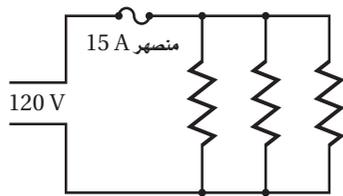
أما **المنصهر الكهربائي** فهو قطعة قصيرة من فلز تنصهر عندما يمرّ فيها تيار كبير. ويحدد سمك هذه القطعة مقدار التيار اللازم لعمل الدائرة الكهربائية، بحيث يمرّ فيها التيار الكهربائي بأمان دون أن يؤدي إلى تلفها. وإذا مرّ تيار أكبر من التيار الذي تتحمّله الدائرة تنصهر هذه القطعة وتقطع التيار الكهربائي عن الدائرة، وهذا يؤدي إلى حماية الدائرة من التلف. يوضّح الشكل 8-9 **قاطع الدائرة الكهربائية**، وهو مفتاح كهربائي ألي يعمل على فتح الدائرة الكهربائية عندما يتجاوز مقدار التيار المار فيها القيمة المسموح بها؛ لأن مرور مثل هذا التيار يُحدث حملاً زائداً في الدائرة، لذا يعمل القاطع على فتح الدائرة الكهربائية وإيقاف التيار.

يسلك التيار مساراً مفرداً 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 جزءاً من هذا المسار فإن مرور التيار فيه يُسبب 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 8-9 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، فتنتفخ.



■ الشكل 10-8 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.

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 (RCD) Device Circuit Residual.

التطبيقات المنزلية يوضح الشكل 10-8 دائرة توازي كهربائية تستخدم في التمديدات المنزلية، ويوضح الشكل أيضًا بعض الأجهزة التي توصل على التوازي؛ حيث لا يعتمد التيار المار في أي 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 $I = \frac{240 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 2.0 \text{ A}$. وعند وصل مكواة كهربائية قدرتها 720 W بمصدر الجهد نفسه يكون التيار المار فيها $I = \frac{720 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 6.0 \text{ A}$. وأخيرًا، إذا وصل مجفف شعر قدرته 1440 W بمصدر الجهد نفسه أيضًا فسوف يمر فيه تيار مقداره $I = \frac{1440 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 12 \text{ A}$. ويمكن حساب مقاومة كل جهاز بالعلاقة $R = V / I$. وتحسب المقاومة المكافئة للأجهزة الثلاثة كما يأتي:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{60 \Omega} + \frac{1}{20 \Omega} + \frac{1}{10 \Omega} = \frac{1}{6 \Omega}$$

$$R = 6 \Omega$$

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.

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

$$= \frac{120 \text{ V}}{6 \Omega}$$

$$= 20 \text{ A}$$

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 الموصلين بمصباح كهربائي هشّة وتالفة؛ لأنه قد يتلامس السلكان، فينتج عن ذلك مقاومة مقدارها 0.010Ω تقريبًا، مما يؤدي إلى مرور تيار كهربائي كبير جدًا.

$$I = V / R$$

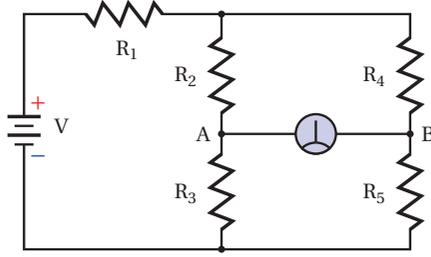
$$= \frac{120 \text{ V}}{0.010 \Omega}$$

$$= 12000 \text{ A}$$

سيؤدي مرور مثل هذا التيار إلى صهر المنصهر الكهربائي أو فتح القاطع الكهربائي، ومن ثم فتح الدائرة الكهربائية، مما يمنع ارتفاع درجة حرارة الأسلاك إلى حد إشعال الحريق.



الجلفانومتر جهاز يستخدم لقياس التيارات الكهربائية وفروق الجهد الصغيرة جدًا. 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؟ وضح إجابتك.

2. اشتق معادلة عامة لدائرة مُتزنة مستخدمًا التسميات المعطاة.

تنبيه: تعامل مع الدائرة على أنها مجزئ جهد.

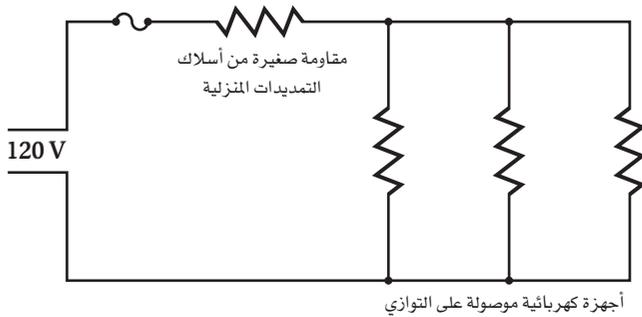
3. أيّ المقاومات يمكن أن نضع مكانها مقاومةً متغيرةً لكي تستخدم أداة في ضبط الدائرة وموازنتها؟

4. أيّ المقاومات يمكن أن نضع مكانها مقاومةً متغيرةً لكي تستخدم أداة تحكّم وضبط حسّاسة؟ ولماذا يكون ذلك ضروريًا؟ وكيف يمكن استخدامه عمليًا؟

الدوائر الكهربائية المركّبة

Combined Series–Parallel Circuits

هل لاحظت حدوث ضعف في إضاءة مصباح الحمام أو غرفة النوم عند تشغيل مجفّف الشعر؟ يوصل كل من المصباح ومجفّف الشعر على التوازي عبر مصدر جهد مقداره 120 V. ولا يجب أن يتغير التيار المار في المصباح عند تشغيل مجفّف الشعر؛ بسبب توصيلها 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 موضح في الشكل 8–12 فإن هذه المقاومة موصولة على التوالي مع دائرة التوازي. وتسمى الدائرة التي تحتوي على نوعي التوصيل التوالي والتوازي معاً **دائرة كهربائية مركّبة**. وتستخدم الاستراتيجية الآتية لتحليل مثل هذه الدوائر.

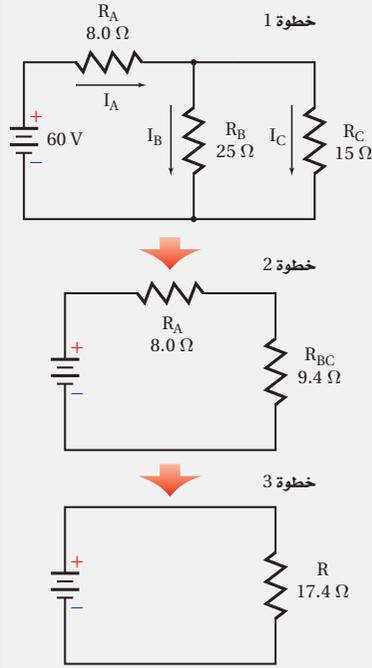


أجهزة كهربائية موصولة على التوازي

■ الشكل 8–11 تتصل المقاومة الصغيرة لأسلاك التمديدات الكهربائية على التوالي بالأجهزة الكهربائية الموصولة على التوازي في التوصيلات المنزلية.



مخططات اختزال دائرة كهربائية



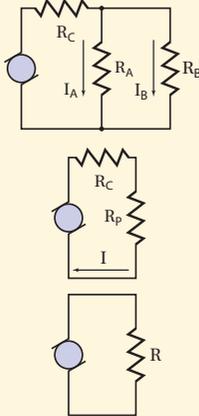
الدوائر الكهربائية المركبة

عند تحليل دائرة كهربائية مركبة نستخدم الخطوات الآتية لتبسيط المسألة:

1. ارسم رسماً تخطيطياً للدائرة الكهربائية.
2. حدّد المقاومات الموصولة معاً على التوازي. تعمل مقاومات التوازي على تجزئة التيار، ويكون لها فرق الجهد نفسه. احسب المقاومة المكافئة لهذه المقاومات. ثم ارسم رسماً تخطيطياً جديداً 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 رسماً تخطيطياً جديداً يحتوي على هذه المقاومة.
4. كرّر الخطوات 2 و3 حتى تختصر مقاومات الدائرة كلّها في مقاومة واحدة. أوجد تيار الدائرة الكلي، ثم ارجع في المسألة عكسياً لحساب التيار وفرق الجهد لكل مقاومة.

مثال 4

الدوائر الكهربائية المركبة وُصل مُجفّف شعر مقاومته 12.0Ω ، ومصباح كهربائي مقاومته 125Ω معاً على التوازي بمصدر جهد 125 V موصول معه مقاومة 1.5Ω على التوالي، كما هو موضح في الشكل. أوجد التيار المار في المصباح عند تشغيل مجفّف الشعر.



1 تحليل المسألة ورسمها

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

المجهول

$$I = ?$$

$$I_A = ?$$

$$R_C = 1.50 \Omega$$

$$R_A = 125 \Omega$$

$$R = ?$$

$$R_p = ?$$

$$V_{\text{مصدر}} = 125 \text{ V}$$

$$R_B = 12.0 \Omega$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

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

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

$$\text{بالتعويض عن } R_A = 125 \Omega, R_B = 12.0 \Omega$$

$$R_p = 10.9 \Omega$$

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

$$\text{بالتعويض } R_C = 1.50 \Omega, R_p = 10.9 \Omega$$

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R}$$

$$= \frac{125 \text{ V}}{12.4 \Omega}$$

$$= 10.1 \text{ A}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية ص 256

$$V_{\text{مصدر}} = 125 \text{ V}, R = 12.4 \Omega \text{ بالتعويض}$$

$$V_C = IR_C$$

$$= (10.1 \text{ A})(1.50 \Omega)$$

$$= 15.2 \text{ V}$$

$$I = 10.1 \text{ A}, R_C = 1.50 \Omega \text{ بالتعويض}$$

$$V_A = V_{\text{مصدر}} - V_C$$

$$= 125 \text{ V} - 15.2 \text{ V}$$

$$= 1.10 \times 10^2 \text{ V}$$

$$V_{\text{مصدر}} = 125 \text{ V}, V_C = 15.2 \text{ V} \text{ بالتعويض}$$

$$I_A = \frac{V_A}{R_A}$$

$$= \frac{1.10 \times 10^2 \text{ V}}{125 \Omega}$$

$$= 0.880 \text{ A}$$

$$V_A = 1.10 \times 10^2 \text{ V}, R_A = 125 \Omega \text{ بالتعويض}$$

3 تقويم الجواب

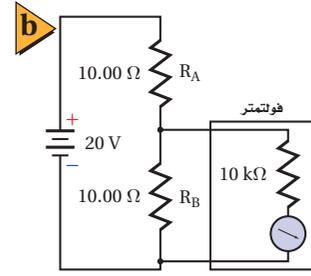
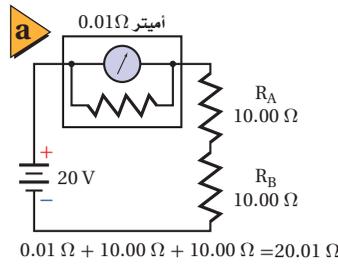
- هل الوحدات صحيحة؟ يقاس التيار بوحدة الأمبير، ويقاس الهبوط في الجهد بوحدة الفولت.
- هل الجواب منطقي؟ المقاومة أكبر من الجهد، لذا يكون التيار أقل من 1 A.

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 كهربائيًا معًا على التوالي، وتتصل المجموعة على التوالي بمصباحين كهربائيين يتصلان على التوازي. فإذا كانت المصابيح جميعها متماثلة، فأياها 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؟



■ **الشكل 12-8** يتصل أميتر على التوالي بمقاومتين (a). غيّرت المقاومة الصغيرة للأميتر التيار بمقدار صغير جداً. ويتصل الفولتметр بمقاومة على التوازي (b). سيكون التغير في تيار الدائرة وجهدها مهملاً بسبب المقاومة الكبيرة للفولتметр.



الأميترات والفولتترات 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 يُصمَّم الأميتر بحيث تكون مقاومته أقل ما يمكن؛ وذلك لأن التيار سيقبل 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-8.

وهناك جهاز آخر يسمى **الفولتметр** يُستخدم لقياس الهبوط في الجهد عبر جزء من دائرة كهربائية. ولقياس الهبوط في الجهد عبر مقاومة يتم وصل الفولتметр مع هذه المقاومة على التوازي. ويُصمَّم الفولتметр بحيث تكون مقاومته كبيرة جداً؛ وذلك حتى يكون التغير في التيارات وفروق الجهد في الدائرة الكهربائية أقل ما يمكن. لذا يوصل مع ملفه مقاومة كبيرة على التوالي، ويوصل الفولتметр على التوازي في الدوائر الكهربائية، لاحظ الشكل 12b-8.

8-2 مراجعة

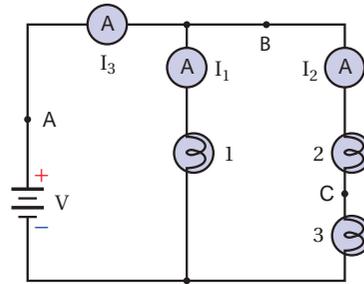
25. **دوائر التوالي الكهربائية** إذا فُصل السلك عند النقطة C، ووُصلت مقاومة صغيرة على التوالي بالمصباحين 2 و3 فماذا يحدث لسطوع كل منهما؟

26. **جهد البطارية** عند وصل فولتметр بين طرفي المصباح 2 كانت قراءته 3.8 V، وعند وصل فولتметр 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 أي مقاومات إضافية؟ وضح إجابتك.

ارجع إلى الشكل 13-8 للإجابة عن الأسئلة 23 - 28، افترض أن جميع المصابيح في الدائرة الكهربائية متماثلة للأسئلة 23 - 25.



الشكل 13-8

23. **السطوع** قارن بين سطوع المصابيح.

