وزارة التعليم
Ministry of Education

دليل حلول المسائل

فيزياء ٣

التعليم الثانوي- نظام المقررات

العبيكان Obeikan

١٤٣٤ هـ - ٢٠١٣ م

McGraw Hill Education

المحتويات

مقدمة للمعلم

الفصل 1: أساسيات الضوء 3

الفصل 2 : الانعكاس والمرايا 17

الفصل 3 : الانكسار والعدسات 34

الفصل 4 : التداخل والحيود 52

الفصل 1: الكهرباء الساكنة 64

الفصل 2: المجالات الكهربائية 79

الفصل 3: الكهرباء التيارية 97

الفصل 4: دوائر التوالي والتوازي الكهربائية 112

مسائل إضافية 131

مسائل تدريبية

9–1 الاستضاءة

1. تحرّك مصباح فوق صفحات كتاب من مسافة 30 cm إلى 90 cm. قارن بين استضاءة الكتاب قبل الحركة وبعدها.

$$\frac{E_{\text{بعد}}}{E_{\text{قبل}}} = \frac{\left(\frac{\mathrm{P}}{4\pi d_{\text{بعد}}^2}\right)}{\left(\frac{\mathrm{P}}{4\pi d_{\text{قبل}}^2}\right)} = \frac{d_{\text{قبل}}^2}{d_{\text{بعد}}^2} = \frac{(30\ \text{cm})^2}{(90\ \text{cm})^2} = \frac{1}{9}$$

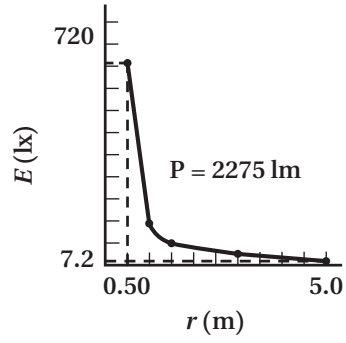
لذا فإنه بعد تحرّك المصباح الكهربائي فإن الاستضاءة تعادل $\frac{1}{9}$ الاستضاءة الأصلية.

2. ارسم المنحنى البياني للاستضاءة المتولّدة بواسطة مصباح ضوئي متوهج قدرته 150 W بين 0.50 m و5.0 m.

الاستضاءة لمصباح قدرته 150 W

$$P = 2275\ \text{lm},\ d = 0.50, 0.75, \ldots, 5.0\ \text{m}$$

$$E(d) = \frac{\mathrm{P}}{4\pi d^2}$$



3. مصدر ضوئي نقطي شدّة إضاءته 64 cd يقع على ارتفاع 3.0 m فوق سطح مكتب. ما الاستضاءة على سطح المكتب بوحدة لوكس (lx)؟

$$\mathrm{P} = 4\pi(64\ \text{cd}) = 256\pi\ \text{lm}$$

لذا فإن

$$E = \frac{\mathrm{P}}{4\pi d^2} = \frac{256\pi\ \text{lm}}{4\pi(3.0\ \text{m})^2} = 7.1\ \text{lx}$$

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؟

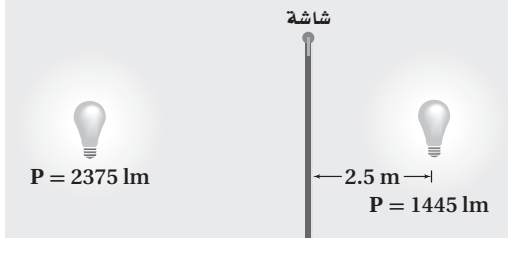
$$E = \frac{\mathrm{P}}{4\pi d^2}$$

$$\mathrm{P} = 4\pi E d^2$$

$$= 4\pi\ (160\ \text{lm/m}^2)(2.0\ \text{m})^2$$

$$= 8.0\times10^3\ \text{lm}$$

5. وضعت شاشة بين مصباحين كهربائيين يُضيئانها بالتساوي، كما في **الشكل 7–9**. فإذا كان التدفق الضوئي للمصباح الأول 1445 lm عندما كان يبعد مسافة 2.5 m عن الشاشة فما بُعد المصباح الثاني عن الشاشة إذا كان تدفقه الضوئي 2375 lm؟



■ **الشكل 7–9**

$$E_1 = E_2$$

لذا فإن

$$\frac{\mathrm{P}_1}{{d_1}^2} = \frac{\mathrm{P}_2}{{d_2}^2}$$

أو

$$d_2 = d_1\sqrt{\frac{\mathrm{P}_2}{\mathrm{P}_1}}$$

$$= (2.5\ \text{m})\sqrt{\frac{2375\ \text{lm}}{1445\ \text{lm}}}$$

$$= 3.2\ \text{m}$$

مراجعة القسم

9–1 الاستضاءة

6. الاستضاءة هل يولّد مصباح كهربائي واحد إضاءة أكبر من مصباحين مماثلين يقعان على ضعف بُعد مسافة المصباح الأول؟ وضّح إجابتك.

يولّد مصباح واحد استضاءة أكبر مرتين من الاستضاءة التي يولّدها مصباحان مماثلان معًا يقعان عند ضعف المسافة؛ لأن

$$E \propto \frac{P}{d^2}$$

7. المسافة التي يقطعها الضوء يمكن إيجاد بُعد القمر باستخدام مجموعة من المرايا يحملها روّاد الفضاء على سطح القمر. فإذا تم إرسال نبضة ضوء إلى القمر وعادت إلى الأرض خلال 2.562 s، فاحسب المسافة بين الأرض وسطح القمر، مستخدمًا القيمة المقيسة لسرعة الضوء.

$$d = ct$$
$$= (299800000\ \text{m/s})(\tfrac{1}{2})(2.562\ \text{s})$$
$$= 3.840\times10^{8}\ \text{m}$$

8. شدة الإضاءة يضيء مصباحان شاشة بالتساوي بحيث يقع المصباح A على بعد 5.0 m، ويقع المصباح B على بعد 3.0 m، فإذا كانت شدة إضاءة المصباح A 75 cd، فما شدة إضاءة المصباح B؟

$$E = \frac{I}{d^2}$$

لما كانت الاستضاءة متساوية

$$E_1 = E_2$$

فإن

$$\frac{I_1}{d_1^{\,2}} = \frac{I_2}{d_2^{\,2}}$$

أو

$$I_2 = \frac{I_1 d_2^{\,2}}{d_1^{\,2}}$$
$$= \frac{(75\ \text{cd})(3.0\ \text{m})^2}{(5.0\ \text{m})^2} = 27\ \text{cd}$$

9. بُعد المصدر الضوئي افترض أن مصباحًا كهربائيًّا يضيء سطح مكتبك ويولّد فقط نصف الاستضاءة المطلوبة. فإذا كان المصباح يبعد حاليًّا مسافة 1.0 m فكم ينبغي أن يكون بعده ليولّد الاستضاءة المطلوبة؟

تعتمد الاستضاءة على $\frac{1}{d^2}$

لذا فإن

$$\frac{E_i}{E_f} = \frac{d_f^{\,2}}{d_i^{\,2}} = \frac{1}{2}$$
$$\frac{d_f^{\,2}}{(1.0\ \text{m})^2} = \frac{1}{2}$$
$$d_f = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\ \text{m}$$
$$= 0.71\ \text{m}$$

10. التفكير الناقد استخدم الزمن الصحيح الذي يحتاج إليه الضوء لقطع مسافة تعادل قطر مدار الأرض والذي يساوي 16.5 min، وقطر مدار الأرض 2.98×10^{11} m، وذلك لحساب سرعة الضوء باستخدام طريقة رومر. وهل تبدو هذه الطريقة دقيقة؟ ولماذا؟

$$v = \frac{d}{t} = \frac{3.0\times10^{11}}{(16\ \text{min})(60\ \text{s/min})}$$
$$= 3.1\times10^{8}\ \text{m/s}$$

مسائل تدريبية

9–2 الطبيعة الموجية للضوء (صفحة 85–74)

صفحة 84

11. ما تردّد خط طيف الأكسجين إذا كان طوله الموجي 513 nm؟

استخدم المعادلة $\lambda = \frac{c}{f}$ **وحلها بالنسبة لـ** f

$$f = \frac{c}{\lambda}$$
$$= \frac{3.00\times10^{8}\ \text{m/s}}{5.13\times10^{-7}\ \text{m}}$$
$$= 5.85\times10^{14}\ \text{Hz}$$

12. تتحرك ذرة هيدروجين في مجرة بسرعة $6.55\times10^{6}\ m/s$ مبتعدة عن الأرض، وتبعث ضوءًا بتردّد $6.16\times10^{14}\ Hz$. ما التردّد الذي سيلاحظه فلكي على الأرض للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين؟

السرعة النسبية على طول المحور أقل كثيرًا من سرعة الضوء. لذا يمكنك استخدام معادلة تردد الضوء المُراقَب. واستخدم الصيغة السالبة لمعادلة تردد الضوء المُراقَب؛ لأن عالم الفلك والمجرة يبتعد أحدهما عن الآخر.

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

$$= (6.16\times10^{14}\ \text{Hz})\left(1-\left(\frac{6.55\times10^{6}\ \text{m/s}}{3.00\times10^{8}\ \text{m/s}}\right)\right)$$

$$= 6.03\times10^{14}\ \text{Hz}$$

13. ينظر فلكي إلى طيف مجرة، فيجد أن هناك خطًّا لِطَيْف الأكسجين بالطول الموجي 525 nm، في حين أن القيمة المقيسة 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؟

افترض أن السرعة النسبية على امتداد المحور أقل كثيرًا من سرعة الضوء. لذا يمكنك استخدام معادلة انزياح دوبلر.

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

ويبدو الطول الموجي المُراقب (الظاهري) أكبر من الطول الموجي الحقيقي لخط طيف الأكسجين. وهذا يعني أن الفلكي والمجرة يتحركان مبتعدًا أحدهما عن الآخر؛ لذا استخدم الصيغة الموجبة لمعادلة انزياح دوبلر.

$$(\lambda_{\text{المُراقَب}}-\lambda) = +\frac{v}{c}\lambda$$

وحل المعادلة بالنسبة للمتغير المجهول

$$v = \frac{c(\lambda_{\text{المُراقَب}}-\lambda)}{\lambda}$$

$$= (3.00\times10^{8}\ \text{m/s})\left(\frac{(525\ \text{nm}-513\ \text{nm})}{513\ \text{nm}}\right)$$

$$= 7.02\times10^{6}\ \text{m/s}$$

مراجعة القسم

2–9 الطبيعة الموجية للضوء

14. **مزج ألوان الضوء** ما لون الضوء الذي يجب أن يتّحد مع الضوء الأزرق للحصول على الضوء الأبيض؟

الأصفر (مزيج من اللونين الأساسيين الآخرين؛ الأحمر والأخضر).

15. **تفاعل الضوء مع الصبغة** ما اللون الذي يظهر به الموز الأصفر عندما يُضاء بواسطة كلٍّ مما يأتي؟

a. الضوء الأبيض

الأصفر

b. الضوء الأخضر والضوء الأحمر معًا.

الأصفر

c. الضوء الأزرق

الأسود

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؟

نعم؛ لأن $v = \lambda f$ و $\lambda = \frac{v}{f}$ ؛ لذا فعندما تقل v فإن λ تقل أيضًا.

17. مزج الأصباغ ما الألوان الأساسية للأصباغ التي يجب أن تمزج لإنتاج اللون الأحمر؟ وضح كيف ينتج اللون الأحمر باختزال لون من ألوان الصبغة؟

تُستخدم الصبغتان الصفراء والحمراء المزرقة (الأرجواني) في إنتاج اللون الأحمر. فالصبغة الصفراء تختزل اللون الأزرق وصبغة الأحمر المزرق تختزل اللون الأخضر، ولا تختزل أيّ منهما اللون الأحمر؛ لذا سيعكس المزيج اللون الأحمر.

18. الاستقطاب صف تجربة بسيطة يمكنك إجراؤها لتحديد ما إذا كانت النظارات الشمسية المتوافرة في المتجر مستقطبة أم لا.

تَحقّق مما إذا كانت النظارات تقلّل من السطوع الصادر عن السطوح العاكسة، ومنها النوافذ والطرق المعبَّدة. ويستفيد المصورون الفوتوجرافيون من استقطاب الضوء المنعكس بتصوير الأجسام لحظة التخلص من السطوع.

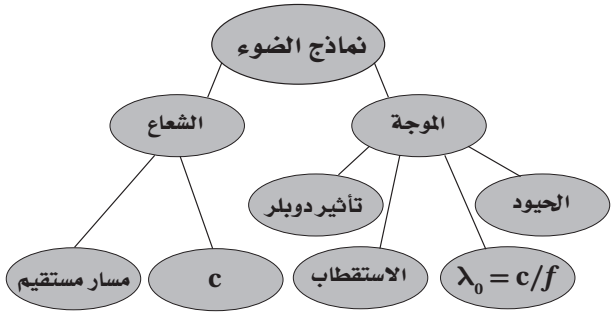
19. التفكير الناقد توصّل الفلكيون إلى أن مجرّة الأندروميدا، وهي المجرّة القريبة من مجرتنا (مجرة درب التبانة)، تتحرك في اتجاه مجرتنا. وضح كيف تمكّن العلماء من تحديد ذلك. وهل يمكنك التفكير في دليل محتمل لاقتراب مجرة الأندروميدا من مجرتنا؟

خطوط طيف الانبعاث للذرات المعروفة مزاحة نحو الأزرق في الضوء الذي نراه قادمًا من مجرّة الأندروميدا؛ لذا فإن مجرّة الأندروميدا تتحرك في اتجاه مجرتنا؛ وذلك بسبب قوة الجاذبية. وقد تكون المجرتان متحركتين في مدار متذبذب إحداهما حول الأخرى.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

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



إتقان المفاهيم

صفحة 90

21. لا ينتقل الصوت خلال الفراغ، فكيف تعرف أن الضوء ينتقل في الفراغ؟ (1–9)

يصل ضوء الشمس إلينا من خلال الفراغ.

22. فرّق بين المصدر المضيء والمصدر المستضيء. (1–9)

يبعث الجسم المضيء الضوء، أما الجسم المستضيء (المُضاء) فهو ذلك الجسم الذي يسقط عليه الضوء ثم ينعكس.

23. انظر بعناية إلى مصباح متوهج تقليدي. هل هو مصدر مضيء أم مصدر مستضيء؟ (1–9)

إنه مضاء بصورة رئيسة؛ فالفتيلة مضيئة، أما زجاج المصباح فهو مستضيء (مُضاء).

24. وضح كيف يمكنك رؤية الأجسام العادية غير المضيئة في غرفة الصف؟ (1–9)

ترى الأجسام العادية غير المضيئة عن طريق عكسها للضوء.

25. فرّق بين الأجسام الشفافة وشبه الشفافة وغير الشفافة (المعتمة). (1–9)

يمر الضوء من خلال الوسط الشفاف دون تشوّه ونرى الأجسام من خلاله، ويمرّر الوسط شبه الشفاف الضوء إلا أنه يشوّهه؛ لذا لا يمكن تمييز الأجسام عند النظر إليها من خلاله، أما الوسط المعتم فلا يمرّر الضوء ولا نرى الأجسام من خلاله.

26. ما الذي يتناسب طرديًّا مع استضاءة سطح بمصدر ضوئي؟ وما الذي يتناسب معه عكسيًّا؟ (1–9)

تتناسب الاستضاءة على سطح ما طرديًّا مع شدة إضاءة مصدر الضوء، وتتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة بين السطح ومصدر الضوء.

27. ما افتراض جاليليو بالنسبة لسرعة الضوء؟ (1–9)

سرعة الضوء كبيرة جدًّا إلا أنها محدّدة.

28. لماذا يعد حيود الموجات الصوتية أكثر شيوعًا في الحياة اليومية من حيود الموجات الضوئية؟ (2–9)

يكون الحيود أكثر وضوحًا حول العوائق التي تكون أبعادها مساويةً للطول الموجي للموجة تقريبًا. وأغلب العوائق التي حولنا ذات أبعاد تُحيد موجات الصوت ذات الطول الموجي الكبير.

29. ما لون الضوء الذي لديه أقصر طول موجي؟ (2–9)

الضوء البنفسجي.

30. ما مدى الأطوال الموجية للضوء، بدءًا من الأقصر إلى الأطول؟ (2–9)

400 nm إلى 700 nm

31. ما الألوان التي يتكوّن منها الضوء الأبيض؟ (2–9)

يتركّب الضوء الأبيض من الألوان جميعها، أو من الألوان الأساسية على الأقل.

32. لماذا يظهر جسم ما باللون الأسود؟ (2–9)

يظهر الجسم باللون الأسود؛ لأن قليلاً من الضوء – إن وجِد– ينعكس عن الجسم.

33. هل يمكن أن تكون الموجات الطولية مستقطبة؟ وضح إجابتك. (2–9)

لا؛ لأنه ليس لها مركّبات مستعرضة.

34. تبعث مجرة بعيدة خطًّا طيفيًّا في منطقة اللون الأخضر من الطيف الضوئي، فهل ينزاح الطول الموجي المُراقَب على الأرض إلى الضوء الأحمر أو إلى الضوء الأزرق؟ وضح إجابتك. (2–9)

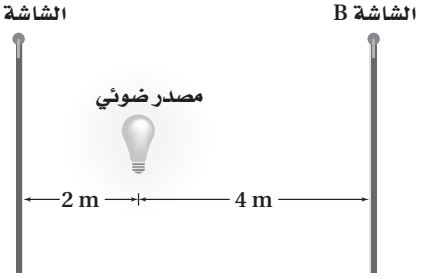
لما كانت المجرة بعيدة فإنها ستبدو كأنها تتحرك مبتعدة عن الأرض، وسيُزاح الطول الموجي في اتجاه اللون الأحمر ذي الطول الموجي الكبير.

35. ماذا يحدث للطول الموجي للضوء عندما يزداد تردده؟ (2–9)

كلما ازداد التردد قلّ الطول الموجي.

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 21–9**. قارن بين الاستضاءة على الشاشة B والاستضاءة على الشاشةA؟



■ **الشكل 21–9**

لما كانت الاستضاءة $E \propto \frac{1}{r^2}$؛ فإنها ستكون عند الشاشة B ربع الاستضاءة عند الشاشة A.

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؟

لا.

b. إذا لم تكن كذلك فكم تكون أكبر أو أصغر؟

الاستضاءة على بُعد 35 cm أكبر، وتكون الاستضاءة عند مضاعفة المسافة $\frac{1}{4}$ القيمة الأولى.

38. لماذا يُطلى السطح الداخلي للمناظير وآلات التصوير باللون الأسود؟

يُطلى السطح الداخلي باللون الأسود؛ لأنه لا يعكس أي كمية من الضوء؛ لذا لا يكون هناك تداخل للضوء في أثناء مشاهدة الأجسام أو في أثناء تصويرها.

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

لن تكون سيارات الشرطة ذات اللون الأزرق الفاتح مرئية؛ لأنها تمتص الضوء الأحمر والضوء الأصفر. ويتعين عليهم شراء سيارات صفراء أو طلاء سيارتهم باللون الأصفر، حيث ستكون مرئية بدرجة كبيرة.

ارجع إلى الشكل 22–9 عند حل المسألتين التاليتين.

■ الشكل 22–9

40. ماذا يحدث للاستضاءة على صفحات الكتاب عند تحريك المصباح بعيدًا عن الكتاب؟

تتناقص الاستضاءة كما تم وصفها بقانون التربيع العكسي.

41. ماذا يحدث لشدّة إضاءة المصباح عند تحريكه بعيدًا عن الكتاب؟

لا يوجد تغير، لا تؤثر المسافة في شدة الإضاءة.

42. الصور المستقطبة يضع مصورو الفوتوجراف مرشِّحات استقطاب فوق عدسات الكاميرا لكي تبدو الغيوم أكثر وضوحًا، فتبقى الغيوم بيضاء في حين تبدو السماء داكنة بصورة أكبر. وضح ذلك معتمدًا على معرفتك بالضوء المستقطَب.

يعد الضوء المُشتَّت من الغلاف الجوي ضوءًا مستقطبًا، إلا أن الضوء المُشتَّت عن الغيوم غير مستقطب. حيث يقلّل المصوّر كمية الضوء المستقطب الذي يصل إلى الفيلم عن طريق تدوير المرشّح.

43. إذا كان لديك الأصباغ التالية: الصفراء والزرقاء الفاتحة والحمراء المزرقّة فكيف تستطيع عمل صبغة زرقاء اللون؟ وضح إجابتك.

مزج الصبغة الزرقاء الفاتحة بالصبغة الحمراء المزرقة (الأرجوانية).

44. إذا وضعت قطعة سلوفان حمراء على مصباح يدوي، ووضعت قطعة سلوفان خضراء على مصباح آخر، وسلّطت حزمًا ضوئية على حائط أبيض اللون فما الألوان التي ستراها عندما تتراكب الحزم الضوئية للمصباحين؟

الأصفر.

45. تبدو التفاحة حمراء لأنها تعكس الضوء الأحمر وتمتص الضوء الأزرق والضوء الأخضر.

a. لماذا يظهر السلوفان الأحمرُ أحمرَ اللون عند النظر إليه من خلال الضوء المنعكس؟

يعكس السلوفان الضوء الأحمر، ويمتص أو يمرّر الضوأين الأزرق والأخضر.

b. لماذا يظهر مصباح الضوء الأبيض أحمر اللون عند النظر إليه من خلال السلوفان الأحمر؟

يمرّر السلوفان الضوء الأحمر.

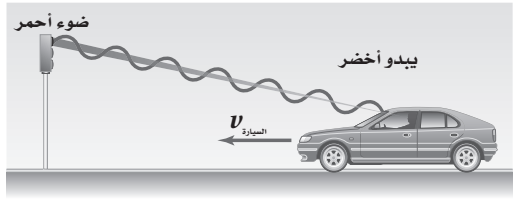
c. ماذا يحدث لكل من: الضوء الأزرق والضوء الأخضر؟

تم امتصاص الضوء الأزرق والضوء الأخضر.

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

الأسود؛ غالبًا لا ينفذ ضوء؛ لأن الضوء المار من خلال المرشّح الأول يُمتص عن طريق المرشّح الثاني.

47. مخالفة السير هبْ أنك شرطي مرور، وأوقفت سائقًا تجاوز الإشارة الحمراء، وافترض أيضًا أن السائق وضّح لك من خلال رسم **الشكل 23–9** أن الضوء كان يبدو أخضر بسبب تأثير دوبلر عندما قطع الإشارة. وضّح له مستخدمًا معادلة إزاحة دوبلر، كم يجب أن تكون سرعته حتى يبدو الضوء الأحمر ($\lambda = 645\ nm$) على شكل ضوء أخضر ($\lambda = 545\ nm$)؟ *تلميح: افترض لحل هذه المسألة أن معادلة إزاحة دوبلر يمكن تطبيقها عند هذه السرعة.*



■ الشكل 23–9

$$\left(\frac{645\ nm - 545\ nm}{645\ nm}\right)(3.00\times10^{8}\ m/s) = 4.65\times10^{7}\ m/s$$

حتى يبدو الضوء الأحمر على شكل ضوء أخضر يجب أن تكون سرعة السيارة $4.65\times10^{7}\ m/s$، لذا فإنه إن لم يحصل على مخالفة بسبب تجاوز الإشارة الحمراء، فإنه سيخالف لأنه تجاوز حد السرعة المقررة.

إتقان حل المسائل

9–1 الاستضاءة

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

$$E = \frac{P}{4\pi d^2} = \frac{405\ lm}{4\pi(4.0\ m)^2} = 2.0\ lx$$

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

$$d = vt = (3.00\times10^{8}\ m/s)(1.28\ s)$$

$$= 3.84\times10^{8}\ m$$

50. يستهلك مصباح كهربائي ثلاثي الضبط قدرة كهربائية 150 W، 100 W، 50 W لإنتاج تدفق ضوئي 2285 lm, 1620 lm، 665 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؟

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

$$P = 4\pi E d^2 = 4\pi(175\ lx)(0.80\ m)^2$$

$$= 1.4\times10^{3}\ lm$$

لذا يجب ضبطه على 100 W (1620 lm).

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

a. ما المسافة التي يقطعها الضوء خلال 13 s؟

$$\mathbf{3.9\times10^{9}\ m}$$

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

$$v=\frac{d}{t}$$

$$=\left(\frac{3.9\times10^{9}\ \text{m}}{1.53\times10^{5}\ \text{s}}\right)\left(\frac{1\ \text{km}}{1000\ \text{m}}\right)$$

$$=25\ \text{km/s}$$

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

$$v=\frac{d}{t}=\left(\frac{2\pi(1.5\times10^{8}\ \text{km})}{365\ \text{day}}\right)\left(\frac{1\ \text{day}}{24\ \text{h}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right)$$

$$=3.0\times10^{1}\ \text{km/s},$$

وهذه النتيجة دقيقة إلى حدٍّ ما.

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.

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

لما كانت الاستضاءة متساوية

$$E_1=E_2$$

فإن

$$\frac{\mathbf{P}_1}{d_1^{\,2}}=\frac{\mathbf{P}_2}{d_2^{\,2}}$$

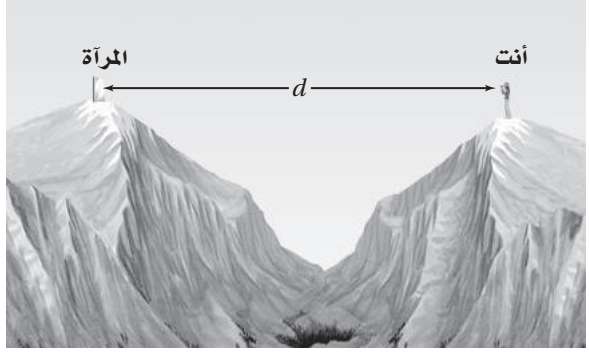
أو

$$\mathbf{P}_2=\frac{\mathbf{P}_1 d_2^{\,2}}{d_1^{\,2}}$$

$$=\frac{(1750\ \text{lm})(1.08\ \text{m})^{2}}{(1.25\ \text{m})^{2}}$$

$$=1.31\times10^{3}\ \text{lm}$$

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 موضّح في **الشكل 24–9**، وتمكّن شخص من تحديد فترة زمنية مقدارها 0.10 s تقريبًا دون استخدام أجهزة. ما بعد المرآة عنك؟ قارن بين هذه المسافة وبعض المسافات المعروفة.



■ **الشكل 24–9**

$$d = vt$$
$$= (3.00\times10^{8}\ \text{m/s})(0.1\ \text{s})\left(\frac{1\ \text{km}}{1000\ \text{m}}\right)$$
$$= 3\times10^{4}\ \text{km}$$

تكون المرآة عند منتصف المسافة التي ينتقلها الضوء خلال 0.10 s؛ أي 15000 km. وهذه المسافة تمثل $\frac{3}{8}$ محيط الأرض، حيث إن محيط الأرض يساوي 40000 km.

9–2 الطبيعة الموجية للضوء

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

$$(700\ \text{nm})\left(\frac{1\times10^{-9}\ \text{m}}{1\ \text{nm}}\right) = 7\times10^{-7}\ \text{m}$$

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

افترض أن السرعة النسبية على طول المحور أقل كثيرًا من سرعة الضوء، لذا يمكنك استخدام معادلة انزياح دوبلر.

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

يكون الضوء منزاحًا نحو الأحمر، لذا يكون الفلكي والمجرة متحركين مبتعدًا أحدهما عن الآخر؛ لذا استخدم الصيغة الموجبة لمعادلة الطول الموجي الظاهري للضوء.

$$(\lambda_{\text{الظاهري}} - \lambda) = +\frac{v}{c}\lambda$$

وحل المعادلة بالنسبة إلى المتغير المجهول

$$v = c\frac{(\lambda_{\text{الظاهري}} - \lambda)}{\lambda}$$
$$= (3.00\times10^{8}\ \text{m/s})\left(\frac{491\ \text{nm} - 486\ \text{nm}}{486\ \text{nm}}\right)$$
$$= 3.09\times10^{6}\ \text{m/s}$$

ونستنتج من ذلك أن الافتراض الأصلي صحيح.

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

يجب أن يتجه محور النفاذ رأسيًّا؛ لأن الضوء المنعكس عن الطريق يكون مستقطبًا جزئيًّا في الاتجاه الأفقي، فلا يمرّر محور النفاذ الرأسي الموجات الأفقية.

57. حركة المجرة إذا كان خط طيف عنصر الهيدروجين المعروف بطول موجي 434 nm مزاحًا نحو الأحمر بنسبة 6.50% في الضوء القادم من مجرة بعيدة، فما سرعة ابتعاد المجرة عن الأرض؟

افترض أن السرعة النسبية على طول المحور أقل كثيرًا من سرعة الضوء؛ لذا يمكنك استخدام معادلة انزياح دوبلر.

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

يكون الضوء منزاحًا نحو الأحمر، لذا يكون الفلكي والمجرة متحركين مبتعدًا أحدهما عن الآخر، لذا استخدم الصيغة الموجبة لمعادلة الطول الموجي الظاهري للضوء.

$$(\lambda_{\text{الظاهري}} - \lambda) = + \frac{v}{c}\lambda$$

وحل المعادلة بالنسبة إلى المتغير المجهول

$$v = c\frac{(\lambda_{\text{الظاهري}} - \lambda)}{\lambda}$$

$$= (3.00\times10^{8}\ \text{m/s})\left(\frac{(1.065)(434\ \text{nm}) - 434\ \text{nm}}{434\ \text{nm}}\right)$$

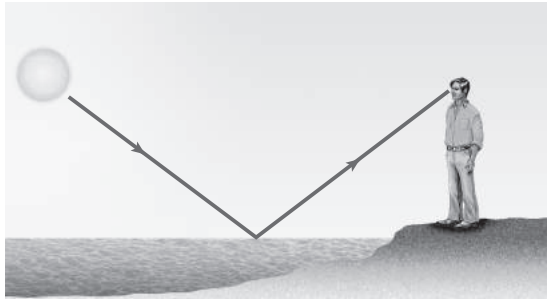
$$= 1.95\times10^{7}\ \text{m/s}$$

ونستنتج من ذلك أن الافتراض الأصلي صحيح.

58. لأي خط طيفي، ما القيمة غير الحقيقية للطول الموجي الظاهري لمجرة تتحرك مبتعدة عن الأرض؟ ولماذا؟

إن القيمة غير الحقيقية للطول الموجي هي التي تجعل المجرة تبدو لنا وكأنها تتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء أو أكبر منها. وباستخدام معادلة إزاحة دوبلر لسرعة قليلة تعطي فرقًا في الطول الموجي مقداره $(\lambda_{\text{الظاهري}} - \lambda) = +\frac{c}{c}\lambda$، وبحل هذه المعادلة فإنها تُعطي طولا موجيًّا ظاهريًّا مقداره 2λ ؛ وأي طول موجي ظاهري قريب أو أكبر من ضعف الطول الموجي الحقيقي سيكون غير حقيقي.

59. افترض أنك كنت تتجه إلى الشرق عند شروق الشمس. وينعكس ضوء الشمس عن سطح بحيرة، كما في **الشكل 25–9**، فهل الضوء المنعكس مستقطَب؟ إذا كان كذلك ففي أي اتجاه؟



■ الشكل 25–9

الضوء المنعكس مستقطب جزئيًا في اتجاه موازٍ لسطح البحيرة، ومتعامد مع اتجاه انتشار الضوء من البحيرة إلى عينيك.

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؟

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

إذا قلّت P بمعامل مقداره 2، وجب أن يقل المقدار d^2 بالمعامل نفسه.

لذا يقل d بمعامل مقداره $\sqrt{2}$ ليصبح

$$\frac{(3.3\ \text{m})}{\sqrt{2}} = 2.3\ \text{m}$$

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؟

$$E = \frac{I}{d^2}$$

لما كانت استضاءة المصباحين على الجدار متساوية فإن

$$E_1 = E_2$$

لذا فإن

$$\frac{I_1}{d_1^2} = \frac{I_2}{d_2^2}$$

أو

$$d_2 = d_1\sqrt{\frac{I_2}{I_1}} = (6.0\ \text{m})\sqrt{\frac{60.0\ \text{cd}}{10.0\ \text{cd}}}$$
$$= 15\ \text{m}$$

62. الرعد والبرق وضح لماذا تحتاج إلى 5 s لسماع الرعد عندما يبعد البرق مسافة 1.6 km.

لا يحتاج الضوء إلى زمن يذكر (5.3 μs)، في حين يحتاج الصوت إلى 4.7 s.

63. الدوران الشمسي لأن الشمس تدور حول محورها فإن أحد جوانبها يتحرك في اتجاه الأرض، أما الجانب المقابل فيتحرك مبتعدًا عنها. وتكمل الشمس دورة كاملة كل 25 يومًا تقريبًا، ويبلغ قطرها 1.4×10^{9} m. فإذا بعث عنصر الهيدروجين في الشمس ضوءًا بتردّد 6.16×10^{14} Hz من كلا الجانبين فما التغير في الطول الموجي المراقَب؟

سرعة الدوران تساوي المحيط مقسومًا على الزمن الدوري للدوران.

$$v_{\text{دوران}} = \frac{(1.4\times10^{9}\ \text{m})\pi}{(25\ \text{days})(24\ \text{h/day})(3600\ \text{s/h})}$$

$$= 2.04\times10^{3}\ \text{m/s}$$

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

$$= \frac{3.00\times10^{8}\ \text{m/s}}{6.16\times10^{14}\ \text{Hz}}$$

$$= 4.87\times10^{-7}\ \text{m}$$

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

$$\Delta\lambda = \pm\frac{v_{\text{دوران}}}{c}\lambda$$

$$= \pm\frac{(2.04\times10^{3}\ \text{m/s})}{(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}(4.87\times10^{-7}\ \text{m})$$

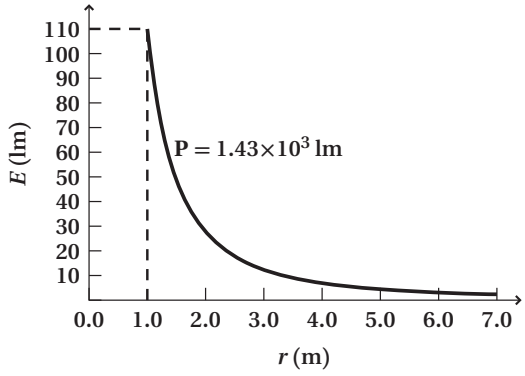
$$= \pm 3.3\times10^{-12}\ \text{m}$$

التفكير الناقد

64. ابحث لماذا لم يتمكن جاليليو من قياس سرعة الضوء؟

لأنه لم يكن قادرًا على قياس الفترات الزمنية الصغيرة المتضمنة في قياس المسافات التي يقطعها الضوء بين نقطتين على سطح الأرض.

65. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبعد مصدر ضوئي شدة إضاءته 110 cd مسافة 1.0 m عن شاشة. حدِّد الاستضاءة على الشاشة في البداية، وأيضًا عند كل متر تزداد فيه المسافة حتى 7.0 m، ومثّل البيانات بيانيًا.



a. ما شكل المنحنى البياني؟

قطع زائد

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

تربيع عكسي

66. حلّل واستنتج إذا كنت تقود سيارتك عند الغروب في مدينة مزدحمة ببنايات جدرانها مغطّاة بالزجاج، حيث يؤدي ضوء الشمس المنعكس عن الجدران إلى انعدام الرؤيا لديك مؤقتًا. فهل تحل النظارات المستقطبة هذه المشكلة؟

نعم، الضوء المنعكس عن الزجاج مستقطب جزئيًا؛ لذا ستقلل نظارات الاستقطاب من السطوع أو الوهج إذا رتّبت محاور استقطابها بصورة صحيحة.

الكتابة في الفيزياء

67. اكتب مقالاً تصف فيه تاريخ المعرفة البشرية المتعلقة بسرعة الضوء، وضمّنه إنجازات العلماء المهمة في هذا المجال.

ستختلف الإجابات.

68. ابحث في معلومات النظام الدولي للوحدات SI المتعلقة بوحدة الشمعة cd، وعبّر بلغتك الخاصة عن المعيار الذي يستخدم في تحديد قيمة 1 cd.

ستختلف الإجابات، ابدأ بعنصر الثوريوم، ثم سخنه لتصبح درجة حرارته مساوية لدرجة انصهار عنصر البلاتينيوم، وعند هذه الدرجة سيتوهج الثوريوم. ثم غلّف الثوريوم بمادة معتمة حتى تتمكن من اكتساب الحرارة الكبيرة، واترك فتحة مساحتها ($\frac{1}{60}\text{cm}^2$)، تعرف الشمعة cd بأنها مقدار التدفق المنتظم لطاقة الضوء الذي ينبعث من الثوريوم المتوهج خلال الفتحة التي مساحتها ($\frac{1}{60}\text{cm}^2$).

مراجعة تراكمية

صفحة 94

69. ما الطول الموجي لموجة صوتية ترددها 17000 Hz تنتقل في ماء درجة حرارته 25 °C؟ (الفصل 8)

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

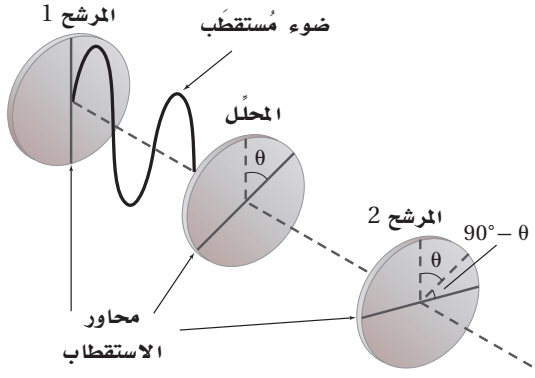
$$= \frac{1493\ \text{m/s}}{17000\ \text{Hz}}$$

$$= 0.0878\ \text{m}$$

$$= 8.8\ \text{cm}$$

مسألة تحفيز

إذا وضعت مرشّحًا محلِّلاً بين مرشّحين متقاطعين (محورا استقطابهما متعامدان)، بحيث لا يوازي محور استقطابه أيًّا من محوري استقطاب المرشّحين المتقاطعين، كما هو موضح في الشكل أدناه.



1. فإنك تلاحظ أن قسمًا من الضوء يمر من خلال المرشح 2، على الرغم من أنه لم يكن هناك ضوء يمر من خلاله قبل إدخال المرشّح المحلِّل. فلمَ يحدث ذلك؟

يسمح المرشّح المحلّل لبعض الضوء بالمرور من خلاله؛ لأن محور استقطابه ليس متعامدًا مع محور استقطاب المرشّح الأول. ويستطيع الآن مرشّح الاستقطاب الثاني تمرير الضوء المار من المرشّح المحلّل لكون محور استقطاب المرشّح المحلّل غير متعامد مع محور استقطاب المرشّح الثاني.

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

I_1 تمثّل شدة الضوء الخارجة من المرشّح الأول، و $I_{\text{المحلل}}$ تمثّل شدة الضوء الخارجة من المرشّح المحلّل، و I_2 تمثّل شدة الضوء الخارجة من المرشّح الثاني.

$$I_{\text{المحلل}} = I_1 \cos^2\theta$$

$$I_2 = I_{\text{المحلل}} \cos^2(90° - \theta)$$

$$I_2 = I_1 \cos^2(\theta)\cos^2(90° - \theta)$$

مسائل تدريبية

1–10 الانعكاس عن المرايا المستوية

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

تصبح السطوح ملساء أكثر؛ لأن الماء ملأ المناطق الخشنة.

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

a. زاوية الانعكاس.

$$\theta_r = \theta_i = 42.0°$$

b. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والمرآة.

$$\theta_{i,\text{المرآة}} = 90.0° - \theta_i = 90.0° - 42.0° = 48.0°$$

c. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.

$$\theta_i + \theta_r = 2\theta_i = 84.0°$$

3. سقطت حزمة ضوء ليزر على سطح مرآة مستوية بزاوية $38.0°$ بالنسبة للعمود المقام. فإذا حُرّك الليزر بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار $13.0°$ فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟

$$\theta_{i,} = \theta_{i,\text{ابتدائي}} + 13.0°$$
$$= 38.0° + 13.0° = 51.0°$$
$$\theta_r = \theta_i = 51.0°$$

4. وضعت مرآتان مستويتان إحداهما عمودية على الأخرى. فإذا أُسقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية $30.0°$ بالنسبة للعمود المقام، وانعكس في اتجاه المرآة الثانية، فما مقدار زاوية انعكاس الشعاع الضوئي عن المرآة الثانية؟

$$\theta_{r1} = \theta_{i1} = 30.0°$$
$$\theta_{i2} = 90.0° - \theta_{r1}$$
$$= 90.0° - 30.0°$$
$$= 60.0°$$

مراجعة القسم

1–10 الانعكاس عن المرايا المستوية

5. الانعكاس سقط شعاع ضوئي على سطح مصقول عاكس بزاوية سقوط $80°$. ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع سطح المرآة؟

$$\theta_r = \theta_i$$
$$= 80.0°$$
$$\theta_{r,\text{المرآة}} = 90.0° - \theta_r$$
$$= 90.0° - 80.0°$$
$$= 10.0°$$

6. قانون الانعكاس اشرح كيف يُطبّق قانون الانعكاس في حالة الانعكاس غير المنتظم.

يطبق قانون الانعكاس على الأشعة المفردة للضوء. تؤدي السطوح الخشنة إلى انعكاس الأشعة الضوئية في اتجاهات مختلفة، لكن لكل شعاع زاوية سقوط مساوية لزاوية الانعكاس.

7. السطوح العاكسة صنّف السطوح التالية إلى سطوح عاكسة منتظمة (ملساء) وسطوح عاكسة غير منتظمة (خشنة): ورقة، معدن مصقول، زجاج نافذة، معدن خشن، إبريق حليب بلاستيكي، سطح ماء ساكن، زجاج خشن (مصنفر).

سطح عاكس منتظم: زجاج النافذة، سطح ماء ساكن، معدن مصقول.

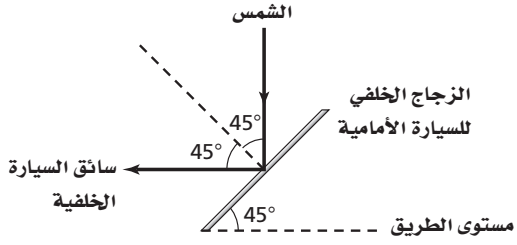
سطح عاكس غير منتظم: ورقة، معدن خشن، زجاج خشن، إبريق حليب بلاستيكي.

8. صفات الصورة يقف طفل طوله $50\ cm$ على بُعد $3\ m$ من مرآة مستوية وينظر إلى صورته. ما بُعد الصورة وطولها؟ وما نوع الصورة المتكوّنة؟

$$d_i = d_o$$
$$= 3\ m$$
$$h_i = h_o$$
$$= 50\ cm$$

تبعد الصورة $3.0\ m$ عن المرآة، وطولها يساوي $50.0\ cm$، وتكون خيالية.

9. مخطّط الصور إذا كانت سيارة تتبع سيارة أخرى على طريق أفقيـة، وكان الزجاج الخلفي للسـيارة الأمامية يميل بزاوية 45°، فارسم مخطّطًا للأشعة يبين موقع الشمس الذي يجعل أشـعتها تنعكس عن الزجاج الخلفي للسـيارة الأمامية، في اتجاه عيني سائق السيارة الخلفية.



المخططات التوضيحية يجب أن ترسم بحيث توضح أن موقع الشمس فوق الرأسي تمامًا، حيث ينعكس الضوء في اتجاه عين السائق وفق قانون الانعكاس.

10. التفكيـر الناقد وضح كيـف يُمكِّنك الانعكاس غير المنتظم للضوء عن جسـم معين من رؤية الجسـم عند النظر إليه من أي زاوية.

سينعكس الضوء الساقط عن سطح الجسم في الاتجاهات جميعها، مما يجعلك قادرًا على رؤية الجسم من أي موقع.

مسائل تدريبية

10–2 المرايا الكروية

11. وضع جسـم علـى بُعـد 36.0 cm أمـام مرآة مقعـرة بُعدها البؤري 16.0 cm. أوجد بُعْد الصورة.

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

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

$$=\frac{(36.0\text{ cm})(16.0\text{ cm})}{36.0\text{ cm}-16.0\text{ cm}}$$

$$=28.8\text{ cm}$$

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

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

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

$$=\frac{(16.0\text{ cm})(7.0\text{ cm})}{16.0\text{ cm}-7.0\text{ cm}}$$

$$=12.4\text{ cm}$$

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

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

$$=\frac{-(12.4\text{ cm})(2.4\text{ cm})}{16.0\text{ cm}}$$

$$=-1.9\text{ cm}$$

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.

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

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

$$=\frac{(16.0\text{ cm})(10.0\text{ cm})}{16.0\text{ cm}-10.0\text{ cm}}$$

$$=26.7\text{ cm}$$

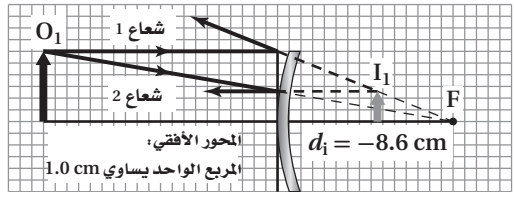
$$m=\frac{h_i}{h_o}=\frac{-d_i}{d_o}$$

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

$$=\frac{-(26.7\text{ cm})(-3.0\text{ cm})}{16.0\text{ cm}}$$

$$=5.0\text{ cm}$$

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.



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

لذا فإن

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

$$=\frac{(20.0\text{ cm})(-15.0\text{ cm})}{20.0\text{ cm}-(-15.0\text{ cm})}$$

$$=-8.57\text{ cm}$$

15. إذا وضع مصباح ضوئي قطره 6.0 cm أمام مرآة محدبة بعدها البؤري 13.0 cm−، وعلى بُعد 60.0 cm منها، فأوجد بُعد صورة المصباح وقطرها.