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

مختبر الفيزياء

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية

يوجد في كل دائرة كهربائية علاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة. سوف تستقصي 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؟

المواد والأدوات

مصدر قدرة قليل الجهد
قاعدتا مصباح
مصباحان كهربائيان صغيران
أميتر ذو مدى تدريج 0-500 mA
فولتметр ذو مدى تدريج 0-30 V
عشرة أسلاك نحاسية مزودة بمشابك فم التمساح

الخطوات

1. صل قاعدتي المصباح على التوالي بالأميتر ومصدر القدرة. راع التوصيل الصحيح للأقطاب عند وصل الأميتر.
2. ركب المصباحين في القاعدتين، وشغل مصدر القدرة. ثم اضبط مصدر القدرة حتى تصبح إضاءة المصباحين خافتة.
3. افصل أحد المصباحين، ودون ملاحظتك في جدول البيانات.
4. ركب المصباح مرة ثانية، وأوجد فرق الجهد بين طرفي النظام المكوّن من المصباحين، وذلك بتوصيل الطرف الموجب للفولتметр بالطرف الموجب للدائرة، والطرف السالب له بالطرف السالب للدائرة، ثم دون قياساتك في جدول البيانات.
5. أوجد فرق الجهد بين طرفي كل مصباح بتوصيل الطرف الموجب للفولتметр بالطرف الموجب للمصباح، والطرف السالب للفولتметр بالطرف السالب للمصباح، ثم دون قياساتك في جدول البيانات. وكرّر تجربتك لمصباح أخرى على التوالي.

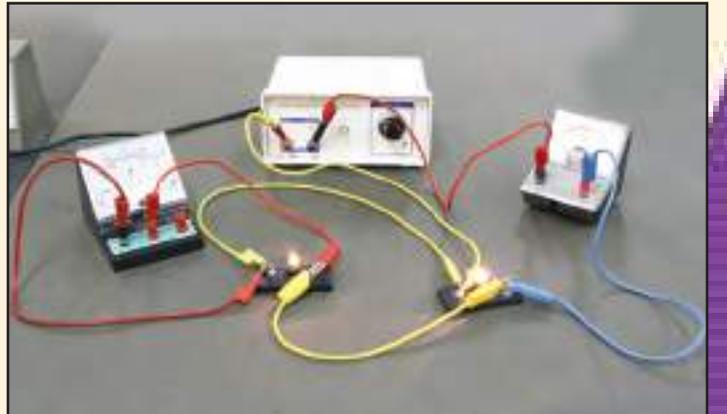
الأهداف

- تصف العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوالي الكهربائية.
- تلخّص العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوازي الكهربائية.
- تجمع بيانات حول التيار وفرق الجهد باستعمال أجهزة القياس الكهربائية.
- تحسب مقاومة مصباح كهربائي من خلال 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 متناوب؛ لأن هذا التيار قاتل.
- أمسك أطراف الأسلاك بحذر؛ لأنها قد تكون حادة، فتجرح جلدك.



جدول البيانات			
الملاحظات	فرق الجهد (V)	التيار الكهربائي (mA)	الخطوة
			3
			4
			5
			6
			8
			9
			10
			11

6. صل الأميتر بمواقع مختلفة في دائرة التوالي، ودوّن قيم هذه التيارات في جدول البيانات.

7. صل قاعدتي المصباحين على أن تكونا متصلتين على التوالي مع مصدر الجهد نفسه، وأن تكونا متصلتين على التوالي مع الأميتر.

8. ركب المصباحين في القاعدتين، وشغل مصدر القدرة. ثم اضبط مصدر القدرة حتى تصبح إضاءة المصباحين خافتة. ودوّن قراءة التيار من الأميتر في جدول البيانات.

9. أو جد فرق الجهد عبر الدائرة كلها، ثم عبّر كل مصباح، ودوّن القيم في جدول البيانات.

10. صل 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

- احسب المقاومة المكافئة للمصباحين في دائرة التوالي.
- احسب مقاومة كل مصباح في دائرة التوالي.
- ما العلاقة بين المقاومة المكافئة للمصباحين ومقدار مقاومة كل منهما؟
- ما العلاقة بين فرق الجهد على طرفي كل مصباح وفرق الجهد على طرفي النظام المكوّن منهما عندما يكونان موصلين على التوالي؟

5. احسب مقاومة كل مصباح في دائرة التوالي، وقارن هذه القيمة مع المقاومة التي حصلت عليها للمصباحين في دائرة التوالي.

الاستنتاج والتطبيق

- لخص العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوالي.
- لخص العلاقة بين التيار وفرق الجهد في دائرة التوالي.

التوسع في البحث

كرّر التجربة باستخدام مصابيح ذات جهود مختلفة، 1.5 V و 3.0 V و 6.0 V مثلاً.

الفيزياء في الحياة

- تعمل المصابيح في معظم المنازل على جهد 120V بغض النظر عن عددها. كيف تتأثر مقدرتنا على استعمال أي عدد من المصابيح المتماثلة الجهد بطريقة التوصيل (توازي، أو توالي)؟
- لماذا يخفت الضوء في المنزل عند تشغيل جهاز كهربائي يحتاج إلى تيار كبير، كالمكيّف مثلاً؟

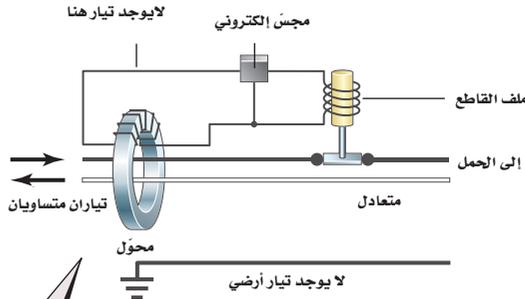


How it Works Ground Fault Circuit Interrupter (GFCI)?

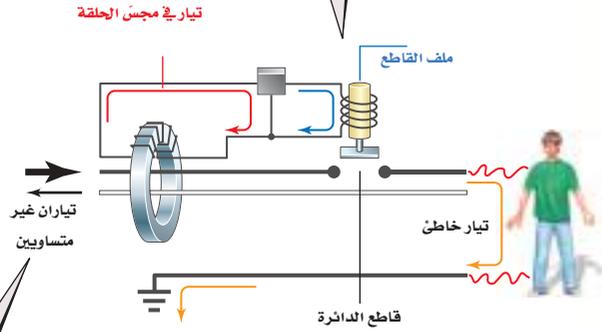
دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ؟

كيف تعمل

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 سيولد التيار المحصل المار مجالًا مغناطيسيًا مُتغيّرًا في قلب المحوّل، مما يولد تيارًا في حلقة المجسّ الإلكتروني. سيكشف المجسّ بدوره التيار، ويُنشِط مغناطيسًا كهربائيًا يُسمّى الملف القاطع، وبذلك تفتتح الدائرة الكهربائية. وتستغرق هذه العملية 0.025 s.

4 يُوصّل زر الفحص في دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ بمقاومة صغيرة بالدائرة الكهربائية، فينشئ مرة أخرى تيارات غير متساوية في المحوّل، ويفتح الدائرة الكهربائية.

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

التفكير الناقد

- 1. كَوْنُ فرضية** يحدث التفريغ الخاطئ عندما يقف شخص على سطح مبلل بالماء ويلمس جهازًا موصولًا بالكهرباء. كيف يكون الماء عاملاً 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؟ وضح إجابتك.
- 3. احسب** في دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ، كان مقدار مقاومة الفحص $14.75 \text{ k}\Omega$ ، احسب التيار المار في هذه المقاومة إذا كان فرق الجهد 115 V ، هل يُعدّ هذا التيار كبيرًا؟

8-1 الدوائر الكهربائية البسيطة Simple Circuits

المفردات

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

المفاهيم الرئيسية

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

$$R = R_A + R_B + R_C + \dots$$

- 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 المطبق 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.

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

- إذا فُتح أي فرع من أفرع دائرة التوازي الكهربائية فلن يمر تيار في هذا الفرع، ولن تتغير قيمة التيارات المارة في الأفرع الأخرى.

8-2 تطبيقات الدوائر الكهربائية Applications of Circuits

المفردات

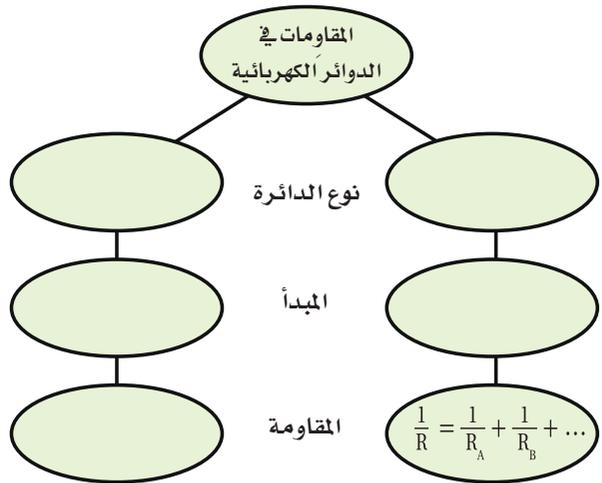
- دائرة القصر
- المنصهر الكهربائي
- قاطع الدائرة الكهربائية
- قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ
- دائرة كهربائية مركبة
- الأميتر
- الفولتметр

المفاهيم الرئيسية

- يعمل المنصهر الكهربائي أو قاطع الدائرة الكهربائية الموصل بالجهاز على التوالي على فتح الدائرة عند مرور تيارات كهربائية كبيرة فيها خطر على الجهاز.
- تتكون الدائرة المركبة من توصيلات التوالي والتوازي معاً. في البداية يُختزل أي تفرع توازي 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 دائماً صغيرة جداً، كما أنه يوصل دائماً على التوالي في الدائرة الكهربائية.
- يقيس الفولتметр فرق الجهد بين طرفي أي جزء أو مجموعة أجزاء في الدائرة. وتكون مقاومته دائماً كبيرة جداً، كما أنه يوصل دائماً على التوازي بين طرفي الجزء المراد قياس جهده في الدائرة الكهربائية.

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؟ (8-1)
31. لماذا تقل المقاومة المكافئة في دائرة التوازي كلما أضيف المزيد من المقاومات؟ (8-1)
32. إذا وصلت مجموعة مقاومات مختلفة في قيمها على التوازي، فكيف تُقارن قيمة كل منها بالمقاومة المكافئة للمجموعة؟ (8-1)
33. لماذا تكون تمديدات أسلاك الكهرباء في المنازل على التوازي، وليس على التوالي؟ (8-1)
34. قارن بين مقدار التيار الداخل إلى نقطة تفرع في دائرة توازي ومقدار التيار الخارج منها (نقطة التفرع نقطة تتصل بها ثلاثة موصلات أو أكثر). (8-1)
35. وضح كيف يعمل منصهر كهربائي على حماية دائرة كهربائية ما؟ (8-2)

36. ما المقصود بدائرة القصر؟ ولماذا تكون خطيرة؟ (8-2)
37. لماذا يُصمَّم الأميتر بحيث تكون مقاومته صغيرة جداً؟ (8-2)
38. لماذا يُصمَّم الفولتметр بحيث تكون مقاومته كبيرة جداً؟ (8-2)
39. كيف تختلف طريقة توصيل الأميتر في دائرة كهربائية عن طريقة توصيل الفولتметр في الدائرة نفسها؟ (8-2)

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 الموضح في الشكل 4-8 صُممت لتكون مقاومة متغيرة، فماذا يحدث للجهد الناتج V_B في مجزئ الجهد إذا زاد مقدار المقاومة المتغيرة؟
42. تحتوي الدائرة A على ثلاث مقاومات مقدار كل منها 60Ω موصولة على التوالي، أما الدائرة B فتحتوي على ثلاث مقاومات مقدار كل منها 60Ω موصولة على التوازي. كيف يتغير التيار المار في المقاومة الثانية في كل دائرة منها 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 6V وعدد من المصابيح جهد كل منها 1.5V، فكيف تصل المصابيح بحيث تضيء، على ألا يزيد فرق الجهد بين طرفي كل منها على 1.5V؟

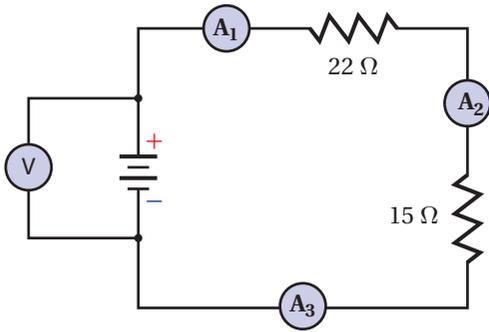
تقويم الفصل 8

49. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات الآتية:
680 Ω و 1.1 k Ω و 10.0 k Ω إذا وصلت على التوازي.

50. إذا كانت قراءة الأميتر 1 الموضح في الشكل 8-14 تساوي 0.20 A، فما مقدار:

a. قراءة الأميتر 2؟

b. قراءة الأميتر 3؟



الشكل 8-14

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 توازي، 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 الأميتر 1 في الشكل 8-14 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 الموضح في الشكل 8-14 تساوي 0.50 A، فما مقدار:

a. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 22 Ω .

b. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 15 Ω .

c. جهد البطارية.

45. مصباحان كهربائيان مقاومة أحدهما أكبر من مقاومة الآخر. أجب عما يأتي:

a. إذا وصل المصباحان على التوازي فأيهما يكون سطوعه أكبر (أي أيهما يستنفد قدرة أكبر)؟

b. إذا وصل المصباحان على التوالي فأيهما يكون سطوعه أكبر؟

46. اكتب نوع الدائرة المستخدمة (توالٍ أم توازي) فيما يأتي:

a. التيار متساوٍ في جميع أجزاء الدائرة الكهربائية.

b. المقاومة المكافئة تساوي مجموع المقاومات المفردة.

c. الهبوط في الجهد عبر كل مقاومة في الدائرة الكهربائية متساوٍ.

d. الهبوط في الجهد في الدائرة الكهربائية يتناسب طردياً مع المقاومة.

e. إضافة مقاومة إلى الدائرة يُقلل المقاومة المكافئة.

f. إضافة مقاومة إلى الدائرة يزيد المقاومة المكافئة.

g. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاومات دائرة كهربائية صفراً، ولم يمر تيار في جميع المقاومات الأخرى الموجودة في الدائرة.

h. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاومات دائرة كهربائية صفراً، ولم تتغير مقادير التيارات الكهربائية المارة في جميع المقاومات الأخرى الموجودة في الدائرة.

i. هذا النوع من التوصيل مناسب لتمديدات الأسلاك في المنزل.