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

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

$$=\frac{(60.0\text{ cm})(-13.0\text{ cm})}{60.0\text{ cm}-(-13.0\text{ cm})}$$

$$=-10.7\text{ cm}$$

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

$$m=\frac{-(-10.7\text{ cm})}{60.0\text{ cm}}$$

$$=+0.178$$

$$h_i=mh_o=(0.178)(6.0\text{ cm})$$

$$=1.1\text{ cm}$$

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؟

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

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

و

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

لذا فإن

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

$$d_i=-24\text{ cm}$$

و

$$m=0.75$$

لذا فإن

$$d_o=\frac{-(-24\text{ cm})}{0.75}$$

$$=32\text{ cm}$$

$$f=\frac{(32\text{ cm})(-24\text{ cm})}{32\text{ cm}+(-24\text{ cm})}$$

$$=-96\text{ cm}$$

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

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

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

$$= \frac{-(2.4\ \text{m})(0.36\ \text{m})}{1.8\ \text{m}}$$

$$= -0.48\ \text{m}$$

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

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

$$= \frac{(-0.48\ \text{m})(2.4\ \text{m})}{-0.48\ \text{m} + 2.4\ \text{m}}$$

$$= -0.60\ \text{m}$$

مراجعة القسم

2–10 المرايا الكروية

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؟

ضع الجسم بين المرآة والبؤرة. ستكون الصورة المتكونة خيالية.

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

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

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

$$= \frac{(20.0\ \text{cm})(9.0\ \text{cm})}{20.0\ \text{cm} - 9.0\ \text{cm}}$$

$$= 16.4\ \text{cm}$$

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

$$= \frac{-16.4\ \text{cm}}{20.0\ \text{cm}}$$

$$= -0.82$$

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

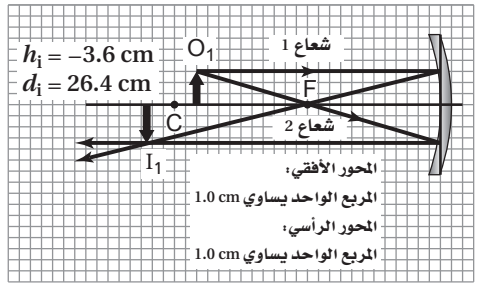
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

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

$$= \frac{(22.3\ \text{cm})(12.0\ \text{cm})}{22.3\ \text{cm} - 12.0\ \text{cm}}$$

$$= 26.0\ \text{cm}$$

21. بعد الصورة وطولها وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 22.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 12.0 cm. ارسم مخطّطًا بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها، وتحقق من إجابتك باستخدام معادلتي المرايا والتكبير.



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

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

$$= \frac{(22.0\ \text{cm})(12.0\ \text{cm})}{22.0\ \text{cm} - 12.0\ \text{cm}}$$

$$= 26.4\ \text{cm}$$

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

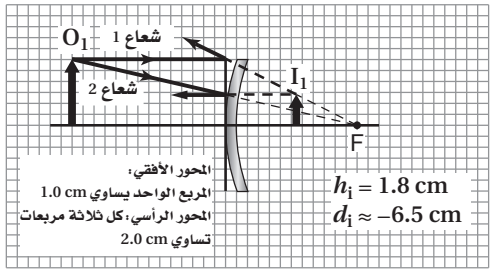
$$= \frac{-d_i}{d_o}$$

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

$$= \frac{-(26.4\ \text{cm})(3.0\ \text{cm})}{22.0\ \text{cm}}$$

$$= -3.6\ \text{cm}$$

22. مخطّط الأشعة وضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 14.0 cm من مرآة محدبة بُعدها البؤري 12.0 cm−. ارسم مخطّطًا بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها، وتحقق من إجابتك باستخدام معادلتي المرايا والتكبير.



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

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

$$= \frac{(14.0\ \text{cm})(-12.0\ \text{cm})}{14.0\ \text{cm} - (-12.0\ \text{cm})}$$

$$= -6.46\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{-(-6.46\ \text{cm})(4.0\ \text{cm})}{14.0\ \text{cm}}$$

$$= 1.8\ \text{cm}$$

23. نصف قطر التكوّر وضع جسم طوله 6.0 cm على بُعد 16.4 cmمن مرآة محدبة. فإذا كان طول الصورة المتكوّنة 2.8 cm فما نصف قطر تكوّر المرآة؟

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

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

$$= \frac{-(16.4\ \text{cm})(2.8\ \text{cm})}{6.0\ \text{cm}}$$

$$= -7.7\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{(-7.7\ \text{cm})(16.4\ \text{cm})}{-7.7\ \text{cm} + 16.4\ \text{cm}}$$

$$= -14.5\ \text{cm}$$

$$r = 2|f|$$

$$= (2)\ (|-14.5\ \text{cm}|)$$

$$= 29\ \text{cm}$$

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؟

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

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

$$= \frac{-(-12\ \text{cm})}{\left(\frac{2}{3}\right)}$$

$$= 18\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{(-12\ \text{cm})(18\ \text{cm})}{-12\ \text{cm} + 18\ \text{cm}}$$

$$= -36\ \text{cm}$$

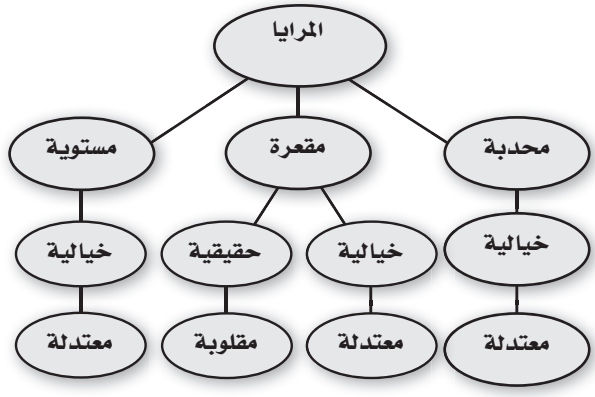
25. التفكير الناقد هل يكون الزوغان الكروي للمرآة أقل إذا كان ارتفاعها أكبر من نصف قطر تكورها أم إذا كان ارتفاعها أقل من نصف قطر تكورها؟ وضّح ذلك.

سيكون أقل بالنسبة إلى مرآة ارتفاعها أصغر نسبيًّا مقارنة بنصف قطر تكورها. تكون الأشعة المتشتتة والقادمة من الجسم التي تسقط على المرآة قريبة أكثر من المحور الرئيس عندما يكون ارتفاع المرآة قليلًا، لذا ستتجمع تلك الأشعة في مكان قريب من المرآة فتتكوّن صورة واضحة باهتة.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

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



إتقان المفاهيم

صفحة 118

27. كيف يختلف الانعكاس المنتظم عن الانعكاس غير المنتظم؟ (1–10)

عندما تسقط أشعة متوازية على سطح أملس فإنها تنعكس عنه بحيث تكون متوازية بعضها بالنسبة إلى بعض أيضًا، والناتج هو صورة طبق الأصل للمصدر الذي سقطت منه هذه الأشعة. أما عندما تنعكس الأشعة عن سطح خشن فإنها تنعكس مشتتة في اتجاهات مختلفة، لذا لا تتكوّن صورة للمصدر.

28. ماذا يقصد بالعبارة "العمود المقام على السطح"؟ (1–10)

أي خط متعامد مع السطح عند أي نقطة.

29. أين تقع الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية؟ (1–10)

تقع الصورة على الخط المتعامد مع المرآة، وتقع خلف المرآة على بُعد مساوٍ لبعد الجسم الموضوع أمام المرآة.

30. صف خصائص المرآة المستوية؟ (1–10)

المرآة المستوية عبارة عن سطح مستوٍ مصقول ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا. وتكون الصورة المتكوّنة بواسطة المرآة المستوية خيالية، ومعتدلة، وبعدها عن المرآة مساويًا لبعد الجسم عن المرآة وتقع خلفها.

31. يعتقد طالب أن فيلمًا فوتوجرافيًّا حسّاسًا جدًّا يمكنه الكشف عن الصورة الخيالية، فوضع الطالب الفيلم في موقع تكوّن الصورة الخيالية. هل ينجح هذا الإجراء؟ وضّح ذلك. (1–10)

لا، فالأشعة لا تتجمع لتكوّن الصورة الخيالية. لا تتكوّن صورة والطالب لا يلتقط صورة. تتكوّن الصور الخيالية خلف المرآة.

32. كيف تثبت لشخص أن صورة ما هي صورة حقيقية؟ (1–10)

ضع قطعة من ورقة مستوية أو فيلم فوتوجرافي في موقع الصورة، وسوف تكون قادرًا على تجميع الصورة.

33. ما الخلل أو العيب الموجود في جميع المرايا الكروية المقعرة؟ وما سببه؟ (2–10)

الأشعة المتوازية والموازية للمحور الرئيس التي تسقط على حوافّ المرآة المقعرة الكروية لا تنعكس مارة بالبؤرة. ويسمى هذا التأثير الزوغان الكروي.

34. ما العلاقة بين مركز تكور المرآة المقعرة وبعدها البؤري؟ (2–10)

$$C = 2f$$

35. إذا عرفت بُعد الصورة وبُعد الجسم عن مرآة كروية، فكيف يمكنك تحديد تكبير هذه المرآة؟ (2–10)

التكبير يساوي سالب بُعد الصورة مقسومًا على بُعد الجسم عن المرآة.

36. لماذا تستخدم المرايا المحدّبة على أنها مرايا مخصّصة للنظر إلى الخلف؟ (2–10)

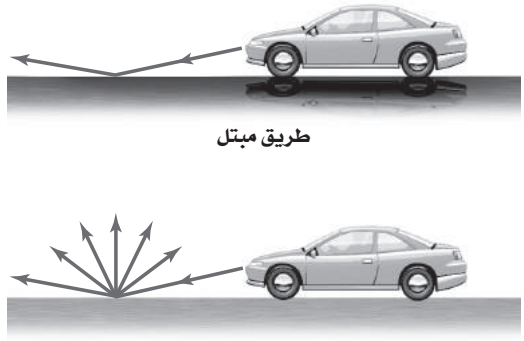
تستخدم المرايا المحدبة للنظر إلى الخلف في السيارات؛ لأنها توفر مدى واسعًا للرؤية، مما يساعد السائق على رؤية مساحة أكبر مما توفره المرايا العادية للمَشاهد الخلفية بالنسبة إلى السائق.

37. لماذا يستحيل تكوين صور حقيقية بالمرآة المحدبة؟ (2–10)

لأنها تشتت الأشعة الضوئية دائمًا.

تطبيق المفاهيم

38. الطريـق المبتلّة تعكـس الطريق الجافة الضوء بتشـتّت أكبر من الطريق المبتلّة. بالاعتماد على **الشـكل 16–10**، اشرح لمـاذا تبـدو الطريق المبتلّة أكثر سـوادًا مـن الطريق الجافة بالنسبة للسائق؟



■ **الشكل 16–10**

تنعكس كمية أقل من الضوء عن الطريق المبتلة نحو السيارة.

39. صفحـات الكتاب لماذا يُفضـل أن تكون صفحات الكتاب خشنة على أن تكون ملساء ومصقولة؟

الصفحات الملساء والمصقولة تعكس الضوء بتشتت أقل من الصفحات الخشنة؛ لذا ينتج عن الصفحات الملساء وهج أكبر.

40. اذكر الصفات الفيزيائية للصورة التي تكوّنها مرآة مقعرة إذا كان الجسم موضوعًا عند مركز تكوّرها، وحدّد موقعها.

ستتكون الصورة عند مركز التكور C، وستكون مقلوبة وحقيقية ومساوية لحجم الجسم.

41. إذا وضع جسـم خلف مركز تكور مـرآة مقعرة فحدّد موقع الصورة، واذكر صفاتها الفيزيائية.

ستتكون الصورة بين C و F، وستكون مقلوبة وحقيقية وأصغر من الجسم.

42. المنظار الفلكي (التلسكوب) إذا احتجت إلى مرآة مقعرة كبيرة لصنع تلسكوب يكوّن صورًا ذات جودة عالية فهل تستخدم مرآة كروية أم مرآة قطع مكافئ؟ وضّح ذلك.

عليك استعمال مرآة قطع مكافئ للتخلص من الزوغان الكروي.

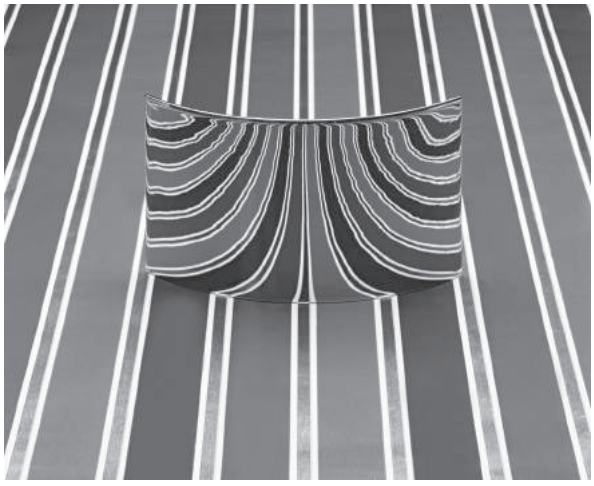
43. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة حقيقية باستخدام مرآة كروية مقعرة؟

يوضع الجسم خلف البؤرة لتتكوّن صورة حقيقية.

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

تستخدم مرآة مقعرة على أن يوضع الجسم خلف مركز التكور، أو تستخدم مرآة محدبة ويوضع الجسم في أي نقطة أمامها.

45. صف خصائص الصورة التي كوّنتها المرآة المحدبة الموضحة في **الشكل 17–10**.



■ **الشكل 17–10**

توفر المرآة المحدبة صورًا مصغرة خيالية ومعتدلة وأقرب إلى المرآة من الجسم.

46. المرايا المستخدمة للرؤية الخلفية يُكتب على مرايا السيارة الجانبية المسـتخدمة في النظر إلى الخلف التحذير التالي: "الأجسـام فـي المرآة أقرب ممـا تبدو عليه". مـا نوع هذه المرايا؟ وبمَ تمتاز عن غيرها؟

مرايا محدبة، وتمتاز بأنها توفر مدى أوسع للرؤية.

إتقان حل المسائل

10–1 الانعكاس عن المرايا المستوية

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

$$\theta_r = \theta_i$$
$$= 38.0°$$

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

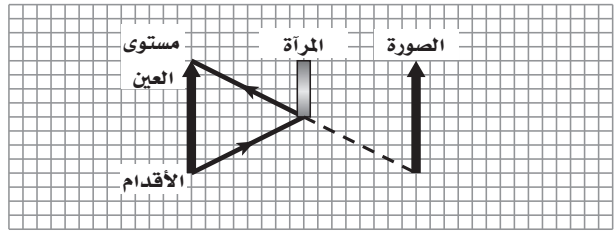
a. زاوية الانعكاس.

$$\theta_i = 90.0° - 53.0°$$
$$\theta_i = 37.0°$$
$$\theta_r = \theta_i$$
$$= 37.0°$$

b. الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.

$$\theta = \theta_i + \theta_r$$
$$= 37.0° + 37.0°$$
$$= 74°.0$$

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

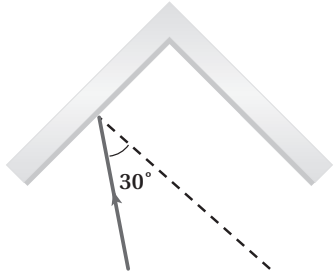


يسقط الشعاع القادم من قمة الرأس على سطح المرآة عند نقطة تساوي منتصف المسافة بين قمة الرأس والعينين. ويسقط الشعاع القادم من القدمين على المرآة عند نقطة تساوي منتصف المسافة بين القدمين والعينين، وتمثّل المسافة بين النقطتين على المرآة نصف الطول الكلي.

50. الصـورة في المرآة أراد طالـب أن يلتقط صورة لصورته في مرآة مسـتوية كما في **الشـكل 18–10**. فـإذا كانت الكاميرا علـى بعـد 1.2 m أمام المرآة، فعلـى أي بُعد يجب أن يركز عدسة الكاميرا لالتقاط الصورة؟

■ الشكل 10–18
الصورة على بُعد 1.2 m خلف المرآة؛ لذا يجب أن توضع عدسة الكاميرا على بُعد 2.4 m.

51. يبيـن **الشـكل 19–10** مرآتين مسـتويتين متجاورتين بينهما زاويـة 90°، فإذا سـقط شـعاع ضوئي علـى إحداهما بزاوية سقوط 30°، فأجب عما يلي:



■ الشكل 19–10

a. ما زاوية انعكاس الشعاع عن المرآة الأخرى؟

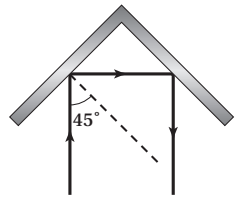
الانعكاس عن المرآة الأولى:

$$\theta_{r1} = \theta_{i1}$$
$$= 30.0°$$

الانعكاس عن المرآة الثانية:

$$\theta_{i2} = 90° - \theta_{r1}$$
$$= 90.0° - 30.0°$$
$$= 60.0°$$
$$\theta_{r2} = \theta_{i2}$$
$$= 60.0°$$

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



تكون زاوية السقوط على المرآة الأولى $45°$.

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

الانعكاس عن المرآة الأولى:

$$\theta_{r,1} = \theta_{i,1} = 30.0°$$

الزاوية التي يكوّنها الشعاع المنعكس عن المرآة الأولى مع سطح المرآة الأولى تساوي

$$90° - 30° = 60°$$

إن الأشعة المنعكسة عن المرآة الأولى ستسقط على المرآة الثانية، ولما كانت الزاوية بين المرآتين تساوي $45°$، فإن الزاوية بين الأشعة الساقطة على المرآة الثانية وسطح المرآة الثانية تساوي

$$180° - 60° - 45° = 75°$$

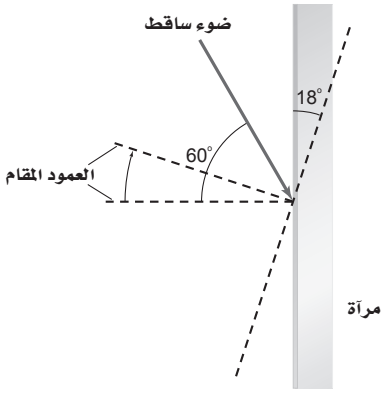
لذا تكون زاوية سقوط الأشعة على المرآة الثانية تساوي

$$\theta_{i,2} = 90° - 75° = 15°$$

أما زاوية الانعكاس عن المرآة الثانية فتساوي

$$\theta_{r,2} = \theta_{i,2} = 15°$$

53. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية سقوط $60°$. فإذا أديرت المرآة بزاوية $18°$ في اتجاه حركة عقارب الساعة كما في **الشكل 20–10**، فما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع المرآة؟



■ **الشكل 20–10**

$$\theta_i = \theta_{i,\text{القديمة}} - 18.0°$$
$$= 60.0° - 18.0°$$
$$= 42.0°$$
$$\theta_r = \theta_i$$
$$= 42.0°$$
$$\theta_{r,\text{المرآة}} = 90.0° - \theta_r$$
$$= 90.0° - 42.0°$$
$$= 48.0°$$

2–10 المرايا الكروية

صفحة 121–120

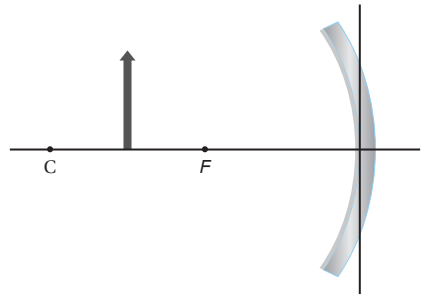
54. بيت الألعاب يقف طالب بالقرب من مرآة محدبة في بيت الألعاب، فلاحظ أن صورته تظهر بطول 0.60 m. فإذا كان تكبير المرآة $\frac{1}{3}$ فما طول الطالب؟

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

$$h_o = \frac{h_i}{m}$$

$$= \frac{0.60\ \text{m}}{\left(\frac{1}{3}\right)}$$
$$= 1.8\ \text{m}$$

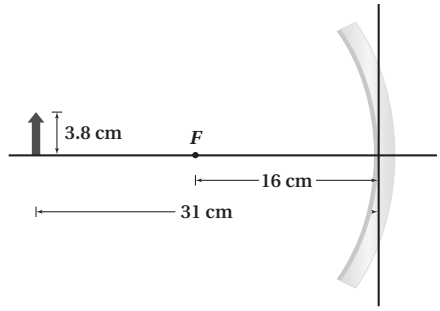
55. صف الصورة المتكونة للجسم في **الشكل 21–10**، مبينًا هل هي حقيقية أم خيالية، مقلوبة أم معتدلة، وهل هي أقصر من الجسم أم أطول منه؟



■ الشكل 21 – 10

حقيقية؛ ومقلوبة؛ وأطول من طول الجسم.

56. احسب بُعد الصورة وارتفاعها للجسم الموضح في **الشكل 22–10**.



■ الشكل 22 – 10

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

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

$$=\frac{(31\text{ cm})(16\text{ cm})}{31\text{ cm}-16\text{ cm}}$$

$$=33\text{ cm}$$

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

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

$$=\frac{-(33\text{ cm})(3.8\text{ cm})}{31\text{ cm}}$$

$$=-4.1\text{ cm}$$

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

تعد النجوم بعيدة بما يكفي حتى يمكن اعتبار أشعتها الساقطة على المرآة متوازية، وكما نعلم فإن الأشعة المتوازية تتجمّع عند البعد البؤري. لذا فإن $r=2f$

$$f=\frac{r}{2}=\frac{150\text{ cm}}{2}=75\text{ cm}$$

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؟

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

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

$$=\frac{(10.0\text{ m})(-6.0\text{ m})}{10.0\text{ m}-(-6.0\text{ m})}$$

$$=-3.8\text{ m}$$

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؟

$$f=\frac{r}{2}=\frac{(40\text{ mm})}{2}$$

$$=20\text{ mm}$$

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

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

$$=\frac{(16\text{ mm})(20\text{ mm})}{16\text{ mm}-20\text{ mm}}$$

$$=-80\text{ mm}$$

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

$$=\frac{-(-80\text{ mm})}{16\text{ mm}}$$

$$=5$$

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؟

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

$$= \frac{34.0\ \text{cm}}{2}$$

$$= 17.0\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{(22.4\ \text{cm})(17.0\ \text{cm})}{22.4\ \text{cm} - 17.0\ \text{cm}}$$

$$= 70.5\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{-(70.5\ \text{cm})(3.0\ \text{cm})}{22.4\ \text{cm}}$$

$$= -9.4\ \text{cm}$$

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

a. على أي بُعد ستظهر صورة الساعة؟

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

$$d_i = \frac{d_o f}{d_o - f} = \frac{(8.0\ \text{cm})(12.0\ \text{cm})}{8.0\ \text{cm} - 12.0\ \text{cm}}$$

$$= -24\ \text{cm}$$

b. ما قطر الصورة؟

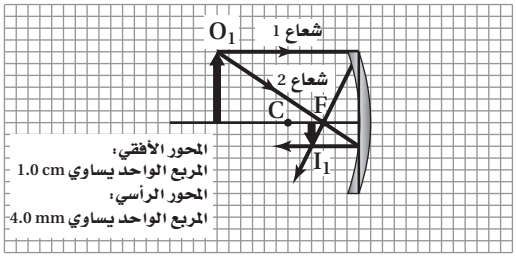
$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o} = \frac{-(-24\ \text{cm})(3.0\ \text{cm})}{8.0\ \text{cm}}$$

$$= 9.0\ \text{cm}$$

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.

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

$$d_i = \frac{f d_o}{d_o - f} = \frac{(3.0\ \text{cm})(12.0\ \text{cm})}{12.0\ \text{cm} - 3.0\ \text{cm}}$$

$$= 4.0\ \text{cm}$$

c. ما طول الصورة؟

$$m = \frac{-d_i}{d_o} = \frac{-4.0\ \text{cm}}{12.0\ \text{cm}} = -0.33$$

$$h_i = m h_o = (-0.33)(24\ \text{mm})$$

$$= -8.0\ \text{mm}$$

مراجعة عامة

63. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 28°، فإذا حُرّك مصدر الضوء بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 34°، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟

$$\theta_i = \theta_{i,\text{الابتدائي}} + 34°$$

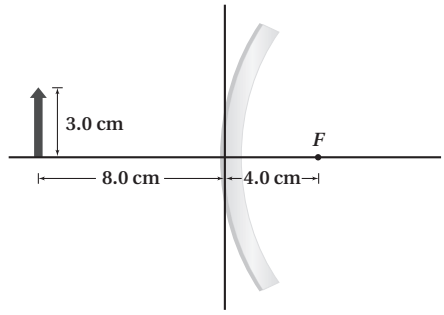
$$= 28° + 34°$$

$$= 62°$$

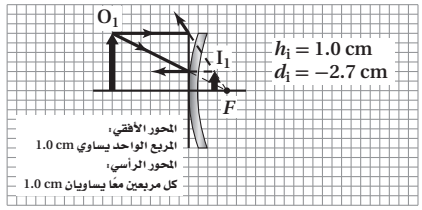
$$\theta_r = \theta_i$$

$$= 62°$$

64. انقل **الشكل 23–10** إلى دفترك، ثم ارسم أشعة على الشكل لتحديد طول الصورة المتكوّنة وموقعها.



■ **الشكل 23–10**



طول الصورة: 1.0 cm

بُعد الصورة عن المرآة: 2.7 cm

65. وضع جسم على بُعد 4.4 cm أمام مرآة مقعرة، نصف قطر تكوّرها 24.0 cm. أوجد بُعد الصورة باستخدام معادلة المرايا.

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

$$= \frac{24.0\ \text{cm}}{2}$$

$$= 12.0\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{(4.4\ \text{cm})(12.0\ \text{cm})}{4.4\ \text{cm} - 12.0\ \text{cm}}$$

$$= -6.9\ \text{cm}$$

66. وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 30.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطر تكورها 26.0 cm. احسب مقدار:

a. بُعد الصورة المتكوّنة.

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

$$= \frac{26.0\ \text{cm}}{2}$$

$$= 13.0\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{(30.0\ \text{cm})(13.0\ \text{cm})}{30.0\ \text{cm} - 13.0\ \text{cm}}$$

$$= 22.9\ \text{cm}$$

b. طول الصورة المتكوّنة.

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

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

$$= \frac{-(22.9\ \text{cm})(2.4\ \text{cm})}{30.0\ \text{cm}}$$

$$= -1.8\ \text{cm}$$

67. تُستخدم مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها نصف حجم الجسم على بُعد 36 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟

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

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

$$= \frac{-(-36\ \text{cm})h_o}{\left(\frac{h_o}{2}\right)}$$

$$= 72\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{(72\ \text{cm})(-36\ \text{cm})}{72\ \text{cm} + (-36\ \text{cm})}$$

$$= -72\ \text{cm}$$

68. ما نصف قطر تكوّر مرآة مقعرة تُكبِّر صورة جسم 3.2+ مرة عندما يوضع على بُعد 20.0 cm منها؟

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

$$d_i = -md_o$$

$$= -(3.2)(20.0\ \text{cm})$$

$$= -64\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{(20.0\ \text{cm})(-64\ \text{cm})}{20.0\ \text{cm} + (-64\ \text{cm})}$$

$$= 29\ \text{cm}$$

$$r = 2f$$

$$= (2)\ (29\ \text{cm})$$

$$= 58\ \text{cm}$$

69. مـرآة المراقبة تستخدم المحال الكبيرة مرايا المراقبة في الممرات، وكل مرآة لها نصف قطر تكوّر مقداره 3.8 m. احسب مقدار:

a. بُعد الصورة المتكوِّنة لزبون يقف أمام المرآة على بعد 6.5 m منها.

المرايا المستخدمة في المحالّ الكبيرة للمراقبة هي مرايا محدبة، لذا يكون البعد البؤري لها

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

$$= \frac{-3.8\ \text{m}}{2}$$

$$= -1.9\ \text{m}$$

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

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

$$= \frac{(6.5\ \text{m})(-1.9\ \text{m})}{6.5\ \text{m} - (-1.9\ \text{m})}$$

$$= -1.5\ \text{m}$$

b. طول صورة زبون طوله 1.7 m.

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

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

$$= \frac{-(-1.5\ \text{m})(1.7\ \text{m})}{6.5\ \text{m}}$$

$$= 0.38\ \text{m}$$

70. مـرآة الفحـص والمعاينة يريد مراقب خـط إنتاج في مصنع تركيب مرآة تكـوّن 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؟

الصورة المكبرة المعتدلة تتكون فقط في المرآة المقعرة ولجسم موضوع على بعد أقل من البعد البؤري.

b. ما نصف قطر تكوّر المرآة؟

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

$$d_i = -md_o = -(7.5)(14.0\ \text{mm})$$

$$= -105\ \text{mm}$$

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

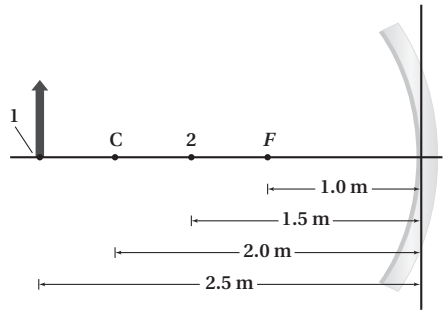
$$f = \frac{d_o d_i}{d_i + d_o} = \frac{(14.0\ \text{mm})(-105\ \text{mm})}{14.0\ \text{mm} + (-105\ \text{mm})}$$

$$= 16\ \text{mm}$$

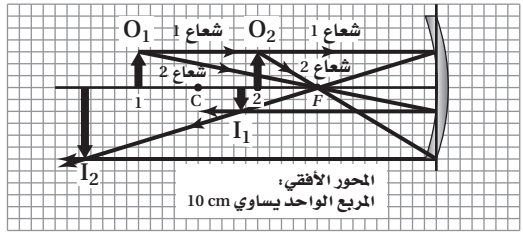
$$r = 2f = (2)(16\ \text{mm})$$

$$= 32\ \text{mm}$$

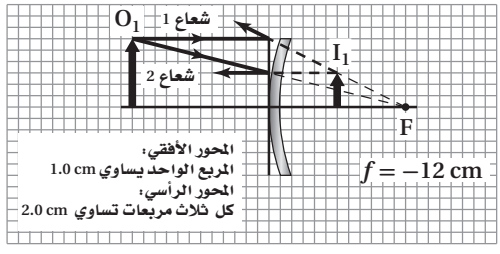
71. تحرّك الجسم في **الشكل 24–10** من الموقع 1 إلى الموقع 2. انقل الشكل إلى دفترك، ثم ارسم أشعة تبين كيف تتغير الصورة.



■ **الشكل 24–10**



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



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

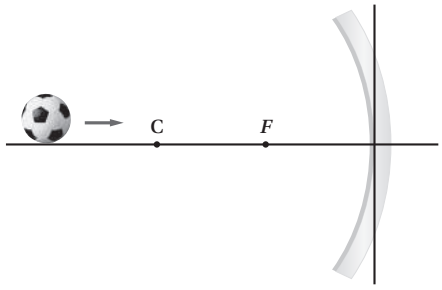
$$f = \frac{d_o d_i}{d_o + d_i}$$

$$= \frac{(12.0\text{ cm})(-6.0\text{ cm})}{12.0\text{ cm} + (-6.0\text{ cm})}$$

$$= -12.0\text{ cm}$$

التفكير الناقد

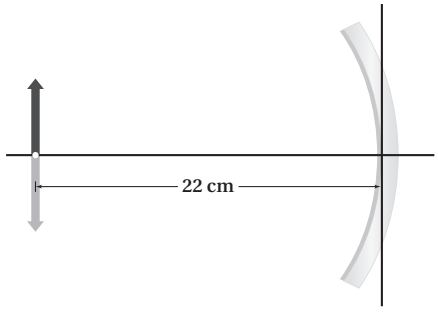
73. تطبيق المفاهيم تتدحرج الكرة في **الشكل 25–10** ببطء إلى اليمين نحو مرآة مقعرة. صف كيف يتغيّر حجم صورة الكرة في أثناء تدحرجها نحو المرآة.



■ **الشكل 25–10**

عندما تكون الكرة خلف النقطة C، تكون الصورة أصغر من الكرة وحقيقية. وعندما تكون الكرة في مركز التكور C يكون حجم صورة الكرة مساويًا لحجم الكرة. وكلما تدحرجت الكرة نحو المرآة ازداد حجم صورة الكرة. ويستمر حجم الصورة في الازدياد حتى تختفي صورة الكرة، وعندئذ تكون الكرة في البؤرة F. وبعد تعدّي F تصبح الصورة خيالية ومكبرة ومعتدلة.

74. التحليل والاستنتاج وضع جسم على بُعد 22 cm من مرآة مقعرة، كما في **الشكل 26–10**. ما البعد البؤري للمرآة؟



■ **الشكل 26–10**

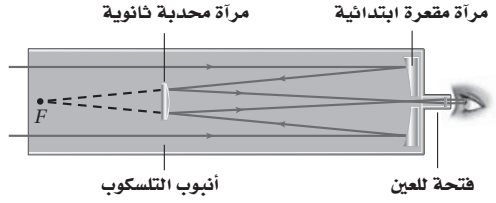
$$f = \frac{r}{2}$$

$$= \frac{d_o}{2}$$

$$= \frac{22\text{ cm}}{2}$$

$$= 11\text{ cm}$$

75. التحليل والاستنتاج يستخدم ترتيب بصري في بعض التلسكوبات يُسمى (تركيز كاسيجرين) كما في **الشكل 27–10**. ويستخدم هذا التلسكوب مرآة محدبة ثانوية توضع بين المرآة الابتدائية وبؤرتها. أجب عما يلي:



■ **الشكل 27–10**

a. تكوّن المرآة المحدبة المفردة صورًا خيالية فقط. اشرح كيف تكوّن هذه المرآة في هذا النظام من المرايا صورًا حقيقية؟

توضع المرآة المحدبة لتعترض الأشعة القادمة من المرآة المقعرة قبل أن تتجمع. وتعمل المرآة المحدبة على جعل نقطة التجمع في الاتجاه المعاكس للبعد البؤري الأصلي للمرآة الابتدائية، أي في اتجاه المرآة المقعرة، وتزيد من المسافة الكلية التي يقطعها الضوء قبل تجمّعه. وهذه العملية تزيد بشكل فعّال البعدَ البؤري مقارنة باستخدام المرآة المقعرة فقط؛ لذا تزيد من التكبير الكلي.

b. هل الصور المتكوّنة في هذا النظام معتدلة أم مقلوبة؟ وما علاقة ذلك بعدد مرات تقاطع الأشعة؟

مقلوبة، في كل مرة تتقاطع الأشعة الضوئية تنقلب الصورة.

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 وسلبياته.

ستختلف إجابات الطلاب، ولكنها يجب أن تتضمن معلومات حول اللمعان، فضلا عن مقاومة التشوه، ومقاومة زوال البريق.

b. صقل الألومنيوم بدرجة دقيقة من النعومة، بحيث لا تحتاج إلى زجاج لعمل مرآة.

ستختلف إجابات الطلاب. وقد تتضمّن إجاباتهم معلومات حول تشوُّه المرايا نتيجة وزنها وذلك عند زيادة حجمها، وكيف يمكن أن تؤثر المرآة المصنوعة من الألومنيوم في هذه المشكلة.

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 اعرضه على طلاب الصف.

ستختلف إجابات الطلاب، وذلك اعتمادًا على المرايا والطرائق التي اختارها الطلاب. وتتمثل طرائق الفلكي المبتدئ عادة في فرك قطعتي زجاج إحداهما بالأخرى على أن توضع حبيبات رمل لها أحجام مختلفة بين سطحي قطعتي الزجاج. أما الطرائق المستخدمة في المختبر الوطني فتختلف عن ذلك.

مراجعة تراكمية

78. ما الزمن الدوري لبندول طوله 2.0 m على سطح القمر؟ علمًا بأن كتلة القمر 7.34×10^{22} kg ونصف قطره 1.74×10^{6} m، وما الزمن الدوري لهذا البندول على سطح الأرض؟ (الفصل 7)

$$\mathbf{g_{\text{القمر}} = \frac{Gm_{\text{القمر}}}{d^2_{\text{القمر}}}}$$

$$\mathbf{= \frac{(6.67\times10^{-11}\ N.m^2/kg^2)(7.34\times10^{22}\ kg)}{(1.74\times10^{6}\ m)^2}}$$

$$\mathbf{= 1.62\ m/s^2}$$

$$\mathbf{T_{\text{القمر}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{2.0\ m}{1.62\ m/s^2}} = 7.0\ s}$$

$$\mathbf{T_{\text{الأرض}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{2.0\ m}{9.80\ m/s^2}} = 2.8\ s}$$

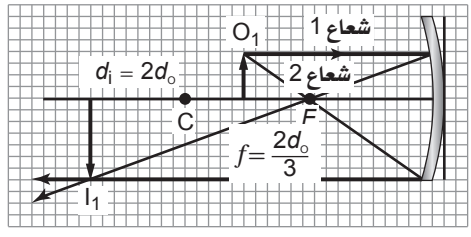
79. وضع مرشِّحان ضوئيّان على مصباحين يدويين بحيث يُنفِّذ أحدهما ضوءًا أحمر، ويُنفِّذ الآخر ضوءًا أخضر. إذا تقاطعت الحزمتان الضوئيتان فلماذا يبدو لون الضوء في منطقة التقاطع أصفر، ثم يعود إلى لونه الأصلي بعد التقاطع؟ فسّر بدلالة الموجات. (الفصل 9)

قد تتداخل الموجات، وتُجمع ثم يقطع بعضها بعضًا دون أن تتأثر. وفي هذه الحالة تحتفظ الموجات بالمعلومات الخاصة بألوانها عندما يعبر بعضها بعضًا.

مسألة تحفيز

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

1. ارسم شكلا لمخطط أشعة يوضح البعد البؤري وموقع الجسم إذا كان بُعد الصورة الناتجة يساوي ضعف بُعد الجسم عن المرآة، وأثبت صحة إجابتك رياضيًّا. واحسب البعد البؤري بوصفه دالّة رياضية في بُعد الجسم في هذه الحالة.



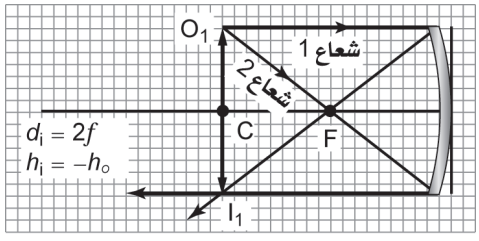
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

$$f = \frac{(d_o d_i)}{(d_o + d_i)}$$

$$f = \frac{\left(d_o(2d_o)\right)}{(d_o + 2d_o)}$$

$$f = \frac{2d_o}{3}$$

2. ارسم شكلا لمخطّط أشعة يوضح بُعد الجسم إذا كان بُعد الصورة عن المرآة يساوي ضعف البعد البؤري، وأثبت صحة إجابتك رياضيًّا، واحسب طول الصورة بوصفه دالّة رياضية في طول الجسم في هذه الحالة.



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

$$d_o = \frac{(f d_i)}{(d_i - f)}$$

$$= \frac{f(2f)}{(2f - f)}$$

$$= 2f$$

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

$$= \frac{(-d_i)}{d_o}$$

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

$$h_i = \frac{(-(2f)h_o)}{2f}$$

$$h_i = -h_o$$

3. أين يجب وضع الجسم بحيث لا تتكوّن له صورة؟

يجب أن يوضع الجسم في البؤرة.

مسائل تدريبية

1–11 انكسار الضوء

1. أُسقطت حزمة ليزر في الهواء على إيثانول بزاوية 37.0°. ما مقدار زاوية الانكسار؟

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

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

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.00)(\sin 37.0^\circ)}{1.36}\right)$$

$$= 26.3^\circ$$

2. ينتقل ضوء في الهواء إلى داخل الماء بزاوية 30.0° بالنسبة للعمود المقام. أوجد مقدار زاوية الانكسار.

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

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

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.00)(\sin 30.0^\circ)}{1.33}\right)$$

$$= 22.1^\circ$$

3. غمر قالب من مادة غير معروفة في الماء. أُسقط عليه ضوء بزاوية 31°، فكانت زاوية انكساره في القالب 27°. ما معامل الانكسار للمادة المصنوع منها القالب؟

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

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

$$= \frac{(1.33)(\sin 31^\circ)}{\sin 27^\circ}$$

$$= 1.5$$

مراجعة القسم

1–11 انكسار الضوء

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

$$n_{\text{ماء}} < n_{\text{السائل}} < n_{\text{زجاج العدسات}}$$

يجب أن يكون معامل انكسار السائل بين 1.33 (معامل انكسار الماء) و 1.52 (معامل انكسار زجاج العدسات).

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؟

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

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

$$= \frac{(1.00)(\sin 30.0^\circ)}{\sin 20.0^\circ}$$

$$= 1.46$$

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

لا؛ فهذا يعني أنّ سرعة الضوء في الوسط أكبر من سرعة الضوء في الفراغ.

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

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

$$v_{\text{الكلوروفورم}} = \frac{c}{n_{\text{الكلوروفورم}}}$$

$$= \frac{3.00\times10^8\ \text{m/s}}{1.51}$$

$$= 1.99\times10^8\ \text{m/s}$$

8. الانعكاس الكلي الداخلي إذا توافر لديك الكوارتز وزجاج العدسات لتصنع ليفًا بصريًّا، فأيّهما تستخدم لطبقة الغلاف؟ ولماذا؟

زجاج العدسات؛ لأنّ معامل انكساره أقلّ لذا ينتج انعكاس كلي داخلي.

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

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

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

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.33)(\sin 57.5°)}{1.50}\right)$$

$$= 48.4°$$

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

نعم؛ لأنّ الماء $n_{\text{الماء}}$ < $n_{\text{الزجاج}}$، ولكن لا توجد زاوية حرجة عندما ينتقل الضوء من الماء إلى الزجاج.

11. التفريق لماذا تستطيع رؤية صورة الشمس فوق الأفق تمامًا عندما تكون الشمس نفسها قد غابت فعلًا؟

وذلك بسبب انحراف أشعة الضوء في الغلاف الجوي؛ وانكسارها.

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

في الشرق؛ لأنّ الشمس تكون في الغرب، ويجب أن تسطع أشعة الشمس من خلفك حتى تتمكن من رؤية قوس المطر.

مسائل تدريبية

2–11 العدسات المحدّبة والمقعرة

13. تكوَّن 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 طوله؟

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

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

$$= \frac{(10.4\text{ cm})(6.8\text{ cm})}{10.4\text{ cm} - 6.8\text{ cm}}$$

$$= 2.0 \times 10^1\text{ cm}$$

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

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

$$= \frac{-(19.6\text{ cm})(-1.8\text{ cm})}{10.4\text{ cm}}$$

$$= 3.4\text{ cm}$$

14. وضع جسم عن يسار عدسة محدبة بعدها البؤري 25 mm، فتكوّنت له صورة حجمها يساوي حجم الجسم. ما بُعد كل من الجسم والصورة؟

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

ولما كانت

$$d_o = d_i$$

لأن

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

و

$$m = -1$$

لذا فإن

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{d_i}$$

$$d_i = 2f$$

$$= 2(25\ \text{mm})$$

$$= 5.0 \times 10^1\ \text{mm}$$

$$d_o = d_i$$

$$= 5.0 \times 10^1\ \text{mm}$$

15. إذا وضعت صحيفة على بُعد 6.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 20.0 cm فأوجد بُعد الصورة المتكوِّنة لها.

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

لذا فإن

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

$$= \frac{(6.0\ \text{cm})(20.0\ \text{cm})}{6.0\ \text{cm} - 20.0\ \text{cm}}$$

$$= -8.6\ \text{cm}$$

16. إذا وضعت عملة معدنية قطرها 2.0 cm على بُعد 3.4 cm من عدسة مُكبِّرة بعدها البؤري 12.0 cm فحدّد موقع صورة العملة المعدنية، وقطر الصورة.

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

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

$$= \frac{(3.4\ \text{cm})(12.0\ \text{cm})}{3.4\ \text{cm} - 12.0\ \text{cm}}$$

$$= -4.7\ \text{cm}$$

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

$$= \frac{-(2.0\ \text{cm})(-4.7\ \text{cm})}{3.4\ \text{cm}}$$

$$= 2.8\ \text{cm}$$

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 اللّازمة؟

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

$$d_i = -m\, d_o$$

$$= -(4.0)(3.5\ \text{cm})$$

$$= -14\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{(3.5\ \text{cm})(-14\ \text{cm})}{3.5\ \text{cm} + (-14\ \text{cm})}$$

$$= 4.7\ \text{cm}$$

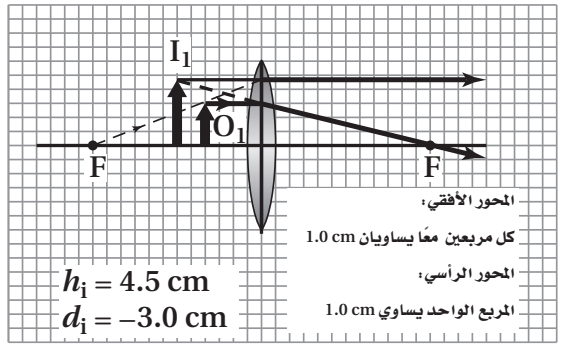
مراجعة القسم

2–11 العدسات المحدّبة والمقعّرة

18. التكبير تُستخدم العدسات المكبّرة عادة لتكوين صور أكبر من الأجسام، ولكنها أيضًا يمكن أن تكوّن صورًا أصغر من الأجسام. وضّح ذلك.

إذا كان موقع الجسم على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري من العدسة، يكون حجم الصورة أصغر من حجم الجسم.

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.



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

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

$$= \frac{(2.0\text{ cm})(6.0\text{ cm})}{2.0\text{ cm} - 6.0\text{ cm}}$$

$$= -3.0\text{ cm}$$

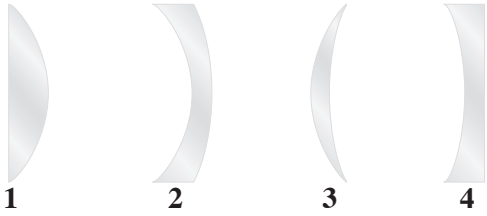
$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

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

$$= \frac{-(-3.0\text{ cm})(3.0\text{ cm})}{2.0\text{ cm}}$$

$$= 4.5\text{ cm}$$

20. أنواع العدسات يبيّن **الشكل 16–11** المقطع العرضي لأربع عدسات رقيقة. أي هذه العدسات:



■ **الشكل 16–11**

a. محدبة؟

العدستان 1 و 3

b. مقعرة؟

العدستان 2 و 4

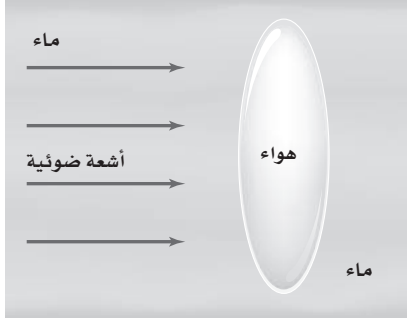
21. الزوغان اللوني للعدسات البسيطة كلها زوغان لوني. فسر ذلك. لماذا لا ترى هذا الأثر عندما تنظر خلال الميكروسكوب (المجهر)؟

تستخدم الأدوات البصرية الدقيقة جميعها مجموعة من العدسات تسمى العدسات اللالونية لتقليل الزوغان اللوني.