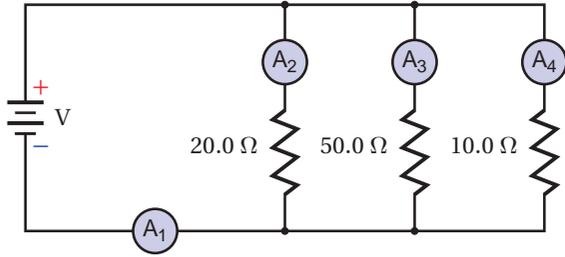
47. منصهرات المنزل لماذا يكون خطيراً استعمال منصهر 30 A بدلاً من المنصهر 15 A المستخدم في حماية دائرة المنزل؟

إتقان حل المسائل

8-1 الدوائر الكهربائية البسيطة

48. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات الآتية:
680 Ω و 1.1 k Ω و 10 k Ω إذا وصلت على التوالي.

تقويم الفصل 8



الشكل 8-17 ■

58. إذا كانت قراءة الأميتر 3 الموضح في الشكل 8-17

تساوي 0.40 A فما مقدار:

- جهد البطارية؟
- قراءة الأميتر 1؟
- قراءة الأميتر 2؟
- قراءة الأميتر 4؟

59. ما اتجاه التيار الاصطلاحي المار في المقاومة 50.0Ω الموضح في الشكل 8-17؟

60. إذا كان الحمل الموصل بطرفي بطارية يتكون من مقاومتين 15Ω و 47Ω موصولتين على التوالي فما مقدار:

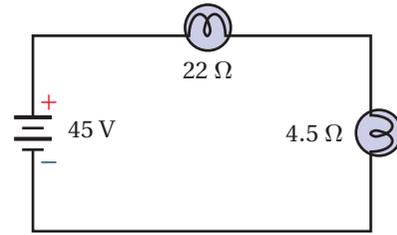
- المقاومة الكلية للحمل؟
- جهد البطارية إذا كان مقدار التيار المار في الدائرة 97 mA؟

61. أنوار الاحتفالات يتكون أحد أسلاك الزينة من 18 مصباحًا صغيرًا متماثلًا، موصولة على التوالي بمصدر جهد مقداره 120 V. فإذا كان السلك يستنفد قدرة مقدارها 64 W، فما مقدار:

- المقاومة المكافئة لسلك المصابيح؟
- مقاومة كل مصباح؟
- القدرة المستنفدة في كل مصباح؟

55. وصل مصباحان مقاومة الأول 22Ω ومقاومة الثاني 4.5Ω على التوالي بمصدر فرق جهد مقداره 45 V، كما هو موضح في الشكل 8-15. احسب مقدار:

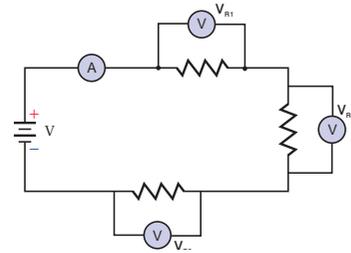
- المقاومة المكافئة للدائرة.
- التيار المار في الدائرة.
- الهبوط في الجهد في كل مصباح.
- القدرة المستهلكة في كل مصباح.



الشكل 8-15 ■

56. إذا كانت قراءة الفولتметр الموضح في الشكل 8-16 تساوي 70.0 V فأجب عن الأسئلة الآتية:

- ما مقدار قراءة الأميتر؟
- أي المقاومات أسخن؟
- أي المقاومات أبرد؟
- ما مقدار القدرة المزودة بواسطة البطارية؟



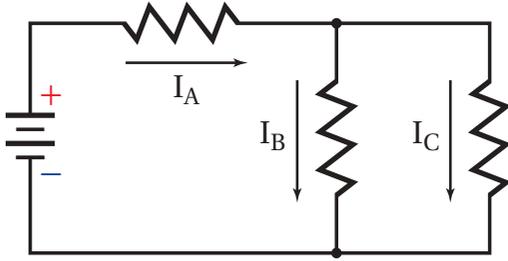
الشكل 8-16 ■

57. إذا كان جهد البطارية الموضحة في الشكل 8-17 يساوي 110 V، فأجب عن الأسئلة الآتية:

- ما مقدار قراءة الأميتر 1؟
- ما مقدار قراءة الأميتر 2؟
- ما مقدار قراءة الأميتر 3؟
- ما مقدار قراءة الأميتر 4؟
- أي المقاومات أسخن؟
- أي المقاومات أبرد؟



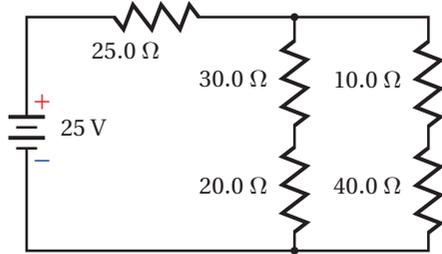
تقويم الفصل 8



الشكل 8-18 ■

67. إذا استنفدت كل مقاومة 120 mW فاحسب القدرة الكلية المستنفدة.
68. إذا كان $I_A = 13 \text{ mA}$ و $I_B = 1.7 \text{ mA}$ فما مقدار I_C ؟
69. بافتراض أن $I_C = 1.7 \text{ mA}$ و $I_B = 13 \text{ mA}$ ، فما مقدار I_A ؟
70. بالرجوع إلى الشكل 8-19 أجب عما يأتي:

- a. ما مقدار المقاومة المكافئة؟
- b. احسب مقدار التيار المار في المقاومة 25Ω .
- c. أي المقاومات يكون أسخن، وأيها يكون أبرد؟



الشكل 8-19 ■

71. تتكوّن دائرة كهربائية من ستة مصابيح ومدفأة كهربائية موصولة جميعها على التوازي. فإذا كانت قدرة كل مصباح 60 W ومقاومته 240Ω ، ومقاومة المدفأة 10.0Ω ، 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.

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. وصّلت مقاومتان 16.0Ω و 20.0Ω ، 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 16.0Ω .

64. صمّم فيصل مجزئ جهد باستخدام بطارية جهدها 12 V ومقاومتين. فإذا كان مقدار المقاومة R_B يساوي 82Ω ، 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 2.5Ω ومنصهر كهربائي دائرة توالٍ تعمل بوصفها مجزئ جهد، فاحسب الهبوط في الجهد عبر التلفاز.

c. إذا وصل مجفّف شعر مقاومته 12Ω بالمقبس نفسه الذي يتصل به التلفاز، فاحسب المقاومة المكافئة للجهازين.

d. احسب الهبوط في الجهد عبر كل من التلفاز، ومجفّف الشعر.

8-2 تطبيقات الدوائر الكهربائية

ارجع إلى الشكل 8-18 للإجابة عن الأسئلة 66-69.

66. إذا كان مقدار كل مقاومة من المقاومات الموضّحة في الشكل يساوي 30.0Ω فاحسب المقاومة المكافئة.

تقويم الفصل 8

مراجعة عامة

76. إذا وُجد هبوطان في الجهد في دائرة توالٍ كهربائية مقدارهما: 3.50 V و 4.90 V فما مقدار جهد المصدر؟

77. تحتوي دائرة كهربائية مُركَّبة على ثلاث مقاومات. فإذا كانت القدرة المستفدة في المقاومات: 5.50 W و 6.90 W و 1.05 W على الترتيب فما مقدار قدرة المصدر الذي يُغذي الدائرة؟

78. وصّلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها $150\ \Omega$ ، على التوالي. فإذا كانت قدرة كل مقاومة 5 W ، فاحسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة التي يمكن الحصول عليها.

79. وصّلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها $92\ \Omega$ على التوازي. فإذا كانت قدرة كل منها 5 W ، فاحسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة التي يمكن الحصول عليها.

80. احسب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاث الموصولة على التوالي، والموضحة في الشكل 21-8، إذا كانت قدرة كل منها 5.0 W



الشكل 21-8 ■

81. احسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة في الدائرة الموضحة في المسألة السابقة.

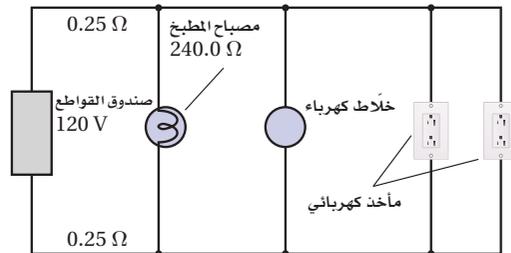
72. إذا احتوت الدائرة الكهربائية في المسألة السابقة على منصهر كهربائي كُتِبَ عليه 12 A فهل ينصهر هذا المنصهر إذا شُغلت المصابيح الستة والمدفأة؟

73. إذا زُوِّدَت خلال اختبار عملي بالأدوات الآتية: بطارية جهدها V ، وعنصري تسخين مقاومتها صغرية يُمكن وضعهما داخل ماء، وأميتري ذي مقاومة صغرية جداً، وفولتметр مقاومته كبيرة جداً، وأسلاك توصيل مقاومتها مهملة، ودورق معزول جيداً سعته الحرارية مهملة، و 0.10 kg ماء درجة حرارته 25°C ، فوضّح بالرسم والرموز كيفية وصل هذه الأدوات معاً لتسخين الماء في أسرع وقت ممكن.

74. إذا تُبِتَت قراءة الفولتметр المستعمل في المسألة السابقة عند 45 V ، وقراءة الأميتر عند 5.0 A فاحسب الزمن (بالثواني) اللازم لتبخير الماء الموجود في الدورق. (استخدم الحرارة النوعية للماء $4.2\text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ والحرارة الكامنة لتبخيره $2.3 \times 10^6\text{ J/kg}$)

75. دائرة كهربائية منزلية يوضّح الشكل 20-8 دائرة كهربائية منزلية، مقاومة كل سلك من السلكين الواصلين إلى مصباح المطبخ $0.25\ \Omega$ ، ومقاومة المصباح $0.24\text{ k}\Omega$. على الرغم من أن الدائرة هي دائرة توازي إلا أن مقاومة الأسلاك تتصل على التوالي بجميع عناصر الدائرة. أجب عما يأتي:

- احسب المقاومة المكافئة للدائرة المتكونة من المصباح وخطي التوصيل من المصباح وإليه.
- أوجد التيار المار في المصباح.
- أوجد القدرة المستفدة في المصباح.



الشكل 20-8 ■

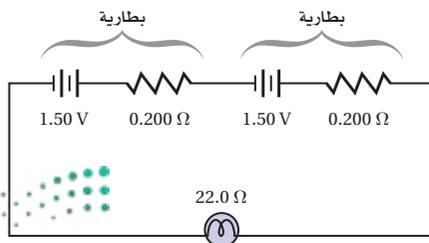


تقويم الفصل 8

85. **تطبيق المفاهيم** صمّم دائرة كهربائية يمكنها إضاءة 12 مصباحاً متماثلاً، 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.

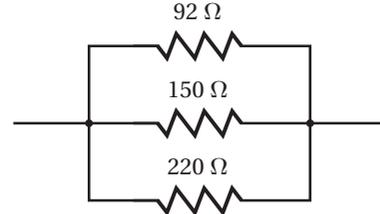
86. **تطبيق المفاهيم** تتكوّن بطارية من مصدر فرق جهد مثالي يتصل بمقاومة صغيرة على التوالي. تنتج الطاقة الكهربائية للبطارية عن التفاعلات الكيميائية التي تحدث فيها، وينتج أيضاً عن هذه التفاعلات مقاومة صغيرة لا يمكن إلغاؤها بالكامل أو تجاهلها. فإذا علمت أن مصباحاً كهربائياً يدوياً يحتوي على بطاريتين موصولتين على التوالي كما هو موضح في الشكل 8-24، وفرق جهد كل منهما يساوي 1.50 V، ومقاومتها الداخلية 0.200Ω ، ومقاومة المصباح 22.0Ω ، فأجب عمّا يأتي:

- a. ما مقدار التيار المار في المصباح؟
- b. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح؟
- c. إذا أهملت المقاومة الداخلية للبطاريتين فما مقدار الزيادة في القدرة المستنفدة؟



الشكل 8-24 ■

82. احسب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاث الموصولة على التوازي، والموضحة في الشكل 8-22 إذا كانت قدرة كل منها 5.0 W



الشكل 8-22 ■

التفكير الناقد

83. **تطبيق الرياضيات** اشتق علاقة لحساب المقاومة المكافئة في كل من الحالات الآتية:
- a. مقاومتان متساويتان موصولتان معاً على التوازي.
- b. ثلاث مقاومات متساوية موصولة معاً على التوازي.
- c. عدد N من مقاومات متساوية موصولة معاً على التوازي.

84. **تطبيق المفاهيم** إذا كان لديك ثلاثة مصابيح كتلك الموضحة في الشكل 8-23، وكانت قدرتها كما يأتي: 50 W و 100 W و 150 W، فارسم أربعة رسوم تخطيطية جزئية تبين من خلالها فتائل المصابيح، وأوضاع المفاتيح الكهربائية لكل مستوى سطوع، بالإضافة إلى بيان وضع الإطفاء. عنون كل رسم تخطيطي. (ليس هناك حاجة إلى رسم مصدر طاقة).