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 لتُجمِّع الضوء الأزرق؟

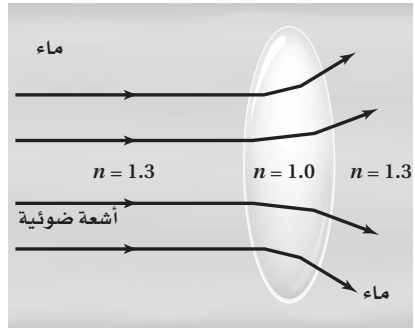
أقرب إلى العدسة.

23. التفكير الناقد تتكون عدسة هوائية، موضوعة في خزان ماء من زجاجتي ساعة. انقل **الشكل 17–11** إلى دفترك، وارسم تأثير هذه العدسة في أشعة الضوء المتوازية الساقطة عليها.



■ **الشكل 17–11**

ستتباعد أشعة الضوء



مراجعة القسم

3–11 تطبيقات العدسات

24. الانكسار فسّر لماذا تعدّ القرنية عنصر التجميع الرئيس للأشعة في العين؟

إنّ الفرق بين معاملي انكسار الهواء والقرنية أكبر من أيّ فرق تواجهه أشعة الضوء عندما تنتقل نحو الشبكية.

25. أنواع العدسات أيّ العدسات المحدبة أم المقعرة ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بقصر النظر؟ وأيها ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بطول النظر؟

يجب أن يستخدم الشخص المصاب بقصر النظر عدسة مقعرة، أما الشخص المصاب بطول النظر فيستخدم عدسة محدبة.

26. الصورة لماذا تكون الصورة المُشاهَدةُ في التلسكوب مقلوبة؟

بعد أن يمرّ الضوء من خلال العدسة الشيئية، تتقاطع الأشعة مشكّلةً صورة مقلوبة. وتحتفظ العدسة العينية بهذا الاتجاه عندما تستخدم الصورة بوصفها جسمًا لها.

27. المنشور ما المزايا الثلاث لاستخدام المنشورين في المنظار؟

يؤدي المنشوران إلى زيادة طول مسار الضوء لجعل المنظار مضغوطًا بصورة أكثر (أقصر)، ويؤديان كذلك إلى انقلاب أشعة الضوء بحيث يرى المشاهد صورة معتدلة، وزيادة المسافة الفاصلة بين العدستين الشيئيتين ممّا يحسّن من الرؤية الثلاثية الأبعاد للجسم.

28. البعد البؤري افترض أنك ركّزت آلة التصوير التي لديك على شخص يبعد 2 m، ثم أردت أن تُركِّزها على شجرة أبعد من ذلك، فهل يتعين عليك أن تحرك العدسة قريبًا من الفيلم أم بعيدًا عنه؟

أقرب إلى الفيلم؛ تكون الصور الحقيقية دائمًا أبعد من البعد البؤري . كلما زاد بُعد الجسم عن العدسة كانت الصورة أقرب إلى البؤرة.

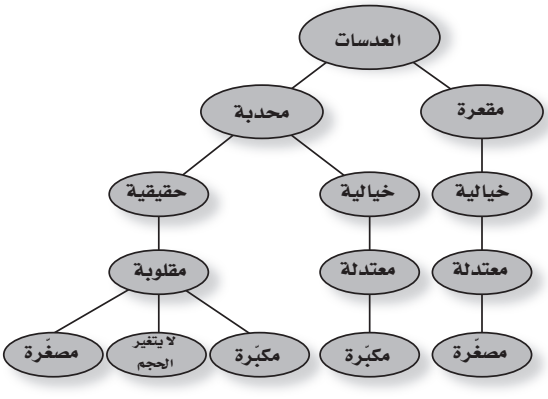
29. التفكير الناقد عندما تستخدم التكبير الأقصى في المجهر فإن الصورة تكون معتمة أكثر منها في حالة التكبير الأقل. ما الأسباب المحتملة لتكوّن الصورة المعتمة؟ وما الذي يمكن أن تفعله للحصول على صورة أوضح؟

لأنك تستفيد من الضوء الذي يسقط على مساحة صغيرة من الجسم، ويمكن استخدام مصباح أكثر سطوعًا.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

30. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: مقلوبة، مكبرة، مصغّرة، خيالية.



إتقان المفاهيم

31. قارن زاوية السقوط بزاوية الانكسار عندما ينتقل شعاع الضوء من الزجاج إلى الهواء بزاوية لا تساوي صفرًا؟ (1–11)

تكون زاوية السقوط في الزجاج أقل من زاوية الانكسار في الهواء؛ لأنّ معامل انكسار الهواء أقل.

32. على الرغم من أنّ الضوء القادم من الشمس ينكسر في أثناء مروره في الغلاف الجويّ للأرض، إلا أنّ الضوء لا يتحلّل إلى طيفه. فإلامَ يشير هذا بالنسبة لسرعات الألوان المختلفة للضوء المنتقلة في الهواء؟ (1–11)

تنتقل ألوان الضوء المختلفة في الهواء بالسرعة نفسها.

33. فسر لماذا يبدو القمر أحمر اللون في أثناء الخسوف؟ (1–11)

تحجب الأرض أشعة الشمس عن القمر في أثناء خسوف القمر، إلا أن الغلاف الجوي للأرض يُسبب انكسار أشعة الشمس ويغير مسارها لتسقط في اتجاه القمر. ولما كان الطول الموجي للضوء الأزرق يتشتت أكثر فإن الضوء الأحمر يصل إلى القمر وينعكس عنه في اتجاه الأرض.

34. ما العامل الذي يحدّد موقع البؤرة للعدسة، غير تقوّس سطح العدسة؟ (2–11)

يحدد أيضًا معامل انكسار المادة التي صنعت منها العدسة موقعَ بؤرتها.

35. عند عرض صورة بواسطة آلة عرض الأفلام على شاشة فإنَّ الفيلم يوضع بين F و$2F$ لعدسة مجمِّعة. ويُنتج هذا الترتيب صورة مقلوبة، فلماذا يظهر مشهد الفيلم معتدلاً عندما يعرض الفيلم؟ (2–11)

يحتوي النظام البصري لآلة العرض على عدسة أخرى لقلب الصورة مجدّدًا فتصبح الصورة معتدلة نتيجة ذلك مقارنة بالجسم الأصلي. أو توضع الشرائح بصورة مقلوبة بالنسبة إلى وضعها الأصلي.

36. وضّح لماذا تستخدم الآلات البصرية الدقيقة العدسات اللّالونية؟ (2–11)

للعدسات جميعها زوغان لوني، مما يعني انحراف أطوال موجية مختلفة من الضوء بزوايا مختلفة قليلاً عند أطرافها، وتكون العدسة اللالونية مكونة من عدستين أو أكثر ولها معاملات انكسار بقيم مختلفة لتعمل على تقليل هذا الأثر.

37. ما الحالة التي يكون عندها البعد البؤري للعين قصيرًا جدًّا بحيث لا يمكنه تجميع الضوء على الشبكية؟ (3–11)

قصر النظر.

38. ما طبيعة الصورة المتكوّنة بالعدسة الشيئية في المنظار الفلكي الكاسر؟ (3–11)

صورة حقيقية، مقلوبة.

39. لماذا تعد زيادة المسافة بين العدستين الشيئيتين في المنظار أمرًا نافعًا؟ (3–11)

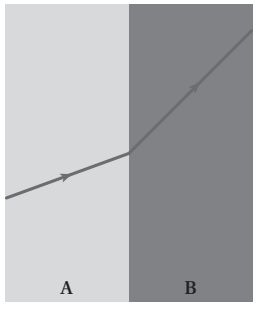
يعمل ذلك على تحسين المشاهدة الثلاثية الأبعاد.

40. ما الغرض من المرآة العاكسة في آلة التصوير؟ (3–11)

تعمل المرآة العاكسة على انحراف الصورة في اتجاه المنشور بحيث يمكن مشاهدتها قبل التقاط الصورة الفوتوجرافية. عند الضغط على مفتاح نافذة آلة التصوير فإنّ المرآة العاكسة تبتعد لتركّز العدسةُ الصورةَ على سطح الفيلم أو على كاشف تصويري آخر.

تطبيق المفاهيم

41. أي المادتين، A، أم B، في **الشكل 24–11** لها معامل انكسار أكبر؟ وضح ذلك.



■ الشكل 24–11

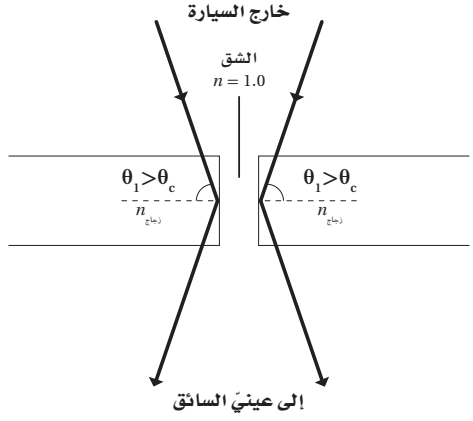
الزاوية في المادة A أقل، لذا يكون معامل انكسارها أكبر.

42. كيف يتغير مقدار الزاوية الحرجة مع زيادة معامل الانكسار؟

كلما زاد معامل انكسار المادة قلّت الزاوية الحرجة.

43. الزجاج الأمـامي المتشقق إذا نظرت خلال زجاج سيارة متشقِّق فإنك ترى خطًّا فضيًّا على امتداد الشق، حيث يكون الزجاج منفصلا 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؟

يبين هذا انعكاس الضوء عند زوايا أكبر من الزاوية الحرجة؛ أي حدوث انعكاس كلي داخلي.



44. قوس المطر لماذا لا تستطيع رؤية قوس المطر في السماء جنوبًا إذا كنت في نصف الكرة الأرضية الشمالي؟ وإذا كنت في نصف الكرة الأرضية الجنوبي فإلى أي اتجاه يجب أن تنظر لترى قوس المطر؟

تستطيع رؤية قوس المطر عندما تأتي أشعة الشمس من خلفك بزاوية لا تزيد على 42° مع الأفقي فقط. وعندما تواجه الجنوب في نصف الكرة الشمالي فإنّ الشمس لا تكون خلفك مطلقًا عند زاوية 42° أو أقل. ولن ترى مطلقًا قوس المطر في السماء شمالاً عند وجودك في النصف الجنوبي للكرة، حيث يمكنك رؤية قوس المطر عندما تكون الشمس خلفك عند الزاوية 42°.

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

يكون التكبير في الماء أقل كثيرًا من التكبير في الهواء. لأن الاختلاف في معاملي انكسار الماء والزجاج أقل كثيرًا من الاختلاف بين معاملي انكسار الهواء والزجاج.

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

يعزى الزوغان اللوني للعدسات إلى تشتت الضوء (للأطوال الموجية المختلفة للضوء سرعات مختلفة في العدسة، وتنكسر بزوايا مختلفة بدرجات قليلة)، ولا يعتمد الانعكاس في المرايا على الطول الموجي.

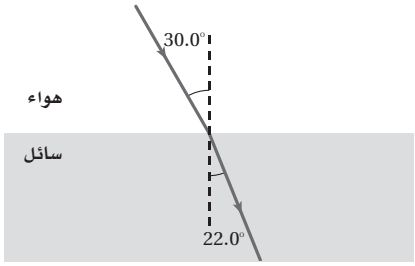
47. يكون بؤبؤ العينين صغيرًا عندما تتعرض لضوء الشمس الساطع مقارنة بالتعرض لضوء خافت، وضّح لماذا تستطيع عيناك تجميع الضوء بشكل أفضل في الضوء الساطع؟

تعمل العيون على تجميع الضوء الساطع بشكل أفضل؛ لأنّ الأشعة المنكسرة بزوايا أكبر تزال بواسطة القزحية؛ لذا تتجمع الأشعة عند مدى زوايا أصغر، ويكون الزوغان الكروي أقل.

إتقان حل المسائل

11–1 انكسار الضوء

48. ينتقل شعاع ضوء من الهواء إلى سائلٍ ما، كما في **الشكل 25–11**، حيث يسقط الشعاع على السائل بزاوية 30.0°، وينكسر بزاوية 22.0°.



■ **الشكل 25–11**

a. احسب معامل انكسار السائل باستخدام قانون سنل.

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

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

$$= \frac{(1.00)(\sin 30.0^\circ)}{\sin 22.0^\circ}$$

$$= 1.33$$

b. قارن معامل الانكسار الذي حسبته بالقيم الموجودة في **الجدول 1–11**، وماذا يمكن أن يكون هذا السائل؟

الماء

49. يسقط شعاع ضوئي على زجاج مسطح لأحد جوانب حوض سمك، بزاوية مقدارها 40° بالنسبة للعمود المقام. فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج $n = 1.5$، فاحسب مقدار:

a. زاوية انكسار الضوء في الزجاج.

$$n_{\text{الهواء}} \sin\theta_{\text{الهواء}} = n_{\text{الزجاج}} \sin\theta_{\text{الزجاج}}$$

$$\theta_{\text{الزجاج}} = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{الهواء}} \sin\theta_{\text{الهواء}}}{n_{\text{الزجاج}}}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.00)(\sin 40.0^\circ)}{1.50}\right)$$

$$= 25.4^\circ$$

b. زاوية انكسار الضوء في الماء.

$$n_{\text{الزجاج}} \sin\theta_{\text{الزجاج}} = n_{\text{الماء}} \sin\theta_{\text{الماء}}$$

$$\theta_{\text{الماء}} = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{الزجاج}} \sin\theta_{\text{الزجاج}}}{n_{\text{الماء}}}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.50)(\sin 25.4^\circ)}{1.33}\right)$$

$$= 28.9^\circ$$

50. ارجع إلى **الجدول 1–11**، واستخدم معامل انكسار الألماس لحساب سرعة الضوء فيه.

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

$$v_{\text{الألماس}} = \frac{c}{n_{\text{الألماس}}}$$

$$= \frac{3.00\times10^8\ \text{m/s}}{2.42}$$

$$= 1.24\times10^8\ \text{m/s}$$

51. ارجع إلى **الجدول 1–11**، وأوجد الزاوية الحرجة للألماس في الهواء.

$$\theta_{c,\text{الألماس/الهواء}} = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{1.00}{2.42}\right)$$

$$= 24.4^\circ$$

52. حوض سمك استخدمت صفيحة سميكة من البلاستيك $n = 1.500$، 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؟

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

$$n_{\text{الماء}} \sin\theta_{\text{الماء}} = n_{\text{البلاستيك}} \sin\theta_{\text{البلاستيك}}$$

$$\theta_{\text{البلاستيك}} = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{الماء}} \sin\theta_{\text{الماء}}}{n_{\text{البلاستيك}}}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.33)(\sin 35.0^\circ)}{1.500}\right)$$

$$= 30.57^\circ$$

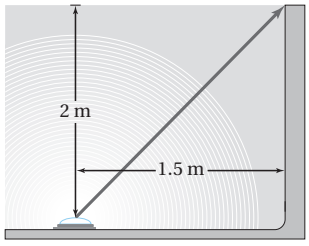
$$n_{\text{البلاستيك}} \sin\theta_{\text{البلاستيك}} = n_{\text{الهواء}} \sin\theta_{\text{الهواء}}$$

$$\theta_{\text{الهواء}} = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{البلاستيك}} \sin\theta_{\text{البلاستيك}}}{n_{\text{الهواء}}}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.500)(\sin 30.57^\circ)}{1.00}\right)$$

$$= 49.7^\circ$$

53. 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 26–11**. وكان الحوض مملوءًا بالماء إلى قمته.



■ **الشكل 26–11**

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

$$\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{1.5\ \text{m}}{2.0\ \text{m}}\right)$$

$$= 37^\circ$$

لإيجاد الزاوية في الهواء

$$n_{\text{الهواء}} \sin\theta_{\text{الهواء}} = n_{\text{الماء}} \sin\theta_{\text{الماء}}$$

$$\theta_{\text{الهواء}} = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{الماء}} \sin\theta_{\text{الماء}}}{n_{\text{الهواء}}}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.33)(\sin 37^\circ)}{1.00}\right)$$

$$= 53^\circ$$

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

$$\tan 53^\circ = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الضلع المجاور}}$$

$$\text{الضلع المجاور} = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\tan 53^\circ}$$

$$= \frac{1.5\ \text{m}}{\tan 53^\circ}$$

$$= 1.1\ \text{m}, \text{أقل عمقًا}$$

54. إذا كانت سرعة الضوء في بلاستيك شفاف $1.90\times10^8\ \text{m/s}$. وسقط شعاع ضوء على البلاستيك بزاوية 22.0°، فما مقدار الزاوية التي ينكسر بها الشعاع؟

$$n_{\text{الهواء}} \sin\theta_{\text{الهواء}} = n_{\text{البلاستيك}} \sin\theta_{\text{البلاستيك}}$$

$$n_{\text{البلاستيك}} = \frac{c}{v_{\text{البلاستيك}}}$$

لذا فإن

$$n_{\text{الهواء}} \sin\theta_{\text{الهواء}} = \frac{c}{v_{\text{البلاستيك}}} \sin\theta_{\text{البلاستيك}}$$

$$\sin\theta_{\text{البلاستيك}} = \frac{v_{\text{البلاستيك}} n_{\text{الهواء}} \sin\theta_{\text{الهواء}}}{c}$$

$$\theta_{\text{البلاستيك}} = \sin^{-1}\left(\frac{v_{\text{البلاستيك}} n_{\text{الهواء}} \sin\theta_{\text{الهواء}}}{c}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.90\times10^8\ \text{m/s})(1.00)(\sin 22.0^\circ)}{3.00\times10^8\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 13.7^\circ$$

2–11 العدسات المحدبة والمقعرة

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

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

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

$$= \frac{(10.0\ \text{cm})(5.00\ \text{cm})}{10.0\ \text{cm} - 5.00\ \text{cm}}$$

$$= 10.0\ \text{cm}$$

56. إذا أردنا استخدام عدسة محدبة لتكوِّن صورة حجمها يساوي 0.75 من حجم الجسم، وأن تكون الصورة على بُعد 24 cm من الجانب الآخر للعدسة، فما البعد البؤري للعدسة الذي يحقق ذلك؟

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

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

$$= \frac{-(24\ \text{cm})}{-0.75}$$

$$= 32\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{(32\ \text{cm})(24\ \text{cm})}{32\ \text{cm} + 24\ \text{cm}}$$

$$= 14\ \text{cm}$$

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؟

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

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

$$= \frac{(15\ \text{cm})(10\ \text{cm})}{15\ \text{cm} + 10\ \text{cm}}$$

$$= 6.0\ \text{cm}$$

b. إذا استُبدِلت العدسة الأصلية، ووُضِع مكانها عدسة أخرى لها ضعفا البعد البؤري، فحدّد موقع الصورة وطولها واتجاهها.

$$f_{\text{الجديدة}} = 2f$$

$$= 2(6.0\ \text{cm})$$

$$= 12\ \text{cm}$$

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

$$d_{i,\text{الجديدة}} = \frac{d_o f_{\text{الجديدة}}}{d_o - f_{\text{الجديدة}}}$$

$$= \frac{(15\ \text{cm})(12\ \text{cm})}{15\ \text{cm} - 12\ \text{cm}}$$

$$= 60\ \text{cm}$$

$$h_{i,\text{الجديدة}} = \frac{-d_{i,\text{الجديدة}} h_o}{d_o}$$

$$= \frac{-(60\ \text{cm})(3.0\ \text{cm})}{15\ \text{cm}}$$

$$= -12\ \text{cm}$$

الصورة مقلوبة مقارنة بالجسم

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؟

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

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

$$=\frac{(-5.0\text{ cm})(-15\text{ cm})}{-5.0\text{ cm}-(-15\text{ cm})}$$

$$=7.5\text{ cm}$$

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

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

$$=\frac{-(7.5\text{ cm})(2.0\text{ cm})}{-5.0\text{ cm}}$$

$$=3.0\text{ cm}$$

b. إذا استُبدِلت العدسة المفرِّقة، ووُضِع مكانها عدسة مجمّعة لها البعد البؤري نفسه فما موقع الصورة وطولها واتجاهها؟ وهل هي خيالية أم حقيقية؟

$$f_{\text{الجديدة}}=-f$$

$$=-(-15.0\text{ cm})$$

$$=15.0\text{ cm}$$

$$\frac{1}{f_{\text{الجديدة}}}=\frac{1}{d_o}+\frac{1}{d_{i,\text{الجديدة}}}$$

$$d_{i,\text{الجديدة}}=\frac{d_o f_{\text{الجديدة}}}{d_o-f_{\text{الجديدة}}}$$

$$=\frac{(7.5\text{ cm})(15\text{ cm})}{7.5\text{ cm}-15\text{ cm}}$$

$$=-15\text{ cm}$$

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

$$h_{i,\text{الجديدة}}=\frac{-d_{i,\text{الجديدة}} h_o}{d_o}$$

$$=\frac{-(-15\text{ cm})(3.0\text{ cm})}{7.5\text{ cm}}$$

$$=6.0\text{ cm}$$

موقع الصورة: 15 cm، طول الصورة: 6.0 cm، وتكون الصورة معتدلة مقارنةً بالجسم وخيالية.

3–11 تطبيقات العدسات

صفحة 152

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

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

وعليه، فإن

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

$$=\frac{(25\text{ cm})(-45\text{ cm})}{25\text{ cm}+(-45\text{ cm})}$$

$$=56\text{ cm}$$

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؟

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

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

$$=\frac{(40.0\text{ cm})(25.0\text{ cm})}{40.0\text{ cm}-25.0\text{ cm}}$$

$$=66.7\text{ cm}$$

b. ما تكبير ورقة النسخ؟

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

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o} = \frac{-(66.7\ \text{cm})(h_o)}{40.0\ \text{cm}}$$

$$= -1.67\ h_o$$

تكون الورقة المنسوخة مكبّرة ومقلوبة.

61. الميكروسوب (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؟

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

لذا فإن

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

$$= \frac{(12\ \text{mm})(10.0\ \text{mm})}{12\ \text{mm} - 10.0\ \text{mm}}$$

$$= 6.0 \times 10^1\ \text{mm}$$

b. ما تكبير هذه الصورة؟

$$m_o = \frac{-d_i}{d_o} = \frac{-6.0 \times 10^1\ \text{mm}}{12\ \text{mm}} = -5.0$$

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

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

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

$$= \frac{(10.0\ \text{mm})(20.0\ \text{mm})}{10.0\ \text{mm} - 20.0\ \text{mm}}$$

$$= -20.0\ \text{mm}$$

أو

$$= 20.0\ \text{mm}$$ **أسفل العدسة العينية**

d. ما التكبير النهائي لهذا النظام المركّب؟

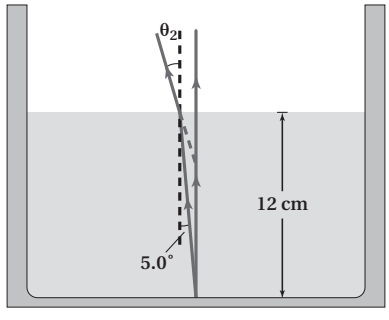
$$m_e = \frac{-d_i}{d_o} = \frac{-(-20.0\ \text{mm})}{10.0\ \text{mm}} = 2.00$$

$$m_{\text{النهائي}} = m_o m_e = (-5.0)(2.00)$$

$$= -1.0 \times 10^1$$

مراجعة عامة

62. العمق الظاهري ينعكس ضوء الشمس من قاع حوض سمك وينتشر في جميع الاتجاهات. ويوضّح **الشكل 27–11** شعاعين من هذه الأشعة المنعكسة من نقطة في قاع الحوض ينتقلان إلى السطح، فتنكسر الأشعة في الهواء كما هو مبين. إن امتداد الخط الأحمر المتقطع إلى الخلف، من شعاع الضوء المنكسر هو خط النظر الذي يتقاطع مع الشعاع الرأسي عند الموقع الذي سيرى فيه المشاهد صورة قاع الحوض.



■ **الشكل 27–11**

a. أوجد زاوية انكسار الشعاع في الهواء.

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

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

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.33)(\sin 5.0^\circ)}{1.0}\right)$$

$$= 6.7^\circ$$

b. على أي عمق سيبدو قاع الحوض عندما تنظر إلى الماء؟ اقسم العمق الظاهري على العمق الحقيقي وقارن هذه النسبة بمعامل الانكسار.

باستخدام هندسة المثلث القائم الزاوية

$$\text{(العمق الحقيقي)}(\tan\theta_1) = \text{(العمق الظاهري)}(\tan\theta_2)$$

$$\text{العمق الظاهري} = (12\text{ cm})\left(\frac{\tan 5.0^\circ}{\tan 6.7^\circ}\right)$$

$$= 8.9\text{ cm}$$

تتلاقى الأشعة المنكسرة على عمق 8.9 cm أسفل سطح الماء، وهذا هو العمق الظاهري. وبقسمة العمق الظاهري على العمق الحقيقي نحصل على

$$\frac{\text{العمق الظاهري}}{\text{العمق الحقيقي}} = \frac{8.9\text{ cm}}{12\text{ cm}} = 0.74$$

وبقسمة معاملي انكسار الوسطين نحصل على

$$\frac{n_{\text{الهواء}}}{n_{\text{الماء}}} = \frac{1.0}{1.33} = 0.75$$

أيْ أن

$$\frac{\text{العمق الظاهري}}{\text{العمق الحقيقي}} = \frac{n_{\text{الهواء}}}{n_{\text{الماء}}}$$

63. إذا كانت الزاوية الحرجة لقالب زجاجي 45° فما معامل انكساره؟

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

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

بالنسبة إلى الهواء, $n_2 = 1.00$

$$n_1 = \frac{1.00}{\sin 45.0^\circ}$$

$$= 1.41$$

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

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

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

$$= \frac{3.00\times10^8\ \text{m/s}}{2.35}$$

$$= 1.28\times10^8\ \text{m/s}$$

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

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

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

$$= \frac{(20\ \text{cm})(10\ \text{cm})}{20\ \text{cm} + 10\ \text{cm}}$$

$$= 7\ \text{cm}$$

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 والمحدّدات.

يجب أن تكون زاوية السقوط في الهواء، فإذا اعتبرنا أنّ المادة الأولى هي الهواء فعندئذ تكون $n_1 = 1.0$، دع $n_2 = n$، لذا فإنّ

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

$$\sin\theta_1 = n \sin\theta_2$$

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = n$$

67. الفلك 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.

الزمن خلال الفراغ:

$$t = \frac{d}{c}$$

$$= \frac{(1.5\times10^8\ \text{km})(1000\ \text{m/1 km})}{3.00\times10^8\ \text{m/s}}$$

$$= 5.0\times10^2\ \text{s}$$

السرعة في الماء:

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

$$= \frac{3.00\times10^8\ \text{m/s}}{1.33}$$

$$= 2.26\times10^8\ \text{m/s}$$

الزمن خلال الماء:

$$t = \frac{d}{v}$$

$$= \frac{(1.5\times10^8\ \text{km})(1000\ \text{m/1 km})}{2.26\times10^8\ \text{m/s}}$$

$$= 660\ \text{s}$$

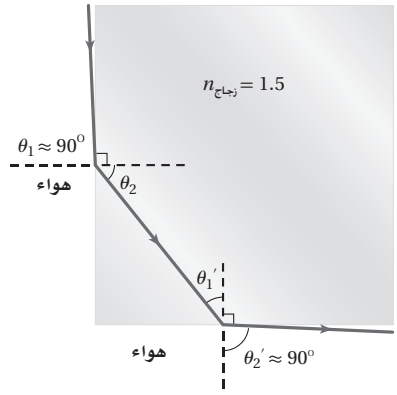
$$\Delta t = 660\ \text{s} - 500\ \text{s}$$

$$= 160\ \text{s}$$

$$= (160\ \text{s})(1\ \text{min}/60\ \text{s})$$

$$= 2.7\ \text{min}$$

68. من غير الممكن الرؤية من خلال الجوانب المتجاورة لقوالب مربعة الشكل من زجاج معامل انكساره 1.5، حيث يؤثّر الجانب المجاور للجانب الذي يَنظر من خلاله مراقبٌ كأنّه مرآة. ويمثل **الشكل 28–11** الحالة المحدّدة لجانب مجاور لا يؤثر كأنه مرآة. استخدم معلوماتك في الهندسة، والزوايا الحرجة، لتثبت أنّ هيئة هذا الشعاع لا يمكن تحقيقها عندما تكون $n_{\text{الزجاج}}=1.5$.



■ **الشكل 28–11**

يدخل شعاع الضوء الزجاج بزاوية θ_1، وينكسر بالزاوية θ_2

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{الهواء}} \sin\theta_{\text{الهواء}}}{n_{\text{الزجاج}}}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.00)(\sin 90^\circ)}{1.5}\right)$$

$$= 42^\circ$$

لذا فإنّ $\theta'_1 = 48^\circ$، ولكن الزاوية الحرجة للزجاج هي:

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{الهواء}}}{n_{\text{الزجاج}}}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{1.00}{1.5}\right)$$

$$= 42^\circ$$

ولما كانت $\theta_c < \theta'_1$، فإنّ الضوء ينعكس داخل الزجاج، ولا يمكن للمرء رؤية الخارج من الجانب المجاور.

التفكير الناقد

69. إدراك العلاقة المكانية ينتقل ضوء أبيض في هواء معامل انكساره 1.0003، ويدخل شريحة زجاجية بزاوية 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.

احسب زاويتي الانكسار للضوء الأحمر والضوء الأزرق، ثم احسب الفرق بين الزاويتين:

باستخدام قانون سنل:

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

لذا فإن

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

للضوء الأحمر:

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{(1.0003)(\sin 45.000^\circ)}{1.7273}\right)$$

$$= 24.173^\circ$$

للضوء الأزرق:

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{(1.0003)(\sin 45.000^\circ)}{1.7708}\right)$$

$$= 23.543^\circ$$

الفرق:

$$24.173^\circ - 23.543^\circ = 0.630^\circ$$

70. قارن أوجد الزاوية الحرجة للجليد الذي معامل انكساره1.31. في المناطق الباردة جدًّا، هل تكون أسلاك الألياف الضوئية المصنوعة من الجليد أفضل من تلك المصنوعة من الزجاج لحفظ الضوء داخل السلك؟ وضح ذلك.

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{الهواء}}}{n_{\text{الجليد}}}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1.00}{1.31}\right)$$

$$= 49.8^\circ$$

الزاوية الحرجة °49.8 وعند المقارنة فإنّ الزاوية الحرجة للزجاج الذي معامل انكساره 1.54 تساوي °40.5. والزاوية الحرجة الكبيرة تعني أنّه سيحدث انعكاس كلي داخلي لكمية أقل من الأشعة في قلب الجليد مقارنة بتلك التي سيحدث عندها انعكاس كلي داخلي في قلب الزجاج؛ لذا فإنّها لن تكون قادرة على نقل كمية ضوء أكبر. ومن ثم فإنّ الألياف البصرية المصنوعة من الزجاج ستعمل بشكل أفضل.

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

ستصبح خافتة؛ لأنّ عددًا أقل من الأشعة سيتجمّع، ولكن سترى صورة كاملة.

الكتابة في الفيزياء

72. إنّ 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 تقريرًا للصف تبين من خلاله كيفية التكيّف في عيونها لرؤية الأشياء.

ستختلف إجابات الطلاب، وذلك اعتمادًا على الحيوانات التي يختارونها.

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

ستختلف إجابات الطلاب، ولكنهم قد يجدون أنه من الضروري تبسيط أنظمتهم التي اختاروها لأغراض التوضيح.

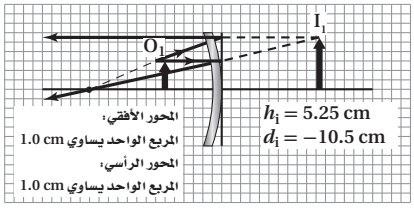
مراجعة تراكمية

74. تطلق سيارة صوت بوقها عندما تقترب من شخص يمشي على ممر المشاة. ما الذي يسمعه الشخص عند توقف السيارة لتسمح للشخص بعبور الشارع؟ (الفصل 8)

إنّ حدّة صوت منبه السيارة الذي يسمعه الشخص سيقل عندما تقل سرعة السيارة.

75. 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 يلي: (الفصل 10)

a. رسم مخطّط الأشعة بمقياس رسم.



b. معادلتي المرايا والتكبير.

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

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

$$= \frac{(6.00\text{ cm})(14.0\text{ cm})}{6.00\text{ cm} - 14.0\text{ cm}}$$

$$= -10.5\text{ cm}$$

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

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

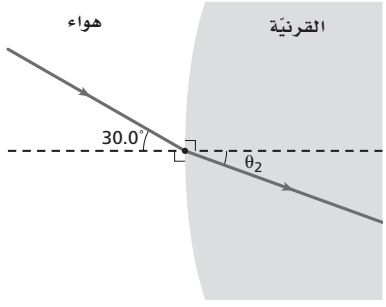
$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o}$$

$$= \frac{-(-10.5\text{ cm})(3.00\text{ cm})}{6.00\text{ cm}}$$

$$= 5.25\text{ cm}$$

مسألة تحفيز

عندمـا يدخـل الضوء إلى العين فإنه يواجه الحد الفاصل بين الهواء والقرنية. فإذا دخل شـعاع ضوء الحد الفاصل بين الهواء والقرنية لعين شخص بزاوية 30° بالنسبة للعمود المقام، وكان معامل انكسار القرنية 1.4 تقريبًا، أجب عن الأسئلة التالية:



1. استخدم قانون سنل لحساب زاوية الانكسار.

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

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

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{(1.0)\ (\sin 30.0^\circ)}{1.4}\right)$$

$$\theta_2 = 21^\circ$$

2. ما مقدار زاوية الانكسار إذا كان الشخص يسبح أسفل الماء؟

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

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

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{(1.33)\ (\sin 30.0^\circ)}{1.4}\right)$$

$$\theta_2 = 28^\circ$$

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؟

تكون زاوية الانكسار في الهواء أكبر؛ لأنّ الشعاع الضوئي سقط من وسط معامل انكساره كبير (الماء) إلى وسط معامل انكساره أقل (الهواء)، وتبدو الأجسام أقرب في الماء.

4. لو أردت أن تكون زاوية الانكسار لشعاع الضوء في الماء مساوية لها كما في الهواء فكم يجب أن تكون زاوية السقوط الجديدة؟

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

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

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{(1.4)\ (\sin 21^\circ)}{1.33}\right)$$

$$\theta_2 = 22^\circ$$

مسائل تدريبية

12–1 التداخل

1. ينبعث ضوء برتقالي مُصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm، ويسقط على شقّين البعد بينهما 1.90×10^{-5} m. ما المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب الأصفر ذي الرتبة الأولى إذا كانت الشاشة تبعد مسافة 0.600 m من الشقّين؟

$$x = \frac{\lambda L}{d}$$

$$= \frac{(596\times10^{-9}\ \text{m})(1.90\times10^{-5}\ \text{m})}{0.600\ \text{m}}$$

$$= 1.88\times10^{-2}\ \text{m} = 18.8\ \text{mm}$$

2. في تجربة يونج، استخدم الطلاب أشعة ليزر طولها الموجي 632.8 nm. فإذا وضع الطلاب الشاشة على بُعد 1.00 m من الشقّين، ووجدوا أن الهدب الضوئي ذا الرتبة الأولى يبعد 65.5 mm من الخط المركزي، فما المسافة الفاصلة بين الشقّين؟

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

$$d = \frac{\lambda L}{x}$$

$$= \frac{(632.8\times10^{-9}\ \text{m})(1.00\ \text{m})}{65.5\times10^{-3}\ \text{m}}$$

$$= 9.66\times10^{-6}\ \text{m} = 9.66\ \mu\text{m}$$

3. ارجع إلى المثال 2، ثم أوجد أقل سُمْك ممكن للغشاء لتكوين حزمة ضوء منعكسة لونها أحمر (λ = 635 nm).

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

بالنسبة إلى الغشاء الأقل سمكًا

$$m = 0$$

$$d = \left(\frac{1}{4}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الزيت}}}$$

$$= \frac{635\ \text{nm}}{(4)\ (1.45)}$$

$$= 109\ \text{nm}$$

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؟

لأن $n_{\text{الغشاء}} > n_{\text{الهواء}}$ فإن هناك انقلابًا في الطور في الانعكاس الأول، ولأن $n_{\text{الزجاج}} > n_{\text{الغشاء}}$ فإن هناك انقلابًا في الطور في الانعكاس الثاني. ولمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر يجب أن يكون التداخل هدّامًا

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

بالنسبة إلى الغشاء الأقل سمكًا

$$m = 0$$

$$d = \left(\frac{1}{4}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$= \frac{555\ \text{nm}}{(4)\ (1.38)}$$

$$= 101\ \text{nm}$$

5. ما أقل سمك لغشاء صابون معامل انكساره 1.33 ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلا بنّاءً مع نفسه؟

حتى يتداخل الضوء تداخلا بناءً

$$2d = (m + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

بالنسبة إلى الغشاء الأقل سمكًا

$$m = 0$$

$$d = \left(\frac{1}{4}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$= \frac{521\ \text{nm}}{(4)\ (1.33)}$$

$$= 97.9\ \text{nm}$$

مراجعة القسم

1–12 التداخل

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

سيكون هناك انقلاب واحد في الطور؛ لذا سيحدث التداخل البناء عندما:

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

بالنسبة إلى العرض الثاني الأقل سمكًا، تكون

$$m = 1$$

$$d = \left(\frac{3}{4}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$= \frac{(3)\ (575\ \text{nm})}{(4)\ (1.33)}$$

$$= 324\ \text{nm}$$

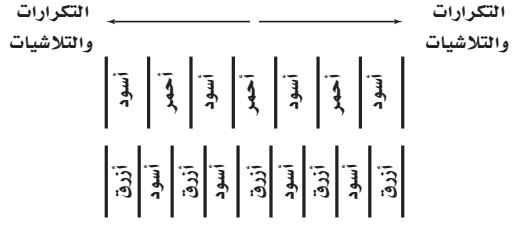
7. الأنماط المضيئة والمعتمة تم تكوين شقّين متقاربين جدًّا في قطعة كبيرة من الكرتون، وأُضيء الشقّان بضوء أحمر أحادي اللون. وعند وضع ورقة بيضاء بعيدًا عن الشقّين شوهد نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على الورقة. صف كيف تسلك الموجة عندما تقابل شقًّا؟ وفسّر لماذا تظهر أهداب مضيئة وأخرى معتمة؟

عندما تواجه الموجة شقًّا فإنها تنحني. فالضوء يحيد بواسطة الشقوق، والضوء النافذ من أحد الشقوق يتداخل مع الضوء النافذ من الشق الآخر، فإذا كان التداخل بنّاءً فسيتكون هدب مضيء، أما إذا كان التداخل هدّامًا فإن الهدب سيكون معتمًا.

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

ستكون شبيهة بالنمط الذي تشاهده للضوء الأحمر.

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



تصبح أهداب الضوء بعضها أقرب إلى بعض.

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

a. فما أقل سمك ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر؟

لمّا كان $n_{\text{الغشاء}} < n_{\text{الهواء}}$ فإن هناك تغيرًا في الطور في الانعكاس الأول، ولمّا كان $n_{\text{الغشاء}} < n_{\text{الزجاج}}$ فلن يحدث تغير في الطور في الانعكاس الثاني. وحتى ينعكس الضوء الأصفر المخضر يجب أن يكون التداخل بنّاءً

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$m = 0$$

بالنسبة إلى الغشاء الأقل سمكًا

$$d = \left(\frac{1}{4}\right)\frac{\lambda_{\text{الأصفر المخضر}}}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$= \frac{555\ \text{nm}}{(4)\ (1.83)}$$

$$= 75.8\ \text{nm}$$

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

$$m = 1$$

$$d = \left(\frac{3}{4}\right)\frac{\lambda_{\text{الأصفر المخضر}}}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$= \frac{(3)\ (555\ \text{nm})}{(4)\ (1.83)}$$

$$= 227\ \text{nm}$$

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

$\sin\theta = \tan\theta$ لزاوية تتكون من رقمين معنويين حتى $9.9°$، وزيادة دقة القياس يقلل هذه الزاوية إلى $2.99°$.

مسائل تدريبية

12–2 الحيود

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؟

$$\lambda = \frac{x_{\text{أقل}}\, w}{L}$$

$$x_{\text{أقل}} = \frac{\lambda L}{w}$$

$$= \frac{(5.46\times10^{-7}\ \text{m})(0.75\ \text{m})}{9.5\times10^{-5}\ \text{m}}$$

$$= 4.3\ \text{mm}$$

عرض الهدب المركزي المضيء $= 2x_{\text{أقل}}$

$$2x_{\text{أقل}} = 2(4.3\ \text{mm})$$

$$= 8.6\ \text{mm}$$

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؟

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

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

$$= \frac{(24.0\times10^{-3}\ \text{m})(0.0295\times10^{-3}\ \text{m})}{(2)(60.0\times10^{-2}\ \text{m})}$$

$$= 5.90\times10^{2}\ \text{nm}$$

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

a. فأيّ المرشّحين ينتج هدبًا ضوئيًّا أكثر عرضًا؟

الأحمر؛ لأن عرض الهدب يتناسب طرديًّا مع الطول الموجي.

b. احسب عرض الهدب المركزي المضيء لكل من المرشّحين.

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

للأزرق:

$$2x_1 = \frac{2(4.41\times10^{-7}\ \text{m})(1.00\ \text{m})}{5.0\times10^{-5}\ \text{m}}$$

$$= 18\ \text{mm}$$

للأحمر:

$$2x_1 = \frac{2(6.22\times10^{-7}\ \text{m})(1.00\ \text{m})}{5.0\times10^{-5}\ \text{m}}$$

$$= 25\ \text{mm}$$

15. يسقط ضوء أبيض من خلال محزوز على شاشة. صف النمط المتكوّن.

يُشاهد طيف ضوئي كامل للألوان جميعها. وبسبب اختلاف الأطوال الموجية فإن الأهداب المعتمة لأحد الأطوال الموجية ستسقط عليها أهداب مضيئة لطول موجي آخر.

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؟

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

$$d = \frac{\lambda}{\sin\theta}$$

حيث إن

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

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

$$= \frac{434\times10^{-9}}{\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{0.55\ \text{m}}{1.05\ \text{m}}\right)\right)}$$

$$= 9.4\times10^{-7}\ \text{m}$$

17. يُضاء محزوز حيود تفصل بين شقوقه مسافة 8.60×10^{-7} m بضوء بنفسجي طوله الموجي 421 nm. فإذا كان البعد بين الشاشة والمحزوز 80.0 cm، فما مقدار المسافات الفاصلة بين الأهداب في نمط الحيود؟

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

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{d}$$

$$\tan\theta = \frac{x}{L}$$

$$x = L\tan\theta$$

$$= L\tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{d}\right)\right)$$

$$= (0.800\ \text{m})\left(\tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{421\times10^{-9}\ \text{m}}{8.60\times10^{-7}\ \text{m}}\right)\right)\right)$$

$$= 0.449\ \text{m}$$

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؟

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

$$= (7.41\times10^{-7}\ \text{m})\left(\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{0.58\ \text{m}}{0.65\ \text{m}}\right)\right)\right)$$

$$= 490\ \text{nm}$$

19. يمر ضوء طوله الموجي 632 nm خلال محزوز حيود، ويكوّن نمطًا على شاشة تبعد عن المحزوز مسافة 0.55 m. فإذا كان الهدب المضيء الأول يبعد 5.6 cm عن الهدب المركزي المضيء، فما عدد الشقوق لكل سنتمتر في المحزوز؟

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

هناك شق واحد خلال المسافة d، لذا فإن المقدار $\frac{1}{d}$ يعطي عدد الشقوق لكل سنتمتر.

$$d = \frac{\lambda}{\sin\theta}$$

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

$$= \frac{632\times10^{-9}\ \text{m}}{\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{0.056\ \text{m}}{0.55\ \text{m}}\right)\right)}$$

$$= 6.2\times10^{-6}\ \text{m} = 6.2\times10^{-4}\ \text{cm}$$

$$1\ \text{شقّ}/6.2\times10^{-4}\ \text{cm} = 1.6\times10^{3}\ \text{شقّ}/\text{cm}$$

مراجعة القسم

12–2 الحيود

20. المسافة بين الأهداب المعتمة ذات الرتبة الأولى يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طول موجته 546 nm على شقّ مفرد عرضه 0.080 mm. ويقع الشقّ 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؟

$$2x_{\text{أقل}} = \frac{2\lambda L}{w}$$

$$= \frac{(2)(546\times10^{-9}\ \text{m})(68.0\times10^{-2}\ \text{m})}{0.080\times10^{-3}\ \text{m}}$$

$$= 9.3\ \text{mm}$$

21. معيار ريليه نجم الشِّعرى اليمانية (سيريوس) أكثر النجوم سطوعًا في السماء في فصل الشتاء في نصف الكرة الأرضية الشمالي. ونجم الشعِّرى – في الحقيقة– نظام مكوّن من نجمين يدور كل منهما حول الآخر، فإذا وجّه تلسكوب هابل الفضائي (قطر فتحته 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؟ (افترض أن متوسط الطول الموجي للضوء القادم من النجمين يساوي 550 m).