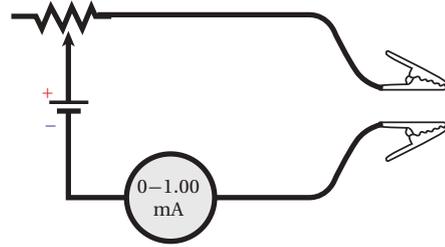


الشكل 8-23 ■

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 6)
- مضاعفة d ثلاث مرات.
 - مضاعفة Q ثلاث مرات.
 - مضاعفة كل من d و Q ثلاث مرات.
 - مضاعفة شحنة الاختبار q ثلاث مرات.
 - مضاعفة كل من 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.

- 87. تطبيق المفاهيم** صُنع أميتر بتوصيل بطارية جهدها 6.0 V على التوالي بمقاومة متغيرة وأميتر مثالي، كما هو موضح في الشكل 8-25، بحيث ينحرف مؤشر الأميتر إلى أقصى تدريج عندما يمر فيه تيار مقداره 1.0 mA . فإذا وصل المشبكان الموضَّحان في الشكل معاً، وضُبطت المقاومة المتغيرة بحيث يمر تيار مقداره 1.0 mA ، فأجب عما يأتي:
- ما مقدار المقاومة المتغيرة؟
 - إذا وصل المشبكان الموضَّحان في الشكل بمقاومة مجهولة فما مقدار المقاومة التي تجعل قراءة الأميتر تساوي:
 - 0.50 mA ؟
 - 0.25 mA ؟
 - 0.75 mA ؟
 - هل تدريج الأميتر خطي؟ وضح إجابتك.



الشكل 8-25

الكتابة في الفيزياء

- 88.** ابحث في قوانين جوستاف كيرتشفوف، واكتب ملخصاً من صفحة واحدة حول كيفية تطبيقها على الأنواع الثلاثة للدوائر الكهربائية الواردة في الفصل.

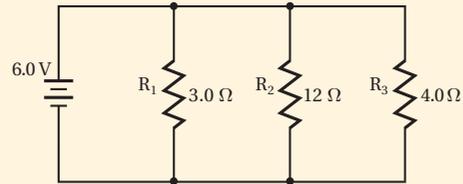


اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

استخدم الرسم التخطيطي أدناه الذي يمثل دائرة كهربائية للإجابة عن الأسئلة 1-4.



1. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟

- (A) $\frac{1}{19} \Omega$ (B) 1.0Ω
(C) 1.5Ω (D) 19Ω

2. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

- (A) 0.32 A (B) 0.80 A
(C) 1.2 A (D) 4.0 A

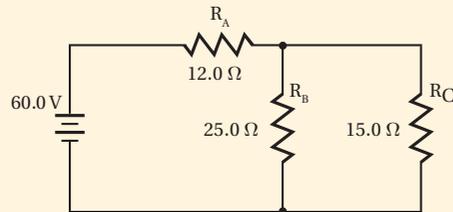
3. ما مقدار التيار الكهربائي المار في المقاومة R_3 ؟

- (A) 0.32 A (B) 1.5 A
(C) 2.0 A (D) 4.0 A

4. ما مقدار قراءة فولتметр يوصل بين طرفي المقاومة R_2 ؟

- (A) 0.32 V (B) 1.5 V
(C) 3.8 V (D) 6.0 V

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



5. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟

- (A) 8.42Ω (B) 10.7Ω
(C) 21.4Ω (D) 52.0Ω

6. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

- (A) 1.15 A (B) 2.35 A
(C) 2.80 A (D) 5.61 A

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

- (A) 0.67Ω (B) 1.5Ω
(C) 12Ω (D) 96Ω

8. أيّ العبارات الآتية صحيحة؟

- (A) مقاومة الأميتر المثالي كبيرة جدًا.
(B) مقاومة الفولتметр المثالي صغيرة جدًا.
(C) مقاومة الأميترات تساوي صفرًا.
(D) تُسبب الفولتترات تغيرات صغيرة في التيار.

الأسئلة الممتدة

9. يقيم حامد حفلاً ليلياً، ولإضاءة الحفل وصل 15 مصباحاً كهربائياً كبيراً ببطارية سيارة جهدها 12.0 V ، وعند وصل هذه المصابيح بالبطارية لم تُضيء، وأظهرت قراءة الأميتر أن التيار المار في المصابيح 0.350 A ، فإذا احتاجت المصابيح إلى تيار مقداره 0.500 A ، لكي تُضيء، فكم مصباحاً عليه أن يفصل من الدائرة؟

10. تحتوي دائرة توالٍ كهربائية على بطارية جهدها 8.0 V 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 قسطاً من الراحة

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

وزارة التعليم

Ministry of Education

2021/2022

251

مصادر تعليمية للطلاب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات



دليل الرياضيات

I. الرموز symbols

Δ التغير في الكمية	$a \times b$
\pm زائد أو ناقص الكمية	a مضروبة في b $\left\{ \begin{array}{l} ab \\ a(b) \end{array} \right.$
∞ يتناسب مع	$a \div b$
$=$ يساوي	a مقسومة على b $\left\{ \begin{array}{l} a/b \\ \frac{a}{b} \end{array} \right.$
\approx تقريباً يساوي	الجذر التربيعي لـ a \sqrt{a}
\cong تقريباً يساوي	القيمة المطلقة لـ a $ a $
\leq أقل من أو يساوي	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b $\log_b x$
\geq أكبر من أو يساوي	
\ll أقل جداً من	
\equiv يعرف كـ	

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

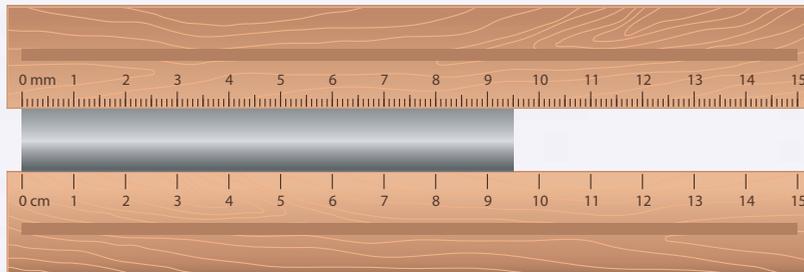
ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعتبر الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعتبر الدقة مقياساً للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الأصغر في أداة القياس. ويكون الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس مقدراً.

مثال: ما الرقم المقدّر لكل من مسطرة قياس موضحة في الشكل أدناه والمستخدم لقياس طول القضيب الفلزي؟ باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء عشري من السنتيمتر. وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

وعند استعمال أداة القياس العليا. فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتيمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm، فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm.



دليل الرياضيات

كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعتبر أرقامًا معنوية. استعمل القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

استعمال القاعدتين 1 و 2	5.0 g يتضمن رقمين معنويين
استعمال القاعدتين 1 و 2	14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية
استعمال القاعدتين 2 و 4	0.0 يتضمن رقمًا معنويًا واحدًا
استعمال القواعد 1 و 2 و 3	300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية
استعمال القاعدتين 1 و 3	5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية
استعمال القاعدتين 1 و 3	304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية
استعمال القواعد 1 و 2 و 4	0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفير الأخير)
استعمال القاعدتين 1 و 4	140 mm يتضمن رقمين معنويين (1 و 4 فقط)

مسائل تدريبية

1. حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

12.007 kg .d	1405 m .a
5.8×10^6 kg .e	2.50 km .b
3.03×10^{-5} ml .f	0.0034 m .c

هناك حالتان تُعتبر الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًا من الأرقام المعنوية.
2. معاملات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًا من الأرقام المعنوية.



دليل الرياضيات

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أقل من 5، فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.
2. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أكبر من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.
3. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه هو 5 متبوعاً برقم غير صفري، فإنه يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.
4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير المراد التقريب إليه يساوي 5 ومتبوعاً بالصفري، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى، فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فردياً فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجياً فلا تزده.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعين إلى الأرقام المعنوية:

استعمال القاعدة 1

8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76

استعمال القاعدة 2

8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77

استعمال القاعدة 3

8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8

استعمال القاعدة 4

92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4

استعمال القاعدة 4

92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس الآتية:

a. 1405 m (2) c. 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2) d. 12.007 kg (3)



دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كليهما يتضمن رقماً معنوياً واحداً فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

$$\begin{array}{r} 1.456 \text{ m} \\ 4.1 \text{ m} \\ +20.3 \text{ m} \\ \hline 25.856 \text{ m} \end{array}$$

اجمع الأعداد

وفي النتيجة تكون دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المضاف الأقل دقة.

25.9m

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى

الضرب والقسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساوياً لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

$$(20.1 \text{ m})(3.6 \text{ m})=72.36 \text{ m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6 m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعابير الرياضية الآتية مستعملاً العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

b. 45 g - 8.3 g

a. 2.33 km + 3.4 km + 5.012 km

d. 54 m ÷ 6.5 s

c. 3.40 cm × 7.125 cm



دليل الرياضيات

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استعمل قاعدة عملية الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d = 19 \text{ m} + (25.0 \text{ m/s})(2.50 \text{ s}) + \frac{1}{2} (-10.0 \text{ m/s}^2)(2.50)^2$$
$$= 5.0 \times 10^1 \text{ m}$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$m \text{ (الميل)} = \frac{70.0 \text{ m} - 10.0 \text{ m}}{29 \text{ s} - 11 \text{ s}}$$
$$= 3.3 \text{ m/s}$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل فعليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

$$F = \sqrt{(24 \text{ N})^2 + (36 \text{ N})^2}$$
$$= \sqrt{576 \text{ N}^2 + 1296 \text{ N}^2}$$
$$= \sqrt{1872 \text{ N}^2}$$
$$= 43 \text{ N}$$

مثال:

لا تجرّ التقريب إلى 580N^2 و 1300N^2

لا تجرّ التقريب إلى 1800N^2

النتيجة النهائية، هنا يجب أن تقرّب إلى رقمين معنويين



دليل الرياضيات

III. الكسور والنسب والمعدلات والتناسب Fractions, Ratios, Rates, and Proportions

الكسور Fractions

يقصد بالكسر جزء من الكل أو جزء من مجموعة. ويعبر الكسر أيضاً عن النسبة. ويتكوّن الكسر من البسط وخط القسمة والمقام.

$$\frac{\text{البسط}}{\text{المقام}} = \frac{\text{عدد الأجزاء المختارة}}{\text{عدد الأجزاء الكلي}}$$

التبسيط من السهل أحياناً تبسيط التعبير الرياضي قبل عملية تعويض قيم المتغيرات المعلومة، وغالباً تختصر المتغيرات من التعبير الرياضي.

$$\text{مثال: بسط } \frac{pn}{pw}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{pn}{pw}\right) &= \left(\frac{p}{p}\right) \left(\frac{n}{w}\right) && \text{افصل المتغير } P \text{ في البسط والمقام، وجزّئ الكسر إلى حاصل ضرب كسرين.} \\ &= (1) \left(\frac{n}{w}\right) && \text{بالتعويض عن } \left(\frac{p}{p}\right) = 1 \\ &= \frac{n}{w} \end{aligned}$$

عمليتا الضرب والقسمة لإجراء عملية ضرب الكسور اضرب القيم المثلثة للبسط، واضرب القيم المثلثة للمقام.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكسر $\frac{s}{a}$ في الكسر $\frac{t}{b}$.

$$\left(\frac{s}{a}\right) \left(\frac{t}{b}\right) = \frac{st}{ab}$$

نفذ عملية ضرب القيم في البسط والقيم في المقام

ولإجراء عملية قسمة الكسور اضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني. ولإيجاد مقلوب الكسر، اعكس الكسر بحيث يجل كل من البسط والمقام مكان الآخر.

مثال: أوجد عملية القسمة للكسر $\frac{s}{a}$ على الكسر $\frac{t}{b}$.

$$\frac{s}{a} \div \frac{t}{b} = \left(\frac{s}{a}\right) \left(\frac{b}{t}\right)$$

أوجد حاصل ضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني.

$$= \frac{sb}{at}$$

اضرب القيم في البسط والقيم في المقام.

عمليتا الجمع والطرح لإجراء عملية جمع أو طرح كسرين اكتبهما أولاً في صورة كسرين لهما مقام مشترك، أي المقام نفسه.

ولإيجاد المقام المشترك أوجد حاصل ضرب مقام كل من الكسرين، ثم اجمع بسطي كل منهما أو اطرحهما واستعمل بعد ذلك المقام المشترك.

مثال: أوجد حاصل جمع $\frac{2}{b}$ و $\frac{1}{a}$.

$$\frac{1}{a} + \frac{2}{b} = \left(\frac{1}{a}\right) \left(\frac{b}{b}\right) + \left(\frac{2}{b}\right) \left(\frac{a}{a}\right)$$

اضرب كل كسر في كسر يساوي 1.

$$= \frac{b}{ab} + \frac{2a}{ab}$$

اضرب كلاً من قيم البسط وكلاً من قيم المقام.

اكتب كسراً مفرداً مقامه المقام المشترك.

دليل الرياضيات

مسائل تدريبية

4. نفذ العمليات التالية، ثم اكتب الإجابة في أبسط صورة.
- a. $\frac{y}{3} + \frac{1}{x}$
- b. $\frac{3}{b} - \frac{a}{2b}$
- c. $(\frac{1}{y})(\frac{3}{x})$
- d. $\frac{1}{2} \div \frac{2a}{5}$

النسب Ratios

تمثل النسب عملية مقارنة بين عددين باستعمال عملية القسمة. ويمكن كتابة النسب بعدة طرائق مختلفة، فالنسبة للعددين 2، 3 يمكن كتابتها بأربع طرائق مختلفة: 2 إلى 3 أو 2 على 3 أو 3:2 أو $\frac{2}{3}$

المعدلات Rates

المعدل نسبة تقارن بين كميتين لهما وحدات قياس مختلفة. إن معدل الوحدة هو المعدل الذي يمكن تبسيطه بحيث يساوي المقام الرقم 1.

مثال: اكتب 98km في 2.0 ساعة كمعدل وحدة.

98km في 2.0 ساعة عبارة عن النسبة $\frac{98km}{2.0h}$

جزئ الكسر إلى حاصل ضرب الكسر العددي بكسر الوحدات

$$\frac{98km}{2.0h} = \left(\frac{98}{2.0}\right) \left(\frac{km}{h}\right)$$
$$= (49) \left(\frac{km}{h}\right)$$

$$= 49 \text{ km per h أو km/h}$$

بسط الكسر العددي

التناسب Proportions التناسب عبارة عن معادلة تنص على أن النسبتين متساويتان: $\frac{a}{d} = \frac{c}{b}$ ، بشرط أن d، b لا تساويان صفر. تستعمل التناسبات لحل مسائل النسبة التي تتضمن ثلاثة أرقام ومتغيراً واحداً. ويمكنك حل علاقة التناسب لإيجاد قيمة المتغير. ولحل التناسب استعمل الضرب التبادلي.

مثال: حل التناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$ بالنسبة للمتغير a.

بإجراء عملية الضرب التبادلي للتناسب

اكتب المعادلة الناتجة من الضرب التبادلي

حل المعادلة بالنسبة للمتغير a

$$\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$$

$$ad = bc$$

$$a = \frac{bc}{d}$$

مسائل تدريبية

5. حل التناسبات التالية:

a. $\frac{2}{3} = \frac{4}{x}$

b. $\frac{n}{75} = \frac{13}{15}$

c. $\frac{s}{16} = \frac{36}{12}$

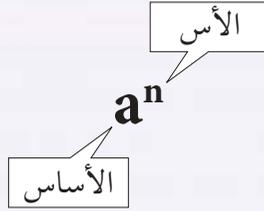
d. $\frac{7.5}{w} = \frac{2.5}{5.0}$



IV. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents, Powers, Roots, and Absolute value

Exponents الأسس

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a كعامل، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي، ففي الحد a^n ، يمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس. ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n .



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيراً آخر للمتغير. فمثلاً v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعتبر جزءاً من المتغير. الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3) \dots (a_n)$$

مثال: بسّط الحدود الأسية التالية:

$$10^4 = (10)(10)(10)(10) = 10,000$$

$$2^3 = (2)(2)(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الصفرية التالية:

$$2^0 = 1$$

$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$$

$$2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2}$$



دليل الرياضيات

الجذور التربيعية والجذور التكعيبة Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt{\quad}$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية. أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)(a)} = a$$

$$\sqrt{9} = \sqrt{(3)(3)} = 3$$

تتضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)(8.0)} = 8.0$

ضع صفرين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية. $\sqrt{38.44} = 6.200$

قرب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$

إن الجذر التكعيبي للرقم يمثل أحد معاملات الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\quad}$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي التالية:

$$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$$

$$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$$

مسائل تدريبية

6. أوجد ناتج كل جذر، ومن ثم قرب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ c. $\sqrt{676}$

b. $\sqrt[3]{729}$ d. $\sqrt[3]{46.656}$

7. بسّط الجذور التالية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ b. $\sqrt{9t^6}$

8. اكتب الجذور الآتية على الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ b. $\frac{1}{\sqrt{a}}$



دليل الرياضيات

إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات التالية باستخدام الأسس فإن كلاً من a ، b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$a^m / a^n = a^{m-n}$$

القوة مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة، استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس في بعضها، كما هو موضح

$$(a^m)^n = a^{mn}$$

الجذر مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج جذر مرفوع لقوة استخدم الأساس نفسه وقسم أس القوة على أس الجذر، كما هو

$$\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا،

$$(ab)^n = a^n b^n$$

مسائل تدريبية

9. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

$$x^2 \sqrt{x} \cdot d \quad (d^2n)^2 \cdot c \quad \sqrt{t^3} \cdot b \quad x^2 t / x^3 \cdot a$$

$$10. \text{ بسّط } \frac{m}{q} \sqrt{\frac{2qv}{m}}$$

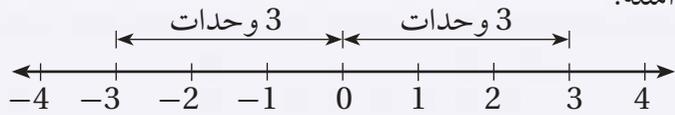
القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n على صورة $|n|$ ، ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

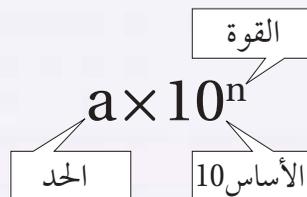
$$|3| = 3$$

$$|-3| = 3$$



V. التعبير العلمي Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a \times 10^n$ مكتوب بدلالته العلمية، حيث $1 \leq a \leq 10$ ، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



دليل الرياضيات

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ، وتكتب كثافة الماء على الصورة $1.000 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m^3 سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستخدام الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a ، $1 \leq a < 10$ ، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4 \times 10^{11} = 2.4 \text{ e}+11$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 بدلالته العلمية.

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^n .

$$7,530,000 = 7.53 \times 10^6$$

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a ، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم التالي في صورته القياسية

$$2.389 \times 10^5 = 2.38900 \times 10^5 = 238,900$$



دليل الرياضيات

الأرقام الصغيرة، واستخدام الأسس السالبة Small Numbers–Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالاتها العلمية حدد أولاً قيمة a ، $1 \leq a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئاً من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10. إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تماماً لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^n .
توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي -7
 $0.000000285 = 2.85 \times 10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a ، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a .
استعمل القوة وحرك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

مسائل تدريبية

11. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

$$0.000020.b$$

$$456,000,000.a$$

12. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

$$9.7 \times 10^{10}.b$$

$$3.03 \times 10^{-7}.a$$

إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبر عنها بدلالاتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أو جد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

$$(4.0 \times 10^{-8})(1.2 \times 10^5) = (4.0 \times 1.2)(10^{-8} \times 10^5) \quad \text{جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10}$$

$$= (4.8)(10^{-8+5}) \quad \text{أوجد حاصل ضرب الحدود}$$

$$= (4.8)(10^{-3}) \quad \text{اجمع القوى للأساس 10}$$

$$= 4.8 \times 10^{-3} \quad \text{أعد صياغة النتيجة بدلالاتها العلمية}$$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

$$\frac{9.60 \times 10^7}{1.60 \times 10^3} = \left(\frac{9.60}{1.60} \right) \times \left(\frac{10^7}{10^3} \right)$$

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10

$$= 6.00 \times 10^4$$

دليل الرياضيات

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدالاتها العلمية هي عملية تحدُّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام يمكن أن يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10، بينما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

$$(3.2 \times 10^5) + (4.8 \times 10^5) = (3.2 + 4.8) \times 10^5 \\ = 8.0 \times 10^5$$

جمع الحدود

اجمع الحدود

مثال: بسّط

$$(3.2 \times 10^5) + (4.8 \times 10^4) = (3.2 \times 10^5) + (0.48 \times 10^5) \\ = (3.2 + 0.48) \times 10^5 \\ = 3.68 \times 10^5 \\ = 3.7 \times 10^5$$

أعد كتابة 4.8×10^4 على صورة 0.48×10^5

جمع الحدود

اجمع الحدود

قرّب النتيجة مستعملاً قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية.

مسائل تدريبية

13. احسب نتيجة كل من التعبيرات التالية، وعبر عن النتيجة بدالاتها العلمية.

$$\text{a. } (4.0 \times 10^8) (5.2 \times 10^{-4}) \quad \text{b. } (2.4 \times 10^3) + (8.0 \times 10^4)$$

VI. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، تسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها. اتّبِع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعبيرات الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ()، والقوسين المعقوفين []، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.

2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.

3. نفذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.

4. نفذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير التالي:

$$4 + 3(4 - 1) - 2^3 = 4 + 3(3) - 2^3 \\ = 4 + 3(3) - 8 \\ = 4 + 9 - 8 \\ = 5$$

ترتيب العمليات: الخطوة 1

ترتيب العمليات: الخطوة 2

ترتيب العمليات: الخطوة 3

ترتيب العمليات: الخطوة 4



دليل الرياضيات

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجري عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيراً رياضياً صحيحاً. وعند حل المعادلات طبق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$$a(b+c) = ab+ac \quad a(b-c) = ab-ac$$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعبير التالي:

$$3(x+2) = 3x + (3)(2) \\ = 3x + 6$$

خاصيتا الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x-3=7$ مستعملًا خاصية الجمع

$$x-3=7 \\ x-3+3=7+3 \\ x=10$$

مثال: حل المعادلة $t+2=-5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$t+2=-5 \\ t+2-2=-5-2 \\ t=-7$$

خاصيتا الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في / على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$ac = bc \\ \frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\frac{1}{4}a = 3 \\ (\frac{1}{4}a)(4) = 3(4) \\ a = 12$$

دليل الرياضيات

مثال: حل المعادلة $6n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$\begin{aligned}6n &= 18 \\ \frac{6n}{6} &= \frac{18}{6} \\ n &= 3\end{aligned}$$

مثال: حل المعادلة $2t + 8 = 5t - 4$ بالنسبة للمتغير t

$$\begin{aligned}2t + 8 &= 5t - 4 \\ 8 + 4 &= 5t - 2t \\ 12 &= 3t \\ 4 &= t\end{aligned}$$

فصل المتغير Isolating a Variable

افتراض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير - أي لحل المعادلة بالنسبة لذلك المتغير - اكتب معادلة ارتباط مكافئة بحيث يتضمن أحد طرفيها المتغير فقط بمعامل يساوي 1.
ارتباط الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$\begin{aligned}PV &= nRT \\ \frac{PV}{V} &= \frac{nRT}{V} \\ P\left(\frac{V}{V}\right) &= \frac{nRT}{V} \\ P &= \frac{nRT}{V}\end{aligned}$$

قسّم طرفي المعادلة على V

جمّع $\left(\frac{V}{V}\right)$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$

مسائل تدريبية

14. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x .

d. $a = \frac{b+x}{c}$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

f. $ax + bx + c = d$

a. $2 + 3x = 17$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

خاصية الجذر التربيعي Square Root Property

إذا كان كل من a ، n أعدادًا حقيقية، $n > 0$ و $a^2 = n$ ، فإن $a = \pm \sqrt{n}$.



دليل الرياضيات

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة للمتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm_E m}{r^2}$$

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$$

$$mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$$

$$\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$$

$$v^2 = \frac{Gm_E}{r}$$

$$\sqrt{v^2} = \pm \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

بالتعويض عن $\frac{r}{r} = 1$

قسّم طرفي المعادلة على m .

بالتعويض عن $\frac{m}{m} = 1$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه للمتغير الذي ستقوم بحل المعادلة بالنسبة له. لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة للسرعة v ، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت بحاجة أيضاً للأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح، فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة للمتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$ ، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيراً واحداً مرفوعاً للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعاً للأس 1. كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بواسطة التمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانياً. إذا كانت $b = 0$ فإن الحد x غير موجود في المعادلة التربيعية. ويمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$ ، تعطى من خلال المعادلة التالية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي، من المهم الأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلها. فعادةً يُمكنك إهمال أحد الحلول لكونه حلاً غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالباً استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

دليل الرياضيات

مسائل تدريبية

15. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x .

a. $4x^2 - 19 = 17$

b. $12 - 3x^2 = -9$

c. $x^2 - 2x - 24 = 0$

d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضاً مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى من خلال المعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$. فإذا سقط جسم سقوطاً حراً على القمر مسافة 20.5 m خلال 5.00 s. أوجد التسارع a على سطح القمر. يقاس التسارع بوحدة m/s^2 .

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5 \text{ m})}{(5.00 \text{ s})^2}$$

$$a = \frac{1.64 \text{ m}}{\text{s}^2} \text{ مثل}$$

$$a = 1.64 \text{ m/s}^2 \text{ أو مثل}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

احسب وقرب حتى ثلاثة أرقام معنوية

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء جد Δx عندما $v_0 = 67 \text{ m/s}$ و $\Delta t = 5.0 \text{ min}$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0 \Delta t$.

$$\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 1$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67 \text{ m}}{\text{s}} \left(\frac{5.0 \text{ min}}{1} \right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$

$$\Delta x = 20100 \text{ m} = 2.0 \times 10^4 \text{ m}$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$

احسب ثم قرب إلى رقمين معنويين. إن العددين 60 s و 1 min مضبوطين ودقيقين، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية.