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

$$= \frac{1.22\ (550\times10^{-9}\ \text{m})(7.99\times10^{16}\ \text{m})}{2.4\ \text{m}}$$

$$= 2.2\times10^{10}\ \text{m}$$

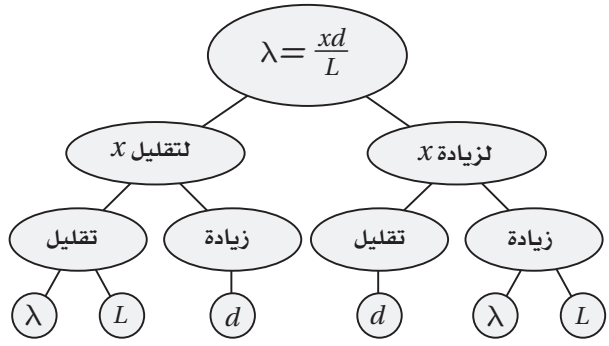
22. التفكير الناقد شاهدت جهاز مطياف، إلا أنك لا تعلم ما إذا كان الطيف الناتج عنه باستخدام منشور أو محزوز. كيف تعرف ذلك من خلال النظر إلى طيف الضوء الأبيض؟

حدّد ما إذا كان اللون البنفسجي أم الأحمر في نهاية الطيف يصنع زاوية أكبر مع اتجاه حزمة الضوء الأبيض الساقط. يكسر المنشور اللون البنفسجي الذي يقع في نهاية الطيف بدرجة أكبر، في حين يحيد المحزوز الأطوال الموجية للضوء الأحمر بمقدار أكبر.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

23. يضيء ضوء أحادي اللون طوله الموجي λ شقّين في تجربة يونج. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين d، وتكوّن نمط على شاشة تبعد مسافة L عن الشقّين، فأكمل خريطة المفاهيم التالية مستخدمًا λ و L و d لتبين كيف يمكنك تغييرها لتحصل على التغير المشار إليه في الفراغ بين الأهداب المضيئة المتجاورة x.



إتقان المفاهيم

24. لماذا يُعدّ استخدام ضوء أحادي اللون مهمًّا في تكوين نمط التداخل في تجربة التداخل ليونج؟ (1–12)

عندما تستخدم الضوء الأحادي اللون، تحصل على نمط تداخل دقيق المعالم؛ وإذا كنت تستخدم ضوءًا أبيض فستحصل على مجموعة من الأهداب الملونة.

25. وضّح لماذا لا يمكن استخدام موقع الهدب المركزي المضيء لنمط تداخل الشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي لموجات الضوء؟ (1–12)

الأطوال الموجية جميعها تنتج الهدب المركزي في الموقع نفسه.

26. صف كيف يمكنك استخدام ضوء معلوم الطول الموجي لإيجاد المسافة بين شقّين؟ (1–12)

أسقط الضوء على الشق المزدوج، ودع نمط التداخل يسقط على ورقة، ثم قس المسافات بين الأهداب المضيئة x، واستخدم المعادلة $d = \frac{\lambda L}{x}$.

27. يشع ضوء أبيض خلال محزز حيود. هل تكون الفراغات بين الخطوط الحمراء الناتجة متقاربة أم متباعدة أكثر مقارنة بالخطوط البنفسجية الناتجة؟ ولماذا؟ (2–12)

تتناسب المسافة طرديًّا مع الطول الموجي. ولمّا كان للضوء الأحمر طول موجي أطول منه للضوء البنفسجي، فإن الخطوط الحمراء ستفصلها مسافات أكبر من الخطوط البنفسجية.

28. ما لون الضوء المرئي الذي ينتج خطًّا ساطعًا قريبًا جدًّا من الهدب المركزي المضيء بالنسبة لمحزوز حيود معين؟ (2–12)

الضوء البنفسجي هو اللون ذو الطول الموجي الأقصر.

29. لماذا يكون التلسكوب ذو القطر الصغير غير قادر على التمييز بين صورتين لنجمين متقاربين جدًّا؟ (2–12)

للفتحات الصغيرة أنماط حيود كبيرة تُحدّ من القدرة على التمييز بين الصورتين.

تطبيق المفاهيم

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

a. فقاعات الصابون

التداخل

b. بتلات الوردة

الأصباغ

c. غشاء زيتي

التداخل

d. قوس المطر

الانكسار

31. صف التغيرات في نمط حيود الشقّ المفرد عندما يتناقص عرض الشقّ.

تأخذ الأهداب في الاتساع، وتأخذ إضاءتها في الخفوت.

32. معرض العلوم أحد المعروضات في معرض العلوم عبارة عن غشاء كبير جدًّا من الصابون ذي عرض ثابت تقريبًا، ويُضاء بواسطة ضوء طوله الموجي 432 nm، فيظهر السطح كاملا تقريبًا على شكل ظل أرجواني اللون. فماذا ستشاهد في الحالات التالية؟

a. عندما يتضاعف سمك الغشاء.

تداخل هدّام كامل.

b. عندما يزداد سمك الغشاء بمقدار نصف الطول الموجي للضوء الساقط.

تداخل بنّاء كامل.

c. عندما يتناقص سمك الغشاء بمقدار ربع الطول الموجي للضوء الساقط.

تداخل هدّام كامل.

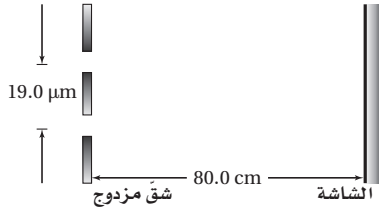
33. تحدّي مؤشر الليزر إذا كان لديك مؤشرا ليزر، أحدهما ضوؤه أحمر، والآخر ضوؤه أخضر، واختلف زميلاك أحمد وفيصل في تحديد أيهما له طول موجي أكبر، وأصرّ أحمد على أن اللون الأحمر طوله الموجي أكبر، بينما فيصل متأكد أن الضوء الأخضر له طول موجي أكبر. فإذا كان لديك محزوز حيود فَصِف العرض الذي ستنفّذه بواسطة هذه الأداة، وكيف يمكنك توضيح النتائج التي توصّلت إليها لكل من أحمد وفيصل لحل الخلاف بينهما؟

سلط كل مؤشر ليزر خلال المحزوز على جدار قريب، فسيُنتج الضوء ذو الطول الموجي الأكبر نقاطًا تفصلها مسافات كبيرة على الجدار؛ لأن المسافة بينها تتناسب طرديًّا مع الطول الموجي. (الصحيح هو قول أحمد: الطول الموجي للضوء الأحمر أكبر من الطول الموجي للضوء الأخضر).

إتقان حل المسائل

12–1 التداخل

34. يسقط ضوء على شقّين متباعدين بمقدار 19.0 μm، ويبعدان عن شاشة 80.0 cm، كما في **الشكل 17–12**. فإذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد 1.90 cm عن الهدب المركزي المضيء فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



■ **الشكل 17–12**

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

$$= \frac{(1.90\times10^{-2}\ \text{m})(19.0\times10^{-6}\ \text{m})}{80.0\times10^{-2}\ \text{m}}$$

$$= 451\ \text{nm}$$

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

لا يوجد انقلاب في الطور، لذا سيحدث التداخل البنّاء عندما

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الطبقة النفطية}}}$$

وعند أقل سمك تكون

$$m = 0$$

$$d = \left(\frac{1}{4}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الطبقة النفطية}}}$$

$$= \frac{545\ \text{nm}}{(4)(1.45)}$$

$$= 94.0\ \text{nm}$$

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

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

$$x = \frac{\lambda L}{d}$$

لما كانت λ هي نفسها للمجموعات جميعها فإنه ينبغي أن تحسب المقدار $\frac{x}{\lambda}$؛ وذلك للمقارنة بين المجموعات.

$$\frac{x}{\lambda} = \frac{L}{d}$$

المجموعة A:

$$= \frac{0.60\ \text{m}}{1.50\times10^{-4}\ \text{m}}$$

$$= 4.0\times10^{3}$$

المجموعة B:

$$= \frac{0.80\ \text{m}}{1.75\times10^{-4}\ \text{m}}$$

$$= 4.6\times10^{3}$$

المجموعة C:

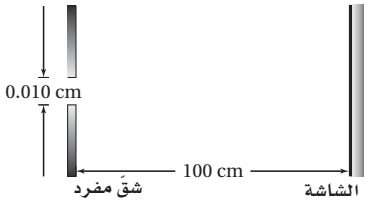
$$= \frac{0.80\ \text{m}}{1.50\times10^{-4}\ \text{m}}$$

$$= 5.3\times10^{3}$$

$$x_C > x_B > x_A$$

12–2 الحيود

37. يعبر ضوء أحادي اللون خلال شقّ مفرد عرضه 0.010 cm، ثم يسقط على شاشة تبعد عنه مسافة 100 cm، كما في **الشكل 18–12**. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 1.20 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



■ **الشكل 18–12**

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

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

$$= \frac{(0.60\ \text{cm})(0.010\ \text{cm})}{100\ \text{cm}}$$

$$= 600\ \text{nm}$$

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

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

وتمثل الكمية $2x_1$؛ عرض الهدب المضيء، ولإيجاد المسافة بين مركز النمط والهدب المعتم الأول ينبغي التقسيم على 2.

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

$$= \frac{(4.5\times10^{-5}\ \text{cm})(100\ \text{m})}{0.015\ \text{cm}}$$

$$= 0.3\ \text{cm}$$

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

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

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

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

$$x_1 = \left(\frac{1}{2}\right)(2x_1)$$

$$= 0.30\ \text{cm}$$

$$w = \frac{(4.25\times10^{-5}\ \text{cm})(75\ \text{cm})}{0.30\ \text{cm}}$$

$$= 1.1\times10^{-2}\ \text{cm}$$

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

$$d = \frac{1}{12000\ \text{خط/cm}}$$

$$= 8.33\times10^{-5}\ \text{cm}$$

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

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{d}$$

للضوء الأحمر

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{6.32\times10^{-5}\ \text{cm}}{8.33\times10^{-5}\ \text{cm}}\right)$$

$$= 49.3^\circ$$

للضوء الأزرق

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{4.21\times10^{-5}\ \text{cm}}{8.33\times10^{-5}\ \text{cm}}\right)$$

$$= 30.3^\circ$$

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 هدّام بصورة كاملة؟ تلميح: افترض أن العدسة مصنوعة من الزجاج.

لمّا كانت $n_{\text{الطلاء}} > n_{\text{الهواء}}$، فإن هناك انقلابًا في الطور في الانعكاس الأول، ولمّا كانت:

$$n_{\text{العدسة}} = 1.52 > n_{\text{الطلاء}}$$

فإن هناك انقلابًا في الطور في الانعكاس الثاني.

وحتى يحدث التداخل الهدّام:

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الطلاء}}}$$

$$\lambda = \frac{2dn_{\text{الطلاء}}}{\left(m + \frac{1}{2}\right)}$$

$$= \frac{(2)(125\ \text{nm})(1.2)}{\left(m + \frac{1}{2}\right)}$$

$$= \left(m + \frac{1}{2}\right)^{-1}(3.0\times10^{2}\ \text{nm})$$

وعندما تكون، $m = 0$

$$\lambda = \left(\frac{1}{2}\right)^{-1}(3.0\times10^{2}\ \text{nm})$$

$$= 6.0\times10^{2}\ \text{nm}$$

لذا فإن الضوء مائل إلى الحمرة (محمر)–برتقالي. وبالنسبة إلى قيم أخرى لـ m يكون الطول الموجي أقصر منه لهذا الضوء.

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 $30°+$، والثالثة عند $30°-$. فإذا أسقطتَ ضوءًا أزرق متماثل الشدة في اتجاه الضوء الأصفر نفسه، فما نمط البقع التي ستراها على الشاشة الآن؟

بقعة خضراء عند $0°$، بقع صفراء عند $30° +$ و $30°-$، وبقعتان زرقاوان متقاربتان إلى حد ما.

43. تطبيق المفاهيم يمر ضوء أزرق طوله الموجي λ عبر شقّ مفرد عرضه w، حيث يظهر نمط حيود على شاشة. فإذا استخدمت الآن ضوءًا أخضر طوله الموجي 1.5λ بدلا من الضوء الأزرق، فكم يجب أن يكون عرض الشقّ للحصول على النمط السابق نفسه؟

تعتمد زاوية الحيود على النسبة بين عرض الشق والطول الموجي، لذا يزيد العرض ليصبح $1.5\,w$.

الكتابة في الفيزياء

44. ابحث، ثم صِف مساهمات العالم توماس يونج في الفيزياء. وقوّم تأثير أبحاثه في الفكر العلمي حول طبيعة الضوء.

قد تختلف إجابات الطلاب، ولكنها يجب أن تتضمن تجربة الشق المزدوج ليونج التي تتيح لهم القدرة على قياس الطول الموجي للضوء بدقة.

45. ابحث ثم فسر دور الحيود في كل من الطب وعلم الفلك، وصِف على الأقل تطبيقين لكل منهما.

قد تختلف إجابات الطلاب، ولكنها يجب أن تتضمن الحيود في التلسكوبات والميكروسكوبات والمطياف.

مراجعة تراكمية

46. ما الأطوال الموجية لموجات الميكروويف في فرن إذا كان تردّدها 2.4 GHz؟ (الفصل 7)

$$c = f\lambda$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00\times10^{8}\ \text{m/s}}{2.4\times10^{9}\ \text{Hz}}$$

$$= 0.12\ \text{m}$$

47. 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 10)

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

$$= \frac{48.0\ \text{cm}}{2}$$

$$= 24.0\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{(12.0\ \text{cm})(24.0\ \text{cm})}{12.0\ \text{cm} - 24.0\ \text{cm}}$$

$$= -24.0\ \text{cm}$$

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

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

$$= \frac{-(-24.0\ \text{cm})(2.0\ \text{cm})}{12.0\ \text{cm}}$$

$$= 4.0\ \text{cm}$$

48. وضعت شمعة طولها 2.00 cm على بُعد 7.50 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 21.0 cm. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لحساب بُعد الصورة وطولها. (الفصل 11)

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

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

$$= \frac{(7.50\ \text{cm})(21.0\ \text{cm})}{7.50\ \text{cm} - 21.0\ \text{cm}}$$

$$= -11.7\ \text{cm}$$

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

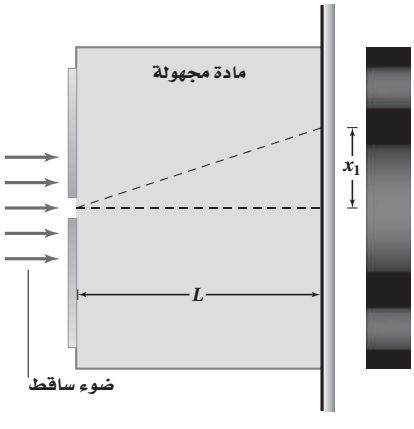
$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o}$$

$$= \frac{-(-11.7\ \text{cm})(2.00\ \text{cm})}{7.50\ \text{cm}}$$

$$= 3.11\ \text{cm}$$

مسألة تحفيز

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 $\lambda_{\text{الفراغ}}$، وعرض الشق w، والمسافة بين الشقّ والشاشة L، والمسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول x_1.

استخدم (1) $\lambda = \dfrac{x_{\text{الأقل}}\, w}{L}$

(2) $v_{\text{المادة}} = \lambda_{\text{المادة}} f$ **وكذلك**

(3) $n_{\text{المادة}} = \dfrac{c}{v}$

بناءً على دمج (2) و(3) فإن

$$n_{\text{المادة}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}} f}{\lambda_{\text{المادة}} f}$$

$$= \frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{\lambda_{\text{المادة}}} \quad (4)$$

تم اختصار التردد من البسط والمقام؛ لأنه يبقى ثابتًا عندما يقطع الضوء الحد الفاصل.

أعد كتابة المعادلة (1) بدلالة المادة الموجودة في الفراغ بين الشق والشاشة.

(5) $\lambda_{\text{المادة}} = \dfrac{(x_{\text{الأقل}}\, w)}{L}$

بناءً على دمج (4) و (5) وحل المعادلة الناتجة بالنسبة إلى المتغير (x) نحصل على

$$n_{\text{المادة}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{\dfrac{x_{\text{الأقل}}\, w}{L}}$$

$$x_{\text{أقل}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}} L}{n_{\text{المادة}}\, w}$$

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

$$x = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}} L}{n_{\text{المادة}}\, w}$$

$$= \frac{(634\times10^{-9}\,\text{m})(1.15\,\text{m})}{(1.33)(0.10\times10^{-3}\,\text{m})}$$

$$= 5.5\times10^{-3}\,\text{m}$$

مراجعة القسم

1–1 الشحنة الكهربائية

1. **الأجسام المشحونة** بعد دلك مشط بسترة مصنوعة من الصوف يمكنه جذب قصاصات ورق صغيرة. لماذا يفقد المشط هذه القدرة بعد عدة دقائق؟

يفقد المشط شحنته في الوسط المحيط به، ويصبح متعادل من جديد.

2. **أنواع الشحنات** من خلال التجارب التي مرت في هذا القسم، كيف يمكنك أن تعرف أيّ الشريطين B أو T موجب الشحنة؟

قرّب قضيبًا زجاجيًّا مشحونًا بشحنة موجبة إلى كل من الشريطين، فيكون الشريط الذي يتنافر معه 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 تحّدد ما إذا كانت كرة البيلسان المعلقة بخيط عازل متعادلة كهربائيًّا أو ذات شحنة موجبة أو ذات شحنة سالبة؟

أحضر جسمًا مشحونًا بشحنة معلومة، ولتكن سالبة، وقربه إلى كرة البيلسان، إذا تنافرت الكرة معه فإن شحنتها تكون مشابهة لشحنة الجسم المقرّب، وإذا انجذبت إليه فإن شحنتها إما تكون مخالفة لشحنة الجسم أو متعادلة. ولتحديد الشحنة الموجبة قرّب قضيبًا زجاجيًّا مشحونًا بشحنة موجبة إلى كرة البيلسان فإذا تنافرا؛ فإن شحنة الكرة تكون موجبة، أما إذا انجذب أحدهما إلى الآخرفإن كرة البيلسان تكون متعادلة الشحنة.

4. **فصل الشحنات** يُشحن قضيب مطاط بشحنة سالبة عند دلكه بالصوف. ماذا يحدث لشحنة الصوف؟ ولماذا؟

يصبح الصوف موجب الشحنة؛لأنه فقد الإلكترونات التي اكتسبها قضيب المطاط.

5. **شحن الموصلات** افترض أنك علّقت قضيبًا فلزيًّا طويلًا بخيوط حرير بحيث أصبح القضيب معزولاً، ثم لامست أحد طرفي القضيب الفلزي بقضيب زجاجي مشحون، فصف كيف يُشحن القضيب الفلزي؟ وما نوع الشحنات عليه؟

يجذب قضيب الزجاج الإلكترونات من القضيب الفلزي؛ لذا يصبح الفلز موجب الشحنة، وتتوزع الشحنات عليه بانتظام.

6. **الشحن بالدلك** يمكنك شحن قضيب مطاط بشحنة سالبة بدلكه بالصوف. ماذا يحدث عند دلك قضيب نحاس بالصوف؟

لأن النحاس مادة موصلة؛ لذا يبقى متعادلا ما دام ملامسًا ليدك.

7. **التفكير الناقد** يمكن أن يفترض أحدهم أن الشحنة الكهربائية نوع من الموائع تتدفق من أجسام لديها فائض في المائع إلى أجسام لديها نقص فيه. لماذا يكون نموذج التيار الثنائي الشحنة أفضل من نموذج المائع الأحادي؟

يمكن لنموذج التيار الثنائي الشحنة أن يوضح التنافر والتجاذب بطريقة أفضل، وهو يوضح أيضًا كيف يمكن أن تشحن الأجسام عند دلك بعضها ببعض. في حين يشير نموذج المائع الأحادي إلى أن الشحنة يجب أن تتساوى على الأجسام المتلامسة.

مسائل تدريبية

2–1 القوة الكهربائية

8. تفصل مسافة مقدارها 0.30 m بين شحنتين؛ الأولى سالبة ومقدارها 2.0×10^{-4} C، والثانية موجبة ومقدارها 8.0×10^{-4} C. ما القوة المتبادلة بين الشحنتين؟

$$F = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^2} = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(2.0\times10^{-4}\ \text{C})(8.0\times10^{-4}\ \text{C})}{(0.30\ \text{m})^2}$$

$$= 1.6\times10^4\ \text{N}$$

9. إذا أثرت الشحنة السالبة 0.6×10^{-6} C بقوة جذب مقدارها 65 N في شحنة ثانية تبعد عنها مسافة 0.050 m، فما مقدار الشحنة الثانية؟

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

$$q_B = \frac{Fr_{AB}^2}{Kq_A} = \frac{(65\ \text{N})(0.050\ \text{m})^2}{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(6.0\times10^{-6}\ \text{C})}$$

$$= 3.0\times10^{-6}\ \text{C}$$

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

مقادير جميع القوى تبقى كما هي،في حين يتغير اتجاه القوة إلى 42^o فوق محور السينات السالب، أي 138^o مع محور السينات الموجب.

11. وضعت كرة A شحنتها $+2.0\times10^{-6}$ C عند نقطة الأصل، في حين وضعت كرة B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها 3.6×10^{-6} C عند الموقع $+0.60$ cm على المحور x. أما الكرة C المشحونة بشحنة مقدارها $+4.0\times10^{-6}$ C فقد وضعت عند الموقع $+0.80$ m على المحور x. احسب القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.

$$F_{\text{A على B}} = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^2} = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)\ (2.0\times10^{-6}\ \text{C})(3.6\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.60\ \text{m})^2} = 0.18\ \text{N}$$ **الاتجاه: نحو اليمين**

$$F_{\text{A على C}} = K\frac{q_A q_C}{r_{AC}^2} = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(2.0\times10^{-6}\ \text{C})(4.0\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.80\ \text{m})^2} = 0.1125\ \text{N}$$ **الاتجاه: نحو اليسار**

$$F_{\text{المحصلة}} = F_{\text{A على B}} - F_{\text{A على C}} = (0.18\ \text{N}) - (0.1125\ \text{N}) = 0.0675\ \text{N}$$ **نحو اليمين**

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

$$F_{\text{B على A}} = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^2}$$

$$F_{\text{B على C}} = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^2}$$

$$F_{\text{المحصلة}} = F_{\text{B على C}} - F_{\text{B على A}}$$

$$= K\frac{q_B q_C}{r_{BC}^2} - K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^2}$$

$$= (9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)\ \frac{(3.6\times10^{-6}\ \text{C})(4.0\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.20\ \text{m})^2} - (9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)\ \frac{(2.0\times10^{-6}\ \text{C})(3.6\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.60\ \text{m})^2}$$

$$= \textbf{3.1 N باتجاه اليمين}$$

مراجعة القسم

2–1 القوة الكهربائية

13. **القوة والشحنة** كيف ترتبط القوة الكهربائية بالشحنة؟ صِف القوة عندما تكون الشحنات متشابهة، وصِفها عندما تكون الشحنات مختلفة.

تتناسب القوة الكهربائية طرديًا مع مقدار كل شحنة. الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.

14. **القوة والمسافة** كيف ترتبط القوة الكهربائية مع المسافة؟ وكيف تتغير القوة إذا زادت المسافة بين شحنتين إلى ثلاثة أمثالها؟

تتناسب القوة عكسيًا مع مربع المسافة بين الشحنتين. القوة الجديدة ستساوي $\frac{1}{9}$ القوة الأصلية.

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

في أثناء ابتعاد الورقتين إحداهما عن الأخرى تتناقص القوة الكهربائية بينهما إلى أن تتزن مع قوة الجاذبية الأرضية فتتطبق الورقتان.

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

a. قضيب موجب.

لامس القضيب للكشّاف الكهربائي، فتنتقل الشحنات السالبة إلى القضيب، تاركة الكشّاف الكهربائي مشحونًا بشحنة موجبة.

b. قضيب سالب.

قرب القضيب السالب إلى الكشّاف الكهربائي دون لمسه، ثم اعمل على تأريض الكشّاف الكهربائي بلمسه بإصبعك للسماح للإلكترونات بالإنتقال إلى إصبعك، ثم أزِل التأريض وأبعد القضيب عن الكشّاف الكهربائي.

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

ينتج فصل الشحنات الكهربائية عن قوة التجاذب بين الشحنات المختلفة وقوة التنافر بين الشحنات المتشابهة. حيث تتحرك شحنات الجسم المتعادل باتجاه الشحنات المخالفة لها بالنوع في الجسم الآخر. والعلاقة العكسية بين القوة الكهربائية والمسافة بين الشحنات تبين أن الشحنات الأقرب تتأثر بقوة أكبر. فعند تقريب جسم مشحون من آخر متعادل تتباعد الشحنات المشابهة لشحنة الجسم المشحون وتنجذب الشحنات المخالفة لشحنة ذلك الجسم.

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

تعود الشحنات التي فرِّغت إلى الأرض؛ لذا يبقى الكشاف الكهربائي متعادلًا.

19. القوى الكهربائية كرتان A و B مشحونتان، المسافة بين مركزيهما r. إذا كانت شحنة الكرة A تساوي $+3\ \mu C$ وشحنة الكرة B تساوي $+9\ \mu C$ فقارن بين القوة التي تؤثر بها الكرة A في الكرة B والقوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

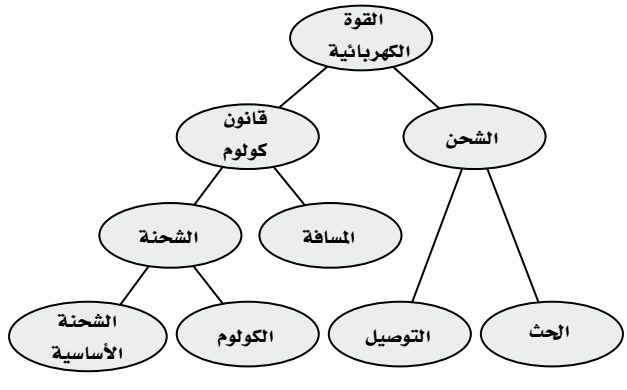
20. التفكيـر الناقد افترض أنك تختبر صحة قانون كولوم باستخدام كرة بلاستيكية صغيرة موجبة الشحنة وكرة فلزية كبيرة موجبة الشحنة، فوفق قانون كولوم تتناسب القوة مع $\frac{1}{r^2}$ حيث تمثل r المسافة بين مركزيالكرتين. ولكن عند تقريب الكرتين إحداهما إلى الأخرى وجِد أن القوة بينهما أصغر مما هو متوقع من قانون كولوم. وضّح ذلك.

بعض الشحنات على الكرة الفلزية ستتنافر مع الشحنات على الكرة البلاستيكية، ممّا يؤدي إلى تحركها إلى الجهة البعيدة عن الكرة البلاستيكية، وهذا يجعل المسافة الفعلية بين الشحنات أكبر من المسافة بين مركزي الكرتين.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

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



إتقان المفاهيم

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

لا. فوفق مفهوم حفظ الشحنة فإن شعرك يجب أن يصبح سالب الشحنة.

23. أعدّ قائمة ببعض المواد العازلة والمواد الموصلة.

ستختلف إجابات الطلاب، ولكنها قد تتضمن العوازل: الهواء الجاف والخشب، والبلاستيك والزجاج والملابس، والماء المنزوع الأيونات. والموصلات: الفلزات وماء الصنبور وجسمك.

24. ما الخاصية التي تجعل الفلز موصلًا جيدًا، والمطاط عازلًا جيدًا؟

تحتوي الفلزات على إلكترونات حرة، أما المطاط فلا يحتوي إلكترونات حرّة؛ لأن قوة الإرتباط بين الإلكترونات والنواة كبيرة جدًا.

25. غسّالة الملابس عندما نخرج الجوارب من مجفّف الملابس تكون أحيانًا ملتصقة بملابس أخرى. لماذا؟

شُحنت بالدلك مع الملابس الأخرى، لذا فهي تنجذب إلى الملابس المتعادلة أو التي لها شحنة مخالفة.

26. الأقراص المدمجة لماذا يجذب قرص مدمج الغبار إذا مسحته بقطعة قماش نظيفة؟

إن عملية دلك القرص المدمج CD تؤدي إلى شحنه، فيجذب جسيمات متعادلة، كجسيمات الغبار.

27. عملات معدنية مجموع شحنة جميع إلكترونات عملة مصنوعة من النيكل يساوي مئات الآلاف من الكولوم. هل يخبرنا هذا بشيء عن صافي الشحنة على هذه العملة؟ وضّح إجابتك.

لا، إن صافي الشحنة هو الفرق بين الشحنات الموجبة والسالبة. فيبقى صافي الشحنة على قطعة العملة المعدنية صفرًا.

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

تتناسب القوة الكهربائية عكسيًا مع مربع المسافة بين الشحنتين. فعندما تقل المسافة ويبقى مقدار الشحنتين كما هو دون تغيير، فإن القوة تزداد بما يتناسب مع مربع المسافة.

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

حرك الموصل بحيث يصبح قريبًا من القضيب،ولكن دون أن يلامسه. صِل الموصل بالأرض بوجود القضيب المشحون، ثم أزِل التأريض قبل إزالة القضيب المشحون. فيكتسب القضيب شحنة سالبة.

تطبيق المفاهيم

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

مقدار شحنة البروتون تساوي تمامًا مقدار شحنة الإلكترون، ولكنها مختلفة عنها في النوع.

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

استخدم عازلا معروفًا لتمسك إحدى نهايتي الجسم بالقرب من الكشّاف الكهربائي. المس النهاية الأخرى للجسم بالقضيب المشحون، إذا انفرجت ورقتا الكشّاف الكهربائي فإن الجسم يكون موصلًا.

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

بدايةً، تنجذب الكرات المتعادلة إلى القضيب المشحون، وعندما تلامس الكرات القضيب تكتسب شحنة مشابهة لشحنته؛ لذا فإنها تتنافر معه.

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؟

الشحنة في الغيمة تتنافر مع الإلكترونات على الأرض في المنطقة المقابلة لها، مما يؤدي إلى فصل الشحنات فتصبح شحنة هذه المنطقة القريبة من الغيمة موجبة، مما يؤدي إلى ظهور قوة تجاذب.

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

a. شحنة موجبة.

يزداد انفراج ورقتي الكشّاف.

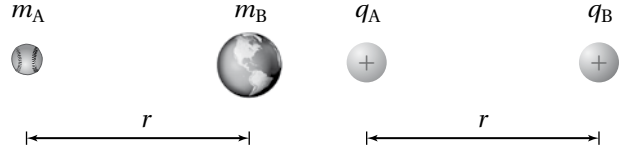
b. شحنة سالبة.

يقل انفراج ورقتي الكشّاف.

35. يبدو أن قانون كولوم وقانون نيوتن في الجذب العام متشابهان، كما هو موضح في **الشكل 13–1** . فيم تتشابه القوة الكهربائية وقوة الجاذبية؟ وفيم تختلفان؟

قانون كولوم **قانون الجذب العام**

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2} \qquad F = G\frac{m_A m_B}{r^2}$$



■ **الشكل 13–1 (الرسم ليس وفق مقياس الرسم)**

التشابه: يعتمد التربيع العكسي على المسافة، تتناسب القوة طرديًا مع حاصل ضرب كتلتين أو شحنتين.

الاختلاف: هناك إشارة واحدة فقط للكتلة لذا؛ فإن قوة الجاذبية دائمًا تجاذب، أما الشحنة فلها إشارتان لذا؛ فإن القوة الكهربائية يمكن أن تكون إما قوة تجاذب أو قوة تنافر.

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

القوة الكهربائية أكبر كثيرًا من قوة الجاذبية.

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

بعد شحن الكرتين A وB بشحنتين متساويتين اجعل الكرة B تلامس كرتين أخريين غير مشحونتين ومماثلتين لها في الحجم، وتلامس كل منها الأخرى. ستتوزّع الآن شحنة الكرة B بالتساوي على الكرات الثلاث، بحيث تحمل كل منها ثلث الشحنة الكلية.

38. قاس كولوم انحراف الكرة A عندما كان للكرتين A وB الشحنة نفسها، وتبعد إحداهما عن الأخر 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؟

لنحصل على القوة نفسها بثلث مقدار الشحنة الأصلية يجب تقليل المسافة بين الشحنتين بحيث تكون $r^2 = \frac{1}{3}$ أو تساوي 0.58 مرة ضعف المسافة الابتدائية بينهما.

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

$$F_1 \propto \frac{1}{r^2}$$

$$F_2 \propto \frac{1}{\left(\frac{r}{4}\right)^2} = \frac{16}{r^2},\ F_2 \propto \frac{16}{r^2}$$

أي أن القوة الناتجة أكبر من القوة الأصلية بـِ 16 مرة.

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

قوى الجاذبية قوى جذب فقط. أما القوى الكهربائية فهي إما قوى جذب أو قوى تنافر، ويكون شعورنا فقط بالمجموع الإتجاهي لها، والذي يكون عادة صغيرًا. أما شعورنا بكبر قوة الجاذبية الأرضية فيعود إلى كبر كتلة الأرض.

إتقان حل المسأل

2–1 القوة الكهربائية

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

a. مضاعفة الشحنة q_A مرتين.

$2q_A$، **تصبح القوة الجديدة** $2F$

b. تقليل الشحنتان q_A و q_B إلى النصف.

$\frac{1}{2}q_A$ **و** $\frac{1}{2}q_B$، **تصبح القوة الجديدة** $\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)F = \frac{1}{4}F$

c. مضاعفة r ثلاث مرات

$3r$ **فتصبح القوة الجديدة** $= \frac{F}{(3)^2} = \frac{1}{9}F$

d. تقليل r إلى النصف

$\frac{1}{2}r$ **فتصبح القوة الجديدة** $= \frac{F}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = 4F$

e. مضاعفة q_A ثلاث مرات وr مرتين

$3q_A$ **و** $2r$ **فتصبح القوة الجديدة** $= \frac{(3)F}{(2)^2} = \frac{3}{4}F$

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

$$(-25\ \text{C})\left(\frac{1\ \text{إلكترون}}{-1.60\times10^{-19}\ \text{C}}\right) = 1.6\times10^{20}\ \text{إلكترون}$$

43. **الذرات** إذا كانت المسافة بين إلكترونين في ذرة $1.5\times10^{-10}\ \text{m}$ ، فما مقدار القوة الكهربائية بينهما؟

$$F=\frac{Kq_Aq_B}{r^2}=\frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(1.60\times10^{-19}\ \text{C})(1.60\times10^{-19}\ \text{C})}{(1.5\times10^{-10}\ \text{m})^2}$$

$$=1.0\times10^{-8}\ \text{N}\text{ تنافر،}$$

44. شحنتان كهربائيتان مقدار كل منهما $2.5\times10^{-5}\ \text{C}$، والمسافة بينهما $15\ \text{cm}$. أوجد القوة التي تؤثر في كل منهما؟

$$F=\frac{Kq_Aq_B}{r^2}=\frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(2.5\times10^{-5}\ \text{C})(2.5\times10^{-5}\ \text{C})}{(1.5\times10^{-1}\ \text{m})^2}$$

$$=2.5\times10^{2}\ \text{N}\text{، ويتجه كل من القوتين نحو الشحنة الأخرى}$$

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

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

$$r=\sqrt{\frac{Kq_Aq_B}{F}}=\sqrt{\frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(8.0\times10^{-5}\ \text{C})(3.0\times10^{-5}\ \text{C})}{2.4\times10^{2}\ \text{N}}}$$

$$=0.30\ \text{m}$$

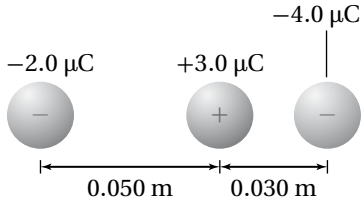
46. إذا أثرت شحنتان موجبتان متماثلتان كل منهما في الأخرى بقوة تنافر مقدارها $6.4\times10^{-9}\ \text{N}$، عندما كانت إحداهما تبعد عن الأخرى مسافة $3.8\times10^{-10}\ \text{m}$، فاحسب مقدار شحنة كل منهما.

$$F=\frac{Kq_Aq_B}{r^2}=\frac{Kq^2}{r^2}$$

$$q=\sqrt{\frac{Fr^2}{K}}=\sqrt{\frac{(6.4\times10^{-9}\ \text{N})(3.8\times10^{-10}\ \text{m})^2}{9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2}}$$

$$=3.2\times10^{-19}\ \text{C}$$

47. تُسحب شحنة موجبة مقدارها $+3.0\ \mu C$ بشحنتين سالبتين، كما هو موضح في **الشكل 14–1**. فإذا كانت إحدى الشحنتين السالبتين $-2.0\mu C$ تبعد مسافة $0.05\ m$ إلى الغرب، وتبعد الشحنة الأخرى $-4.0\ \mu C$ مسافة $0.030\ m$ إلى الشرق فما مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة الموجبة؟



■ الشكل 14–1

$$F_1 = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(3.0\times10^{-6}\ \text{C})(2.0\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.050\ \text{m})^2}$$

$= 22\ \text{N}$، نحو الغرب (اليسار)

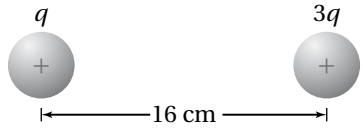
$$F_2 = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(3.0\times10^{-6}\ \text{C})(4.0\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.030\ \text{m})^2}$$

$= 120\ \text{N}$، نحو الشرق (اليمين)

$$F_{\text{المحصلة}} = F_2 - F_1 = (120\ \text{N}) - (22\ \text{N})$$

$= 98\ \text{N}$، نحو الشرق

48. يوضح **الشكل 15–1** كرتين مشحونتين بشحنتين موجبتين، شحنة إحداهما تساوي ثلاث أضعاف شحنة الأخرى، والمسافة بين مركزيهما $16\ cm$. إذا كانت القوة المتبادلة بينهما $0.28\ N$ فما مقدار الشحنة على كل منهما؟



■ الشكل 15–1

$$F = \frac{Kq_Aq_B}{r^2} = \frac{Kq_A3q_A}{r^2}$$

$$q_A = \sqrt{\frac{Fr^2}{3K}} = \sqrt{\frac{(0.28\ \text{N})(0.16\ \text{m})^2}{3(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)}} = 5.2\times10^{-7}\ \text{C}$$

$$q_B = 3q_A = 1.5\times10^{-6}\ \text{C}$$

49. **الشـحنة على عملة نقدية** ما مقدار الشـحنة المقيسـة بالكولوم للإلكترونات الموجودة في قطعة نقدية مصنوعة من النيكل؟ استخدم الطريقة التالية لتجد الإجابة:

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

$$\frac{(5\ \mathbf{g})}{(62\ \mathbf{g})} = 0.08\ \textbf{قطع العملة تكافئ ، مول}$$

لذا؛ يكون عدد الذرات في قطعة العملة النقدية يساوي : $(0.08)(6.02\times10^{23}) = 5\times10^{22}$ **ذرة**

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

$(5\times10^{22}\ \text{ذرة})(28.75\ \text{إلكترون / ذرة}) = 1\times10^{24}\ \text{إلكترون}$

c. أوجد شحنة الإلكترونات بالكولوم.

$(1\times10^{24}\ \text{إلكترون})(1.6\times10^{-19}\ \text{كولوم / إلكترون}) = 2\times10^{6}\ \mathrm{C}$

مراجعة عامة

50. إذا لامَسَت كرة فلزية صغيرة شحنتها $1.2\times10^{-5}\ \mathrm{C}$ كرة مماثلة متعادلة، ثم وُضعت على بُعد 0.15 m منها فما القوة الكهربائية بين الكرتين؟

تصبح شحنة كل من الكرتين متساوية بعد الملامسة وتساوي $6.0\times10^{-6}\ \mathrm{C}$.

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2} = (9.0\times10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2})\frac{(6.0\times10^{-6}\ \mathrm{C})(6.0\times10^{-6}\ \mathrm{C})}{(0.15\ \mathrm{m})^2}$$

$$= 14\ \mathrm{N}$$

51. **الذرات** ما القوة الكهربائية بين إلكترون وبروتون يبعد أحدهما عن الآخر $5.3\times10^{-11}\ \mathrm{m}$؟ هذه المسافة تساوي نصف القطر التقريبي لذرة الهيدروجين.

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

$$= (9.0\times10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2})\frac{(1.60\times10^{-19}\ \mathrm{C})(1.60\times10^{-19}\ \mathrm{C})}{(5.3\times10^{-11}\ \mathrm{m})^2}$$

$$= 8.2\times10^{-8}\ \mathrm{N}$$

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

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

$$q_B = \frac{Fr^2}{Kq_A} = \frac{(0.36\ \mathrm{N})(5.5\times10^{-2}\ \mathrm{m})^2}{(9.0\times10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2})(2.4\times10^{-6}\ \mathrm{C})} = 5.0\times10^{-8}\ \mathrm{C}$$

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

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

لكن، $q_A = q_B$

$$q = \sqrt{\frac{Fr^2}{K}} = \sqrt{\frac{(0.28\ \text{N})(1.2\times 10^{-2}\ \text{m})^2}{(9.0\times10^9\ \text{N•m}^2/\text{C}^2)}}$$

$$= 6.7\times10^{-7}\ \text{C}$$

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

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

$$q_B = \frac{Fr^2}{Kq_A} = \sqrt{\frac{(2.7\times10^{-2}\ \text{N})(1.4\times10^{-2}\ \text{m})2}{(9.0\times10^9\ \text{N•m}^2/\text{C}^2)(3.6\times10^{-8}\ \text{C})}}$$

$$= 1.6\times10^{-8}\ \text{C}$$

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

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

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

$$= \sqrt{(9.0\times10^9\ \text{N•m}^2/\text{C}^2)\ \frac{(1.60\times10^{-19}\ \text{C})(1.6\times10^{-19}\ \text{C})}{3.5\times10^{-10}\ \text{N}}} = 8.1\times10^{-10}\ \text{m}$$

التفكير الناقد

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

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{K\frac{q_e q_p}{r^2}}{G\frac{m_e m_p}{r^2}} = \frac{Kq_e q_p}{Gm_e m_p}$$

$$= \frac{(9.0\times10^9\ \text{N•m}^2/\ \text{C}^2)(1.60\times10^{-19}\ \text{C})^2}{(6.67\times10^{-11}\ \text{N•m}^2/\text{kg}^2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(1.67\times10^{-27}\ \text{kg})}$$

$$= 2.3\times10^{39}$$

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

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

$$F_{AC} = K\frac{q_A q_C}{r_{AC}^2} = K\frac{q_B q_C}{r_{BC}^2} = F_{BC}$$

$$\frac{q_A}{r_{AC}^2} = \frac{q_B}{r_{BC}^2},\ 16r_{AC}^2 = 64r_{BC}^2 \qquad \text{أو} \qquad r_{AC}^2 = 4r_{BC}^2,\ r_{AC} = 2r_{BC}$$

لذا يجب وضع الكرة الثالثة C عند النقطة 2.00 m + على محور x ،فتكون بعيدة عن الكرة الأولى مثليّ بعدها عن الكرة الثانية.

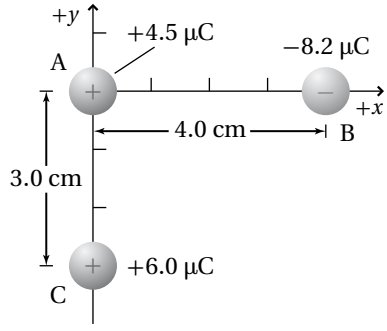
b. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة C تساوي 6+ μC فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

الشحنة الثالثة q_c تُختصر من المعادلة، لذا فإن مقدارها ونوعها لا يؤثر.

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

كما في الفرع b ، يكون مقدار شحنة الكرة الثالثة q_c ونوعها لا يؤثر.

58. وضعت ثلاث كرات مشحونة، كما هو موضح في **الشكل 16–1**. أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.