دليل الرياضيات

مسائل تدريبية

16. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0 \times 10^2 \text{ m}}{16 \text{ m/s}}$

17. احسب السرعة المتجهة لقطعة قرميد ساقطة بعد مضي 5.0 s ، استعمل

$$v = a \Delta t \text{ و } a = -9.80 \text{ m/s}^2$$

18. أوجد حاصل ضرب الحدود: $(\frac{32 \text{ cm}}{1 \text{ s}}) (\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}) (\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}) (\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}})$

19. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم قطع المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدّة الكيلومترات لكل ساعة؟

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعتبر تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة. مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2} a t^2$ وحدتها m

d_i تقاس بوحدّة m

t تقاس بوحدّة s

v_i تقاس بوحدّة m/s

a تقاس بوحدّة m/s²

$$d_f = m + (\frac{m}{s})(s) + \frac{1}{2}(\frac{m}{s^2})(s)^2$$

$$= m + (m)(\frac{s}{s}) + \frac{1}{2}(m)(\frac{s^2}{s^2})$$

$$= m + (m)(1) + \frac{1}{2}(m)(1)$$

$$= m + m + \frac{1}{2}m$$

بالتعويض عن وحدات كل متغير

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية

بالتعويض عن $s/s = 1, s^2/s^2 = 1$

جميع الحدود أعطت الوحدّة m لذلك فإن d_f بوحدّة m

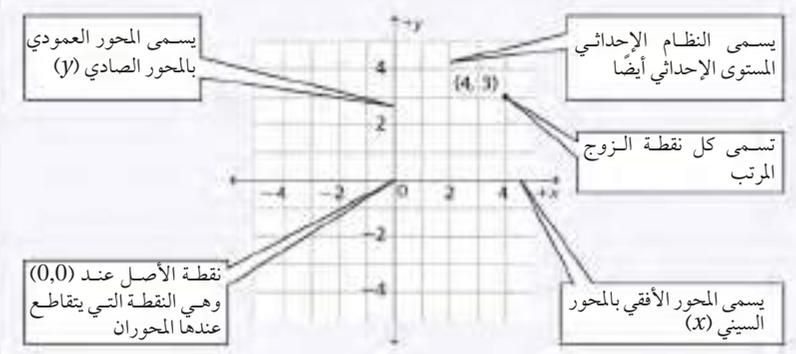
لا يطبق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة للوحدات، ويطبق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.



دليل الرياضيات

VII. التمثيل البياني للعلاقات The Coordinate Plane (الديكارتي)

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، ويسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x, y) يسميان أيضاً الزوج المرتب. وتُرد دائماً قيمة المتغير التابع (x) أولاً في الزوج المرتب الذي يمثل ($0, 0$) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.



استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Graphing Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملاً أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانياً.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانياً بسيطاً، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطاً أو منحنى.
6. اكتب عنواناً يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني.



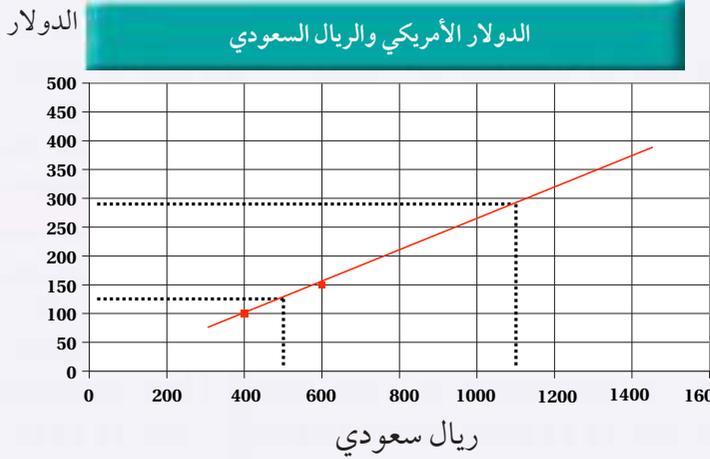
نوع الخدمة	ريال	دولار
الفندق (الإقامة)	1500	398
الوجبات	850	225
الترفيه	670	178
المواصلات	220	58

الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السعر) المقابلة لـ 500 ريال.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 500 (400 ريال، 600 ريال)، ثم ارسم خطًا مستمرًا يصل بينهما.



ارسم الآن خطًا متقطعًا عموديًا من النقطة (500 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًا متقطعًا أفقيًا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 ريال.

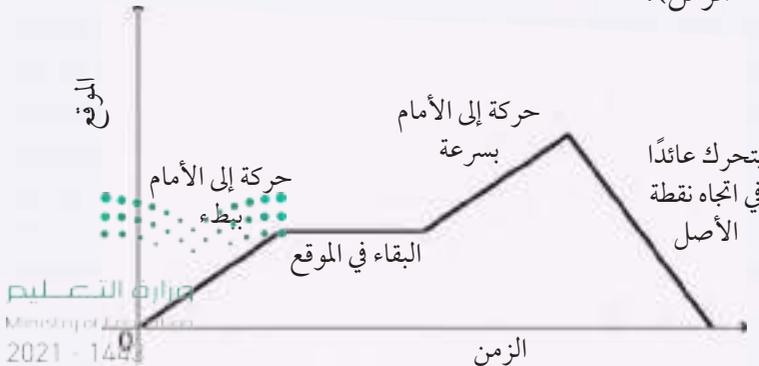
ارسم خطًا متقطعًا من النقطة (1100 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًا متقطعًا أفقيًا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.

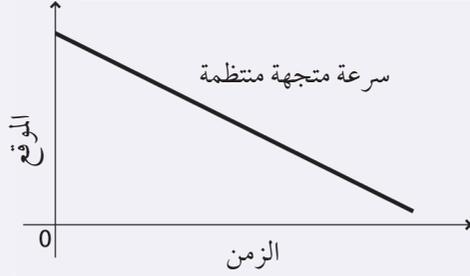
ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع - الزمن).



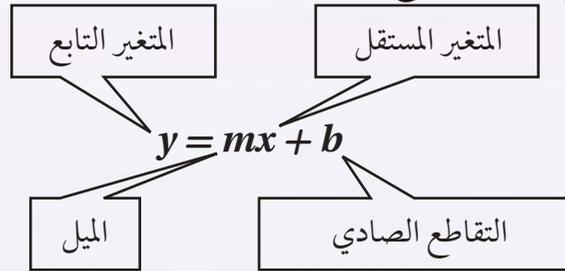
دليل الرياضيات

b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع - الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$ ، حيث m ، b أعداد حقيقية، و m يمثل ميل الخط، و b يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.

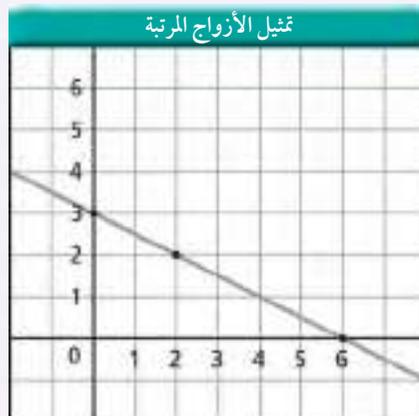


تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانياً قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x, y) ، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثل بيانياً المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.



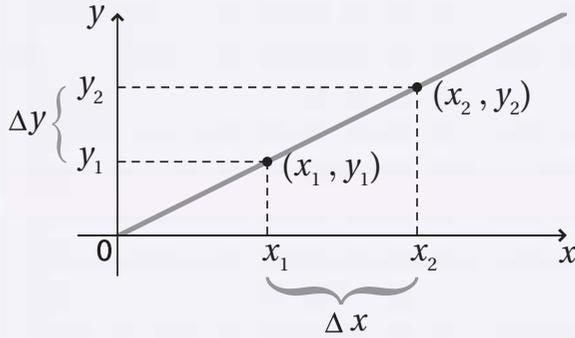
الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



دليل الرياضيات

الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقماً موجباً أو سالباً. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين (x_1, y_1) ، (x_2, y_2) ، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$ ، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$ ، ثم جد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m ، بحيث كانت $y = mx$ ، فإن y تتغير طردياً بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضاً، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسباً طردياً. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة القوة المعيدة (المرجعة) للنابض المثالي $F = -kx$ ، حيث F القوة المرجعة، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير القوة المرجعة للنابض طردياً مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد القوة المرجعة عندما تزداد استطالة النابض.



دليل الرياضيات

التغير العكسي Inverse Variation

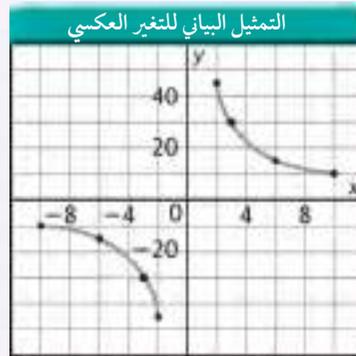
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m ، بحيث كانت $y = m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$

$$y = m \frac{1}{x}$$

$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثل المعادلة $xy = 90$ بيانيًا



الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما يزداد تردد الموجة فإن الطول الموجي يتناقص، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.



دليل الرياضيات

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

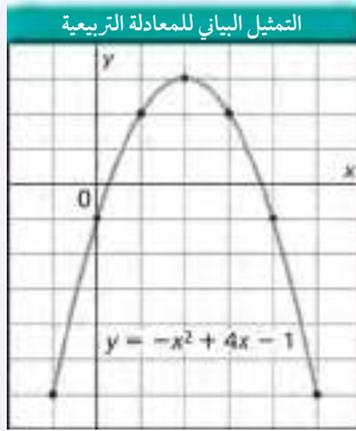
الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

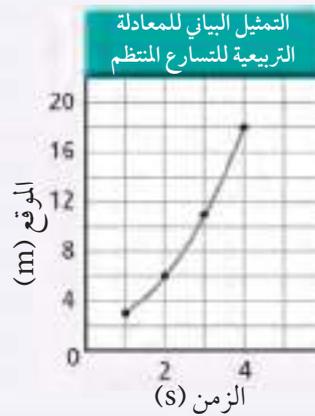
التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجباً أو سالباً.

مثال: مثل بيانياً المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$



الأزواج المرتبة	
x	y
-1	-6
0	-1
1	2
2	3
3	2
4	-1
5	-6

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع - الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع منتظم.



الأزواج المرتبة	
الموقع (m)	الزمن (s)
3	1
6	2
11	3
18	4



دليل الرياضيات

VIII . علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

الحجم وحدات مكعبة	مساحة السطح وحدات مربعة	المساحة وحدات مربعة	المحيط وحدات خطية	
		$A = a^2$	$P = 4a$	المربع الضلع a
		$A = lw$	$P = 2l + 2w$	المستطيل الطول l العرض w
		$A = \left(\frac{1}{2}\right) bh$		المثلث القاعدة b الارتفاع h
$V = a^3$	$SA = 6a^2$			المكعب الضلع a
		$A = \pi r^2$	$C = 2\pi r$	الدائرة نصف القطر r
$V = \pi r^2 h$	$SA = 2\pi r h + 2\pi r^2$			الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h
$V = \left(\frac{4}{3}\right) \pi r^3$	$SA = 4\pi r^2$			الكرة نصف القطر r

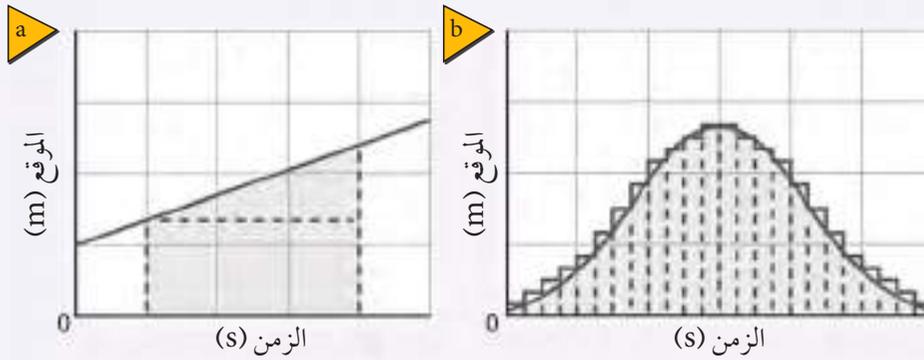


دليل الرياضيات

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق. لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. وإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



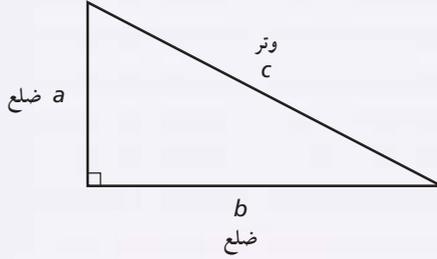
المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

المساحة الإجمالية تساوي
المساحة 1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...



دليل الرياضيات

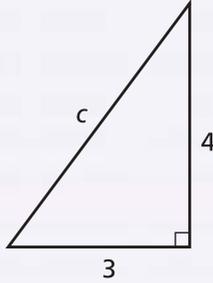
المثلثات القائمة Right Triangles



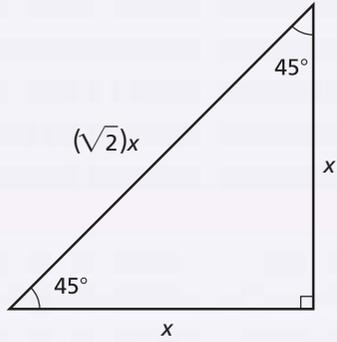
تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان كل من a , b يمثلان قياس ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$ ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

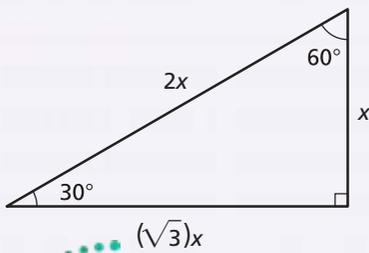
مثال: احسب طول الوتر c في المثلث حيث $a = 4 \text{ cm}$ و $b = 3 \text{ cm}$



$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{(4 \text{ cm})^2 + (3 \text{ cm})^2} \\ &= \sqrt{16 \text{ cm}^2 + 9 \text{ cm}^2} \\ &= \sqrt{25 \text{ cm}^2} \\ &= 5 \text{ cm} \end{aligned}$$



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية 45° ، 45° ، 90° فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروباً في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية 30° ، 60° ، 90° فإن طول الوتر يساوي ضعف طول الضلع الأقصر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مضروباً في طول الضلع الأصغر.