■ **الشكل 16–1**

$$F_1 = F_{\text{B على A}}$$

$$= \frac{Kq_Aq_B}{r^2} = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(4.5\times10^{-6}\ \text{C})(-8.2\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.040\ \text{m})^2}$$

$$= -208\ \text{N} = 208\ \text{N}, \text{نحو اليسار}$$

المسافة بين الشحنتين الأخرتين هي:

$$\sqrt{(0.040\text{m})^2 + (0.030\ \text{m})^2} = 0.050\ \text{m}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{0.030\ \text{m}}{0.040\ \text{m}}\right) = 37^\circ$$

أي تميل القوة $F_{\text{B على C}}$ على محور x الموجب 217° أو تميل إلى أسفل محور x السالب 37° .

$$F_2 = F_{\text{B على C}}$$

$$= K\frac{q_Cq_B}{r^2} = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2\ \text{C})(-8.2\times10^{-6}\ \text{C})(6.0\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.050\ \text{m})^2}$$

$$= -177\ \text{N} = 177\ \text{N}, 217^\circ$$

أي تميل بزاوية مع محور x الموجب تساوي $(37^\circ + 180^\circ)$

مركبات القوة F_2 هي:

$$F_{2x} = F_2\cos\theta = (177\ \text{N})(\cos 217^\circ) = -142\ \text{N} = 142\ \text{N}, \text{ويتجه نحو اليسار}$$

$$F_{2y} = F_2\sin\theta = (177\ \text{N})(\sin 217^\circ) = -106\ \text{N} = 106\ \text{N}, \text{ويتجه نحو الأسفل}$$

مركبات القوة المحصلة هي:

$F_{\text{المحصلة } x} = -208\ \text{N} - 142\ \text{N} = -350\ \text{N} = 350\ \text{N}$، **نحو اليسار**

$F_{\text{المحصلة } y} = 106$، **وتتجه نحو الأسفل**

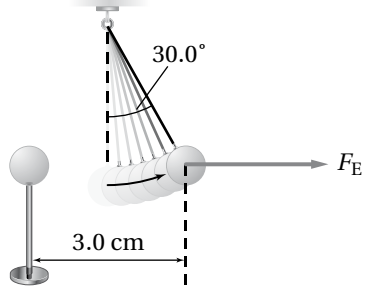
$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{(350\ \text{N})^2 + (106\ \text{N})^2} = 366\ \text{N} \simeq 3.7\times10^2\ \text{N}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{106\ \text{N}}{350\ \text{N}}\right) = 17°$$

أي تميل بزاوية $17°$ **أسفل محور** x **السالب**

$F_{\text{المحصلة}} = 3.7\times10^2\ \text{N}$ **أي تميل بزاوية** $197°$ **مع محور** x **الموجب،**

59. يوضح **الشكل 17–1** كرتي بيلسان، كتلة كل منهما 1.0 g، وشحنتاهما متساويتان، إحداهما معلّقة بخيط عازل، والأخرى قريبة منها ومثبتة على حامل عازل، والبعد بين مركزيهما 3.0 cm. فإذا اتزنت الكرة المعلّقة عندما شكّل الخيط العازل الذي يحملها زاوية مقدارها $30.0°$ مع الرأسي فاحسب كلًّا مما يأتي:



■ **الشكل 17–1**

a. F_g المؤثرة في الكرة المعلّقة.

$$F_g = mg = (1.0\times10^{-3}\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2) = 9.8\times10^{-3}\ \text{N}$$

b. F_E المؤثرة في الكرة المعلّقة.

$$\tan 30.0° = \frac{F_E}{F_g}$$

$$F_E = mg \tan 30.0°$$

$$= (1.0\times10^{-3}\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(\tan 30.0°)$$

$$= 5.7\times10^{-3}\ \text{N}$$

c. الشحنة عى كل من الكرتين

$$F = \frac{Kq_Aq_B}{r^2} = \frac{Kq^2}{r^2}$$

$$q = \sqrt{\frac{Fr}{K}} = \sqrt{\frac{(5.7\times10^{-3}\ \text{N})(3.0\times10^{-2}\ \text{m}^2)}{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)}} = 2.4\times10^{-8}\ \text{C}$$

60. وضعت شحنتان نقطيتان ساكنتان q_A و q_B بالقرب من شحنة اختبار موجبة، q_T، مقدارها $+7.2\ \mu C$. فإذا كانت الشحنة الأولى q_A موجبة وتساوي $3.6\ \mu C$ وتقع على بُعد $2.5\ cm$ من شحنة الاختبار q_T عند زاوية $35°$، وكانت الشحنة q_B سالبة ومقدارها $-6.6\ \mu C$ وتقع على بُعد $6.8\ cm$ من شحنة الاختبار عند زاوية $125°$:

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

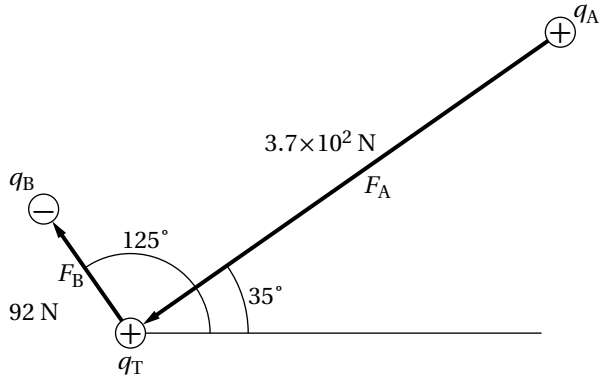
$$F_A = K\frac{q_T q_A}{r^2} = \frac{(9.0\times10^9\ N\cdot m^2/C^2)(7.2\times10^{-6}\ C)(3.6\times10^{-6}\ C)}{(0.025\ m)^2}$$

$$= 3.7\times10^2\ N,\ (\text{وتتجه نحو الشحنة } q_T)$$

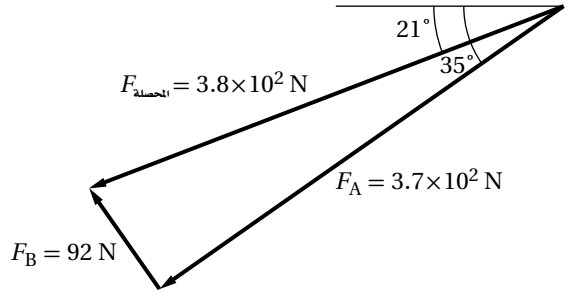
$$F_B = \frac{Kq_T q_B}{r^2} = \frac{(9.0\times10^9\ N\cdot m^2/C^2)(7.2\times10^{-6}\ C)(6.6\times10^{-6}\ C)}{(0.068\ m)^2}$$

$$= 92\ N,\ (\text{وتتجه بعيدًا عن الشحنة } q_T)$$

b. ارسم مخطّط القوة.



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



الكتابة في الفيزياء

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

ستختلف الإجابات، ولكن يجب أن تتضمن المعلومات التالية: اخترعت قارورة ليدن في منتصف أربعينيات القرن الثامن عشر، وكانت أول مكثف يتم استخدامه. وقد استخدمت خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر لتخزين الشحنات الكهربائية المتعلقة بالتجارب والعروض. أما آلة ويمشورت فقد استخدمت في القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين لتوليد وتفريغ الشحنات الكهربائية الساكنة. واستُبدل بها مولد فان دي جراف في القرن العشرين.

62. هناك قوى بين جزيئات الماء تؤدي إلى أن يكون الماء أكبر كثافة عندما يكون سائلًا بين 0 °C و4 °C مقارنة بحالته عندما يكون صلبًا عند 0 °C. هذه القوى في طبيعتها ما هي إلا قوى كهروسكونية. ابحث في القوى الكهروسكونية بين الجزيئات، ومنها قوى فان درفال وقوى الاستقطاب، وصِف أثرها في المادة.

ستختلف الإجابات، ولكن يجب أن يصف الطلاب التفاعل بين الشحنات الموجبة والسالبة على المستوى الجزيئي. وعليهم أن يلاحظوا أن شدة هذه القوى هي المسؤولة عن الاختلافات في درجتي الانصهار والغليان، وعن خصوصية تمدّد الماء بين 0 °C و4 °C.

مراجعة تراكمية

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

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

أي أن:

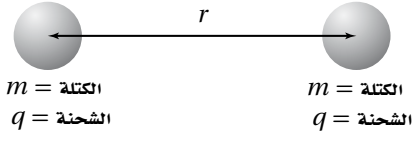
$$r = \sqrt{\frac{Kq_A q_B}{F}}$$

$$= \sqrt{\frac{(9.0\times10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)(2.0\times10^{-5}\ \text{C})(8.0\times10^{-6}\ \text{C})}{9.0\ \text{N}}}$$

$$= 0.40\ \text{m}$$

مسألة التحفيز

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



1. اشتق تعبيرًا للشحنة q التي يجب أن تكون على كلتا الكرتين لكي تكونا في حالة اتزان. هذا يعني أن هناك اتزانًا بين قوتي التجاذب والتنافر.

قوة التجاذب بين الكرتين هي قوة الجاذبية ، في حين قوة التنافر هي قوة كهربائية ، لذا فيعبر عنهما بالتساوي:

$$F_g = G\frac{m_A m_B}{r^2} = K\frac{q_A q_B}{r^2} = F_e$$

شحنة كل من الكرتين وكتلتهما متساوية، وتُختصر المسافة من التعبير الرياضي لذا:

$$Gm^2 = kq^2, \text{ and}$$

$$q = m\sqrt{\frac{G}{K}}$$

$$= m\sqrt{\frac{(6.67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2)}{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)}}$$

$$= (8.61\times10^{-11}\ \text{C/kg})\text{m}$$

2. إذا تضاعفت المسافة بين الكرتين فكيف يؤثر هذا في قيمة الشحنة q التي حدّدتها في المسألة السابقة؟ وضّح ذلك.

المسافة بين الكرتين لا تؤثر على مقدار الشحنة q على كل من الكرتين لأن؛ كل من القوتين يتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بين الكرتين، والمسافة تُختصر من التعبير الرياضي.

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.

$$q = (8.61 \times 10^{-11}\ \text{C/kg})(1.50\ \text{kg})$$

$$= 1.29 \times 10^{-10}\ \text{C}$$

مسائل تدريبية

2–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها

1. يؤثر مجال كهربائي بقوة مقدارها $2.0\times10^{-4}\ \text{N}$ في شحنة اختبار موجبة مقدارها $5.0\times10^{-6}\ \text{C}$. ما مقدار المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟

$$E=\frac{F}{q}=\frac{2.0\times10^{-4}\ \text{N}}{5.0\times10^{-6}\ \text{C}}=4.0\times10^{1}\ \text{N/C}$$

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

$$E=\frac{F}{q}=\frac{0.060\ \text{N}}{2.0\times10^{-8}\ \text{C}}=3.0\times10^{6}\ \text{N/C}$$

باتجاه اليسار

3. وُضِعت شحنة موجبة مقدارها $3.0\times10^{-7}\ \text{C}$ في مجال كهربائي شدته $27\ \text{N/C}$ يتجه إلى الجنوب. ما مقدار القوة المؤثرة في الشحنة؟

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

$$F=Eq=(27\ \text{N/C})(3.0\times10^{-7}\ \text{C})$$

$$=8.1\times10^{-6}\ \text{N}$$

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

بما أن الكرة معلقة في المجال أي لا تتحرك؛ فإن المجموع الجبري للقوة الكهربائية وقوة الجاذبية الأرضية يساوي صفرًا.

$$F_g+F_e=0,$$

أي $F_e=-F_g$

$$E=\frac{F_e}{q}$$

$$q=\frac{F_e}{E}=-\frac{F_g}{E}=-\frac{2.1\times10^{-3}\ \text{N}}{6.5\times10^{4}\ \text{N/C}}$$

$$=-3.2\times10^{-8}\ \text{C}$$

وبما أن القوة الكهربائية إلى أعلى (عكس المجال الكهربائي) لذا؛ فالشحنة سالبة.

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

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

لا، ستكون القوة المؤثرة في الشحنة $2.0\times10^{-6}\ \text{C}$ ضعفي القوة المؤثرة في الشحنة $1.0\times10^{-6}\ \text{C}$.

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

نعم، لأنه سيقسم القوة على مقدار شحنة الاختبار، والنتيجة ستكون نفسها.

6. ما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.2 m عن شحنة نقطية مقدارها $4.2\times10^{-6}\ \text{C}$؟

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

$$=(9\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)\frac{(4.2\times10^{-6}\ \text{C})}{(1.2\ \text{m})^2}$$

$$=2.6\times10^{4}\ \text{N/C}$$

7. ما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تقع على بُعد يساوي ضعف البعد عن الشحنة النقطية الواردة في المسألة السابقة؟

لأن شدة المجال الكهربائي تتناسب عكسيًا مع مربع البعد عن الشحنة النقطية، فإن شدة المجال الجديدة تساوي $\frac{1}{4}$ شدة المجال الأصلي أي $6.5\times10^{3}\ \text{N/C}$.

8. ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.6 m إلى الشرق من شحنة نقطية مقدارها $+7.2\times10^{-6}\ \text{C}$ ؟

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

$$=(9.0\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)\frac{(7.2\times10^{-6}\ \text{C})}{(1.6\ \text{m})^2}$$

$$=2.5\times10^{4}\ \text{N/C}$$

ويكون اتجاه المجال الكهربائي نحو الشرق أي بعيدًا عن الشحنة النقطية الموجبة.

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؟

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

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

$$=\frac{(450\ \text{N/C})(0.25\ \text{m})^2}{(9.0\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)}=3.1\times10^{-9}\ \text{C}$$

الشحنة سالبة ؛ لأن المجال يتجه نحوها.

10. على أي بُعد من شحنة نقطية مقدارها $+2.4\times10^{-6}\ \text{C}$ يجب وضع شحنة اختبار للحصول على مجال كهربائي شدته 360 N/C؟

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

$$r=\sqrt{\frac{Kq}{E}}$$

$$=\frac{(9.0\times10\,9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(2.4\times10^{-6}\ \text{C})}{360\ \text{N/C}}$$

$$=7.7\ \text{m}$$

مراجعة القسم

1–2 توليد المجالات الكهربائية وقياسها

11. **قياس المجالات الكهربائية** افترض أنه طلب إليك قياس المجال الكهربائي في مكان أو فضاء معين، فكيف تستكشف وجود المجال عند نقطة معينة في ذلك الفضاء؟ وكيف تحدّد مقدار المجال؟ وكيف تختار مقدار شحنة الاختبار؟ وكيف تُحدِّد اتجاه المجال؟

يمكنك استكشاف المجال بوضع شحنة اختبار عند تلك النقطة، ثم تحدد ما إذا كانت هناك قوة تؤثر فيها. ولحساب مقدار المجال قسّم مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار على مقدار شحنة الاختبار. أما عن اختيار مقدار شحنة الاختبار فعليك مراعاة أن يكون مقدارها صغير جدًا مقارنة بمقادير الشحنات التي تولد المجال. بعد ذلك حدّد اتجاه القوة المؤثرة في شحنة الاختبار وذلك لتحديد اتجاه المجال.

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

$$E=\frac{F}{q}=\frac{1.50\times10^{-3}\ \text{N}}{2.40\times10^{-8}\ \text{C}}$$

$$=6.25\times10^{4}\ \text{N/C}\ \text{في اتجاه الشرق}$$

13. خطوط المجال الكهربائي في الشكل 4–2، هل يمكنك تحديد أيّ الشحنتين موجبة، وأيّهما سالبة؟ ماذا تضيف لإكمال خطوط المجال؟

لا. يجب أن يكون لخطوط المجال رؤوس أسهم تشير إلى اتجاهها، حيث تكون خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى الشحنة السالبة.

14. المجال مقابل القوة كيف يختلف تأثير المجال الكهربائي E في شحنة اختبار عن تأثير القوة F في شحنة الاختبار نفسها؟

يعد المجال خاصية لتلك المنطقة من الفضاء، ولا يعتمد على شحنة الاختبار المستخدمة في قياسه. بينما تعتمد القوة الكهربائية على مقدار شحنة الاختبار ونوعها.

15. التفكير الناقد افترض أن الشحنة العلوية في **الشكل 2c–2** هي شحنة اختبار موضوعة في ذلك المكان؛ لقياس محصلة المجال الناشئ عن الشحنتين السالبتين. هل الشحنة صغيرة بدرجة كافية للقيام بعملية القياس بدقة؟ وضّح إجابتك.

لا. هذه الشحنة كبيرة بمقدار كاف لتوليد مجال كهربائي قادر على تشويه المجال الناتج عن الشحنتين الأخريين.

مسائل تدريبية

2–2 تطبيقات المجالات الكهربائية

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

$$\Delta V=Ed=(6000\ \text{N/C})(0.05\ \text{m})$$

$$=300\ \text{J/C}=3\times10^{2}\ \text{V}$$

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

$$\Delta V=Ed$$

$$E=\frac{\Delta V}{d}=\frac{400\ \text{V}}{0.020\ \text{m}}=2\times10^{4}\ \text{N/C}$$

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

$$\Delta V=Ed$$

$$d=\frac{\Delta V}{E}=\frac{125\ \text{V}}{4.25\times10^{3}\ \text{N/C}}=2.94\times10^{-2}\ \text{m}$$

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

$$W=q\Delta V=(3.0\ \text{C})(1.5\ \text{V})=4.5\ \text{J}$$

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

$$W=q\Delta V=(1.44\times10^{6}\ \text{C})(12\ \text{V})$$

$$=1.7\times10^{7}\ \text{J}$$

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

$$W=q\Delta V=(1.60\times10^{-19}\ \text{C})(1.8\times10^{4}\ \text{V})$$

$$=2.9\times10^{-15}\ \text{J}$$

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

$$W=q\Delta V=qEd$$

$$=(1.60\times10^{-19}\ \text{C})(4.5\times10^{5}\ \text{N/C})(0.25\ \text{m})$$

$$=1.8\times10^{-14}\ \text{J}$$

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

قوة الجاذبية الأرضية (الوزن) في اتجاه الأسفل، وقوة الاحتكاك مع الهواء في اتجاه الأعلى. وإذا سقطت القطرة بسرعة متجهة ثابتة تكون القوتان متساويتان في المقدار.

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

$$F_g = Eq$$

$$q = \frac{F_g}{E} = \frac{1.9\times10^{-15}\ \text{N}}{6.0\times10^{3}\ \text{N/C}}$$

$$= 3.2\times10^{-19}\ \text{C}$$

$$\text{عدد الإلكترونات} = \frac{q}{q_e} = \frac{3.2\times10^{-19}\ \text{C}}{1.60\times10^{-19}\ \text{C}} = 2\ \bar{e}$$

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

$$E = \frac{F}{q} = \frac{6.4\times10^{-15}\ \text{m}}{1.60\times10^{-19}\ \text{C}} = 4.0\times10^{4}\ \text{N/C}$$

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

$$E = \frac{\Delta V}{r} = \frac{240\ \text{V}}{6.4\times10^{-3}\ \text{m}} = 3.8\times10^{4}\ \text{N/C}$$

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

$$q = \frac{F}{E} = \frac{1.2\times10^{-14}\ \text{N}}{3.8\times10^{4}\ \text{N/C}}$$

$$= 3.2\times10^{-19}\ \text{C}$$

$$\text{عدد الإلكترونات} = \frac{q}{q_e} = \frac{3.2\times10^{-19}\ \text{C}}{1.60\times10^{-19}\ \text{C}} = 2\ \bar{e}$$

27. مكثف كهربائي سعته $27\ \mu F$ وفرق الجهد الكهربائي بين لوحيه $45\ \text{V}$. ما مقدار شحنة المكثف؟

$$q = C\Delta V = (27\times10^{-6}\ F)(45\ \text{V})$$

$$= 1.2\times10^{-3}\ \text{C}$$

28. مكثفان، سعة الأول $3.3\ \mu F$، وسعة الآخر $6.8\ \mu F$، إذا وصل كل منهما بفرق جهد $24\ \text{V}$ فأي المكثفين له شحنة أكبر؟ وما مقدارها؟

$$q = C\Delta V$$

المكثف الذي سعته أكبر تكون شحنته أكبر.

$$q = (6.8\times10^{-6}\ F)(24\ \text{V}) = 1.6\times10^{-4}\ \text{C}$$

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

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

المكثف الذي سعته أصغر، يكون له جهد أكبر.

$$\Delta V = \frac{3.5\times10^{-4}\ \text{C}}{3.3\times10^{-6}\ F} = 1.1\times10^{2}\ \text{V}$$

30. شحن مكثف كهربائي سعته $2.2\ \mu F$ حتى أصبح فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه $6.0\ \text{V}$، ما مقدار الشحنة الإضافية التي يتطلبها رفع فرق الجهد بين طرفيه إلى $15.0\ \text{V}$؟

$$q = C\Delta V$$

$$\Delta q = C(\Delta V_2 - \Delta V_1)$$

$$= (2.2\times10^{-6}\ F)(15.0\ \text{V} - 6.0\ \text{V})$$

$$= 2.0\times10^{-5}\ \text{C}$$

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

$$C = \frac{q}{\Delta V_2 - \Delta V_1} = \frac{2.5\times10^{-5}\ \text{C}}{14.5\ \text{V} - 12.0\ \text{V}}$$

$$= 1.0\times10^{-5}\ F$$

مراجعة القسم

2–2 تطبيقات المجالات الكهربائية

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

تتغير طاقة الوضع الكهربائية عندما يُبذل شغل لنقل شحنة في مجال كهربائي، كما أنها تعتمد على كمية الشحنة المنقولة. أما فرق الجهد الكهربائي فهو الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات في مجال كهربائي، وهو لا يعتمد على كمية الشحنة المنقولة.

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

$$\mathbf{V/m = J/C \cdot m = N \cdot m/C \cdot m = N/C}$$

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

يجب زيادة فرق الجهد.

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

يدل على أن القطرة متعادلة كهربائيًا.

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

$$q = C\Delta V = (4.7\times10^{-7}\ F)(12\ \mathrm{V})$$

$$= 5.6\times10^{-6}\ \mathrm{C}$$

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.

سيكون جهدا الكرتين متساويًا.

b. شحنة كل من الكرتين.

ستكون شحنة الكرة الكبيرة أكبر من شحنة الكرة الصغيرة، ولكن سيكون لهما النوع نفسه.

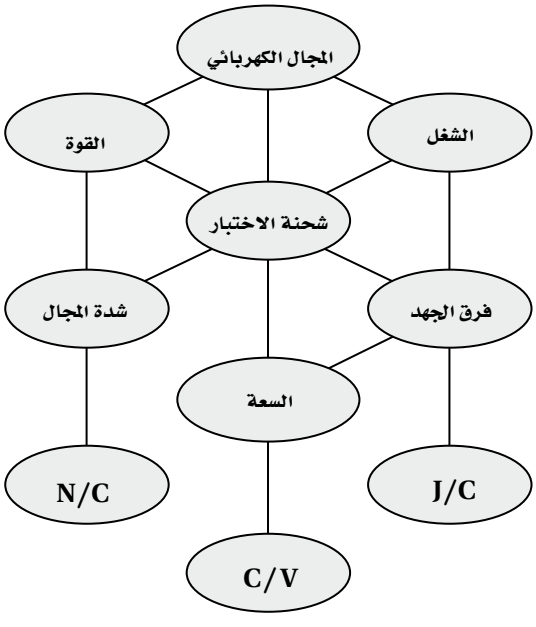
38. **التفكير الناقد** بالرجوع إلى **الشكل 3a–2**، وضح كيف تستمر الشحنات في التراكم على القُبّة الفلزية لمولّد فان دي جراف، ولماذا لا تتنافر الشحنات لتعود إلى الحزام عند النقطة B؟

لا تولّد الشحنات الموجودة على القبة الفلزية مجالًا كهربائيًا داخلها، بل تنتقل الشحنات فورًا من الحزام إلى السطح الخارجي للقبة، حيث لا يكون لها تأثير في الشحنات الجديدة التي تصل إلى النقطة B.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

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



إتقان المفاهيم

40. ما الخاصيتان اللتان يجب أن تكونا لشحنة الاختبار؟

يجب أن يكون مقدار شحنة الاختبار صغيرًا جدًا مقارنة مع مقادير الشحنات التي تولّد المجال الكهربائي، كما يجب أن تكون موجبة.

41. كيف يحدّد اتجاه المجال الكهربائي؟

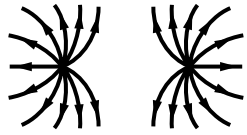
اتجاه المجال هو اتجاه القوة المؤثرة في شحنة موجبة موضوعة في المجال. وبهذا تكون خطوط المجال الكهربائي خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة في الشحنة السالبة.

42. ما المقصود بخطوط المجال الكهربائي؟

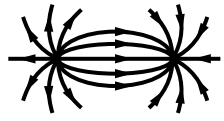
خطوط القوى الكهربائية

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

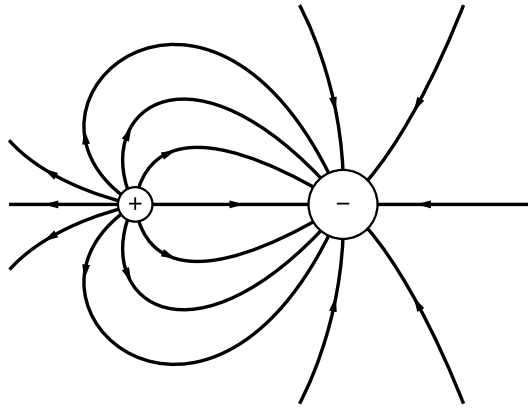
a. شحنتين متساويتين في المقدار ومتماثلتين في النوع.



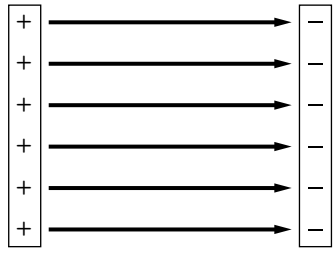
b. شحنتين مختلفتين في النوع ولهما المقدار نفسه.



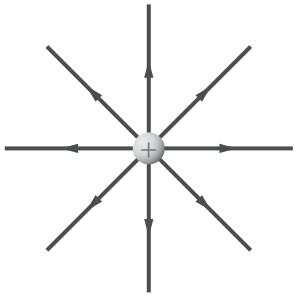
c. شحنة موجبة وأخرى سالبة مقدارها يساوي ضعف مقدار الشحنة الموجبة.



d. لوحين متوازين مختلفين في الشحنة.



44. في **الشكل 15–2**، أين تنتهي خطوط المجال الكهربائي الخارجة من الشحنة الموجبة؟



■ **الشكل 15–2**

تنتهي عند شحنات سالبة بعيدة موجودة في مكان ما خارج حواف الرسم التخطيطي.

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

كلما تقاربت خطوط المجال بعضها من بعض زادت قوة المجال الكهربائي.

46. ما وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائية؟ وما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي، حسب النظام الدولي للوحدات SI؟

وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائية هي الجول، ووحدة قياس فرق الجهد الكهربائي هو الفولت.

47. عرّف الفولت بدلالة التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة تتحرك في مجال كهربائي.

الفولت هو التغير في طاقة الوضع الكهربائية ΔPE الناتج عن انتقال وحدة شحنة اختبار q مسافة r مقدارها 1 m في مجال كهربائي E مقداره 1 N/C.

$$\Delta V = \frac{\Delta PE}{q} = Er$$

48. لماذا يفقد الجسم المشحون شحنته عند وصله بالأرض؟

لأن الجسم المشحون يشارك شحنته مع سطح الأرض التي تعدّ جسمًا ضخمًا جدًا.

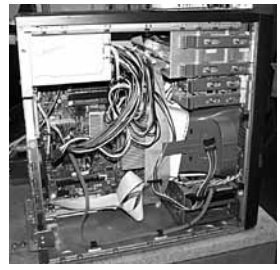
49. وضع قضيب مطاطي مشحون على طاولة فحافظ على شحنته بعض الوقت. لماذا لا تُفرغ شحنة القضيب المشحون مباشرة؟

لأن الطاولة مادة عازلة ، أو على الأقل موصل رديء جدًا.

50. شُحن صندوق فلزي. قارن بين تركيز الشحنة على زوايا الصندوق وتركيزها على جوانب الصندوق.

يكون تركيز الشحنة عند الزوايا أكبر من تركيزها على جوانب الصندوق .

51. **أجهزة الحاسوب** لماذا توضع الأجزاء الدقيقة في الأجهزة الإلكترونية – كتلك الموضحة في **الشكل 16–2**– داخل صندوق فلزي موضوع داخل صندوق آخر بلاستيكي؟



■ **الشكل 16–2**

لأن الصندوق الفلزي يحمي هذه الأجزاء من المجالات الكهربائية الخارجية التي لا تنفذ إلى داخل الموصل الأجوف.

تطبيق المفاهيم

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

لا يحدث شيء؛ لأن القوة المؤثرة في شحنة الاختبار ستقل إلى النصف، أي أن النسبة $\frac{F'}{q'}$ والمجال الكهربائي تبقى هي نفسها.

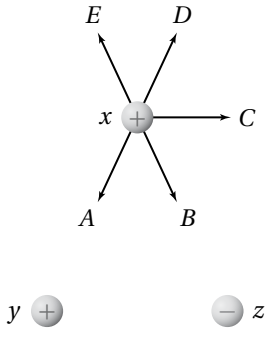
53. هل يلزم طاقة أكبر أم طاقة أقل لتحريك شحنة موجبة ثابتة خلال مجال كهربائي متزايد؟

تتناسب الطاقة طرديًا مع القوة، وتتناسب القوة طرديًا مع المجال الكهربائي، لذا يلزم طاقة أكبر.

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

ستتحول طاقة الوضع الكهربائية للجسيم إلى طاقة حركية له.

55. يبيّن **الشكل 17–2** ثلاث كرات مشحونة بالمقدار نفسه. أما أنواعها فموضّحة على الشكل. الكرتان y و z ثابتتان في مكانيهما، أما الكرة x فهي حرة الحركة. والمسافة بين الكرة x وكل من الكرتين y و z في البداية متساوية. حدّد المسار الذي ستبدأ الكرة x في سلوكه. افترض أنه لا يوجد أي قوى أخرى تؤثر في الكرات.



■ **الشكل 17–2**

ستسلك الكرة x المسار C؛ لأنها ستتأثر بالقوتين الموضّحتين بالمتجهين BوD، ومحصلتهما هي المتجه C.

56. ما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي بدلالة m، وkg، وs، وC؟

$$V = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}} = \frac{\mathrm{N \cdot m}}{\mathrm{C}} = \left(\frac{\mathrm{kg \cdot m}}{\mathrm{s^2}}\right)\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{C}}\right)$$
$$= \mathrm{kg \cdot m^2/s^2 \cdot C}$$

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

تكون متوازية، وتفصلها مسافات متساوية

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

يتعين البحث عن القطرات التي تتحرك ببطء؛ فكلما كانت الشحنة أكبر كانت القوة المؤثرة فيها أكبر؛ لذا تكون سرعتها الحدية أكبر .

59. فـي تجربة قطرة الزيت لملّيـكان تم تثبيت قطرتي زيت في المجال الكهربائي.

a. هل يمكنك استنتاج أن شحنتيهما متماثلتان؟

لا. قد تكون كتلتاهما مختلفتين.

b. أي خصائص قطرتي الزيت نِسبُها متساوية؟

نسبة الشحنة إلى الكتلة $\frac{q}{m}$ أو نسبة الكتلة إلى الشحنة $\frac{m}{q}$.

60. يقف زيد وأخته ليلى على سطح مستوٍ معزول متلامسين بالأيدي عندما تم إكسابهما شحنة، كما هو موضّح في **الشكل 18–2**. إذا كانت المساحة السطحية لجسم زيد أكبر من ليلى فمن منهما يكون له كمية أكبر من الشحنات، أم سيكون لهما المقدار نفسه من الشحنات؟

■ الشكل 18–2

يمتلك زيد مساحة سطحية أكبر، لذا سيمتلك كمية أكبر من الشحنة.

61. إذا كان قطـرا كرتـي ألومنيـوم 1 cm و10 cm فأيّهما له سعة أكبر؟

للكرة التي قطرها 10 cm سعة كهربائية أكبر؛ لأن الشحنات يمكنها أن تبتعد بعضها عن بعض بصورة أكبر، وهذا يقلّل من ارتفاع جهدها عندما تُشحن.

62. كيـف يمكنـك تخزين كميـات مختلفة من الشـحنة في مكثف؟

بتغيير الجهد بين طرفي المكثف.

إتقان حل المسائل

2–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها

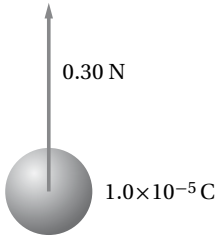
شحنة الإلكترون تساوي -1.60×10^{-19} C، استخدم هذه القيمة حيث يلزم.

63. ما مقدار شحنة اختبار إذا تعرضت لقوة مقدارها 1.4×10^{-8}N عند نقطة شدة المجال الكهربائي فيها 5.0×10^{-4} N/C ؟

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

$$q=\frac{F}{E}=\frac{1.4\times10^{-8}\ \text{N}}{5.0\times10^{-4}\ \text{N/C}}=2.8\times10^{-5}\ \text{C}$$

64. يوضّح **الشكل 19–2** شحنة موجبة مقدارها 1.0×10^{-5} C، تتعرض لقوة 0.30 N، عند وضعها عند نقطة معينة. ما شدة المجال الكهربائي عند تلك النقطة؟



■ الشكل 19–2

$$E=\frac{F}{q}=\frac{0.30\ \text{N}}{1.0\times10^{-5}\ \text{C}}=3.0\times10^{4}\ \text{N/C}$$

وفي اتجاه القوة الكهربائية نفسها (إلى أعلى)

65. إذا كان المجـال الكهربائي في الغلاف الجوي يسـاوي 150 N/C تقريبًا، ويتجه إلى أسفل، فأجب عما يلي:

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

اتجاه القوة المؤثرة في الجسيم يكون إلى أعلى.

b. أوجـد القوة الكهربائية التـي يؤثر بها هذا المجال في إلكترون.

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

$$F=qE=(1.6\times10^{-19}\ \text{C})(150\ \text{N/C})$$

$$=2.4\times10^{-17}\ \text{N}$$

في اتجاه الأعلى $F=2.4\times10^{-17}$ N

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

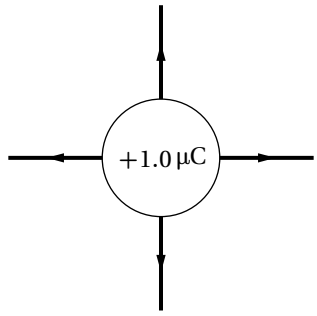
$$F = mg = (9.1\times10^{-31}\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 8.9\times10^{-30}\ \text{N}$$

$F = 8.9\times10^{-30}$ N (إلى أسفل)

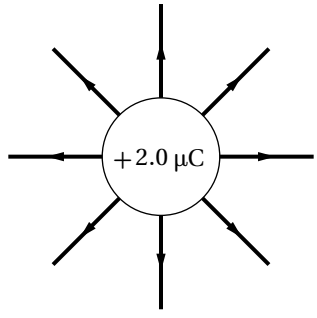
قوة الجاذبية أقل بأكثر من تريليون مرة من القوة الكهربائية.

66. ارسم بدقة الحالات التالية:

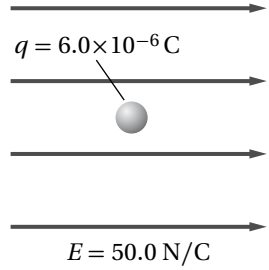
a. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة مقدارها $+1.0\ \mu C$.



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



67. وضعت شحنة اختبار موجبة مقدارها 6.0×10^{-6} C في مجال كهربائي شدته 50.0 N/C، كما هو موضّح في **الشكل 20–2**. ما مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار؟

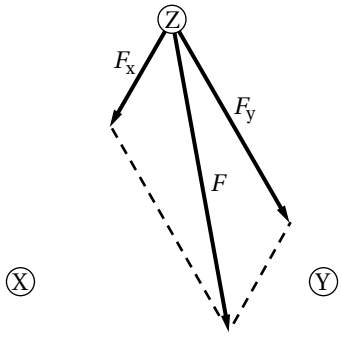


الشكل 20–2 ■

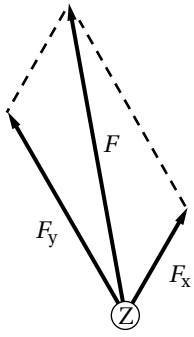
$$E = \frac{F}{q}$$
$$F = qE = (6.0\times10^{-6}\ \text{C})(50.0\ \text{N/C})$$
$$= 3.0\times10^{-4}\ \text{N}$$

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

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



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



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

a. القوة المؤثرة في الإلكترون.

$$E = \frac{F}{q}$$
$$F = Eq$$
$$= (-1.60\times10^{-19}\ \text{C})(1.00\times10^5\ \text{N/C})$$
$$= -1.60\times10^{-14}\ \text{N}$$

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

$$F = ma$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{-1.60\times10^{-14}\ \text{N}}{9.11\times10^{-31}\ \text{kg}}$$

$$= -1.76\times10^{16}\ \text{m/s}^2$$

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

$$E = \frac{F}{q'},\ F = \frac{Kqq'}{r^2}$$

أي:

$$E = \frac{Kq}{r^2}$$

$$= \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(8.0\times10^{-7}\ \text{C})}{(0.200\ \text{m})^2}$$

$$= 1.8\times10^5\ \text{N/C}$$

71. شحنة نواة ذرة رصاص تساوي شحنة 82 بروتونًا.

a. أوجد مقدار واتجاه المجال الكهربائي على بُعد $1.0\times10^{-10}\ \text{m}$ من النواة.

$$Q = (\text{82 بروتون})(1.60\times10^{-19}\ \text{C/ بروتون})$$

$$= 1.31\times10^{-17}\ \text{C}$$

$$E = \frac{F}{q} = \frac{1}{q}\left(\frac{KqQ}{r^2}\right) = \frac{KQ}{r^2}$$

$$= \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(1.31\times10^{-17}\ \text{C})}{(1.0\times10^{-10}\ \text{m}^2)}$$

$$= 1.2\times10^{13}\ \text{N/C}\ \text{في اتجاه بعيدًا عن النواة}$$

b. أوجد مقدار واتجاه القوة المؤثرة في إلكترون موضوع على البعد نفسه.

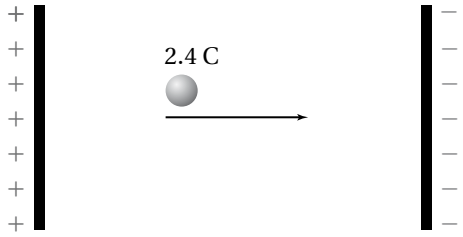
$$F = Eq$$

$$= (1.2\times10^{13}\ \text{N/C})(-1.60\times10^{-19}\ \text{C})$$

$$= -1.9\times10^{-6}\ \text{N},\ \text{في اتجاه النواة}$$

2–2 تطبيقات المجالات الكهربائية

72. إذا بُذل شغل مقداره 120 J لتحريك شحنة مقدارها 2.4 C من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، كما هو موضّح في **الشكل 21–2**، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؟



الشكل 21–2 ■

$$\Delta V = \frac{W}{q} = \frac{120\ \text{J}}{2.4\ \text{C}} = 5.0\times10^1\ \text{V}$$

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

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

$$W = q\Delta V = (0.15\ \text{C})(9.0\ \text{V})$$

$$= 1.4\ \text{J}$$

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

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

$$q = \frac{W}{\Delta V} = \frac{1200\ \text{J}}{12\ \text{V}} = 1.0\times10^2\ \text{C}$$

75. إذا كانت شدة المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين $1.5\times10^3\ \text{N/C}$، والبعد بينهما 0.060 m فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين بوحدة الفولت؟

$$\Delta V = Er$$

$$= (1.5\times10^3\ \text{N/C})(0.060\ \text{m})$$

$$= 9.0\times10^1\ \text{V}$$

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

$$\Delta V = Er$$

$$E = \frac{\Delta V}{r} = \frac{70.0\ \text{V}}{0.020\ \text{m}} = 3500\ \text{V/m}$$

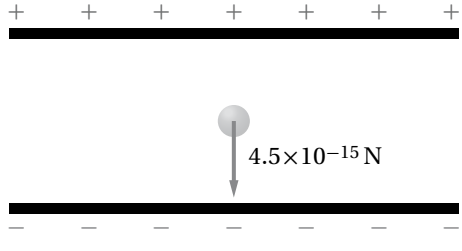
$$= 3500\ \text{N/C}$$

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

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

$$C = \frac{q}{\Delta V} = \frac{90.0\times10^{-6}\ \text{C}}{45.0\ \text{V}} = 2.00\ \mu\text{F}$$

78. تم تثبيت قطرة الزيت الموضحة في **الشكل 22–2** والمشحونة بشحنة سالبة في مجال كهربائي شدته 5.6×10^{3} N/C. فإذا كان وزن القطرة 4.5×10^{-15} N:



■ **الشكل 22–2**

a. فما مقدار الشحنة التي تحملها القطرة؟

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

$$q = \frac{F}{E} = \frac{4.5\times10^{-15}\ \text{N}}{5.6\times10^{3}\ \text{N/C}}$$

$$= 8.0\times10^{-19}\ \text{C}$$

b. وما عدد الإلكترونات الفائضة التي تحملها القطرة؟

$$(8.0\times10^{-19}\ \text{C})\frac{\text{إلكترون 1}}{1.60\times10^{-19}\ \text{C}} = \text{إلكترونات 5}$$

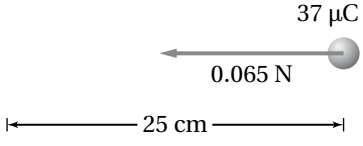
79. ما شحنة مكثف سعته 15.0 pF عند توصيله بمصدر جهد 45.0 V؟

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

$$q = C\,\Delta V = (15.0\times10^{-12}\ F)(45.0\ \text{V})$$

$$= 6.75\times10^{-10}\ \text{C}$$

80. إذا لزم قوة مقدارها 0.065 N لتحريك شحنة مقدارها 37 μC مسافة 25 cm في مجال كهربائي منتظم، كما يوضّح **الشكل 23–2**، فما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين؟



■ **الشكل 23–2**

$$W = Fr$$

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

$$= \frac{(0.065\ \text{N})(0.25\ \text{m})}{37\times10^{-6}\ \text{C}}$$

$$= 4.4\times10^{2}\ \text{V}$$

81. **آلة التصوير** يعبر عن الطاقة المختزنة في مكثف سعته C، وفرق الجهد الكهربائي بين طرفيه ΔV كما يلي: $W = \frac{1}{2}C\Delta V^2$. ومن التطبيقات على ذلك آلة التصوير الإلكترونية ذات الفلاش الضوئي، كالتي تظهر في **الشكل 24–2**. إذا شُحن مكثف في آلة تصوير مماثلة سعته 10.0 μF، إلى أن أصبح فرق الجهد عليه 3.0×10^{2} V فما مقدار الطاقة المختزنة في المكثف؟

■ **الشكل 24–2**

$$W = \frac{1}{2}C\Delta V^2$$

$$= \frac{1}{2}(10.0\times10^{-6}\ F)(3.0\times10^{2}\ \text{V})^2$$

$$= 0.45\ \text{J}$$

82. افترض أن شحن المكثف في المسألة السابقة استغرق 25 s، فأجب عما يلي:

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

$$P = \frac{W}{t} = \frac{0.45\ \text{J}}{25\ \text{s}} = 1.8\times10^{-2}\ \text{W}$$

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

$$P = \frac{W}{t} = \frac{0.45\ \text{J}}{1.0\times10^{-4}\ \text{s}} = 4.5\times10^{3}\ \text{W}$$

c. ما أكبر قيمة ممكنة للقدرة؟

تتناسب القدرة عكسيًا مع الزمن؛ فكلما قل زمن استهلاك كمية محددة من الطاقة زادت القدرة الناتجة.

83. **الليزر** تستخدم أجهزة الليزر لمحاولة إنتاج تفاعلات اندماج نووي مسيطر عليها. ويتطلب تشغيل هذه الليزرات نبضات صغيرة من الطاقة تُخزّن في غرف كبيرة مملوءة بالمكثفات. وتقدّر السعة الكهربائية لغرفة واحدة بـ $61\times10^{-3}\ F$ تشحن حتى يصل فرق الجهد عليها إلى 10.0 kV.

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

$$W = \frac{1}{2}C\Delta V^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(61\times10^{-3}\ F)(1.00\times10^{4}\ \text{V})^2$$

$$= 3.1\times10^{6}\ \text{J}$$

b. إذا تم تفريغ المكثفات خلال 10 ns (أي 1×10^{-8} s) فما مقدار الطاقة الناتجة؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{3.1\times10^{6}\ \text{J}}{1.0\times10^{-8}\ \text{s}} = 3.1\times10^{14}\ W$$

c. إذا تم شحن المكثفات بواسطة مولّد قدرته 1.0 kW فما الزمن بالثواني اللازم لشحن المكثفات؟

$$t = \frac{W}{P} = \frac{3.1\times10^{6}\ \text{J}}{1.0\times10^{-3}\ \text{W}} = 3.1\times10^{3}\ \text{s}$$

مراجعة عامة

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

$$W = q\Delta V = qEr$$

$$= (2.5\times10^{-7}\ \text{C})(6400\ \text{N/C})(4.0\times10^{-3}\ \text{m})$$

$$= 6.4\times10^{-6}\ \text{J}$$

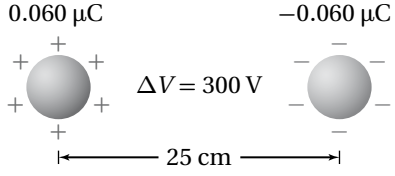
85. ما مقدار الشحنات المختزنة في مكثف ذي لوحين متوازيين سعته 0.22 μ*F*، إذا كان البعد بين لوحيه 1.2 cm، والمجال الكهربائي بينهما 2400 N/C؟

$$q = C\Delta V = CEr$$

$$= (2.2\times10^{-7}\ F)(2400\ \text{N/C})(1.2\times10^{-2}\ \text{m})$$

$$= 6.3\ \mu\text{C}$$

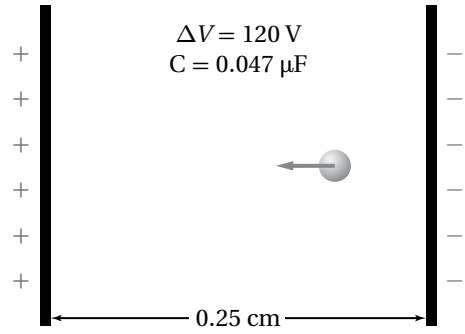
86. يبين **الشكل 25–2** كرتين فلزيتين صغيرتين متماثلتين، البعد بينهما 25 cm، وتحملان شحنتين مختلفتين في النوع، مقدار كل منهما 0.060 μC. فإذا كان فرق الجهد بينهما 300 V فما مقدار السعة الكهربائية للنظام؟



■ **الشكل 25–2**

$$C = \frac{q}{\Delta V} = \frac{6.0\times10^{-8}\ \text{C}}{300\ \text{V}} = 2\times10^{-10}\ F$$

ارجـــع إلى المـكثـف المـوضـح في **الشكل 26–2** عـنـد حـل **المسائل 90–87**.



■ **الشكل 26–2**

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

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

$$q = C\Delta V$$

$$= (4.7\times10^{-8}\,F)(120\,V)$$

$$= 5.6\times10^{-6}\,C = 5.6\,\mu C$$

88. ما مقدار شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف؟

$$\Delta V = Er$$

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

$$= \frac{120\,V}{2.5\times10^{-3}\,m} = 4.8\times10^{4}\ V/m$$

89. إذا وضـع إلكترون بيـن لوحي المكثف فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

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

$$F = qE = (4.8\times10^{4}\ V/m)\ (1.6\times10^{-19}\,C)$$

$$= 7.7\times10^{-15}\,N$$

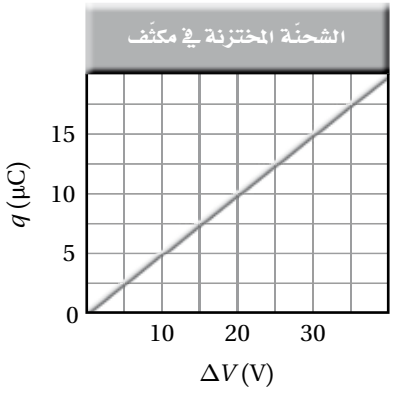
90. ما مقدار الشـغل اللازم لتحريك شحنة إضافية مقدارها $0.010\ \mu C$ بين لوحي المكثف عندما يكون فرق الجهد بينهما 120 V؟

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

$$W = q\,\Delta V$$

$$= (1.0\times10^{-8}\,C)(120\,V) = 1.2\times10^{-6}\,J$$

ارجع إلى الرسم البياني الموضح في **الشكل 27–2** ،والذي يمثل الشحنة المختزنــة في مكثف في أثناء زيادة فرق الجهد عليه، عند **حل المسائل 95–91** .



■ **الشكل 27–2**

91. ماذا يمثّل ميل الخط الموضّح على الرسم البياني؟

السعة الكهربائية للمكثف.

92. ما سعة المكثف الممثّل في هذا الشكل؟

$$C = \text{الميل} = 0.50\ \mu F$$

93. ماذا تمثّل المساحة تحت الخط البياني؟

الشغل المبذول لشحن المكثف.

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

$$W = \text{المساحة} = \frac{1}{2}(\text{الطول} \times \text{العرض})$$

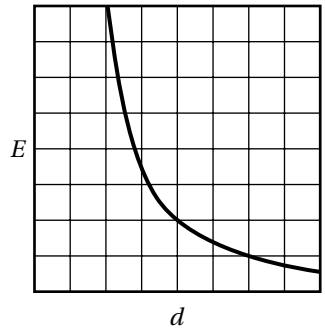
$$= \left(\frac{1}{2}\right)(25\,V)(12.5\,\mu C)$$

$$= 160\,\mu J$$

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

لأن فرق الجهد لا يكون ثابتًا في أثناء شحن المكثف، لذا يجب حساب المساحة تحت المنحنى البياني لإيجاد الشغل، وليس فقط من حسابات ضرب بسيطة.

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



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

لا يوجد مكان، أو عند مسافة لانهائية من الشحنة النقطية.

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

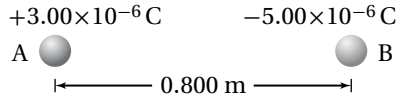
لا نهائي. لا.

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 تعمل مانعة الصواعق ذلك؟

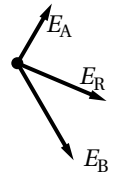
إن النقطة الحادة عند نهاية القضيب تُسرِّب شحنات إلى الغلاف الجوي قبل أن ينتج عن تراكُمها فرق جهد يكون كافيًا لحدوث ضربة صاعقة البرق.

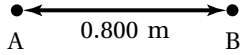
100. حلّل واستنتج وُضِعت الكرتان الصغيرتـان A وB على محور x، كما هو موضح في **الشكل 28–2**. فإذا كانت شحنة الكرة A تساوي 3.00×10^{-6} C،والكرة B تبعد مسافة مقـدارها 0.800 m عن يمين الكرة A، وتحمل شحنـة مقـدارها -5.00×10^{-6} C فما شـــدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة فوق المحور x، بحيث تشـكل هذه النقطة رأس مثلث متسـاوي الأضلاع مع الكرتين A و B؟



■ **الشكل 28–2**

تُرسم الكرات التي تمثل الشحنات وكذلك المتجهات التي تمثل المجال الكهربائي للشحنات عند النقطة المحددة.





$$E_A = \frac{F_A}{q'} = \frac{Kq_A}{r^2} = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(3.00\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.800\ \text{m})^2} = 4.22\times10^4\ \text{N/C}$$

$$E_B = \frac{F_B}{q'} = \frac{Kq_B}{r^2} = \frac{(9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(5.00\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.800\ \text{m})^2} = 7.03\times10^4\ \text{N/C}$$

$$E_{Ax} = E_A \cos 60.0° = (4.22\times10^4\ \text{N/C})(\cos 60.0°) = 2.11\times10^4\ \text{N/C}$$

$$E_{Ay} = E_A \sin 60.0° = (4.22\times10^4\ \text{N/C})(\sin 60.0°) = 3.65\times10^4\ \text{N/C}$$

$$E_{Bx} = E_B \cos(-60.0°) = (7.03\times10^4\ \text{N/C})(\cos -60.0°) = 3.52\times10^4\ \text{N/C}$$

$$E_{By} = E_B \sin(-60.0°) = (7.03\times10^4\ \text{N/C})(\sin -60.0°) = -6.09\times10^4\ \text{N/C}$$

$$E_x = E_{Ax} + E_{Bx} = (2.11\times10^4\ \text{N/C}) + (3.52\times10^4\ \text{N/C}) = 5.63\times10^4\ \text{N/C}$$

$$E_y = E_{Ay} + E_{By} = (3.65\times10^4\ \text{N/C}) + (-6.09\times10^4\ \text{N/C}) = -2.44\times10^4\ \text{N/C}$$

$$E_R = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = 6.14\times10^4\ \text{N/C}$$

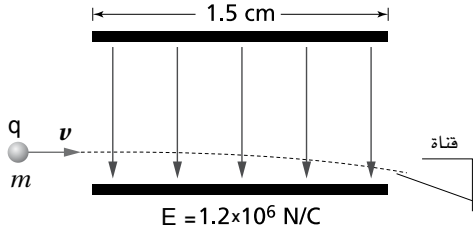
$$\tan\theta = \frac{E_y}{E_x}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{E_x}{E_y}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{-2.44\times10^4\ \text{N/C}}{5.63\times10^4\ \text{N/C}}\right)$$

$$= -23.4°$$

101. حلّل واستنتج في طابعة نفث الحبر، تُعطى قطرات الحبر كمية معيّنة من الشحنة قبل أن تتحرك بين لوحين كبيرين متوازيين، الهدف منهما توجيه الشحنات بحيث يتم إيقافها لتتحرك في قناة؛ لكي لا تصل إلى الورقة، كما هو موضّح في **الشكل 29–2**. ويبلغ طول كل لوح 1.5 cm، ويتولّد بينهما مجال كهربائي مقداره 1.2×10^{6} N/C. فإذا تحركت قطرات حبر، كتلة كلٍّ منها 0.10 ng، وشحنتها 1.0×10^{-16} C، أفقيًّا بسرعة 15 m/s في اتجاه موازٍ للوحين، كما في الشكل، فما مقدار الإزاحة الرأسية للقطرات لحظة مغادرتها اللوحين؟ لمساعدتك على إجابة السؤال أجب عن الأسئلة التالية:



الشكل 29–2 ■

a. ما القوة الرأسية المؤثرة في القطرات؟

$$F = Eq$$

$$= (1.0\times10^{-16}\,\text{C})(1.2\times10^{6}\ \text{N/C})$$

$$= 1.2\times10^{-10}\,\text{N}$$

b. ما مقدار التسارع الرأسي للقطرات؟

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1.2\times10^{-10}\,\text{N}}{1.0\times10^{-13}\,\text{kg}} = 1.2\times10^{3}\ \text{m/s}^2$$

c. ما الزمن الذي بقيت فيه القطرات بين اللوحين؟

$$t = \frac{L}{v} = \frac{1.5\times10^{-2}\,\text{m}}{15\,\text{m/s}} = 1.0\times10^{-3}\,\text{s}$$

d. ما إزاحة القطرات؟

$$y = \frac{1}{2}at^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(1.2\times10^{3}\,\text{m/s}^2)(1.0\times10^{-3}\,\text{s})^2$$

$$= 6.0\times10^{-4}\,\text{m} = 0.60\,\text{mm}$$

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

بمساواة العلاقتين الرياضيتين لقوة الجاذبية وقوة كولوم بين الأرض والقمر:

$$F = \frac{Gm_E m_M}{r^2} = \frac{Kq_E q_M}{r^2} = \frac{10Kq^2}{r^2}$$

حيث $-q$ الشحنة المحصلة (الصافية) التي يحملها القمر و q_E الشحنة الموجبة المحصلة (الصافية) التي تحملها الأرض وتساوي $+10\ q$.

وبحل المعادلة بالرموز ثم التعويض بالأرقام ينتج:

$$q = \sqrt{\frac{Gm_E m_M}{10\,K}}$$

$$= \sqrt{\frac{(6.67\times10^{-11}\ \mathrm{N\cdot m^2/kg^2})(6.00\times10^{24}\ \mathrm{kg})(7.31\times10^{22}\ \mathrm{kg})}{(10)(9.0\times10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2})}}$$

$$= 1.8\times10^{13}\ \mathrm{C}$$

الكتابة في الفيزياء

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

ستختلف إجابات الطلاب، بعض الأمثلة من العلماء الذين يمكن أن يختارهم الطلاب: فولتا، أو كولوم، أو أوم، أو أمبير.

مراجعة تراكمية

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

a. مضاعفة r ثلاث مرات.

$$\frac{F}{9}$$

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

$$3F$$

c. مضاعفة كل من r، وQ ثلاث مرات.

$$\frac{F}{3}$$

d. مضاعفة كل من r، وQ مرتين.

$$\frac{F}{2}$$

e. مضاعفة كل من r، وQ، وq ثلاث مرات.

$$F$$

مسألة التحفيز

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

1. اشتق علاقة للقوة الكهربائية بين اللوحين عندما يكون للمكثف شحنة مقدارها q.

بما أن: $F = Eq$، $E = \frac{\Delta V}{r}$ ، $\Delta V = \frac{q}{C}$

أي: $F = Eq = \left(\frac{\Delta V}{r}\right)q = \left(\frac{\left(\frac{q}{C}\right)}{r}\right)q = \frac{q^2}{Cr}$

2. ما مقدار الشحنة التي يجب أن تخزّن في مكثف سعته $22\ \mu F$، والمسافة بين لوحيه $1.5\ \text{mm}$ لتكون القوة بين لوحيه $2.0\ \text{N}$؟

بما أن: $F = \frac{q^2}{Cr}$

أي: $q = \sqrt{FCr}$

$$= \sqrt{(2.0\ \text{N})(2.2\times10^{-5}\ F)(1.5\times10^{-3}\ \text{m})}$$

$$= 2.6\times10^{-4}\ \text{C}$$

مسائل تدريبية

3–1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية

1. إذا مرّ 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%.

$$P = IV = (0.50\ \text{A})(125\ \text{V}) = 63\ \text{J/s} = 63\ \text{W}$$

2. تَوَلّد تيار مقداره 2.0 A في مصباح متصل ببطارية سيارة. ما مقدار القدرة المستهلكة في المصباح إذا كان فرق الجهد عليه 12 V؟

$$P = IV = (2.0\ \text{A})(12\ \text{V}) = 24\ \text{W}$$

3. ما مقدار التيار الكهربائي المار في مصباح قدرته 75 W متصل بمصدر جهد مقداره 125 V؟

$$P = IV$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{75\ \text{W}}{125\ \text{V}} = 0.60\ \text{A}$$

4. يمرّ 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؟

$$P = IV$$

$$E = Pt \quad \text{و}$$

$$E = IVt = (210\ \text{A})(12\ \text{V})(10.0\ \text{s}) \quad \text{أي أن:}$$

$$= 2.5\times10^{4}\ \text{J}$$

5. مصباح كهربائي كُتب عليه 0.90 W. إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 3.0 V فما مقدار شدة التيار المار فيه؟

$$P = IV$$

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

$$= \frac{0.90\ \text{W}}{3.0\ \text{V}} = 0.30\ \text{A}$$

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

6. إذا وُصل محرك بمصدر جهد، وكانت مقاومة المحرك في أثناء تشغيله 32 Ω، ومقدار التيار المار في تلك الدائرة 3.8 A، فما مقدار جهد المصدر؟

$$V = IR = (3.8\ \text{A})(32\ \Omega) = 1.2\times10^{2}\ \text{V}$$

7. يمر تيار مقداره 2.0×10^{-4} A في مجسّ عند تشغيله ببطارية جهدها 3.0 V. ما مقدار مقاومة دائرة جهاز المجسّ؟

$$R = \frac{V}{I} = \frac{3.0\ \text{V}}{2.0\times10^{-4}\ \text{A}}$$

$$= 1.5\times10^{4}\ \Omega$$

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

a. مقاومة المصباح.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{120\ \text{V}}{0.50\ \text{A}} = 2.4\times10^{2}\ \Omega$$

b. القدرة الكهربائية المستهلكة في المصباح.

$$P = IV = (0.50\ \text{A})(120\ \text{V}) = 6.0\times10^{1}\ \text{W}$$

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

a. التيار المار في المصباح.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{75\ \text{W}}{125\ \text{V}} = 0.60\ \text{A}$$

b. مقاومة المصباح.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{125\ \text{V}}{0.60\ \text{A}} = 2.1\times10^{2}\ \Omega$$

10. في المسألة السابقة، إذا أُضيفت مقاومة للمصباح لتقليل التيار المار فيه إلى نصف قيمته الأصلية، فما مقدار:

a. فرق الجهد بين طرفي المصباح؟

التيار المار بالمصباح بعد إضافة المقاومة هو:

$$\frac{0.60\ \text{A}}{2} = 0.30\ \text{A}$$

$$V = IR = (0.30\ \text{A})(2.1\times10^{2}\ \Omega)$$

$$= 6.3\times10^{1}\ \text{V}$$

b. المقاومة التي أُضيفت إلى الدائرة؟

أصبحت المقاومة الكلية في الدائرة:

$$R_{\text{الكلية}} = \frac{V}{I} = \frac{125\ \text{V}}{0.30\ \text{A}} = 4.2\times10^{2}\ \Omega$$

لذلك

$$R_{\text{المضافة}} = R_{\text{الكلية}} - R_{\text{المصباح}}$$

$$= 4.2\times10^{2}\ \Omega - 2.1\times10^{2}\ \Omega$$

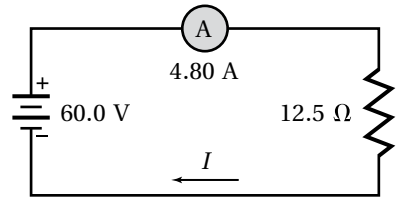
$$= 2.1\times10^{2}\ \Omega$$

c. القدرة الكهربائية التي يستهلكها المصباح الآن؟

$$P = IV = (0.30\ \text{A})(6.3\times10^{1}\ \text{V}) = 19\ \text{W}$$

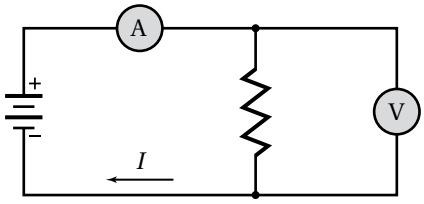
صفحة 84

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



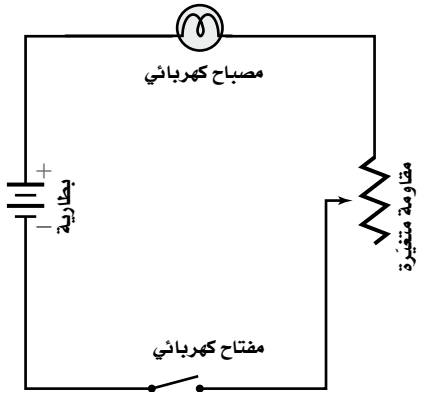
$$I = \frac{V}{R} = \frac{60.0\ \text{V}}{12.5\ \Omega} = 4.80\ \text{A}$$

12. أضف فولتمتر إلى الرسم التخطيطي للدائرة الكهربائية في المسألة السابقة لقياس فرق الجهد بين طرفي المقاومتين، ثم أعد حلّها.



وبما أن مقاومة الأميتر تعتبر صفرًا، فإن قراءة الفولتمتر ستكون 60.0 V.

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

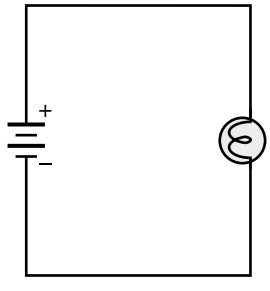


مراجعة القسم

1–3 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية (صفحة 84–73)

صفحة 84

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



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

لا، تعتمد المقاومة على الجهاز، لذا؛ فعند زيادة الجهد V يزداد التيار I أيضًا.

16. المقاومة الكهربائية إذا أردت قياس مقاومة سلك طويل فبيّن كيف تركّب دائرة كهربائية باستخدام بطارية وفولتمتر وأميتر والسلك الذي تريد قياس مقاومته. حدّد ما الذي ستقيسه؟ وبيّن كيف تحسب المقاومة؟

أقيس التيار المارّ في السلك وفرق الجهد بين طرفيه، ثم أقسّم فرق الجهد على التيار لتحصل على مقاومة السلك.

17. القدرة تتصل دائرة كهربائية مقاومتها $12\ \Omega$ ببطارية جهدها 12 V. حدّد التغير في القدرة إذا قلّت المقاومة إلى $9.0\ \Omega$؟

$$P_1 = V^2/R_1 = (12\text{ V})^2/12\ \Omega = 12\text{ W}$$

$$P_2 = V^2/R_2 = (12\text{ V})^2/9.0\ \Omega = 16\text{ W}$$

$$P = P_2 - P_1 = 16\text{ W} - 12\text{ W} = 4.0\text{ W}$$

يزداد 4.0 W

18. الطاقة تحوِّل دائرة كهربائية طاقة مقدارها 2.2×10^3 J عندما تُشغَّل ثلاث دقائق. حدّد مقدار الطاقة التي ستتحول عندما تُشغَّل مدة ساعة واحدة.

$$E = \left(\frac{2.2\times10^3}{3\text{ min}}\right)(60.0\text{ min})$$

$$= 4.4\times10^4\text{ J}$$

19. التفكير الناقد نقول إن القدرة تستهلك وتُستنفد في مقاومة. والاستنفاد يعني الاستخدام، أو الضياع. فما (الاستخدام) عند مرور شحنات في مقاومة كهربائية؟

تتناقص طاقة الوضع الكهربائية للشحنات عند مرورها خلال المقاومة، ويستخدم هذا النقص في طاقة الوضع في توليد حرارة فيها.

مسائل تدريبية

2–3 استخدام الطاقة الكهربائية

20. يعمل سخّان كهربائي مقاومته $15\ \Omega$ على فرق جهد مقداره 120 V. احسب مقدار:

a. التيار المار في مقاومة السخان.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\text{ V}}{15\ \Omega} = 8.0\text{ A}$$

b. الطاقة المستهلكة في مقاومة السخان خلال 30.0 s.

$$E = I^2Rt = (8.0\text{ A})^2(15\ \Omega)(30.0\text{ s})$$

$$= 2.9\times10^4\text{ J}$$

c. الطاقة الحرارية الناتجة في هذه المدة.

الطاقة الحرارية الناتجة هي 2.9×10^4 J ؛لأن الطاقة الكهربائية تتحول في السخّان إلى طاقة حرارية.

21. إذا وُصِلت مقاومة مقدارها $39\ \Omega$ ببطارية جهدها 45 V فاحسب مقدار:

a. التيار المار في الدائرة.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{45\text{ V}}{39\ \Omega} = 1.2\text{ A}$$

b. الطاقة المستهلكة في المقاومة خلال 5.0 min.

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

$$= \frac{(45\text{ V})^2}{(39\ \Omega)}(5.0\text{ min})(60\text{ s/min})$$

$$= 1.6\times10^4\text{ J}$$

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؟

$$E = Pt$$

$$= (0.78)(100.0\text{ J/s})(1.0\text{ min})(60.0\text{ s/min})$$

$$= 4.7\times10^3\text{ J}$$

b. مـا مقدار الطاقة التـي يحوّلها المصباح إلى ضوء كل دقيقة في أثناء إضاءته؟

$$E = Pt$$

$$= (0.22)(100.0\ \text{J/s})(1.0\ \text{min})(60\ \text{s/min})$$

$$= 1.3\times10^{3}\ \text{J}$$

23. تبلغ مقاومة عنصر التسخين في طبّاخ كهربائي عند درجة حرارة تشغيله 11 Ω .

a. إذا تـم توصيـل الطبّـاخ بمصدر جهد مقـداره 220 V فما مقدار التيار الكهربائي المار في عنصر التسخين؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220\ \text{V}}{11\ \Omega} = 2.0\times10^{1}\ \text{A}$$

b. مـا مقـدار الطاقة التـي يحوّلها هذا العنصـر إلى طاقة حرارية خلال 30.0 s؟

$$E = I^2Rt = (2.0\times10^{1}\ \text{A})^2(11\Omega)(30.0\ \text{s})$$

$$= 1.3\times10^{5}\ \text{J}$$

c. استخدم العنصر في تسخين غلاية تحتوي على 1.20 kg مـن الماء. افترض أن الماء امتـص 65% من الحرارة الناتجة، فما مقـدار الارتفاع في درجة حرارته خلال 30.0 s؟

$$Q = mC\Delta T,\ Q = 0.65E$$

$$\Delta T = \frac{0.65E}{mC} = \frac{(0.65)(1.3\times10^{5}\ \text{J})}{(1.20\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg}\cdot^{\circ}\text{C})}$$

$$= 17^{\circ}\text{C}$$

24. اسـتغرق سـخان ماء كهربائي جهده 120 V زمنًا مقداره 2.2 h لتسخين حجم معيّن من الماء إلى درجة الحرارة المطلوبة. احسب المدة اللازمة لإنجاز المهمة نفسها، وذلك باستخدام سخّان آخر جهده 240 V مع بقاء التيار نفسه.

$$E = IVt = I(2V)\left(\frac{t}{2}\right)$$

مضـاعفة الجهـد لإعطاء كمية الحرارة نفسـها؛ سـيقلل الزمن إلى النصف.

$$t = \frac{2.2\ \text{h}}{2} = 1.1\ \text{h}$$

25. يمر تيار كهربائي مقداره 15.0 A في مدفأة كهربائية عند وصلها بمصدر فرق جهد 120 V. فإذا تم تشغيل المدفأة بمتوسّط 5.0 h يوميًّا فاحسب:

a. مقدار القدرة التي تستهلكها المدفأة.

$$P = IV = (15.0\ \text{A})(120\ \text{V})$$

$$= 1800\ \text{W} = 1.8\ \text{kW}$$

b. مقدار الطاقة المستهلكة في 30 يومًا بوحدة kWh.

$$E = Pt = (1.8\ \text{kW})(5.0\ \text{h/day})(30\ \text{days})$$

$$= 270\ \text{kWh}$$

c. تكلفة تشغيلها مدة 30 يومًا، إذا كان ثمن الكيلوواط. ساعة 0.12 ريال.

$$\text{التكلفة} = (0.12\ \text{ريال/kWh})(270\ \text{kWh})$$

$$= 32.40\ \text{ريال}$$

26. تبلغ مقاومة ساعة رقمية 12,000 Ω، وهي موصولة بمصدر فرق جهد مقداره 115 V. احسب:

a. مقدار التيار الذي يمر فيها.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{115\ \text{V}}{12000\ \Omega} = 9.6\times10^{-3}\ \text{A}$$

b. مقدار القدرة الكهربائية التي تستهلكها الساعة.

$$P = VI = (115\ \text{V})(9.6\times10^{-3}\ \text{A}) = 1.1\ \text{W}$$

c. تكلفـة تشـغيل السـاعة 30 يومًـا، إذا كان ثـمـن الكيلـوواط.ساعة 0.12 ريال.

$$\text{التكاليف} = (1.1\times10^{-3}\ \text{kWh})(0.12\ \text{ريال/kWh})(30\ \text{days})(24\ \text{h/day})$$

$$= 0.10\ \text{ريال}$$

27. تنتج بطارية سيارة تيارًا مقداره 55 A لمدة 1.0 h، وذلك عندما يكون فرق جهدها 12 V. ويتطلب إعادة شحنها طاقة أكبر 1.3 مرّة من الطاقة التي تزوّدنا 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.

طاقة الشحن: $E_{\text{شحن}} = (1.3)IVt$

$$= (1.3)(55\ \text{A})(12\ \text{V})(1.0\ \text{h})$$

$$= 858\ \text{Wh}$$

$$t = \frac{E}{IV} = \frac{858\ \text{Wh}}{(7.5\ \text{A})(12\ \text{V})} = 9.5\ \text{h}$$

مراجعة القسم

3–2 استخدام الطاقة الكهربائية

28. **الطاقة** يُشغّل محركُ السيارة المولدَ الكهربائي، والذي يولّد بدوره التيار الكهربائي اللازم لعمل السيارة، ويُخزّن شحنات كهربائية في بطارية السيارة. وتَستخدم المصابيح الرئيسة في السيارة الشحنةَ الكهربائية المختزنة في بطارية السيارة. جهّز قائمة بأشكال الطاقة في العمليات السابقة.

تتحول الطاقة الميكانيكية من المحرك إلى طاقة كهربائية في المولّد؛ وتختزن الطاقة الكهربائية على شكل طاقة كيميائية في البطارية، وتتحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في البطارية، وتتحوّل الطاقة الكهربائية إلى ضوء وطاقة حرارية في المصابيح الرئيسة.

29. **المقاومة الكهربائية** يتم تشغيل مجفّف الشعر بوصله بمصدر جهد 120 V، ويكون فيه خياران: حار ودافئ. في أيّ الخيارين تكون المقاومة أصغر؟ ولماذا؟

يستهلك مجفف الشعر عند ضبطه على الساخن قدرة أكبر من الطاقة. وحيث أن $P = IV$، والجهد ثابت لذا يكون التيار المار فيه أكبر، ولأن $I = V/R$، فإن المقاومة تكون أقلّ.

30. **القدرة** حدّد مقدار التغير في القدرة في دائرة كهربائية إذا قل الجهد المُطبّق إلى النصف.

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2^2/R}{V_1^2/R} = \frac{(0.5V_1)^2/R}{V_1/\text{R}} = 0.25$$

ستنخفض إلى ربع القيمة الأصلية.

31. **الكفاءة** قوّم أثر البحث لتحسين خطوط نقل القدرة الكهربائية في المجتمع والبيئة؟

بعض الفوائد المحتملة: تقليل تكلفة الكهرباء المستهلكة، وكلّما قلّت القدرة المفقودة خلال خطوط النقل قل استهلاك الفحم وغيره من المصادر الأخرى المستخدمة لتوليد القدرة الكهربائية، والذي من شأنه تحسين البيئة.

32. **الجهد** لماذا يتم توصيل الطبّاخ الكهربائي وسخّان الماء الكهربائي بدائرة جهدها 240 V بدلاً من دائرة جهدها 120 V؟

يقل التيار إلى النصف عند مضاعفة الجهد للقدرة نفسها، وستقل خسارة I^2R في شبكة أسلاك الدائرة الكهربائية بشكلٍ كبير؛ لأن تلك خسارة تتناسب طرديًا مع مربع التيار.

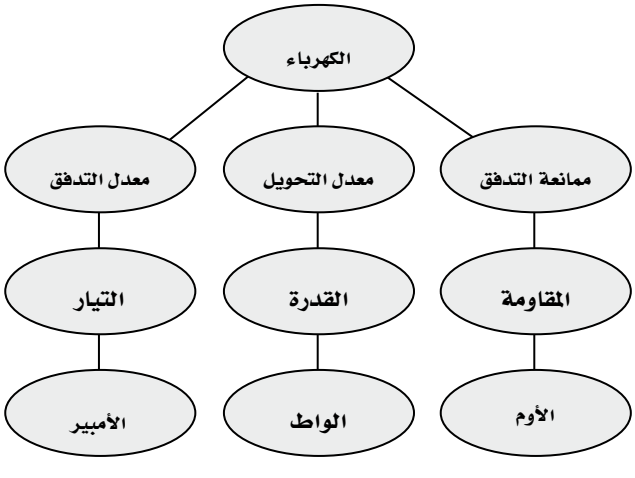
33. **التفكير الناقد** عندما يرتفع الطلب على القدرة الكهربائية تقوم شركات الكهرباء أحيانًا بتقليل الجهد، مما يؤدي إلى خفوت الأضواء. ما الذي يبقى محفوظًا ولا يتغير؟

القدرة ستبقى محفوظة ولا تتغير، وليست الطاقة، وستعمل تلك الأجهزة لفترة زمنية أطول.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

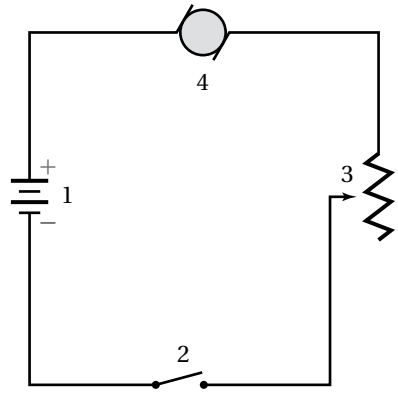
34. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: الواط، التيار، المقاومة.



35. عـرّف وحدة قياس التيـار الكهربائي بدلالـة الوحدات الأساسية MKS.

$1\ A = 1\ C/1\ s$

ارجع إلى **الشكل 11–3** للإجابة عن **الأسئلة 39–36** .



■ **الشكل 11–3**

36. كيـف يجـب وصـل فولتمتـر في الشـكل لقيـاس جهد المحرك؟

يوصل القطب الموجب للفولتمتر مع قطب الذراع اليسرى للمحرك، ويوصل القطب السالب للفولتمتر مع قطب الذراع اليمنى للمحرك.

37. كيف يجب وصل أميتر في الشكل لقياس تيار المحرك؟

افتـح الدائـرة بين البطاريـة والمحرك، ثم صِـل القطب الموجـب للأميتر مع الطـرف الموجب لمكان فتح الدائرة (الطرف الموصول مع القطب الموجب للبطارية) وصِل القطب السـالب للأميتر مع الطرف السالب (الطرف الأقرب إلى المحرك).

38. ما اتجاه التيار الاصطلاحي في المحرك؟

من اليسار إلى اليمين خلال المحرك.

39. ما رقم الأداة التي :

a. تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية؟

4

b. تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية؟

1

c. تعمل على فتح الدائرة وإغلاقها؟

2

d. تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية؟

3

40. صف تحوّلات الطاقة التي تحدث في الأدوات التالية:

a. مصباح كهربائي متوهّج.

تتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية وضوء.

b. مجففة ملابس.

تتحـوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية وطاقة حركية.

c. مذياع رقمي مزوّد بساعة.

تتحوّل الطاقة الكهربائية إلى ضوء وصوت.

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

للسلك ذي المقطع العرضي الأكبر مقاومة أقل؛ لأن هناك عددًا أكبر من الإلكترونات لحمل الشحنة.

42. لمـاذا يكون عدد المصابيح التي تحترق لحظة إضاءتها أكبر كثيرًا من عدد المصابيح التي تحترق وهي مُضاءة؟

تسمح المقاومة القليلة للفتيلة الباردة بمرور تيار كبير في البداية، ومن ثم يحدث تغيّر كبير في درجة حرارتها مما يؤدي إلى تعرّض الفتيلة لإجهاد كبير وزيادة مقاومتها.

43. عند عمل دائرة قصر لبطارية بوصل طرفي سلك نحاسي بقطبي البطارية ترتفع درجة حرارة السـلك. فسّـر لماذا يحدث ذلك؟

تولّد دائرة القصر تيارًا كبيرًا مما يسبب تصادم عدد أكبر من الإلكترونات مع ذرات السلك وهذا يؤدي إلى رفع الطاقة الحركية للذرات وكذلك رفع درجة حرارة السلك.

44. ما الكميات الكهربائية التي يجب المحافظة على مقاديرها قليلة عند نقل الطاقة الكهربائية مسـافات طويلة بصورة اقتصادية؟

مقاومة السلك والتيار المار فيه.

45. عرّف وحدة القدرة الكهربائية بدلالة الوحدات الأساسية MKS.

$$W = \frac{C}{s} \cdot \frac{J}{C} = \frac{kg\,\frac{m^2}{s^2}}{s} = \frac{kg.m^2}{s^3}$$

تطبيق المفاهيم

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

لا يوجد فرق جهد على امتداد السلك، لذا لا يمر تيار كهربائي خلال جسم الطائر.

47. صِف طريقتين لزيادة التيار في دائرة كهربائية.

إما بزيادة الجهد أو بتقليل المقاومة.

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

المصباح الكهربائي 50 W ؛ $P = \frac{V^2}{R}$ لذا فإن $R = \frac{V^2}{P}$ فالمقاومة الكبيرة تسبّب قدرة أقل.

49. إذا ثُبّت فرق الجهد في دائرة كهربائية، وتم مضاعفة مقدار المقاومة، فما تأثير ذلك في تيار الدائرة؟

إذا تضاعفت المقاومة فإن التيار سيقل إلى النصف.

50. ما تأثير مضاعفة كل من الجهد والمقاومة في تيار دائرة كهربائية؟ وضّح إجابتك.

لا تأثير، لأن $V = IR$، لأن $I = \frac{V}{R}$، فإذا تضاعف كل من الجهد والمقاومة فإن التيار لا يتغيّر.

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

لا؛ لأنه عند 1.5 V وباستخدام العلاقة $R = \frac{V}{I}$ تكون المقاومة $R = \frac{1.5\ V}{45 \times 10^{-6}\ A} = 3.3 \times 10^4\ \Omega$، وعند 3.0 V تكون المقاومة $R = \frac{3\ V}{25 \times 10^{3}\ A} = 120\ \Omega$. فالجهاز الذي يحقّق قانون أوم له مقاومة لا تعتمد على الجهد المُطّبق.

52. إذا غُيّر موقع الأميتر المبين في **الشكل 3a–3** ليُصبح أسفل الشكل، فهل تبقى قراءة الأميتر هي نفسها؟ وضّح ذلك.

نعم؛ لأن قيمة التيار متساوية عند كل النقاط في الدائرة.

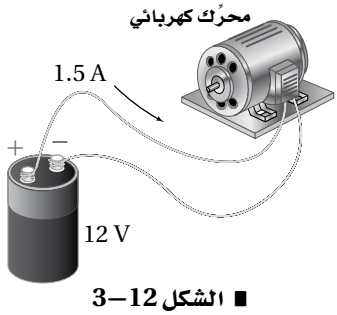
53. سلكان أحدهما مقاومته كبيرة والآخر مقاومته صغيرة. إذا وصِل كل منهما بقطبي بطارية جهدها 60 V، فأي السلكين ينتج طاقة بمعدل أكبر؟ ولماذا؟

السلك الذي له أقل مقاومة؛ لأن $P = \frac{V^2}{R}$ ، فالمقاومة R الأقل تولّد قدرة P أكبر تتبدّد في السلك، حيث يولّد طاقة حرارية بمعدل أكبر.

إتقان حل المسائل

3–1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية

54. وصل محرك ببطارية جهدها 12 V كما هو موضّح في **الشكل 12–3**. احسب مقدار:



■ الشكل 12–3

a. القدرة التي تصل إلى المحرك.

$$P = VI = (12\ V)(1.5\ A) = 18\ W$$

b. الطاقة المُحوَّلة إذا تم تشغيل المحرك 15 min.

$$E = Pt = (18\ W)(15\ min)(60\ s/min)$$

$$= 1.6 \times 10^4\ J$$

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

a. القدرة الواصلة.

$$P = IV = (0.50\ A)\ (120\ V) = 6 \times 10^1\ W$$

b. الطاقة التي يتم تحويلها خلال 5.0 min.

القدرة: $P = \frac{E}{t}$

لذا: $E = Pt$

$$= (6\times10^{1}\ \text{W})\left(\frac{5.0\ \text{min}}{1}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{\text{min}}\right)$$

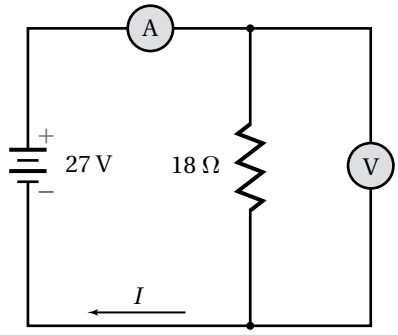
$$= 18{,}000\ \text{J} = 1.8\times10^{4}\ \text{J}$$

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

$$P = IV$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{4200\ \text{W}}{220\ \text{V}} = 19\ \text{A}$$

57. ارجع إلى **الشكل 13–3** للإجابة عن الأسئلة التالية:



الشكل 13–3 ■

a. ما قراءة الأميتر؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{27\ \text{V}}{18\ \Omega} = 1.5\ \text{A}$$

b. ما قراءة الفولتمتر؟

27 V

c. ما مقدار القدرة الواصلة إلى المقاومة؟

$$P = VI = (27\ \text{V})(1.5\ \text{A}) = 41\ \text{W}$$

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

$$E = Pt = (41\ \text{W})(3600\ \text{s}) = 1.5\times10^{5}\ \text{J}$$

58. **المصابيح اليدوية** إذا وصل مصباح يدوي بفرق جهد 3.0 V، فمرّ فيه تيار مقداره 1.5 A:

a. فما معدل الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصباح؟

$$P = IV = (1.5\ \text{A})(3.0\ \text{V}) = 4.5\ \text{W}$$

b. ما مقدار الطاقة الكهربائية التي يحولها المصباح خلال 11 min؟

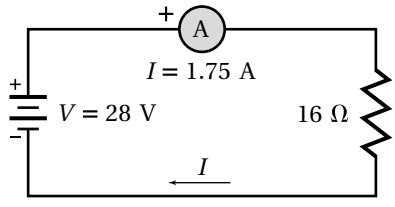
القدرة: $P = \frac{E}{t}$

لذا: $E = Pt$

$$= (4.5\ \text{W})(11\ \text{min})\left(\frac{60\ \text{s}}{\text{min}}\right)$$

$$= 3.0\times10^{3}\ \text{J}$$

59. ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة توالٍ كهربائية تحوي مقاومة مقدارها 16 Ω، وبطارية، وأميترًا قراءته 1.75 A، حدّد كلًّا من الطرف الموجب للبطارية وجهدها، والطرف الموجب للأميتر، واتجاه التيار الاصطلاحي.



$$V = IR = (1.75\ \text{A})(16\ \Omega) = 28\ \text{V}$$

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

a. هل يحقّق المصباح قانون أوم؟

لا يحقّق، لأن يزداد الجهد بمعامل مقداره $\frac{9.0}{6.0} = 1.5$

في حين يزداد التيار بمعامل مقداره $\frac{75}{66} = 1.1$.

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

$$P = IV = (66\times10^{-3}\ \text{A})(6.0\ \text{V}) = 0.40\ \text{W}$$

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

$$P = IV = (75\times10^{-3}\ \text{A})(9.0\ \text{V}) = 0.68\ \text{W}$$

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

a. ما مقدار مقاومة المصباح في أثناء إضاءته؟

$$V = IR$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{120\ \text{V}}{0.40\ \text{A}} = 3.0\times10^{2}\ \Omega$$

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

$$\left(\frac{1}{5}\right)(3.0\times10^{2}\ \Omega) = 6.0\times10^{1}\ \Omega$$

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

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{6.0\times10^{1}\ \Omega} = 2.0\ \text{A}$$

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

$$P = \frac{E}{t}$$

$$E = Pt = (60.0\ \text{W})(1800\ \text{s})$$

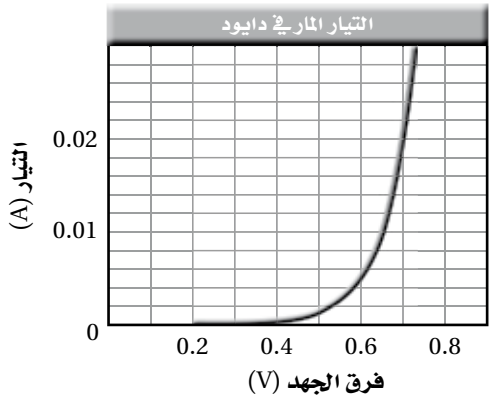
$$= 1.08\times10^{5}\ \text{J}$$

إذا كانت كفاءة إضاءة المصباح 12% أي 88%

تفقد على شكل طاقة حرارية، لذا:

$$Q = (0.88)(1.08\times10^{5}\ \text{J}) = 9.5\times10^{4}\ \text{J}$$

63. يمثل الرسم البياني في **الشكل 14–3** العلاقة بين فرق الجهد والتيار المار في جهاز يسمى الصمام الثنائي (الدايود) وهو مصنوع من السليكون. أجب عن الأسئلة التالية:



■ **الشكل 14–3**

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

من الشكل فإن I=22mA

$$V = IR$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{0.70\ \text{V}}{2.2\times10^{-2}\ \text{A}} = 32\ \Omega \quad \text{أي:}$$

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

$$R = \frac{V}{I} = \frac{0.60\ \text{V}}{5.2\times10^{-3}\ \text{A}} = 1.2\times10^{2}\ \Omega$$

c. هل يُحقّق الدايود قانون أوم؟

لا، لأن المقاومة تعتمد على الجهد .

3–2 استخدام الطاقة الكهربائية

64. **البطاريات** يبلغ ثمن بطارية جهدها 9.0 V تقريبًا 10 ريالات، وتولّد هذه البطارية تيارًا مقداره 0.0250 A مدة 26.0 h قبل أن يتم تغييرها. احسب تكلفة كل kWh تُزوِّدنا به هذه البطارية.

$$E_{\text{الطاقة المستهلكة}} = IVt = (0.0250\ \text{A})(9.0\ \text{V})(26.0\ \text{h})$$

$$= 5.9\ \text{Wh} = 5.9\times10^{-3}\ \text{kWh}$$

$$\text{تكلفة kWh} = \frac{\text{ثمن البطارية}}{E} = \frac{\text{10 ريالات}}{5.9\times10^{-3}\ \text{kWh}}$$

$$= 1700\ \text{ريال/kWh}$$

65. ما مقدار أكبر تيار ينتج عن قدرة كهربائية مقدارها 5.0 W في مقاومة مقدارها 220 Ω ؟

$$P = I^2R$$

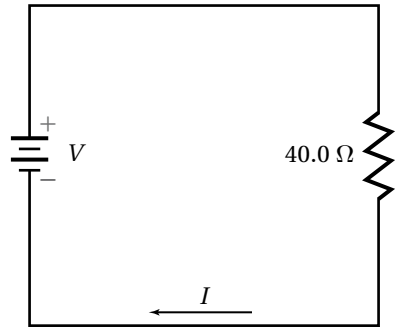
$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{5.0\ \text{W}}{220\ \Omega}} = 0.15\ \text{A}$$

66. يمر تيار مقداره 3.0 A في مكواة كهربائية جهدها 110 V. ما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال ساعة؟

$$Q = E = VIt = (110\ \text{V})(3.0\ \text{A})(1.0\ \text{h})(3600\ \text{s/h})$$

$$= 1.2\times10^6\ \text{J}$$

67. في الدائرة الموضّحة في **الشكل 15–3** تبلغ أكبر قدرة كهربائية آمنة 50.0 W. استخدم الشكل لإيجاد كل مما يلي:



■ **الشكل 15–3**

a. أكبر تيار آمن.

$$P = I^2R$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{50.0\ \text{W}}{40.0\ \Omega}} = 0.15\ \text{A}$$

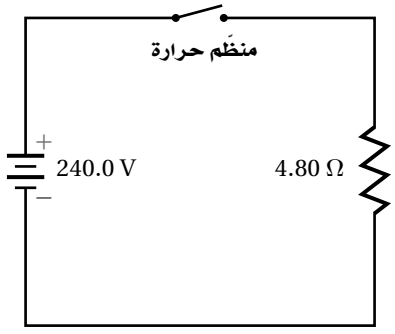
b. أكبر جهد آمن.

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

$$V = \sqrt{PR} = \sqrt{(50.0\ \text{W})(40.0\ \Omega)}$$

$$= 45\ \text{V}$$

68. يمثل **الشكل 16–3** دائرة فرن كهربائي. احسب قيمة الفاتورة الشهرية (30 يومًا) إذا كان ثمن الكيلوواط. ساعة 0.10 ريال، وتم ضبط منظّم الحرارة ليشتغل الفرن ربع الفترة الزمنية؟



■ **الشكل 16–3**

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

$$= \left(\frac{(240.0\ \text{V})^2}{4.80\ \Omega}\right)(30\ \text{day})(24\ \text{h/day})(0.25)$$

$$= 2160\ \text{kWh}$$

قيمة الفاتورة الشهرية = (2160 kWh)(0.100 ريال/kWh)

= 216 ريال

69. **التطبيقات** يُكلّف تشغيل مُكيّف هواء 50 ريالًا خلال 30 يومًا، وذلك على اعتبار أن المُكيّف يعمل نصف الفترة الزمنية، وثمن كل kWh هو 0.090 ريال. احسب التيار الذي يمر في المكيّف عند تشغيله على فرق جهد مقداره 120 V؟

قيمة الفاتورة الشهرية = (E) (ثمن kWh)

$$E = \frac{\text{التكاليف}}{\text{ثمن kWh}} = \frac{\text{50 ريال}}{\text{0.090/kWh ريال}}$$

$$= 556\ \text{kWh}$$

$$E = IVt$$

$$I = \frac{E}{Vt} = \frac{(556\ \text{kWh})(1000\ \text{W/kW})}{(120\ \text{V})(30\ \text{d})(24\ \text{h/d})(0.5)}$$

$$= 12.9\ \text{A}$$

70. **المذياع** يتم تشغيل مذياع ببطارية جهدها 9.0 V، بحيث تزوّده بتيار مقداره 50.0 mA.

a. إذا كان ثمن البطارية 10.00 ريالات، وتعمل لمدة 300.0 h فاحسب تكلفة كل kWh تُزوِّدنا به هذه البطارية عند تشغيل المذياع هذه الفترة.

$$P = IV = (0.050\ \text{A})(9.0\ \text{V}) = 0.45\ \text{W}$$

$$= 4.5\times10^{-4}\ \text{kW}$$

$$\text{ثمن kWh} = \frac{10\ \text{ريال}}{(4.5\times10^{-4}\ \text{kW})(300.0\ \text{h})}$$

$$= 74\ \text{ريال/kWh}$$

b. إذا تم تشغيل المذياع نفسه بواسطة محوِّل موصول بدائرة المنزل، وكان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.12 ريال، فاحسب تكلفة تشغيل المذياع مدة 300.0 h.

$$\text{تكلفة التشغيل} = (0.12\ \text{ريال/kWh})(4.5\times10^{-4}\ \text{kW})(300\ \text{h})$$

$$= 0.02\ \text{ريال}$$

مراجعة عامة

71. يمر تيار مقداره 1.2 A في مقاومة مقدارها 50.0 Ω مدة 5.0 min، احسب مقدار الحرارة المتولدة في المقاومة خلال هذه الفترة.

$$Q = E = I^2Rt$$

$$= (1.2\ \text{A})^2(50.0)(5.0\ \text{min})\left(\frac{60\ \text{s}}{\text{min}}\right)$$

$$= 2.2\times10^4\ \text{J}$$

72. وصِلت مقاومة مقدارها 6.0 Ω ببطارية جهدها 15 V

a. ما مقدار التيار المار في الدائرة؟

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{15\ \text{V}}{6.0\ \Omega} = 2.5\ \text{A}$$

b. ما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال 10.0 min؟

$$Q = E = I^2Rt$$

$$= (2.5\ \text{A})^2(6.0\ \Omega)(10.0\ \text{min})\left(\frac{60\ \text{s}}{\text{min}}\right)$$

$$= 2.3\times10^4\ \text{J}$$

73. **المصابيح الكهربائية** تبلغ مقاومة مصباح كهربائي متوهّج 10.0 Ω قبل إنارته، وتُصبح 40.0 Ω عند إنارته بتوصيله بمصدر جهد 120 V. أجب عن الأسئلة التالية:

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

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{40.0\ \Omega} = 3.0\ \text{A}$$

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

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{10.0\ \Omega} = 12\ \text{A}$$

c. متى يستهلك المصباح أكبر قدرة كهربائية؟

في اللحظة التي يُشغَّل فيها.