دليل الرياضيات

النسب المثلثية Trigonometric Ratios

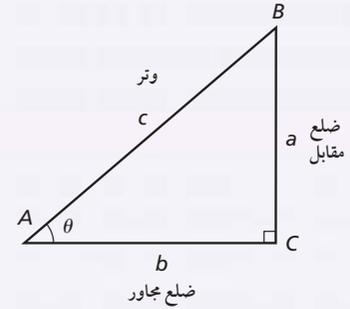
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعاً هي الجيب $\sin \theta$ ، والجتا $\cos \theta$ والظل $\tan \theta$. ولاختصار هذه النسب تعلم الاختصارات التالية SOH-CAH-TOA. حيث ترمز SOH إلى جيب، مقابل، الوتر، في حين ترمز CAH إلى جيب تمام، مجاور، الوتر. أما TOA فتترمز إلى ظل تمام، مقابل، المجاور.

الرموز	مساعدة الذاكرة	التعابير
$\sin \theta = \frac{a}{c}$	$\sin \theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	يشير الـ \sin إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر
$\cos \theta = \frac{b}{c}$	$\cos \theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	يشير الـ \cos إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.
$\tan \theta = \frac{a}{b}$	$\tan \theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	يشير الـ \tan إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $a = 3 \text{ cm}$ ، $b = 4 \text{ cm}$ ، $c = 5 \text{ cm}$ ، فأوجد كلاً من $\sin \theta$ و $\cos \theta$

$$\sin \theta = \frac{3 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos \theta = \frac{4 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $\theta = 30.0^\circ$ ، $c = 20.0 \text{ cm}$ ، فأوجد a و b .

$$\sin 30.0^\circ = \frac{a}{20.0 \text{ cm}} \quad \cos 30.0^\circ = \frac{b}{20.0 \text{ cm}}$$

$$a = (20.0 \text{ cm})(\sin 30.0^\circ) = 10.0 \text{ cm}$$

$$b = (20.0 \text{ cm})(\cos 30.0^\circ) = 17.3 \text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

يمكنك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس باستثناء الحد الأخير. وتمثل θ الزاوية المقابلة للضلع c . فإذا

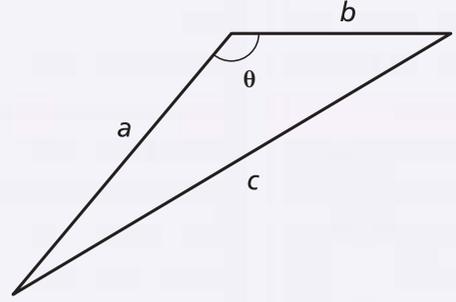
كان قياس الزاوية $\theta = 90^\circ$ فإن جتا $\theta = 0$ والحد الأخير يساوي صفراً.

دليل الرياضيات

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا θ يُصبح عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان $a = 10.0 \text{ cm}$ ، $b = 12.0 \text{ cm}$ ، $\theta = 110.0^\circ$.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta}$$

$$= \sqrt{(10.0 \text{ cm})^2 + (12.0 \text{ cm})^2 - 2(10.0 \text{ cm})(12.0 \text{ cm})(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= \sqrt{1.00 \times 10^2 \text{ cm}^2 + 144 \text{ cm}^2 - (2.40 \times 10^2 \text{ cm}^2)(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= 18.1 \text{ cm}$$

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاثة نسب، حيث a ، b ، c الأضلاع المقابلة للزوايا A ، B ، C بالترتيب. استعمال قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

مثال: في المثلث ABC إذا كان $C = 60.0^\circ$ ، $a = 4.0 \text{ cm}$ ، $c = 4.6 \text{ cm}$ ، احسب قياس الزاوية A .

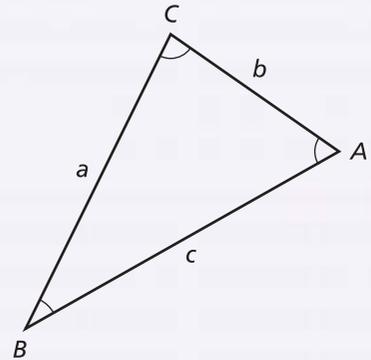
$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin C}{c}$$

$$\sin A = \frac{a \sin C}{c}$$

$$= \frac{(4.0 \text{ cm})(\sin 60.0^\circ)}{4.6 \text{ cm}}$$

$$= 0.75$$

$$A = 49^\circ$$



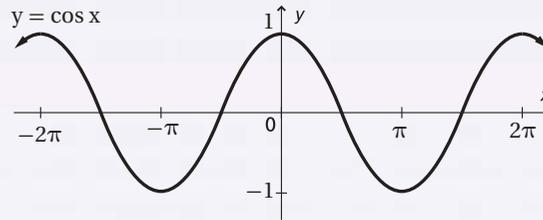
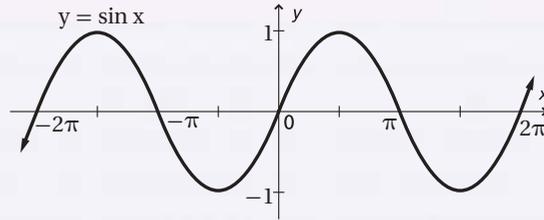
Inverses of Sine, Cosine, and Tangent معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل

إن معكوس كل من الجيب، وجيب التمام، وظل التمام يمنحك القدرة على عكس اقترانات الجيب وجيب التمام وظل التمام، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية. والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

المعكوس	الاقتران المثلثي
$x = \sin^{-1} y$ أو معكوس $x = \sin y$	$y = \sin x$
$x = \cos^{-1} y$ أو معكوس $x = \cos y$	$y = \cos x$
$x = \tan^{-1} y$ أو معكوس $x = \tan y$	$y = \tan x$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كل اقتران الجيب، $y = \sin x$ و اقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. والزمن الدوري لكل اقتران يساوي 2π ، وتكون قيمة x أي عدد حقيقي، أما قيمة y فتكون أي عدد حقيقي بين -1 و 1 .



IX. اللوغاريتميات Logarithms

اللوغاريتميات للأساس b

افتراض أن b و x عددان موجبان، بحيث $b \neq 1$. فإن لوغاريتم x للأساس b يكتب في صورة $(\log_b x)$ ويساوي y ، حيث تمثل y الأس الذي يجعل المعادلة $x = b^y$ صحيحة. إن لوغاريتم x للأساس b يساوي العدد الأسّي (y) الذي ترفع إليه العدد b للحصول على x .

$$\log_b x = y \text{ إذا وفقط إذا } b^y = x$$

مثال: أوجد ناتج كل من اللوغاريتمات التالية:

$$\text{لأن } 2^{-4} = \frac{1}{16}$$

$$\text{لأن } 10^3 = 1000$$



$$\log_2 \frac{1}{16} = -4$$

$$\log_{10} 1000 = 3$$

دليل الرياضيات

عندما تريد إيجاد لوغاريتم عددٍ ما يمكنك استعمال الآلة الحاسبة.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون اللوغاريتمات للعمل بقياسات تمتد إلى مقادير متعددة القيمة أو القوة للعدد 10، ويستعمل الجيوفيزيائيون مقياس ريختر وهو مقياس لوغاريتمي يوفر لهم القدرة على تقدير معدل الزلازل من 5 إلى 7 أو أكبر، وتختلف قوة الزلازل بمقدار 7 أو بقوى أكبر للأساس 10.

اللوغاريتمات الطبيعية Common Logarithms

تسمى اللوغاريتمات للأساس 10 اللوغاريتمات الطبيعية، وتكتب غالبًا بدون الرقم الدليل 10.

$$\log_{10} x = \log x \quad x > 0$$

المقابلات اللوغاريتمية أو معكوس اللوغاريتمات Antilogarithms or Inverse Logarithms

المقابل اللوغاريتمي هو معكوس اللوغاريتم، ويمثل العدد الذي له لوغاريتم.

مثال: حل $\log x = 4$ بالنسبة للمتغير x

$$\log x = 4$$

$$x = 10^4$$

10^4 هي المقابل اللوغاريتمي للعدد 4

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة مستوى الصوت L ، بوحدة الديسبل، هي $L = 10 \log_{10} R$. حيث R الشدة النسبية للصوت. احسب R لشوكة رنانة تصدر صوتاً بمستوى صوت مقداره 130 ديسيبل.

$$130 = 10 \log_{10} R$$

$$13 = \log_{10} R$$

$$R = 10^{13}$$

قسّم طرفي المعادلة على العدد 10

استعمل قاعدة اللوغاريتم

عندما تعلم قيمة اللوغاريتم لعدد وتريد معرفة العدد نفسه يمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد معكوس اللوغاريتم.

مسائل تدريبية

20. اكتب الصيغة الأسية للمعادلة $\log_3 81 = 4$

21. اكتب الصيغة اللوغاريتمية للمعادلة $10^{-3} = 0.001$

22. إذا كان $\log x = 3.125$ ، فأوجد قيمة x .



الوحدات الأساسية SI		
الرمز	الاسم	الكمية
m	meter	الطول
kg	kilogram	الكتلة
s	second	الزمن
K	kelvin	درجة الحرارة
mol	mole	مقدار المادة
A	ampere	التيار الكهربائي
cd	candela	شدة الإضاءة

وحدات SI المشتقة				
معبارة بوحدات SI أخرى	معبارة بالوحدات الأساسية	الرمز	الوحدة	القياس
	m/s^2	m/s^2		التسارع
	m^2	m^2		المساحة
	kg/m^3	kg/m^3		الكثافة
N.m	$kg.m^2/s^2$	J	joul	الشغل، الطاقة
	$kg.m/s^2$	N	newton	القوة
J/s	$kg.m^2/s^3$	W	watt	القدرة
N/m^2	$kg/m.s^2$	Pa	Pascal	الضغط
	m/s	m/s		السرعة
	m^3	m^3		الحجم

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	1kg = 6.02×10^{26} u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	1ev = 1.60×10^{-19} J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
1 m ³ = 264 gal	1 atm = 14.7 lb/in ²	1 hp = 746 W
	1atm = 1.01×10^5 N/m ²	1 mol = 6.022×10^{23}

الجدول

ثوابت فيزيائية

القيمة التقريبية	المقدار	الرمز	الكمية
$1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.66053886 \times 10^{-27} \text{ kg}$	u	وحدة كتلة الذرة
$6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$6.0221415 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	N_A	عدد أفوجادرو
$1.38 \times 10^{-23} \text{ Pa.m}^3/\text{K}$	$1.3806505 \times 10^{-23} \text{ Pa.m}^3/\text{K}$	k	ثابت بولتزمان
$8.31 \text{ Pa.m}^3/\text{mol.K}$	$8.314472 \text{ Pa.m}^3/\text{mol.K}$	R	ثابت الغاز
$6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$	$6.6742 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$	G	ثابت الجاذبية

الأطوال الموجية للضوء المرئي

اللون	الطول الموجي (nm) بالنانومتر
الضوء البنفسجي	430–380
الضوء النيلي	450–430
الضوء الأزرق	500–450
الضوء الأزرق الداكن	520–500
الضوء الأخضر	565–520
الضوء الأصفر	590–565
الضوء البرتقالي	625–590
الضوء الأحمر	740–625

البادئات

البادئة	الرمز	الدلالة العلمية
femto	f	10^{-15}
baico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
mile	m	10^{-3}
cm	c	10^{-2}
disa	d	10^{-1}
dica	da	10^1
hecto	h	10^2
kilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
terra	T	10^{12}
beta	P	10^{15}



درجات الانصهار والذوبان لبعض المواد		
درجة الغليان (°C)	درجة الانصهار (°C)	المادة
2467	660.37	ألومنيوم
2567	1083	نحاس
2830	937.4	جرمانيوم
2808	1064.43	ذهب
2080	156.61	إنديوم
2750	1535	حديد
1740	327.5	رصاص
2355	1410	سيليكون
2212	961.93	فضة
100.000	0.000	ماء
907	419.58	خارصين

كثافة بعض المواد الشائعة	
الكثافة (g/cm ³)	المادة
2.702	ألومنيوم
8.642	كادميوم
8.92	نحاس
5.35	جرمانيوم
19.31	ذهب
8.99×10^{-5}	هيدروجين
7.30	إنديوم
7.86	حديد
11.34	رصاص
13.546	زئبق
1.429×10^{-3}	أكسجين
2.33	سيليكون
10.5	فضة
1.000	ماء (4°C)
7.14	خارصين

السعة الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة			
الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة
130	رصاص	897	ألومنيوم
2450	ميثانول	376	نحاس أصفر
235	فضة	710	كربون
2020	بخار	385	نحاس
4180	ماء	840	زجاج
388	خارصين	2060	جليد
		450	حديد

الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخير لبعض المواد الشائعة		
الحرارة الكامنة للتبخير (J/kg)	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)	المادة
5.07×10^6	2.05×10^5	نحاس
1.64×10^6	6.30×10^4	ذهب
6.29×10^6	2.66×10^5	حديد
8.64×10^5	2.04×10^4	رصاص
2.72×10^5	1.15×10^4	زئبق
8.78×10^5	1.09×10^5	ميثانول
2.36×10^6	1.04×10^5	فضة
2.26×10^6	3.34×10^5	ماء (جليد)

المصطلحات



الاستضاءة illuminance: معدل اصطدام الضوء بسطح أو معدل الضوء الساقط على وحدة المساحة، وتُقاس بوحدة اللومن لكل متر مربع، lm/m^2 أو لوكس lx.

الاستقطاب polarization: الضوء الذي تنذبذب موجاته في مستوى واحد فقط.

الأمبير Ampere: تدفق الشحنة الكهربائية أو التيار الكهربائي، وهو يساوي واحد كولوم لكل ثانية (1C/s).

الأميتر Ammeter: جهاز مقاومته قليلة جداً، يوصل على التوالي، ويستخدم لقياس التيار الكهربائي المار في أي جزء من أجزاء الدائرة.

انزياح دوبلر Doppler shift: الفرق بين الطول الموجي الملاحظ للضوء والطول الموجي الأصلي للضوء، والذي يعتمد على السرعة النسبية للملاحظ، أو المراقب، وسرعة مصدر الضوء.

الانعكاس غير المنتظم diffuse reflection: انعكاس مضطرب منشئت ناتج عن سطح خشن.

الانعكاس الكلي الداخلي total internal reflection: يحدث عندما يسقط الشعاع الضوئي في وسطٍ معامل انكساره كبيراً إلى وسطٍ معامل انكساره أقل، على أن يصطدم بالحد الفاصل (الحاجز) بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى انعكاس الضوء جميعه وارتداده إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر.

الانعكاس المنتظم specular reflection: انعكاس ناتج عن سطح أملس، بحيث تنعكس الأشعة متوازية عندما تسقط متوازية.

أهداب الحيود fringes interference: نمط من حزم مضيئة ومعتمة يتكوّن على شاشة، نتيجة التداخل الهدّام والتداخل البناء لموجات الضوء المارة خلال شقين - في حاجز - متقاربين.



البؤرة focal point: النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الضوئية الساقطة بصورة موازية للمحور الرئيس بعد أن تنعكس عن المرآة.

البطارية Battery: جهاز مصنوع من عدة خلايا جلفانية متصل بعضها ببعض، تعمل على تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية.

البعء البؤري focal length: بعد البؤرة عن سطح المرآة على امتداد المحور الرئيس.



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 الضوئي **luminous flux**: المعدل الذي تُبعث فيه الطاقة الضوئية من المصدر الضوئي، وتُقاس بوحدة اللومن **lm**. لموجات الضوء المنعكسة عن الغشاء الرقيق.

تردد الضوء المُلاحظ observed light frequency: تردد الضوء كما يراه مراقب.

التفريق (التحلل) dispersion: فصل الضوء الأبيض وتحليله إلى ألوان الطيف باستخدام منشور زجاجي أو قطرات الماء في الغلاف الجوي.

التكبير magnification: مقدار الزيادة أو النقصان في حجم الصورة بالنسبة إلى حجم الجسم.

التوصيل على التوازي Parallel connection نوع من التوصيل يكون فيه عنصر الدائرة والفولتметр مُصطفيين متوازيين في الدائرة، ويكون فرق الجهد عبر الفولتметр مساوياً 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.

ج

الجسم object: مصدر أشعة ضوئية مضيء ذاتياً أو مُضاء.

الجسم شبه الشفاف translucent: وسط يُنفذ جزءاً من الضوء ويعكس الجزء الآخر، ولا يمكنك رؤية الأجسام بوضوح من خلاله.

الجسم الشفاف transparent: وسط ينفذ الضوء ويعكس أيضاً جزءاً منه، ويسمح برؤية الأجسام بوضوح من خلاله.

الجسم غير الشفاف (المعتم) opaque: الوسط الذي يمتص الضوء ويعكس جزءاً منه بدل أن ينفذه، ولا يمكن رؤية الجسم من خلاله.

الجسم المتعادل Neutral الذرة التي تساوي الشحنة الموجبة لنواتها الشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول هذه النواة.



المصطلحات

ح

الحيود **diffraction** : انحناء الضوء حول حاجز.

خ

خط المجال الكهربائي Electric field lines الخطوط التي تكوّن صورة لمجال كهربائي، وتشير إلى شدة المجال الكهربائي من خلال المسافات بينها، وهي لا تتقاطع، كما أنها تخرج دائماً 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 مساوياً للتيار الرئيس، وإذا فتحت دائرة أي 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 كل جزء من أجزائها، وهو يساوي فرق الجهد مقسوماً على المقاومة المكافئة للدائرة.

دائرة القصر Short circuit تحدث عند تشكّل دائرة كهربائية ذات مقاومة صغيرة جداً، مما يؤدي إلى تدفق تيار كهربائي كبير جداً، قد يسبب حدوث حريق بسهولة؛ نتيجة ارتفاع درجة حرارة الأسلاك.

الدائرة الكهربائية Electric circuit حلقة مغلقة أو مسار موصل يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية.

الدوائر المركبة Combination series – parallel circuit دائرة كهربائية معقدة تتضمن توصيلات على التوالي وعلى التوازي معاً.

ز

الزاوية الحرجة **critical angle** : هي زاوية السقوط التي ينكسر عندها الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسيطين.
الزوغان الكروي **spherical aberration** : عيب في المرآة الكروية، بحيث لا يسمح للأشعة الضوئية المتوازية البعيدة عن المحور الرئيس بالتجمع في البؤرة، فتكوّن المرآة نتيجة لذلك صورة مشوشة غير تامة.

الزوغان اللوني **chromatic aberration** : عيب في العدسات الكروية يؤدي إلى تركيز الضوء المار خلال العدسات في نقاط مختلفة، مما يؤدي إلى ظهور الجسم المرئي خلال العدسة محاطاً بحزم ملونة.

س

سطح تساوي الجهد Equipotential موضعان أو أكثر داخل المجال الكهربائي يكون فرق الجهد الكهربائي بينها صفرًا. السعة الكهربائية Capacitance النسبة بين الشحنة المخزنة 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 للإلكترون واحد.

ص

الصبغة الأساسية primary pigment: تمتص كل من صبغة اللون الأزرق الداكن وصبغة اللون الأحمر المزرقي وصبغة اللون الأصفر لونًا أساسيًا واحدًا فقط من الضوء الأبيض، وتعكس اللونين الأساسيين الآخرين. كما تُنتج الصبغات الثانوية؛ وهي الحمراء والخضراء والزرقاء، عند مزج هذه الصبغات الأساسية في أزواج. الصبغة الثانوية secondary pigment: تمتص كل من صبغة اللون الأحمر واللون الأخضر واللون الأزرق لونين أساسيين من الضوء الأبيض وتعكس لونًا أساسيًا واحدًا، كما تنتج عن مزج صبغتين من الأصباغ التالية: الأزرق الداكن، والأحمر المزرقي، والأصفر.

الصورة image: اتحاد صورة النقاط الناتجة بفعل الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة.

الصورة الحقيقية real image: صورة مقلوبة مصغرة أو مكبرة، وتتكوّن نتيجة تجمع الأشعة الضوئية.

الصورة الوهمية virtual image: الصورة المتكوّنة من تباعد الأشعة الضوئية، وتتكوّن عادة في الجهة المعاكسة للمرآة من الجسم.

ض

الضوء الأحادي اللون monochromatic light: الضوء الذي له طول موجي واحد فقط.

الضوء غير المتوافق incoherent light: ضوء بمقدمات موجية غير متزامنة تضيء الأجسام بضوء أبيض منتظم، أو هو ضوء يتكون من موجات مختلفة في الطور؛ قممها وقيعانها غير متوافقة.

المصطلحات

الضوء المتوافق coherent light: ضوء من مصدرين أو أكثر، يولّد تراكمه موجة ذات مقدمات منتظمة، أو هو موجات ضوء تكون في درجات متطابقة في القمم والقيعان.

ط

طول النظر farsightedness: عيب في الرؤية، حيث لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم القريب بوضوح؛ بسبب تكوّن الصورة خلف الشبكية، ويمكن تصحيحه بعدسة محدبة.

ع

العدسة lens: قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تستخدم في تركيز الضوء وتكوين الصور.
العدسة اللاألونية achromatic lens: تراكب يتكوّن من عدستين أو أكثر مختلفتين في معاملي الانكسار (عدسة مقعرة مع عدسة محدبة مثلاً) والتي تستخدم لتقليل الزوغان اللوني.

العدسة المحدبة convex lens: عدسة مجمّعة، سميكة في وسطها وأقل سمكاً عند أطرافها، تجعل الأشعة المتوازية الساقطة عليها تتجمّع في نقطة عندما تكون محاطة بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار العدسة، وتكوّن صوراً مصغّرة ومقلوبة وحقيقية أو مكبرة ومعتدلة ووهمية.

العدسة المقعرة concave lens: عدسة مفرّقة، وسطها أقل سمكاً من أطرافها، تشتت الضوء الساقط عليها والمار بها عندما يكون معامل انكسار الوسط المحيط بها أقل من معامل انكسارها، وتكوّن صوراً مصغّرة وهمية ومعتدلة.

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 .

الفولتметр Voltmeter جهاز ذو مقاومة كبيرة، يستخدم في قياس الهبوط في الجهد خلال أيّ جزء من أجزاء الدائرة الكهربائية، ويوصل على التوازي مع الجزء المراد قياس فرق الجهد بين طرفيه.

ق

قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ Ground - fault interrupter جهاز يحتوي دائرة إلكترونية تستشعر الفروقات البسيطة في التيار الكهربائي الناجمة عن مسار إضافي للتيار، فيعمل القاطع على فتح الدائرة الكهربائية، فيمنع حدوث الصعقات الكهربائية، ويستخدم عادة في تأمين الحماية في الحمام والمطبخ والمنافذ الكهربائية الخارجية.

المصطلحات

قانون سنل في الانكسار Snell's law of refraction: ينص على أن حاصل ضرب معامل انكسار وسط السقوط في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار وسط الانكسار في جيب زاوية الانكسار.

قانون كولوم Coulomb's law ينص على أن القوة الكهربائية بين شحنتين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.

قانون مالوس Malus's law: ينص على أن شدة الضوء الخارج من مرشح الاستقطاب الثاني تساوي شدة الضوء المستقطب الخارج من مرشح الاستقطاب الأول مضروباً في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري الاستقطاب للمرشحين.

قصر النظر nearsightedness: عيب في الرؤية؛ حيث لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم البعيد بوضوح؛ لأن الصورة تتكوّن أمام الشبكية، ويُصحح باستخدام عدسة مقعرة.

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

الكشاف الكهربائي Electroscopes 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.

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 المستهلكة؛ kWh 1 يساوي 1000 W متصل بشكل مستمر لمدة 3600 s (h 1).

ل

اللون الأساسي (الأساس) primary color: الألوان الأحمر والأخضر والأزرق، التي تكوّن اللون الأبيض عندما تتحد معاً، كما تُنتج الألوان الثانوية، وهي الأصفر، والأزرق الداكن، والأحمر المزرّق، عند مزجها في أزواج.

اللون الثانوي secondary color: ينتج كلّ من اللون الأصفر واللون الأزرق الداكن واللون الأحمر المزرّق عن اتحاد لونين أساسيين.

اللون المتمم complementary color: لون الضوء الذي يعطي ضوءاً أبيضاً عند تراكبه مع ضوء أحمر.

المصطلحات



- 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 يولد قوة كهربائية يمكنها أن تنجز شغلاً، مما يؤدي إلى نقل طاقة من المجال إلى أي جسم آخر مشحون.
- مجزئ الجهد Voltage divider** دائرة توال، تستخدم لإنتاج مصدر جهد بالمقدار المطلوب من بطارية ذات جهد كبير، ويستخدم عادة بوصفه مجسًا حساسًا كما في المقاومات 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 تراكم أنماط حيود الشق المفرد، ويستخدم الحيود في قياس الطول الموجي للضوء بدقة أو لفصل الضوء وفق الأطوال الموجبة المختلفة.
- المحور الرئيسي principle axis**؛ خط مستقيم عمودي على سطح المرآة حيث يقسمها إلى نصفين.
- المرآة المحدبة convex mirror**؛ مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوّس (المنحني) إلى الخارج، وتكوّن صورًا معتدلة ومصغّرة ووهمية.
- المرآة المستوية plane mirror**؛ سطح أملس ناعم يعكس الضوء انعكاسًا منتظمًا، ويكوّن صورة وهمية ومعتدلة لها حجم الجسم نفسه وهيئته، ولها أيضًا البعد نفسه الذي يبعده الجسم عن المرآة.
- المرآة المقعرة concave mirror**؛ مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوّس (المنحني) إلى الداخل، وتكوّن صورًا معتدلة وهمية أو مقلوبة وحقيقية.
- المصدر المستضيء (المضاء) illuminated source**؛ جسم، مثل القمر، يظهر مضيئًا نتيجة انعكاس الضوء عنه.
- المصدر المضيء luminous source**؛ جسم يبعث الضوء، كالشمس أو المصباح.
- معادلة العدسة الرقيقة thin lens equation**؛ تنصّ على أن مقلوب البعد البؤري لعدسة كروية يساوي مجموع مقلوب كلٍّ من بعد الصورة وبعد الجسم.
- معادلة المرايا الكروية mirror equation**؛ علاقة تربط بين البعد البؤري، وموقع الجسم، وموقع الصورة في المرآة الكروية.
- معامل الانكسار index of refraction** بالنسبة لوسط ما؛ هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعة الضوء في ذلك الوسط.

المصطلحات

معياري ريليه **Rayleigh criterion**؛ ينصّ على أنه إذا سقطت البقعة المركزية المضيئة للصورة على الحلقة المعتمدة الأولى للصورة الثانية تكون الصور في حدود التحليل (التمييز).

المقاوم الكهربائي resistor جهاز ذو مقاومة محددة، قد يكون مصنوعاً 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 مقسوماً على التيار.

المقاومة المكافئة Equivalent resistance مقاومة مفردة تحل محل مجموعة مقاومات (موصولة على التوالي أو التوازي أو كليهما معاً)، بحيث يكون لهذه المقاومة نفس التيار والجهد الذي لمجموعة المقاومات؛ أي يمر فيها نفس التيار المار في مجموعة المقاومات، ويكون لها نفس هبوط الجهد على طرفي مجموعة المقاومات.

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 خطراً عليها.

الموصل الفائق التوصيل Superconductor مادة مقاومتها صفر، وتوصل الكهرباء دون فقدان أو ضياع في الطاقة.



نمط الحيود diffraction pattern؛ نمط يتكوّن على الشاشة، ينتج عن التداخل البناء والتداخل الهدّام لموجات هويجنز.

نموذج الشعاع الضوئي ray model of light؛ النموذج الذي يمثّل الضوء بوصفه شعاعاً ينتقل في خط مستقيم، ويتغير اتجاهه فقط عند وضع حاجز في مساره.