74. تستخدم مقاومة مُتغيّرة للتحكم في سرعة محرك كهربائي جهده 12 V. عند ضَبط المقاومة ليتحرك المحرك بأقل سرعة يمر فيه تيار مقداره 0.02 A، وعندما تضبط المقاومة ليتحرك المحرك بأكبر سرعة يمر فيه تيار مقداره 1.2 A، ما مدى المقاومة المتغيرة؟

المقاومة عند أقل سرعة

$$R = V/I = 12\ \text{V}/0.02\ \text{A} = 600\ \Omega.$$

المقاومة عند أكبر سرعة

$$R = V/I = 12\ \text{V}/1.2\ \text{A} = 1.0\times10^1\ \Omega.$$

المدى من $1.0\times10^1\ \Omega$ إلى 600 Ω

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

a. التيار المار في المحرك؟

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110\ \text{V}}{22.0\ \Omega} = 5.0\ \text{A}$$

b. كفاءة المحرك

$$E_w = mgd$$

$$= (1\times10^4\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(8.0\ \text{m})$$

$$= 8\times10^5\ \text{J}$$

$$E_m = IVt = (5.0\ \text{A})(110\ \text{V})(3600\ \text{s})$$

$$= 2.0\times10^6\ \text{J}$$

$$\text{كفاءة المحرك} = \frac{E_w}{E_m}\times 100$$

$$= \frac{8\times10^5\ \text{J}}{2.0\times10^6\ \text{J}}\times 100$$

$$= 40\%$$

76. ملف تسخين مقاومته $4.0\ \Omega$ ، ويعمل على جهد مقداره 120 V، أجب عما يلي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الملف عند تشغيله؟

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{4.0\ \Omega} = 3.0\times10^1\ \text{A}$$

b. ما مقدار الطاقة الواصلة إلى الملف خلال 5.0 min؟

$$E = I^2Rt$$

$$= (3.0\times10^1\ \text{A})^2(4.0\ \Omega)(5.0\ \text{min})\left(\frac{60\ \text{s}}{\text{min}}\right)$$

$$= 1.1\times10^6\ \text{J}$$

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%.

$$Q = mC\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{mC}$$

$$= \frac{1.1\times10^6\ \text{J}}{(20.0\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg}\cdot^\circ\text{C})}$$

$$= 13^\circ\text{C}$$

d. إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.08 ريال فما تكلفة تشغيل الملف 30 min في اليوم مدة 30 يومًا؟

$$\text{تكلفة التشغيل} = \left(\frac{1.1\times10^6\ \text{J}}{5\ \text{min}}\right)\left(\frac{30\ \text{min}}{\text{day}}\right)(30\ \text{days})\left(\frac{1\ \text{kWh}}{3.6\times10^6\ \text{J}}\right)\left(\frac{0.08\ \text{ريال}}{\text{kWh}}\right)$$

$$= 4.40\ \text{ريال}$$

77. **التطبيقات** مدفأة كهربائية تصل قدرتها إلى 500 W. أجب عما يلي:

a. ما مقدار الطاقة الواصلة إلى المدفأة في نصف ساعة؟

$$E = Pt = (5\times10^2\ \text{W})(1800\ \text{s})$$

$$= 9\times10^5\ \text{J}$$

b. تستخدم المدفأة لتدفئة غرفة تحتوي على 50 kg من الهواء، فإذا كانت الحرارة النوعية للهواء 1.10 kJ/kg.˚C، و50% من الطاقة الحرارية الناتجة تعمل على تسخين الهواء في الغرفة، فما مقدار التغير في درجة هواء الغرفة خلال نصف ساعة؟

$$Q = mC\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{mC}$$

$$= \frac{(0.5)(9\times10^5\ \text{J})}{(50.0\ \text{kg})(1100\ \text{J/kg}\cdot^\circ\text{C})}$$

$$= 8^\circ\text{C}$$

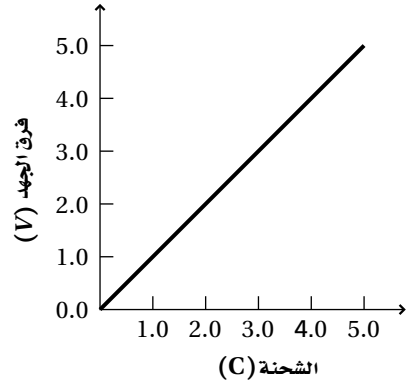
c. إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.08 ريال، فما تكلفة تشغيل المدفأة 6.0 h في اليوم مدة 30 يومًا؟

$$\text{تكلفة التشغيل} = \left(\frac{500\ \text{J}}{\text{s}}\right)\left(\frac{6.0\ \text{h}}{\text{day}}\right)\left(\frac{3600\ \text{s}}{\text{h}}\right)(30\ \text{days})\left(\frac{1\text{kWH}}{3.6\times10^6\ \text{J}}\right)\left(\frac{0.08\ \text{ريال}}{\text{kWh}}\right)$$

$$= 7\ \text{ريال}$$

التفكير الناقد

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



الجهد $V = \frac{q}{C} = \frac{5.0\ \text{C}}{1.0\ \text{F}} = 5.0\ \text{V}$

الطاقة $E =$ **المساحة تحت المنحنى**

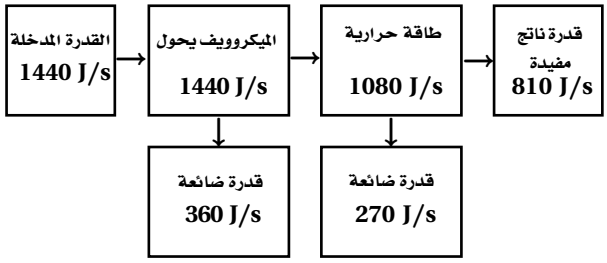
$$= \frac{1}{2}(5.0\ \text{V})(5.0\ \text{C})$$

$$= 13\ \text{J}$$

لا. لأن الشحنة الكلية مضروبة في فرق الجهد النهائي بيانيًا تساوي ضعف المساحة تحت المنحنى تمامًا. وفيزيائيًا هذا يعني أن كل كولوم يحتاج إلى كمية الطاقة القصوى نفسها لتخزينها في المكثف. وفي الواقع تزداد كمية الطاقة اللازمة لإضافة كل شحنة كلما تراكمت الشحنة في المكثف.

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

a. ارسم نموذجًا تخطيطيًا للقدرة الكهربائية مشابهًا لنموذج الطاقة الموضّح في **الشكل 2b–3**. ميّز وظيفة كلّ جزء منه وفقًا للجولات الكلية لكل ثانية.



b. اشتق معادلة لمعدل الزيادة في درجة الحرارة $(\Delta T/s)$ لمادة موضوعة في الميكروويف مستعينًا بالمعادلة $\Delta Q = mC\Delta T$، حيث ΔQ التغير في الطاقة الحرارية للمادة، و m كتلتها، و C حرارتها النوعية، و ΔT التغير في درجة حرارتها.

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{1}{mC}\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)$$

c. استخدم المعادلة التي توصلت إليها لإيجاد معدل الارتفاع في درجة الحرارة بوحدة سلسيوس لكل ثانية، وذلك عند استخدام هذا الفرن لتسخين 250 g من الماء إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة.

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{1}{mC}\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)$$

$$= \frac{810\ \text{J/s}}{(0.25\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg}\cdot^\circ\text{C})}$$

$$= 0.78^\circ\text{C/s}$$

d. راجع حساباتك جيدًا وانتبه إلى الوحدات المستخدمة، وبين ما إذا كانت إجابتك صحيحة.

ألغيت وحدة kg ووحدة J ، وبقيت °C/s.

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

كفاءة التحويل من الطاقة الكهربائية إلى طاقة في الميكروويف هي 75%، ومن المحتمل إيجاد طريقة أخرى مختلفة لتحويل الطاقة الكهربائية إلى إشعاع تكون أكثر فاعلية. وكفاءة التحويل من أشعة الميكروويف إلى طاقة حرارية في الماء 75%، ومن المحتمل تحسين عملية تحويل أشعة الميكروويف إلى طاقة حرارية عند استخدام ترددات مختلفة للإشعاع الكهرمغناطيسي.

f. ناقش لماذا يجب عدم تشغيل أفران الميكروويف وهي فارغة؟

عند تشغيل الفرن الفارغ فأن طاقة الميكروويف ستتبدّد في الفرن. وهذا قد يؤدي إلى مزيد من السخونة لأجزاء الفرن، ومن ثم تلفها.

80. **تطبيق المفاهيم** تتراوح أحجام مقاومة مقدارها $10\ \Omega$ بين رأس دبوس إلى وعاء حساء. وضح ذلك.

يُحدّد الحجم الفيزيائي للمقاومة حسب قدرتها. فالمقاومات التي تنتج قدره عند 100 W تكون أكبر كثيرًا من تلك التي تنتج قدرتة مقدارها 1 W.

81. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** الرسم البياني للصمام الثنائي (الدايود) الموضّح في **الشكل 15–3** أكثر فائدة من رسم بياني مشابه للمقاومة يحقّق قانون أوم. وضح ذلك.

المنحنى البياني فولت – أمبير للمقاومة الذي يحقق قانون أوم عبارة عن خط مستقيم ونادرًا ما يكون ضروريًا.

الكتابة في الفيزياء

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

يجب أن تتضمن إجابات الطلاب فكرة أن الأجهزة التي تحقّق قانون أوم يتناسب هبوط الجهد فيها طرديًا مع التيار المارّ في الجهاز، وأن الصيغة الرياضية $R = V/I$، وأن تعريف المقاومة، مشتق من قانون أوم.

83. تمدد المادة عند تسخينها. ابحث في العلاقة بين التمدد الحراري وأسلاك التوصيل المستخدمة لنقل الجهد العالي.

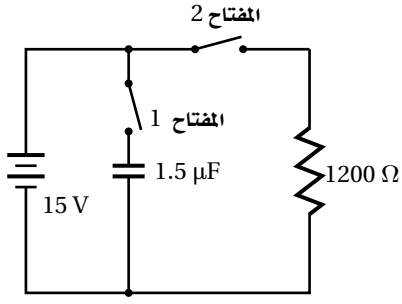
ستختلف الإجابات، لكن على الطلاب أن يوضحوا أن أسلاك (خطوط) نقل القدرة الكهربائية تصبح ساخنة بمقدار كاف لكي تتمدد وترتخي عندما يمر فيها تيارات كبيرة وتصبح هذه الأسلاك المرتخية خطيرة إذا لامست أجسامًا أسفل منها، كالأشجار أو خطوط قدرة أخرى.

مراجعة تراكمية

84. تبعد شحنة مقدارها $+3.0\times10^{-6}\ \text{C}$ مسافة 2.0 m عن شحنة أخرى مقدارها $+6.0\times10^{-5}\ \text{C}$، احسب مقدار القوة المتبادلة بينهما.

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$$
$$= (9.0\times10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)\frac{(3.0\times10^{-6}\ \text{C})(6.0\times10^{-5}\ \text{C})}{(2.0\ \text{m})^2}$$
$$= 0.41\ \text{N}$$

مسألة التحفيز



استخدم الشكل المجاور للإجابة عن الأسئلة التالية:

1. في البداية، المكثف غير مشحون، والمفتاح 1 مغلق، والمفتاح 2 بقي مفتوحًا. احسب فرق الجهد بين طرفي المكثف.

15 V

2. إذا فُتِح المفتاح 1 الآن، وبقي المفتاح 2 مفتوحًا فما فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ لماذا؟

سيبقى فرق الجهد 15 V بين طرفي المكثف، لأنه لا يوجد مسار لتفريغ الشحنه.

3. بعد ذلك، أُغلق المفتاح 2، وبقي المفتاح 1 مفتوحًا. ما فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ وما مقدار التيار المار في المقاومة بعد إغلاق المفتاح 2 مباشرة؟

فرق الجهد بين طرفي المكثف 15 V ، والتيار المار في المقاوم 13 mA

4. مع مرور الوقت، ماذا يحدث لجهد المكثف والتيار المار في المقاومة؟

يبقى جهد المكثف 15 V؛ لأنه لا يوجد مسار لتفريغ شحنات المكثف ، ويبقى مقدار التيار المار في الدائرة 13 mA ؛ لأن جهد البطارية ثابت عند 15 V. لكن إذا كان كل من البطارية والمكثف من العناصر المستخدمة في الحياة اليومية بدلًا من عناصر الدائرة المثالية ؛ فإن جهد المكثف في النهاية يصبح صفرًا ، وذلك بسبب تسرب الشحنات، وسيصبح التيار في النهاية صفرًا كذلك؛ بسبب استنفاد البطارية.

مسائل تدريبية

1–4 الدوائر الكهربائية البسيطة

1. وصِلت المقاومات 5 Ω و15 Ω و10 Ω في دائرة توالٍ كهربائية ببطارية جهدها 90 V. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟ وما مقدار التيار المار فيها؟

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$= 10\,\Omega + 15\,\Omega + 5\,\Omega = 30\,\Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{90\text{ V}}{30\,\Omega} = 3\text{ A}$$

2. وصِلت بطارية جهدها 9 V بثلاث مقاومات موصولة على التوالي في دائرة كهربائية. إذا زاد مقدار أحد المقاومات فأجب عما يلي

a. كيف تتغير المقاومة المكافئة؟

ستزداد المقاومة المكافئة

b. ماذا يحدث للتيار؟

سيقل التيار، لأن $I = \frac{V}{R}$

c. هل يكون هناك أي تغير في جهد البطارية؟

لا، لأنها لا تعتمد على المقاومة.

3. وصِل طرفا سلك زينة فيه عشرة مصابيح ذات مقاومات متساوية ومتصلة على التوالي بمصدر جهد 120 V، فإذا كان التيار المار في المصابيح 0.06 A فاحسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{120\text{ V}}{0.06\text{ A}} = 2\times10^3\,\Omega$$

b. مقاومة كل مصباح.

$$R_{\text{مصباح}} = \frac{R}{10} = \frac{2\times10^3\,\Omega}{10} = 2\times10^2\,\Omega$$

4. احسب الهبوط في الجهد خلال المقاومات الثلاث الواردة في المسألة 1، ثم تحقق أن مجموع الهبوط في الجهد عبر المصابيح الثلاثة يساوي جهد البطارية.

$$V_1 = IR_1 = (3\text{ A})(10\,\Omega) = 30\text{ V}$$

$$V_2 = IR_2 = (3\text{ A})(15\,\Omega) = 45\text{ V}$$

$$V_3 = IR_3 = (3\text{ A})(5\,\Omega) = 15\text{ V}$$

$$V_1 + V_2 + V_3 = 30\text{ V} + 45\text{ V} + 15\text{ V}$$

$$= 90\text{ V}$$

$$= \text{جهد البطارية}$$

5. إذا أظهرت الدائرة الموضّحة في المثال 1 النتائج التالية: قراءة الأميتر 0 A، وقراءة V_A تساوي 0 V، وقراءة V_B تساوي 45 V، فما الذي حدث؟

فُصل المقاوم R_B فاصبحت مقامته لانهائية، وظهرت البطارية وكأنها متصلة مع الفولتمتر V_B فقط.

6. افترض أن قيم عناصر الدائرة الكهربائية الموضّحة في المثال 1 هي: $R_A = 255\,\Omega$ و$R_B = 292\,\Omega$ و$V_A = 17.0$ V، وليس هناك أيّ معلومات أخرى، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{17.0\text{ V}}{255.0\,\Omega} = 66.7\text{ mA}$$

b. ما مقدار جهد البطارية؟

$$R = R_A + R_B$$

$$= 255\,\Omega + 292\,\Omega$$

$$= 547\,\Omega$$

$$V = IR = (66.7\text{ mA})(547\,\Omega) = 36.5\text{ V}$$

c. ما مقدار القدرة الكهربائية الكلية المستنفدة؟ وما مقدار القدرة المستنفدة في كل مقاومة؟

$$P = IV = (66.7\ \text{mA})(36.5\ \text{V}) = 2.43\ \text{W}$$

$$P_A = I^2R_A$$

$$= (66.7\ \text{mA})^2(255\ \Omega)$$

$$= 1.13\ \text{W}$$

$$P_B = I^2R_B$$

$$= (66.7\ \text{mA})^2(292\ \Omega)$$

$$= 1.30\ \text{W}$$

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

نعم. القدرة الكلية المستنفذة في الدائرة تساوي مجموع القدرة المستنفدة في كل المقاومات حسب قانون حفظ الطاقة.

7. توصل مصابيح أسلاك الزينة غالبًا على التوالي، وضح لماذا تستخدم مصابيح خاصة تشكّل دائرة قصر عندما يحترق فتيلها إذا ازداد جهد المصباح ليصل إلى جهد الخط؟ ولماذا تحترق المنصهرات الكهربائية الخاصة بمجموعات المصابيح تلك بعد احتراق عدد من هذه المصابيح؟

إذا لم تكن ألِيَة تكوين دائرة القصر موجودة؛ فإنه عند احتراق أحد المصابيح ستتوقف سائر المصابيح عن العمل. بعد احتراق أكثر من مصباح ستقلّ المقاومة الكلية ومن ثم يزداد التيار بدرجة كافية لصهر فتيل المنصهر الكهربائي.

8. تتكوّن دائرة توالٍ كهربائية من بطارية جهدها 12.0 V وثلاثة مقاومات. فإذا كان جهد أحد المقاومات 1.21 V، وجهد مقاومة ثانية 3.33 V، فما مقدار جهد المقاومة الثالثة؟

$$V_{\text{المصدر}} = V_A + V_B + V_C$$

$$V_C = V_{\text{المصدر}} - (V_A + V_B)$$

$$= 12.0\ \text{V} - (1.21\ \text{V} + 3.33\ \text{V}) = 7.46\ \text{V}$$

9. وصِلت المقاومتان 22 Ω و33 Ω في دائرة توالٍ كهربائية بفرق جهد مقداره 120 V. احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

$$R = R_1 + R_2 = 22\ \Omega + 33\ \Omega = 55\ \Omega$$

b. التيار المار في الدائرة.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{55\ \Omega} = 2.2\ \text{A}$$

c. الهبوط في الجهد عبر كل مقاومة.

$$V_1 = IR_1$$

$$= \left(\frac{V}{R}\right)R_1$$

$$= \left(\frac{120\ \text{V}}{55\ \Omega}\right)(22\ \Omega)$$

$$= 48\ \text{V}$$

$$V_2 = IR_2 = \left(\frac{120\ \text{V}}{55\ \Omega}\right) = 72\ \text{V}$$

d. الهبوط في الجهد عبر المقاومتين معًا.

$$V = 48\ \text{V} + 72\ \text{V} = 120\ \text{V}$$

10. قام طالب بعمل مجزئ جهد يتكوّن من بطارية جهدها 45 V ومقاومتين قيمتاهما: 475 kΩ و235 kΩ. فإذا قيس الجهد الناتج عبر المقاومة الصغرى فما مقدار هذا الجهد؟

$$V_B = \frac{VR_B}{R_A + R_B}$$

$$= \frac{(45\ \text{V})(235\ \text{k}\Omega)}{475\ \text{k}\Omega + 235\ \text{k}\Omega} = 15\ \text{V}$$

11. ما مقدار المقاومة التي يمكن استخدامها عنصرًا في دائرة مجزئ جهد مع مقاومة أخرى مقدارها 1.2 kΩ، بحيث يكون الهبوط في الجهد عبر المقاومة 1.2 kΩ تساوي 2.2 V عندما يكون جهد المصدر 12 V؟

$$V_B = \frac{VR_B}{R_A + R_B}$$

$$R_A = \frac{VR_B}{V_B} - R_B$$

$$= \frac{(12.0\ \text{V})(1.2\ \text{k}\Omega)}{1.2\ \text{V}} - 1.2\ \text{k}\Omega$$

$$= 5.3\ \text{k}\Omega$$

12. وصِلت ثلاثة مقاومات مقاديرها 120.0 Ω و 60.0 Ω و 40.0 Ω على التوازي مع بطارية جهدها 12.0 V، احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$= \frac{1}{120.0\ \Omega} + \frac{1}{60.0\ \Omega} + \frac{1}{40.0\ \Omega}$$

$$R = 20.0\ \Omega$$

b. التيار الكهربائي الكلي المار في الدائرة.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12.0\ \text{V}}{20.0\ \Omega} = 0.600\ \text{A}$$

c. التيار المار في كل مقاومة.

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{12.0\ \text{V}}{120.0\ \Omega} = 0.100\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{12.0\ \text{V}}{60.0\ \Omega} = 0.200\ \text{A}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{12.0\ \text{V}}{40.0\ \Omega} = 0.300\ \text{A}$$

13. إذا أردنا تغيير مقاومة فرع في دائرة كهربائية من 150 Ω إلى 93 Ω فإنه يجب إضافة مقاومة إلى هذا الفرع. ما مقدار المقاومة التي يجب إضافتها؟ وكيف يتم توصيلها؟

التوصيل على التوازي هو المطلوب لتقليل مقدار المقاومة

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

$$\frac{1}{R_A} = \frac{1}{R} - \frac{1}{R_B} = \frac{1}{93\ \Omega} - \frac{1}{150\ \Omega}$$

$$R_A = 2.4 \times 10^2\ \Omega$$

مقدار المقاومة التي يجب إضافتها يساوي $2.4 \times 10^2\ \Omega$ وتوصل على التوازي مع المقاومة 150 Ω

14. وُصلت مقاومة مقدارها 12 Ω وقدرتها 2 W على التوازي بمقاومة أخرى مقدارها 6.0 Ω وقدرتها 4 W. أيهما يسخّن أكثر إذا زاد فرق الجهد بين طرفيهما باستمرار؟

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

$$V = \sqrt{PR}$$

يتساوى الجهد في توصيل المقاومات على التوازي.

$$V = \sqrt{P_1 R_1} = \sqrt{P_2 R_2}$$

$$= \sqrt{(2\ \text{W})(12\ \Omega)}$$

$$= \sqrt{(4\ \text{W})(6.0\ \Omega)}$$

القيمة العظمى $= 5\ \text{V}$

لا تسخن أي منها قبل الأخرى، بل كل منهما سيصل إلى القيمة العظمى لاستهلاك الطاقة عند الجهد نفسه.

مراجعة القسم

1–4 الدوائر الكهربائية البسيطة

15. **أنواع الدوائر الكهربائية** قارن بين الجهود والتيارات في دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.

يجب ان تتضمن إجابات الطلاب الأفكار التالية: (1) في دوائر التوالي تكون التيارات المارّة في كل جهاز متساوية، ويكون مجموع الهبوط في الجهد مساويًا لجهد المصدر. (2)في دوائر التوازي يكون الهبوط في الجهد عبر كل جهاز هو نفسه، ويكون مجموع التيارات المارّة في جميع الحلقات مساويًا لتيار المصدر.

16. **التيار الكلي** دائرة توازٍ فيها أربعة أفرع للتيار، وقيم التيارات في تلك الفروع: 120 mA و 250 mA و 380 mA و 2.1 A، ما مقدار التيار الذي يُولِّده المصدر؟

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$= 120\ \text{mA} + 250\ \text{mA} + 380\ \text{mA} + 2.1\ \text{A}$$

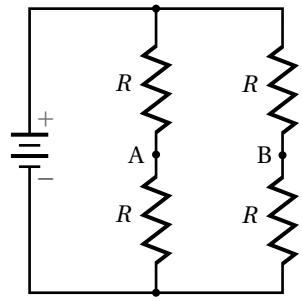
$$= 0.12\ \text{A} + 0.25\ \text{A} + 0.38\ \text{A} + 2.1\ \text{A}$$

$$= 2.9\ \text{A}$$

17. التيـار الكلي تحتوي دائرة توالٍ علـى أربعة مقاومات. إذا كان التيار المار في أحد المقاومات يساوي 810 mA فاحسب مقدار التيار الذي يُـولِّده المصدر.

بما ان المقاومات موصولة على التوالي فالتيار المارّ في أي مقاومة هو نفسـه في المقاومة الأخرى، وهو نفسـه تيار المصدر، أي أن تيار المصدر يساوي810 mA .

18. التفكير الناقـد تحتوي الدائرة الكهربائية الموضحة في **الشـكل 8–4** على أربعة مقاومـات متماثلة. افترض أن سلكًا استُخدم لوصل النقطتين A وB. أجب عن الأسئلة التالية مع توضيح السبب:



■ **الشكل 8–4**

a. ما مقدار التيار المار في السلك؟

A 0، لأن جهد النقطة A يساوي جهد النقطةB .

b. ماذا يحدث للتيار المار في كل مقاومة؟

لا شيء

c. ماذا يحدث للتيار الخارج من البطارية؟

لا شيء

d. ماذا يحدث لفرق الجهد بين طرفي كل مقاومة؟

لا شيء

مسائل تدريبية

4–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية

19. تحتوي دائرة كهربائية مُركّبة على ثلاثة مقاومات. تستنفد المقاومة الأولى قدرة مقدارها 2.0 W، وتسـتنفد الثانية قـدرة مقدارهـا 3.0 W، وتسـتنفد الثالثة قـدرة مقدارها 1.5 W. ما مقدار التيار الذي تسـحبه الدائرة من بطارية جهدها 12.0 V؟

باستخدام قانون حفظ الطاقة(القدرة)

$$P_{\text{كلية}} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$= 2.0\,\text{W} + 3.0\,\text{W} + 1.5\,\text{W}$$

$$= 6.5\,\text{W}$$

$$P_{\text{كلية}} = IV$$

$$I = \frac{P_{\text{كلية}}}{V} = \frac{6.5\,\text{W}}{12\,\text{V}} = 0.54\,\text{A}$$

20. يتصـل 11 مصباحًـا كهربائيًّا معًا علـى التوالي، وتتصل المجموعة علـى التوالي بمصباحين كهربائيين يتصلان علـى التوازي. فـإذا كانت المصابيـح جميعها متماثلة، فأيها يكون سطوعه أكبر؟

سـتكون المصـابيح الـ (11)المتصـلة على التوالي أكثر سـطوعًا، في حين يكون تيار كل مصباح من المصباحين المتصلين على التوازي نصف التيار الذي يمر في المصابيح الـ ،(11)وعليه سيكون سطوع كل من هذين المصباحين ربع سطوح أي من المصابيح الـ(11) .

21. ماذا يحدث للدائرة الموصوفة في المسـألة السابقة، إذا احترق أحد المصباحين المتصلين على التوازي؟

عندئذٍ تصبح جميع المصابيح العاملة موصولة على التوالي، ويتوهج الـ (12) مصباحًا بالشدة نفسها.

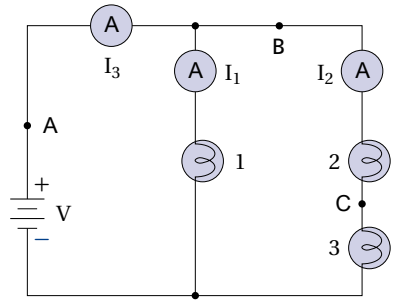
22. ماذا يحدث للدائرة الموصوفة في المسألة 20 إذا حدث دائرة قصر لأحد المصباحين المتصلين على التوازي؟

سيجعل المصباح الذي حدث فيه دائرة قصر فرق الجهد خلاله وخلال المصباح الآخر المتصل معه على التوازي صـفرًا. أمـا المصـابيح الـ (11)المتصـلة علـى التوالي فستتساوى في شدة توهّجها ولكنه يزداد مقارنة بوضعها السابق، أما المصباحان المتوازيان فلن يضيئا.

مراجعة القسم

4–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية

ارجع إلى **الشكل 13–4** للإجابة عن **الأسئلة 28–23** ،افترض أن جميع المصابيح في الدائرة الكهربائية متماثلة.



■ **الشكل 13–4**

23. **السطوع** قارن بين سطوع المصابيح.

المصباحان 2 و 3متساويان في سطوعهما، ولكنهما أقل من سطوع المصباح1.

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

$$I_3 = I_1 + I_2$$

$$I_2 = I_3 - I_1 = 1.7\ A - 1.1\ A = 0.6\ A$$

25. **دوائر التوالي الكهربائية** إذا فُصِل السلك عند النقطة C، ووُصِلت مقاومة صغيرة على التوالي بالمصباحين 2 و3 فماذا يحدث لسطوع كل منهما؟

تخفُتُ إضاءتُهما بالتساوي، ويقلّ التيار في كل منهما بالمقدار نفسه.

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

$$V = V_1 + V_2 = 3.8\ V + 4.2\ V = 8.0\ V$$

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

لا. لأن المصابيح المتماثلة الموصولة على التوالي يكون الهبوط في الجهد عبرها متساويًا؛ لأن التيارات المارة فيها متساوية.

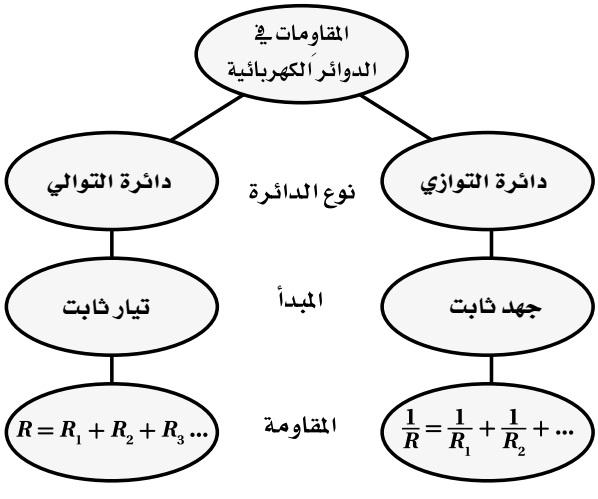
28. **التفكير الناقد** هل هناك طريقة لجعل المصابيح الثلاثة في الشكل تُضيء بالشدة نفسها دون استخدام أيّ مقاومات إضافية؟ وضّح إجابتك.

نعم. لأن شدة الإضاءة تتناسب طرديًا مع القدرة فسيكون من الضروري استخدام مصباح في الموقع 1 مقاومته تساوي أربعة أضعاف مقاومتي المصباحين في الموقعين 2و 3وهما مضاءين $\frac{V^2}{4R} = \frac{(V/2)^2}{R}$.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

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



إتقان المفاهيم

30. لمـاذا تنطفئ جميع المصابيح الموصولـة على التوالي إذا احترق أحدها؟

عندمـا يحتـرق أحد المصـابيح تفتح الدائـرة فتنطفئ المصابيح الأخرى.

31. لماذا تقل المقاومة المكافئة في دائرة التوازي كلما أضيف المزيد من المقاومات؟

لأن كل مقاومة ستُوفّر مسارًا إضافيًا للتيار.

32. إذا وصِلـت مجموعة مقاومـات مختلفة في قيمها على التوازي، فكيف تُقَارن قيمة كل منها بالمقاومة المكافئة للمجموعة؟

تكون قيمة المقاومة المكافئة أقل من قيمة أيّ مقاومة.

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

لكي تعمل الأجهزة المنزلية الموصولة على التوازي كل منها على حدة دون أن يؤثر بعضها في الآخر.

34. قـارن بين مقدار التيار الداخل إلـى نقطة تفرّع في دائرة توازٍ ومقدار التيار الخارج منها. (نقطةالتفرّع: نقطة تتصل بها ثلاثة موصلات أو أكثر).

مجموع التيارات الداخلة إلى نقطة التفرّع يساوي مجموع التيارات الخارجة منها.

35. وضّـح كيف يعمل منصهـر كهربائي علـى حماية دائرة كهربائية ما؟

يعمل المنصهر على حماية الأجهزة والأسلاك الكهربائية من مرورتيار كهربائي كبير فيها قد يسبّب حريقًا نتيجة التسخين الزائد.

36. ما المقصود بدائرة القصر؟ ولماذا تكون خطيرة؟

دائرة القصـر هي الدائـرة ذات المقاومة القليلة جدًا. ودائرة القصر خطيرة جدًا إذا طُبّق عليها أي فرق جهد؛ لأنها تسـبب تدفق تيار كهربائي كبير، والأثر الحراري للتيار يمكنه أن يسبب حريقًا.

37. لماذا يُصمّم الأميتر بحيث تكون مقاومته صغيرة جدًّا؟

يجب أن تكون مقاومة الأميتر صغيرة جدًا؛ لأنه يوصل على التوالي في الدائرة الكهربائية، فإذا كانت مقاومته كبيرة فستتغيّر مقاومة الدائرة بشكل واضح.

38. لماذا يُصمّم الفولتمتر بحيث تكون مقاومته كبيرة جدًّا؟

يجب ان تكون مقاومة الفولتمتر كبيرة جدًا للسبب نفسه الذي يجعل مقاومة الأميتر صـغيرة، فإذا كانت مقاومة الفولتمتر صغيرة فإنه يقلّل مقاومة الجزء المتصل معه مـن الدائـرة، ممّا يزيد التيار في الدائرة، وهذا يسـبّب هبوطًا أكبر في الجهد خلال الجزء المتصل مع الفولتمتر في الدائرة، مما يغير الجهد المقيس.

39. كيـف تختلف طريقة توصيل الأميتر فـي دائرة كهربائية عن طريقة توصيل الفولتمتر في الدائرة نفسها؟

يوصـل الأميتر على التوالي، في حين يوصل الفولتمتر على التوازي.

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؟

إذا احترق فتيل أحد المصابيح فإن التيار يتوقف وستنطفئ المصابيح الأخرى.

41. افتـرض أن المقاومة R_A في مجزئ الجهد الموضّح في **الشكل 4–4** صُمّمت لتكون مقاومة متغيّرة، فماذا يحدث للجهد الناتج V_B في مجزئ الجهد إذا زاد مقدار المقاومة المتغيرة؟

لذا فعندما تزداد R_A تقل V_A. $V_B = V_R B/(R_A + R_B)$،

42. تحتوي الدائرة A على ثلاثة مقاومات مقدار كل منها 60 Ω موصولة على التوالي، أما الدائرة B فتحتوي على ثلاثة مقاومـات مقدار كل منها 60 Ω موصولة على التوازي. كيـف يتغير التيار المار في المقاومة الثانية في كل دائرة منهما إذا قطع مفتاح كهربائي التيار عن المقاومة الأولى؟

في الدائرة A لن يمر تيار في المقاومة. أما في الدائرة Bفسيبقى التيار في المقاومة كما هو.

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؟

إذا احترق فتيل أحد المصابيح فإن المقاومة وفرق الجهد خلال بقية المصابيح لا تتغيّر، لذا تبقى المصابيح الأخرى مضاءة.

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

يتم ذلك بوصل أربعة من المصابيح على التوالي.

45. مصباحان كهربائيّان مقاومة أحدهما أكبر من مقاومة الآخر. أجب عمّا يلي:

a. إذا وصل المصباحان على التوازي فأيُّهما يكون سطوعه أكبر (أيْ أيُّهما يستنفد قدرة أكبر)؟

المصباح ذو المقاومة الأقل.

b. إذا وصِل المصباحان على التوالي فأيهما يكون سطوعه أكبر؟

المصباح ذو المقاومة الأكبر.

46. اكتب نوع الدائرة المستخدمة (توالٍ أم توازٍ) فيمايلي:

a. التيار متساوٍ في جميع أجزاء الدائرة الكهربائية.

على التوالي

b. المقاومة المكافئة تساوي مجموع المقاومات المُفردة.

على التوالي

c. الهبوط في الجهد عبر كل مقاومة في الدائرة الكهربائية متساوٍ.

على التوازي

d. الهبوط في الجهد في الدائرة الكهربائية يتناسب طرديًّا مع المقاومة.

على التوالي

e. إضافة مقاومة إلى الدائرة يُقلّل المقاومة المكافئة.

على التوازي

f. إضافة مقاومة إلى الدائرة يزيد المقاومة المكافئة.

على التوالي

g. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاومات دائرة كهربائية صفرًا، ولم يمر تيار في جميع المقاومات الأخرى الموجودة في الدائرة.

على التوالي

h. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاومات دائرة كهربائية صفرًا، ولم تتغير مقادير التيارات الكهربائية المارة في جميع المقاومات الأخرى الموجودة في الدائرة.

على التوازي

i. هذا النوع من التوصيل مناسب لتمديدات الأسلاك في المنزل.

على التوازي

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

يسمح المنصهر 30 A بمرور تيار أكبر في الدائرة، فتتولّد حرارة أكبر في الأسلاك، مما يجعل ذلك خطيرًا.

إتقان حل المسائل

1–4 الدوائر الكهربائية البسيطة

48. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات التالية: 680 Ω و 1.1 kΩ و 10 kΩ إذا وصلت على التوالي.

$$R = 680\ \Omega + 1100\ \Omega + 10000\ \Omega$$

$$= 12\ \text{k}\Omega$$

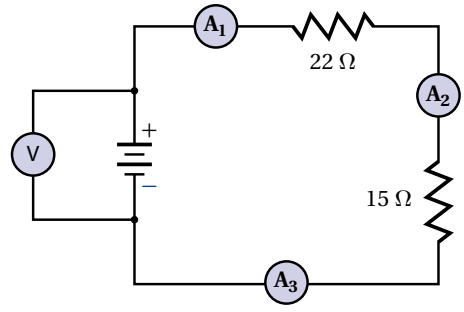
49. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات التالية: 10.0 kΩ و 1.1 kΩ و 680 Ω إذا وصلت على التوازي.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{0.68\ \text{k}\Omega} + \frac{1}{1.1\ \text{k}\Omega} + \frac{1}{10\ \text{k}\Omega}\right)}$$

$$= 0.40\ \text{k}\Omega$$

50. إذا كانت قراءة الأميتر 1 الموضح في **الشكل 14–4** تساوي 0.20 A، فما مقدار:



■ **الشكل 14–4**

a. قراءة الأميتر 2؟

0.20 A، لأن التيار ثابت في المقاومات المتصلة على التوالي.

b. قراءة الأميتر3؟

0.20 A، لأن التيار ثابت في المقاومات المتصلة على التوالي.

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

$$V = 5.50\ \text{V} + 6.90\ \text{V} = 12.4\ \text{V}$$

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

$$I = 3.45\ \text{A} + 1.00\ \text{A} = 4.45\ \text{A}$$

53. إذا كانت قراءة الأميتر 1 في **الشكل 14–4** تساوي 0.20 A فما مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة؟

$$R = R_1 + R_2 = 15\ \Omega + 22\ \Omega = 37\ \Omega$$

b. جهد البطارية؟

$$V = IR = (0.20\ \text{A})(37\ \Omega) = 7.4\ \text{V}$$

c. القدرة المستنفدة في المقاومة 22 Ω ؟

$$P = I^2R = (0.20\ \text{A})^2(22\ \Omega)$$

$$= 0.88\ \text{W}$$

d. القدرة الناتجة عن البطارية؟

$$P = IV = (0.20\ \text{A})(7.4\ \text{V}) = 1.5\ \text{W}$$

54. إذا كانت قراءة الأميتر 2 الموضّح في **الشكل 14–4** تساوي 0.50 A فاحسب مقدار:

a. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 22 Ω.

$$V = IR = (0.50\ \text{A})(22\ \Omega) = 11\ \text{V}$$

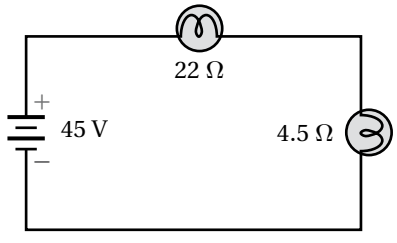
b. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 15 Ω.

$$V = IR = (0.50\ \text{A})(15\ \Omega) = 7.5\ \text{V}$$

c. جهد البطارية.

$$V = V_1 + V_2 = (11\ \text{V}) + (7.5\ \text{V}) = 19\ \text{V}$$

55. وصِل مصباحان مقاومة الأول 22 Ω ومقاومة الثاني 4.5 Ω على التوالي بمصدر فرق جهد مقداره 45 V، كما هو موضّح في **الشكل 15–4**. احسب مقدار:



■ **الشكل 15–4**

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

$$22\ \Omega + 4.5\ \Omega = 27\ \Omega$$

b. التيار المار في الدائرة.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{45\ \text{V}}{27\ \Omega} = 1.7\ \text{A}$$

c. الهبوط في الجهد في كل مصباح.

$$V = IR = (1.7\ \text{A})(22\ \Omega) = 37\ \text{V}$$

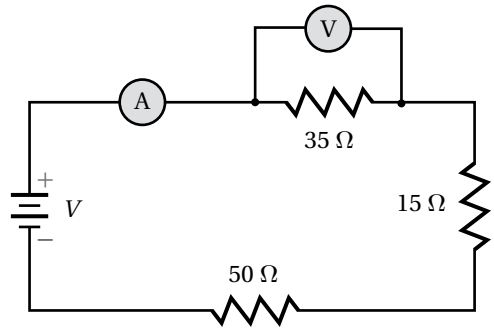
$$V = IR = (1.7\ \text{A})(4.5\ \Omega) = 7.7\ \text{V}$$

d. القدرة المستهلكة في كل مصباح.

$$P = IV = (1.7\ \text{A})(37\ \text{V}) = 63\ \text{W}$$

$$P = IV = (1.7\ \text{A})(7.7\ \text{V}) = 13\ \text{W}$$

56. إذا كانت قراءة الفولتمتر الموضّح في **الشكل 16–4** تساوي 70.0 V فأجب عن الأسئلة التالية:



■ **الشكل 16–4**

a. ما مقدار قراءة الأميتر؟

باستخدام قانون أوم $I = \frac{V}{R}$

$$= \frac{70.0\ \text{V}}{35\ \Omega} = 2.0\ \text{A}$$

b. أي المقاومات أسخن؟

50 Ω، حيث $P = I^2R$ والتيار (I) ثابت المقدار في المقاومات الموصولة على التوالي، لذا تستنفد المقاومة الأكبر قدرة أكبر.

c. أي المقاومات أبرد؟

15 Ω، حيث $P = I^2R$ والتيار (I ثابت المقدار في المقاومات الموصولة على التوالي، لذا تستنفد المقاومة الأقل قدرة أقل.

d. ما مقدار القدرة المزوّدة بواسطة البطارية؟

أولًا: نحسب المقاومة المكافئة:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$= 35\ \Omega + 15\ \Omega + 50\ \Omega$$

$$= 0.1\ \text{k}\Omega$$

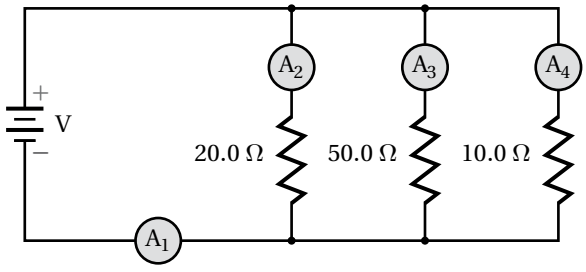
ثانيًا نحسب قدرة البطارية:

$$P = I^2R$$

$$= (2.0\ \text{A})^2(0.1\ \text{k}\Omega)(1000\ \Omega/\text{k}\Omega)$$

$$= 4 \times 10^2\ \text{W}$$

57. إذا كان جهد البطارية الموضحة في **الشكل 17–4** يساوي 110 V، فأجب عن الأسئلة التالية:



■ **الشكل 17–4**

a. ما مقدار قراءة الأميتر 1؟

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)}$$

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{20.0\ \Omega} + \frac{1}{50.0\ \Omega} + \frac{1}{10.0\ \Omega}\right)}$$

$$= 5.88\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.1 \times 10^2\ \text{V}}{5.88\ \Omega} = 19\ \text{A}$$

b. ما مقدار قراءة الأميتر 2؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.1 \times 10^2\ \text{V}}{20.0\ \Omega} = 5.5\ \text{A}$$

c. ما مقدار قراءة الأميتر 3؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.1 \times 10^2\ \text{V}}{50.0\ \Omega} = 2.2\ \text{A}$$

d. ما مقدار قراءة الأميتر 4؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.1\times10^{2}\ \text{V}}{10.0\ \Omega} = 11\ \text{A}$$

e. أي المقاومات أسخن؟

10.0 Ω، حيث $P = \frac{V^2}{R}$ والجهد (V ثابت المقدار في المقاومات الموصولة على التوازي، لذا تستنتفد المقاومة الأقل قدرة أكبر.

f. أي المقاومات أبرد؟

50.0 Ω، حيث $P = \frac{V^2}{R}$ والجهد (V ثابت المقدار في المقاومات الموصولة على التوازي، لذا تستنتفد المقاومة الأكبر قدرة أقل.

58. إذا كانت قراءة الأميتر 3 الموضح في **الشكل 17–4** تساوي 0.40 A فما مقدار:

a. جهد البطارية؟

$$V = IR = (0.40\ \text{A})(50.0\ \Omega) = 2.0\times10^{1}\ \text{V}$$

b. قراءة الأميتر 1؟

أولا نحسب المقاومة المكافئة:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)}$$

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{20.0\ \text{k}\Omega} + \frac{1}{50.0\ \text{k}\Omega} + \frac{1}{10.0\ \Omega}\right)}$$

$$= 5.88\ \Omega$$

ثانيًا نحسب تيار الأميتر1 :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2.0\times10^{2}\ \text{V}}{5.88\ \Omega} = 3.4\ \text{A}$$

c. قراءة الأميتر 2؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2.0\times10^{1}\ \text{V}}{20.0\ \Omega} = 1.0\ \text{A}$$

d. قراءة الأميتر 4؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2.0\times10^{1}\ \text{V}}{10.0\ \Omega} = 2.0\ \text{A}$$

59. ما اتجاه التيار الاصطلاحي المار في المقاومة 50.0 Ω الموضّح في **الشكل 17–4**؟

إلى أسفل

60. إذا كان الحمل الموصول بطرفي بطارية يتكون من مقاومتين 15 Ω و47 Ω موصولتين على التوالي فما مقدار:

a. المقاومة الكلية للحمل؟

$$R = R_1 + R_2 = 15\ \Omega + 47\ \Omega$$

$$= 62\ \Omega$$

b. جهد البطارية إذا كان مقدار التيار المار في الدائرة 97 mA؟

$$V = IR = (97\ \text{mA})(62\ \Omega) = 6.0\ \text{V}$$

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:

a. المقاومة المكافئة لسلك المصابيح؟

$$P = \frac{V^2}{R_{\text{مكافئة}}}$$

$$R_{\text{مكافئة}} = \frac{V^2}{P} = \frac{(120\ \text{V})^2}{64\ \text{W}} = 2.3\times10^{2}\ \Omega$$

b. مقاومة كل مصباح؟

$R_{\text{مكافئة}}$ المقاومة المكافئة للمصابيح الـ 18 مقسومة على عدد المصابيح

$$\frac{2.3\times10^{2}\ \Omega}{18} = 13\ \Omega$$

c. القدرة المستنفدة في كل مصباح؟

$$\frac{64\ \text{W}}{18} = 3.6\ \text{W}$$

62. إذا احتـرق فتيـل أحد المصابيح في المسـألة السـابقة، وحدث فيـه دائرة قصر، بحيث أصبحت مقاومته صفرًا فأجب عما يلي:

a. ما مقدار مقاومة السلك في هذه الحالة؟

سيبقى 17 مصباحًا موصولا على التوالي بدلا من الـ18 مصباحًا، وستكون مقاومة السلك:

$$\left(\frac{17}{18}\right)(2.3\times10^{2}\ \Omega) = 2.2\times10^{2}\ \Omega$$

b. احسب القدرة المستنفدة في السلك.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(120\ \text{V})^2}{2.2\times10^{2}\ \Omega} = 65\ \text{W}$$

c. هـل زادت القدرة المسـتنفدة أم نقصـت بعد احتراق المصباح؟

ازدادت

63. وصِلت مقاومتان 16.0 Ω و20.0 Ω، على التوازي بمصدر جهد مقداره 40.0 V، احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}$$

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{16.0\ \Omega} + \frac{1}{20.0\ \Omega}\right)}$$

$$= 8.89\ \Omega$$

b. التيار الكلي المار في الدائرة.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{40.0\ \text{V}}{8.89\ \Omega} = 4.50\ \text{A}$$

c. التيار المار في المقاومة 16.0 Ω.

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{40.0\ \text{V}}{16.0\ \Omega} = 2.50\ \text{A}$$

64. صمّم فيصل مجزئ جهد باستخـدام بطارية جهدها 12 V ومقاومتين. فإذا كان مقدار المقاومة R_B يسـاوي 82 Ω، فكم يجب أن يكون مقدار المقاومة R_A حتى يكون الجهد الناتج عبر المقاومة R_B يساوي 4.0 V؟

$$V_B = \frac{VR_B}{R_A + R_B}$$

$$R_A + R_B = \frac{VR_B}{V_B}$$

$$R_A = \frac{VR_B}{V_B} - R_B$$

$$= \frac{(12\ \text{V})(82\ \Omega)}{4.0\ \text{V}} - 82\ \Omega$$

$$= 1.6\times10^{2}\ \Omega$$

65. **التلفاز** يسـتهلك تلفاز قدرة تسـاوي 275 W عند وصله بمقبس 120 V.

a. احسب مقاومة التلفاز.

$$P = IV$$

أي:

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

أي:

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

أي:

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(120\ \text{V})^2}{275\ \text{W}} = 52\ \Omega$$

b. إذا شـكّل التلفاز وأسـلاك توصيـل مقاومتها 2.5 Ω ومنصهـر كهربائي دائرةَ تـوالٍ تعمل بوصفها مجزّئ جهد، فاحسب الهبوط في الجهد عبر التلفاز.

$$V_A = \frac{VR_A}{R_A + R_B}$$

$$= \frac{(120\ \text{V})(52\ \Omega)}{52\ \Omega + 2.5\ \Omega}$$

$$= 110\ \text{V}$$

c. إذا وصِل مجفّف شـعر مقاومته 12 Ω بالمقبس نفسه الـذي يتصل به التلفاز، فاحسـب المقاومـة المكافئة للجهازين.

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

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B}\right)}$$

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{52\ \Omega} + \frac{1}{12\ \Omega}\right)}$$

$$= 9.8\ \Omega$$

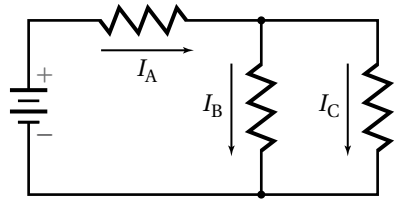
d. احسب الهبوط في الجهد عبر كل من التلفاز، ومجفّف الشعر.

$$V_1 = \frac{VR}{R_A + R_B} = \frac{(120\ \text{V})(9.8\ \text{V})}{9.8\ \Omega + 2.5\ \Omega} = 96\ \text{V}$$

4–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية

ارجع إلى **الشكل 18–4** للإجابة عن **الأسئلة 69–66**.

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



■ **الشكل 18–4**

المقاومتان 30.0 Ω و 30.0 Ω الموصولتان على التوازي مقاومتهما المكافئة تساوي 15.0 Ω، والمقاومة الثالثة تكون متصلة معهما على التوالي، أي تكون المقاومة المكافئة للدائرة:

$$R = 30.0\ \Omega + 15.0\ \Omega = 45.0\ \Omega$$

67. إذا استنفذت كل مقاومة 120 mW فاحسب القدرة الكلية المستنفدة.

$$P = 3(120\ \text{mW}) = 360\ \text{mW}$$

68. إذا كان $I_A = 13\ \text{mA}$ و $I_B = 1.7\ \text{mA}$ فما مقدار I_C؟

$$I_C = I_A - I_B$$

$$= 13\ \text{mA} - 1.7\ \text{mA}$$

$$= 11.3\ \text{mA}$$

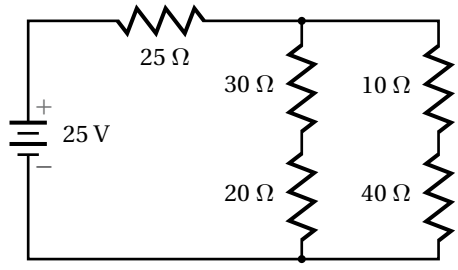
69. بافتراض أن $I_C = 1.7\ \text{mA}$ و $I_B = 13\ \text{mA}$، فما مقدار I_A؟

$$I_A = I_B + I_C$$

$$= 13\ \text{mA} + 1.7\ \text{mA}$$

$$= 14.7\ \text{mA}$$

70. بالرجوع إلى **الشكل 19–4** أجب عما يلي:



■ **الشكل 19–4**

a. ما مقدار المقاومة المكافئة؟

المقاومتان 30.0 Ω و 20.0 Ω موصولتان على التوالي .

$$R_1 = 30.0\ \Omega + 20.0\ \Omega = 50.0\ \Omega$$

المقاومتان 10.0 Ω و 40.0 Ω موصولتان على التوالي .

$$R_2 = 10.0\ \Omega + 40.0\ \Omega = 50.0\ \Omega$$

المقاومتان R_1 و R_2 موصولتان على التوازي.

$$\frac{1}{R_{\text{كلية}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_{\text{كلية}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}$$

$$R_{\text{كلية}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{50.0\ \Omega} + \frac{1}{50.0\ \Omega}\right)}$$

$$= 25.0\ \Omega$$

المقاومة الكلية للمقاومتان الناتجتان 25.0 Ω و25.0 Ω والموصولتان على التوالي تساوي:

$$R = 25.0\ \Omega + 25.0\ \Omega = 50.0\ \Omega$$

b. احسب مقدار التيار المار في المقاومة 25 Ω.

باستخدام قانون أوم والمقاومة الكلية فإن:

$$I = \frac{V}{R_{\text{كلية}}} = \frac{25\ \text{V}}{50.0\ \Omega} = 0.50\ \text{A}$$

c. أي المقاومات يكون أسخن، وأيها يكون أبرد؟

$$P = I^2R = (0.50\ \text{A})^2(25.0\ \Omega) = 6.25\ \text{W}$$

نصف التيار الكلي يمر في كل فرع من فرعي مقاومات الدائرة الموصولة على التوازي، لأن المقاومة المكافئة للفرعين متساوية.

$$P = I^2R = (0.25\ \text{A})^2(30.0\ \Omega) = 1.9\ \text{W}$$

$$P = I^2R = (0.25\ \text{A})^2(20.0\ \Omega) = 1.2\ \text{W}$$

$$P = I^2R = (0.25\ \text{A})^2(10.0\ \Omega) = 0.62\ \text{W}$$

$$P = I^2R = (0.25\ \text{A})^2(40.0\ \Omega) = 2.5\ \text{W}$$

أي أن المقاومة الأسخن هي: 25.0 Ω ، والمقاومة الأبرد هي: 10.0 Ω.

71. تتكوّن دائرة كهربائية من ستة مصابيح ومدفأة كهربائية موصولة جميعها على التوازي. فإذا كانت قدرة كلّ مصباح 60 W ومقاومته 240 Ω ، ومقاومة المدفأة 10.0 Ω، وفرق الجهد في الدائرة 120 V فاحسب مقدار التيار المار في الدائرة في الحالات التالية:

a. أربعة مصابيح فقط مضاءة.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$= \frac{1}{240\ \Omega} + \frac{1}{240\ \Omega} + \frac{1}{240\ \Omega} + \frac{1}{240\ \Omega}$$

$$= \frac{4}{240\ \Omega}$$

$$R = \frac{240\ \Omega}{4} = 60\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{60\ \Omega} = 2.0\ \text{A}$$

b. جميع المصابيح مضاءة.

$$\frac{1}{R} = \frac{240\ \Omega}{6}$$

$$R = \frac{240\ \Omega}{6} = 40\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{40\ \Omega} = 3.0\ \text{A}$$

c. المصابيح الستة والمدفأة جميعها تعمل.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{40\ \Omega} + \frac{1}{10.0\ \Omega}$$

$$= \frac{5}{4.0\times10^1\ \Omega}$$

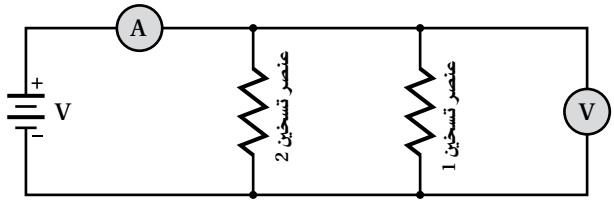
$$R = \frac{4.0\times10^1\ \Omega}{5} = 8.0\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{8.0\ \Omega} = 15\ \text{A}$$

72. إذا احتوت الدائرة الكهربائية في المسألة السابقة على منصهر كهربائي كُتِبَ عليه 12 A فهل ينصهر هذا المنصهر إذا شُغّلت المصابيح الستة والمدفأة؟

نعم، لأن التيار 15 A يؤدي إلى صهر المنصهر الذي يتحملّ 12 A فقط.

73. إذا زُوِّدْت خلال اختبار عملي بالأدوات التالية: بطارية جهدها V، وعنصري تسخين مقاومتهما صغيرة يُمكن وضعهما داخل ماء، وأميتر ذي مقاومة صغيرة جدًّا، وفولتمتر مقاومته كبيرة جدًّا، وأسلاك توصيل مقاومتها مهملة، ودورق معزول جيّدًا سعته الحرارية مهملة، و0.10 kg ماء درجة حرارته 25 °C. وضّح بالرسم والرموز كيفية وصل هذه الأدوات معًا لتسخين الماء في أسرع وقت ممكن.



74. إذا ثُبّتت قراءة الفولتمتر المستعمل في المسألة السابقة عند 45 V، وقراءة الأميتر عند 5.0 A فاحسب الزمن (بالثواني) اللازم لتبخير الماء الموجود في الدورق. (استخدم الحرارة النوعية للماء 4.2 kJ/kg.°C، والحرارة الكامنة لتبخره 2.3×10^6 J/kg)

$$\Delta Q_1 = mC\Delta T$$

$$= (0.10\ \text{kg})(4.2\ \text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C})(75^\circ\text{C})$$

الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء إلى 100 °C

$$= 32\ \text{kJ}$$

$$\Delta Q_2 = mH_v = (0.10\ \text{kg})(2.3\times10^6\ \text{J/kg})$$

الحرارة اللازمة لتبخير الماء

$$= 2.3\times10^2\ \text{kJ}$$

$$\Delta Q = 32\ \text{kJ} + 2.3\times10^2\ \text{kJ}$$

معدل الطاقة اللازمة لتبخير الماء

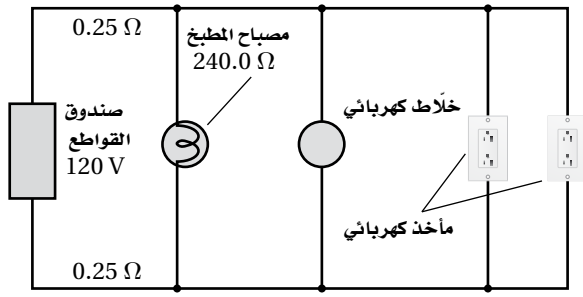
$$= 2.6\times10^2\ \text{kJ}$$

$$P = IV = (5.0\ \text{A})(45\ \text{V}) = 0.23\ \text{kJ/s}.$$

الزمن اللازم لتبخير الماء الموجود في الدورق يساوي :

$$t = \frac{2.6\times10^2\ \text{kJ}}{0.23\ \text{kJ/s}} = 1.1\times10^3\ \text{s}$$

75. دائرة كهربائية منزلية يوضّح **الشكل 20–4** دائرة كهربائية منزلية، حيث مقاومة كلّ سلك من السلكين الواصلين إلى مصباح المطبخ 0.25 Ω، ومقاومة المصباح 0.24 kΩ. على الرغم من أن الدائرة هي دائرة توازٍ إلا أن مقاومة الأسلاك تتصل على التوالي بجميع عناصر الدائرة. أجب عما يلي:



■ **الشكل 20–4**

a. احسب المقاومة المكافئة للدائرة المتكونة من المصباح وخطَّي النقل من المصباح وإليه.

$$R = 0.25\ \Omega + 0.25\ \Omega + 0.24\ \text{k}\Omega$$

$$= 0.24\ \text{k}\Omega$$

b. أوجد التيار المار في المصباح.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ \text{V}}{0.24\ \text{k}\Omega} = 0.50\ \text{A}$$

c. أوجد القدرة المستنفدة في المصباح.

$$P = IV = (0.50\ \text{A})(120\ \text{V}) = 6.0 \times 10^{1}\ \text{W}$$

مراجعة عامة

76. إذا وُجِد هبوطان في الجهد في دائرة توالٍ كهربائية مقداراهما: 3.50 V و4.90 V فما مقدار جهد المصدر؟

$$V = 3.50\ \text{V} + 4.90\ \text{V} = 8.40\ \text{V}$$

77. تحتوي دائرة كهربائية مُركّبة على ثلاث مقاومات. فإذا كانت القدرة المستنفدة في المقاومات: 5.50 W و6.90 W و1.05 W على الترتيب فما مقدار قدرة المصدر الذي يُغذِّي الدائرة؟

$$P = 5.50\ \text{W} + 6.90\ \text{W} + 1.05\ \text{W} = 13.45\ \text{W}$$

78. وصِلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها 150 Ω على التوالي. فإذا كانت قدرة كل مقاومة 5 W، فاحسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة التي يمكن الحصول عليها.

جميعها تستهلك المقدار نفسه من القدرة

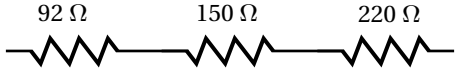
$$P = (3)(5\ \text{W}) = 15\ \text{W}$$

79. وصِلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها 92 Ω على التوازي. فإذا كانت قدرة كل منها 5 W، فاحسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة التي يمكن الحصول عليها.

جميعها تستهلك المقدار نفسه من القدرة

$$P = (3)(5\ \text{W}) = 15\ \text{W}$$

80. احسب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاثة الموصولة على التوالي، والموضّحة في **الشكل 21–4**، إذا كانت قدرة كلٍّ منها 5.0 W



■ **الشكل 21–4**

بما أن التيار ثابت المقدار في المقاومات الموصولة على التوالي، لذا فالمقاومة الأكبر تستهلك قدرة أكبر.

$$P = I^2R$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{5.0\ \text{W}}{220\ \Omega}} = 0.151\ \text{A}$$

مجموع المقاومات:

$$R = 92\ \Omega + 150\ \Omega + 220\ \Omega$$

$$= 462\ \Omega$$

و باستخدام قانون أوم:

$$V = IR$$

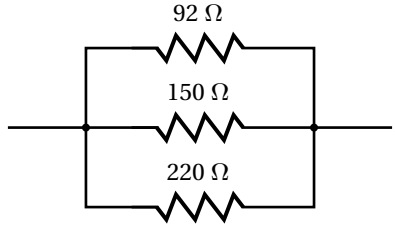
$$= (0.151\ \text{A})(462\ \Omega)$$

$$= 70\ \text{V}$$

81. احسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة في الدائرة الموضّحة في المسألة السابقة.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(70\ \text{V})^2}{462\ \Omega} = 11\ \text{W}$$

82. احسب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاثة الموصولة على التوازي، والموضحة في **الشكل 22–4** إذا كانت قدرة كلٍّ منها 5.0 W.



■ **الشكل 22–4**

المقاومة 92 Ω ستبدد أكبر قدرة لأنها تمرر أكبر تيار.

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

$$V = \sqrt{PR} = \sqrt{(5.0\ \text{W})(92\ \Omega)} = 21\ \text{V}$$

التفكير الناقد

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

a. مقاومتان متساويتان موصولتان معًا على التوازي.

$$\frac{1}{\text{R}_{\text{المكافئة}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R}$$

$$\text{R}_{\text{المكافئة}} = \frac{R}{2}$$

b. ثلاثة مقاومات متساوية موصولة معًا على التوازي.

$$\frac{1}{\text{R}_{\text{المكافئة}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R}$$

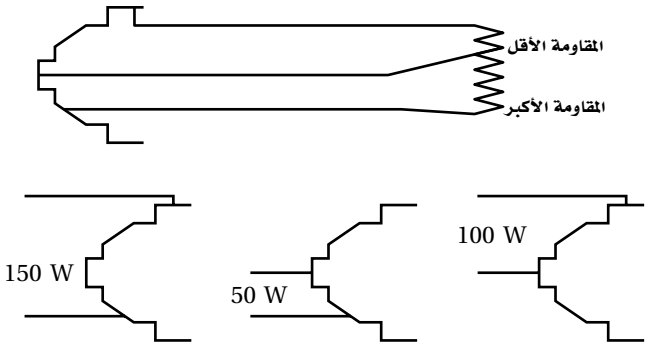
$$R_{\text{المكافئة}} = \frac{R}{3}$$

c. عدد N من مقاومات متساوية موصولة معًا على التوازي.

$$R_{\text{المكافئة}} = \frac{R}{N}$$

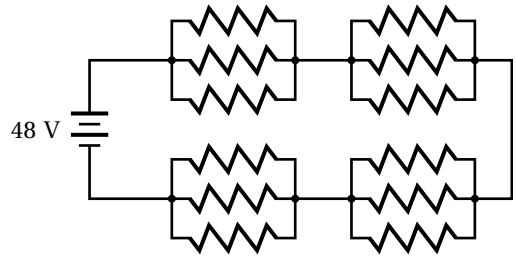
84. **تطبيق المفاهيم** إذا كان لديك ثلاثة مصابيح كتلك الموضّحة في **الشكل 23–4**، وكانت قدرتها كما يلي: 50 W و100 W و150 W، فارسم أربعة رسوم تخطيطيّة جزئية تبين من خلالها فتائل المصابيح، وأوضاع المفاتيح الكهربائية لكل مستوى سطوع، بالإضافة إلى بيان وضع الإطفاء. عنون كل رسم تخطيطيّ. (ليس هناك حاجة إلى رسم مصدر طاقة).

■ **الشكل 23–4**

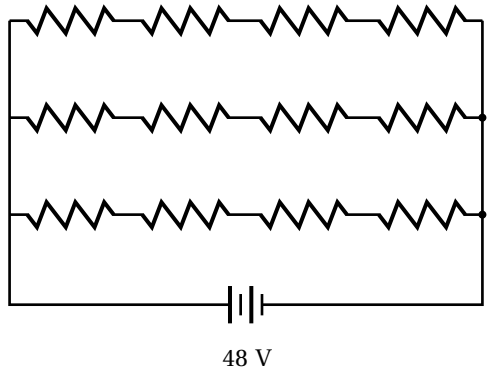


85. تطبيـق المفاهيم صمّـم دائـرة كهربائيـة يمكنها إضاءة 12 مصباحًا متماثلًا، بكامل شـدتها الضوئية الصحيحة بواسـطة بطارية جهدها 48 V، لكل حالة مما يلي:

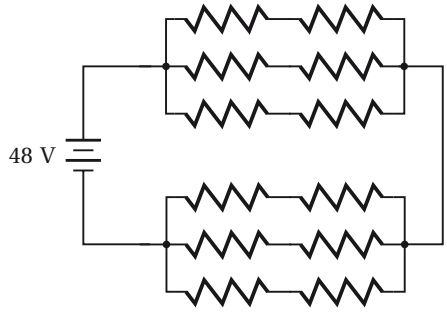
a. يقتضي التصميم A أنه إذا احترق فتيل أحد المصابيح تبقى المصابيح الأخرى مضيئة.



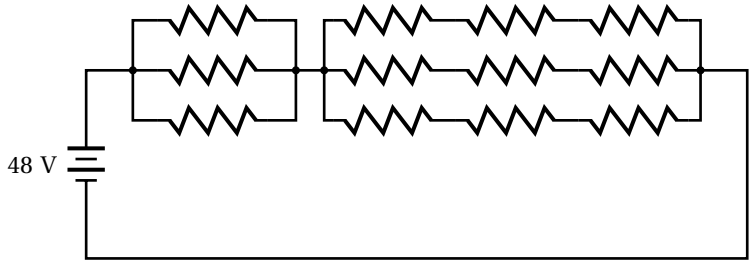
b. يقتضـي التصميـم B أنـه إذا احترق فتيل أحـد المصابيح تضيء المصابيح الأخرى التي بقيت تعمل بكامل شـدتها الضوئية الصحيحة.



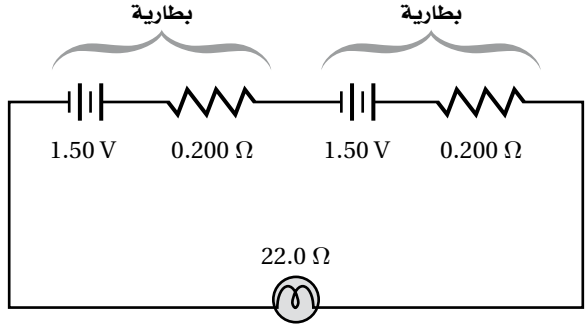
c. يقتضي التصميم C أنه إذا احترق فتيل أحد المصابيح ينطفئ مصباح آخر.



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



86. تطبيق المفاهيم تتكوّن بطارية من مصدر فرق جهد مثالي يتصل بمقاومة صغيرة على التوالي. تنتج الطاقة الكهربائية للبطارية عن التفاعلات الكيميائية التي تحدث فيها، وينتج أيضًا عن هذه التفاعلات مقاومة صغيرة لا يمكن إلغاؤها بالكامل أو تجاهلها. فإذا علمت أن مصباحًا كهربائيًّا يدويًّا يحتوي على بطاريتين موصولتين على التوالي كما هو موضّح في **الشكل 24–4**، وفرق جهد كلٍّ منهما يساوي 1.50 V، ومقاومتها الداخلية 0.200 Ω، ومقاومة المصباح 22.0 Ω، فأجب عمّا يلي:



■ **الشكل 24–4**

a. ما مقدار التيار المار في المصباح؟

تتكوّن الدائرة من بطاريتين جهد كل منها 1.5 V ومتصلتان على التوالي بالمقاومات 0.200 Ω و0.200 Ω و 22 Ω والمقاومة المكافئة تساوي 22.4 Ω.

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

$$= \frac{2(1.50)\ \text{V}}{(2(0.200\ \Omega) + 22.0\ \Omega)}$$

$$= 0.134\ \text{A}$$

b. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح؟

$$P = I^2R$$

$$= (0.134)^2(22.0\ \Omega)$$

$$= 0.395\ \text{W}$$

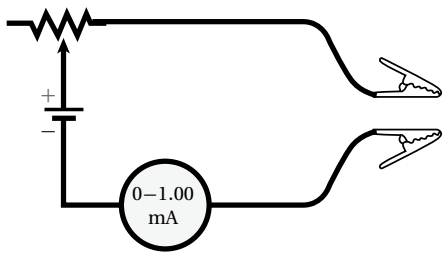
c. إذا أُهملت المقاومة الداخلية للبطاريتين فما مقدار الزيادة في القدرة المستنفدة؟

$$P = IV = \frac{V^2}{R} = \frac{(3.00\ \text{V})^2}{22.0\ \Omega} = 0.409\ \text{W}$$

$$\Delta P = 0.409\ \text{W} - 0.395\ \text{W} = 0.014\ \text{W}$$

القدرة المستنفدة ستزداد بمقدار 0.014 W.

87. تطبيق المفاهيم صُنع أميتر بتوصيل بطارية جهدها 6.0 V على التوالي بمقاومة متغيرة وأميتر مثالي، كما هو موضّح في **الشكل 25–4**، بحيث ينحرف مؤشر الأميتر إلى أقصى تدريج عندما يمر فيه تيار مقداره 1.0 mA. فإذا وصِل المِشبكان الموضّحان في الشكل معًا، وضُبطت المقاومة المتغيرة بحيث يمر تيار مقداره 1.0 mA، فأجب عمّا يلي:



■ **الشكل 25–4**

a. ما مقدار المقاومة المتغيرة؟

$$V = IR$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{6.0\ \text{V}}{1.0\times10^{-3}\ \text{A}} = 6.0\ \text{k}\Omega$$

b. إذا وصِل المشبكان الموضحان في الشكل بمقاومة مجهولة فما مقدار المقاومة التي تجعل قراءة الأميتر تساوي:

1. 0.50 mA؟

2. 0.25 mA؟

3. 0.75 mA؟

$$R = \frac{V}{I} = \frac{6.0\ \text{V}}{0.50\times10^{-3}\ \text{A}} = 12\ \text{k}\Omega$$

$$R = R_1 + R_e$$

$$R_e = R - R_1 \quad \text{أي:}$$

$$= 12\ \text{k}\Omega - 6.0\ \text{k}\Omega$$

$$= 6.0\ \text{k}\Omega$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{6.0\ \text{V}}{0.25\times10^{-3}\ \text{A}} = 24\ \text{k}\Omega$$

$$R_e = R - R_1 \quad \text{وكذلك:}$$

$$= 24\ \text{k}\Omega - 6.0\ \text{k}\Omega$$

$$= 18\ \text{k}\Omega$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{6.0\ \text{V}}{0.75\times10^{-3}\ \text{A}} = 8.0\ \text{k}\Omega$$

$$R_e = R - R_1 \quad \text{وكذلك:}$$

$= 8.0\ \text{k}\Omega - 6.0\ \text{k}\Omega$

$= 2.0\ \text{k}\Omega$

c. هل تدريج الأميتر خطي؟ وضّح إجابتك.

لا. يكون المقدار Ω 0 عند أقصى تدريج، و $6\ \text{k}\Omega$ عند منتصف التدريج، وما لانهاية Ω (أو دائرة مفتوحة) عند صفر تدريج.

الكتابة في الفيزياء

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

يجب أن تتضمن إجابات الطلاب قانون كيرتشوف الثاني في الجهد؛ الذي يمثل حفظ الطاقة في الدوائر الكهربائية، وقانون كيرتشوف الأول في التيار؛ والذي يمثل حفظ الشحنة في الدوائر الكهربائية . وينص قانون الجهد على أن المجموع الجبري لتغيرات الجهد في مسار مغلق يساوي صفرًا. وينص قانون التيار على أن المجموع الجبري للتيارات عند نقطة تفرّع يساوي صفرًا.

مراجعة تراكمية

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

$$E = \frac{K}{d^2}$$

a. مضاعفة d ثلاث مرات.

$\frac{E}{9}$

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

$3E$

توضيح: شدة المجال هي القوة مقسومة على شحنة الإختبار.

c. مضاعفة كلٍّ من d وQ ثلاث مرات.

$\frac{E}{3}$

d. مضاعفة شحنة الاختبار q' ثلاث مرات

E

توضيح: المجال هو القوة مقسومة على شحنة الإختبار.

e. مضاعفة كلٍّ من q' وd، وQ ثلاث مرات.

$\frac{E}{3}$

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.

$$R_1 = \frac{V}{I} = \frac{12\ \text{V}}{0.55\ \text{A}} = 21.8\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{V}{I} = \frac{12\ \text{V}}{0.44\ \text{A}} = 27.3\ \Omega$$

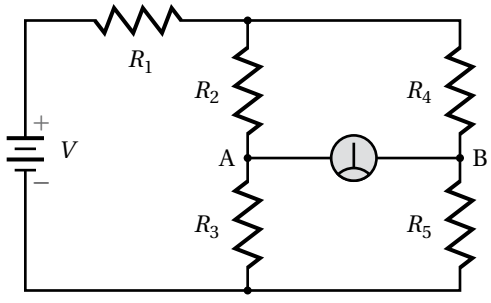
$$\Delta R = R_2 - R_1$$

$$= 27.3\ \Omega - 21.8\ \Omega$$

$$= 5.5\ \Omega$$

مسألة تحفيز

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



1. يقول زميلك في المختبر إن الطريقة الوحيدة لجعل الدائرة مُتزنة هي جعل جميع المقاومات متساوية. فهل هذا يجعل الدائرة مُتزنة؟ وهل هناك أكثر من طريقة لجعل الدائرة مُتزنة؟ وضّح إجابتك.

نعم، يمكن جعل جميع المقاومات متساوية بحيث تكون الدائرة متزنه .و يمكن جعل الدائرة متزنة أيضًا بالتحكّم بمقادير تلك المقاومات بحيث تكون $\frac{R_2}{R_3} = \frac{R_4}{R_5}$

مثلًا:

$R_3 = 22.5\ \Omega$

$R_4 = 40.0\ \Omega$

$R_5 = 44.0\ \Omega$

$R_2 = 20.0\ \Omega$

2. اشتق معادلة عامة لدائرة مُتزنة مستخدمًا التسميات المعطاة. تنبيه: **تعامل مع الدائرة على أنها مجزئ جهد.**

من تعريف الاتزان فإن ، (V_{AB}=0) فإذا كان الأتزان موجودًا فإن ، $V_{R3} = V_{R5}$ وهذا الهبوط في الجهد يمكن الحصول عليه من قانون أوم:

$$V_{R3} = I_1 R_3$$

$$V_{R5} = I_2 R_5$$

وكذلك:

$$I_1 = \frac{V-(I_1+I_2)R_1}{R_2+R_3}$$

و

$$I_2 = \frac{V-(I_1+I_2)R_1}{R_4+R_5}$$

وبالتعويض:

$$V_{R3} = \frac{R_3 V-(I_1+I_2)R_1R_3}{R_2+R_3}$$

$$V_{R5} = \frac{R_5 V-(I_1+I_2)R_1R_5}{R_4+R_5}$$

وبما أن: $V_{R3} = V_{R5}$

و بحذف R_3 من الطرف الأيسر للبسط و R_5 من الطرف الأيمن للبسط في المعادلة. ينتج:

$$\frac{V-(I_1+I_2)R_1}{\left(\frac{R_2}{R_3}+1\right)} = \frac{V-(I_1+I_2)R_1}{\left(\frac{R_4}{R_5}+1\right)}$$

$$\frac{1}{\left(\frac{R_2}{R_3}+1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{R_4}{R_5}+1\right)}$$

أي أن:

$$\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_5}{R_6}$$

3. أيّ المقاومات يمكن أن نضع مكانها مقاومةً متغيرةً لكي تستخدم أداة في ضبط الدائرة وموازنتها؟

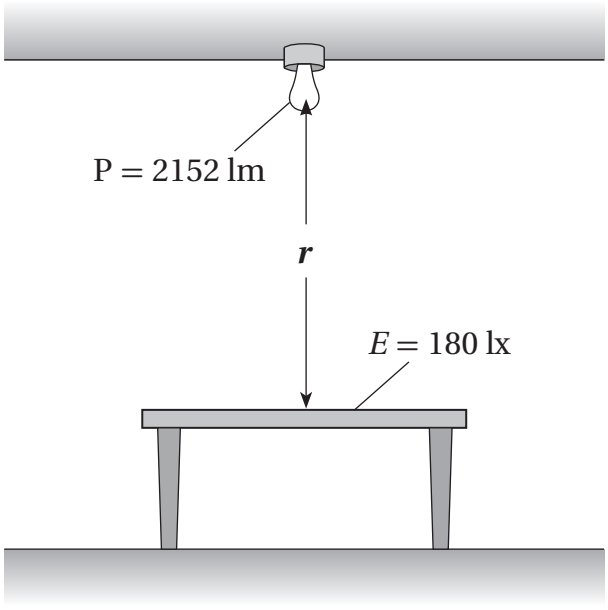
أي مقاومة ما عدا R_1 .

4. أيّ المقاومات يمكن أن نضع مكانه مقاومةً متغيرةً لكي تستخدم أداة تحكّم وضبط حسّاسة؟ ولماذا يكون ذلك ضروريًّا؟ وكيف يمكن استخدامه عمليًّا؟

R_1.بما أن الجلفانومتر يمتاز بأنه أداة حساسة ويمكن أن يتلف إذا مرّ فيها تيار كبير ،لذا إذا كانت R_1 قابلة للتعديل أو الضبط وجب جعل قيمتها كبيرة قبل تشغيل الدائرة، وهذا من شأنه أن يحدَّ من قيمة التيار المار في الجلفانومتر .وعند تعديل قيمة المقاومة الموازنة واقتراب قراءة الجلفانومتر من الصفر تزداد الحساسية بنقصان مقدار المقاومة R_1 .

الفصل 1

1. ما المسافة r الفاصلة بين المصباح الكهربائي والطاولة في الشكل أدناه؟



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

$$r = \sqrt{\frac{P}{4\pi E}} = \sqrt{\frac{2152\ \text{lm}}{4\pi(180\ \text{lx})}} = 0.98\ \text{m}$$

2. مـا التدفـق الضوئي لمصباح كهربائـي يدوي تكون اسـتضاءته على سـطح الماء 145 lx، وذلك عندما يرتفع المصباح مسافة 0.5 m فوق سطح الماء؟

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

$$P = 4\pi r^2 E = 4\pi\ (0.50\ \text{m})^2\ (145\ \text{lx})$$

$$= 4.6 \times 10^2\ \text{lm}$$

3. ثُبتت ثُريّا تحتوي على ثلاثة مصابيح كهربائية بالسقف، وكان التدفـق الضوئي لكل مصباح 1892 lm. إذا ثُبتـت الثريَّا علـى ارتفاع 1.8 m فوق أرضية الغرفة فما مقدار الاستضاءة على هذه الأرضية؟

$$E = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{(3)(1892\ \text{lm})}{4\pi\ (1.8\ \text{m})^2} = 1.4 \times 10^2\ \text{lx}$$

الفصل 2

1. ينعكس شعاع ضوء عن مرآة مستوية بزاوية مقدارها 25° بالنسبة إلى العمود المقام. وينعكس شعاع ضوء آخر من مصدر آخر بزاوية مقدارها 54° بالنسبة إلى العمود المقام، فما الفرق بين زوايتي الأشعة الساقطة من مصدري الضوء؟

$$\text{الفرق} = 54° - 25°$$

$$= 29°$$

2. ينعكس شعاع ضوء عن مرآة مستوية، كما هو موضح في الشكل أدناه. ما مقدار زاوية الانعكاس؟

$$\theta_i = 90° - \text{(الزاوية بين الشعاع والمرآة)}$$

$$= 90° - 13° = 77°$$

$$\theta_r = \theta_i$$

$$= 77°$$

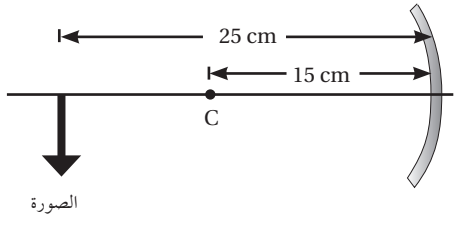
3. إذا كانت الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس 70.0°، فما مقدار زاوية الانعكاس؟

$$\theta_r = \theta_i$$

$$= \frac{70.0°}{2}$$

$$= 35.0°$$

4. تنتج مرآة مقعرة صورة، كما هو موضح في الشكل أدناه. فما موقع الجسم؟



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

4. ما الطول الموجي في الهواء لضوء تردده $4.6\times10^{14}\ \text{Hz}$؟

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{(4.6\times10^{14}\ \text{Hz})}$$

$$= 6.5\times10^{-7}\ \text{m} = 650\ \text{nm}$$

5. تتحرك ذرة هيليوم في مجرة بسرعة $4.89\times10^{6}\ \text{m/s}$ مبتعدة عن الأرض. لاحظ فلكي على الأرض أنَّ التردد المنبعث من ذرة الهيليوم يساوي $6.52\times10^{14}\ \text{Hz}$، فما التردد الأصلي للضوء المنبعث منها؟

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

يتحرك كل منهما مبتعدًا عن الآخر، لذا استخدم المعادلة بصيغة الإشارة السالبة

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

$$(6.52\times10^{14}\ \text{Hz}) = f\left(1 - \frac{4.89\times10^{6}\ \text{m/s}}{3.00\times10^{8}\ \text{m/s}}\right)$$

$$= f\,(0.984)$$

$$f = 6.63\times10^{14}\ \text{Hz}$$

6. شاهد فلكي جزيئًا في مجرة يتحرك نحو الأرض وينبعث منه ضوء طوله الموجي 514 nm. إذا طابق الفلكي الجزيء مع آخر يبعث في الحقيقة ضوءًا بطول موجي مقداره 525 nm. فما السرعة المتجهة لحركة المجرة؟

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{المراقب}} - \lambda$$

$$= 5.14\times10^{-7}\ \text{m} - 5.25\times10^{-7}\ \text{m}$$

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

$$v = -c\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)$$

$$= -(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})\,\frac{(5.14\times10^{-7}\ \text{m} - 5.25\times10^{-7}\ \text{m})}{(5.25\times10^{-7}\ \text{m})}$$

$$= 6.29\times10^{6}\ \text{m/s}$$

$$f = \frac{15\ \text{cm}}{2}$$

$$= 7.5\ \text{cm}$$

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

$$= \frac{(7.5\ \text{cm})(25\ \text{cm})}{25\ \text{cm} - 7.5\ \text{cm}}$$

$$= 1.0 \times 10^1\ \text{cm}$$

5. ما تكبير الصورة في المسألة السابقة؟

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

$$= \frac{-25\ \text{cm}}{11\ \text{cm}}$$

$$= -2.3$$

6. إذا كان طول الجسم في المسألة رقم 4 يساوي 3.5 cm، فما طول الصورة المتكونة؟

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

$$h_i = m h_o$$

$$= (-2.3)(3.5\ \text{cm})$$

$$= -8.2\ \text{cm}$$

طول الصورة يساوي 8.2 cm. والإشارة السالبة تشير إلى أن الصورة مقلوبة.

7. إذا وضع جسم طوله 6.2 m على بعد 2.3 m من مرآة محدبة بعدها البؤري 0.8 m−، فما تكبير الصورة؟

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

$$= \frac{(-0.8\ \text{m})(2.3\ \text{m})}{2.3 - (-0.8\ \text{m})}$$

$$= -0.6\ \text{m}$$

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

$$= \frac{-(-0.6\ \text{m})}{(2.3\ \text{m})}$$

$$= 0.3$$

8. ما طول الصورة في المسألة السابقة؟

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

$$h_i = m h_o$$

$$= (0.3)(6.2\ \text{m})$$

$$= 2\ \text{m}$$

9. وضعت كرة على بعد 6.5 m من مرآة محدبة فكان تكبير الصورة 0.75. إذا كان قطر صورة الكرة 0.25 m، فما قطر الكرة في الحقيقة؟

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

يمكن استخدام المتغير h لأي بُعد في المرايا المستوية والكروية، وفي هذه المسألة يمثل المتغير h_o قطر الكرة.

$$h_o = \frac{h_i}{m}$$

$$= \frac{0.25\ \text{m}}{0.75}$$

$$= 0.33\ \text{m}$$

الفصل 3

1. وضعـت قطعة من الزجـاج الصوّاني فوق وعاء من الماء (انظر الشكل أدناه). إذا سقط شعاع من الضوء الأحمر في الهواء على قطعة الزجاج بزاوية 28°، فما مقدار زاوية الانكسار في قطعة الزجاج الصوّاني؟

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$
$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{n_1 \sin\theta_1}{n_2}\right)$$
$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.0003)(\sin 28°)}{1.62}\right)$$
$$= 17°$$

2. إذا كانت زاوية الانكسار في الزجاج في المسألة السابقة تساوي 22°، فما مقدار زاوية الانكسار في الماء؟

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$
$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{n_1 \sin\theta_1}{n_2}\right)$$
$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.62)(\sin 22°)}{(1.33)}\right)$$
$$= 27°$$

3. عندما يسـقط شـعاع الضوء في المسألة 1 من الماء ليختـرق الزجـاج، فمـا أكبر زاوية سـقوط في الماء ينفذ معها الضوء إلى الهواء الموجود فوق الزجاج؟ *تلميح: استخدم زاوية الانكسار في الهواء على أنها 90°.*

سيحدث ذلك عندما يكون مقدار زاوية انكسار الشعاع في الهواء 90°.

استعمل

$$\theta_2 = 89.9°$$

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

عند الحد الفاصل بين الزجاج الصوّاني والهواء:

$$\theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{n_2 \sin\theta_2}{n_1}\right)$$
$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.0003)(\sin 89.9°)}{(1.62)}\right)$$
$$= 38.1°$$

عند الحد الفاصل بين الماء والزجاج الصوّاني:

$$\theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{n_2 \sin\theta_2}{n_1}\right)$$
$$= \sin^{-1}\left(\frac{(1.62)(\sin 38.1°)}{1.33}\right)$$
$$= 48.7°$$

4. إذا وضع جسم على بعد 24 cm من عدسة محدبة فتكوّن له صورة حقيقية على بعد 13 cm من العدسة، فما البعد البؤري للعدسة؟

$$f = \frac{(d_i d_o)}{(d_i + d_o)} = \frac{(13\text{ cm})(24\text{ cm})}{(13\text{ cm}+24\text{ cm})}$$
$$= 8.4\text{ cm}$$

5. إذا وضـع جسـم طوله 5.0 cm علـى بعد 16 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 8.4 cm، فما طول الصورة، وما اتجاهها؟

$$d_i = \frac{f d_o}{d_o - f}$$
$$= \frac{(8.4\text{ cm})(16\text{ cm})}{(16\text{ cm} - 8.4\text{ cm})}$$
$$= 17.7\text{ cm}$$

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$
$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o} = \frac{-(17.7\text{ cm})(5.0\text{ cm})}{16\text{ cm}}$$
$$= -5.5\text{ cm}$$

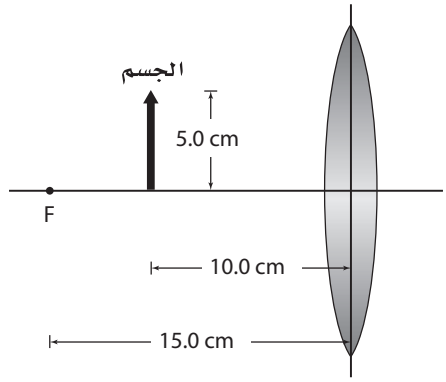
الصورة مقلوبة بالنسبة إلى الجسم.

6. وضع جسـم على بعد 185 cm من عدسـة محدبة بعدهـا البؤري 25 cm. إذا كانت الصورة المتكوّنة مقلوبة، وطولها 12 cm، فما طول الجسم؟

$$d_i = \frac{f d_o}{d_o - f}$$
$$= \frac{(25\text{ cm})(185\text{ cm})}{185\text{ cm} - 25\text{ cm}}$$
$$= 29\text{ cm}$$
$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$
$$h_o = \frac{-d_o h_i}{d_i}$$
$$= \frac{-(185\text{ cm})(-12\text{ cm})}{(29\text{ cm})}$$
$$= 77\text{ cm}$$

طول الجسم يساوي 77 cm.

7. ما طول الصورة واتجاهها التي تكوّنها العدسة المحدبة الموضحة في الشكل أدناه؟



$$d_i = \frac{f d_o}{d_o - f}$$
$$= \frac{(15.0\text{ cm})(10.0\text{ cm})}{10.0\text{ cm} - 15.0\text{ cm}}$$
$$= -3.0 \times 10^1\text{ cm}$$
$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$
$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o}$$
$$= \frac{-(-3.0 \times 10^1\text{ cm})(5.0\text{ cm})}{(10.0\text{ cm})}$$
$$= 15\text{ cm}$$

الصورة معتدلة بالنسبة إلى الجسم.

8. يمكن استخدام عدسة محدبة على أنها عدسة مكبرة. وعند وضع جسـم على بعد 15.0 cm من العدسـة فـإنَّ الصورة المتكوّنة تكون أكبر 55 مرة من حجم الجسم. فما البعد البؤري للعدسة؟

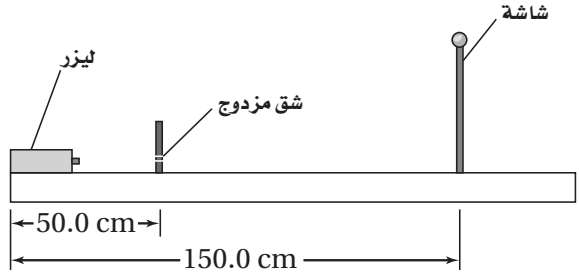
$$m = \frac{-d_i}{d_o}$$
$$d_i = -md_o$$
$$= -(55)(15.0\text{ cm})$$
$$= -825\text{ cm}$$
$$f = \frac{d_i d_o}{d_i + d_o}$$
$$= \frac{(-825\text{ cm})(15.0\text{ cm})}{(-825\text{ cm}) + (15.0\text{ cm})}$$
$$= 15.3\text{ cm}$$

9. تكوّن عدسة مقعرة بعدها البؤري 220 cm− صورة خياليـة طولها 36 cm. إذا وضع الجسـم على بعد 128 cm من العدسة، فما تكبير الصورة؟

$$d_i = \frac{f d_o}{d_o - f}$$
$$= \frac{(-220\text{ cm})(128\text{ cm})}{128\text{ cm} - (-220\text{ cm})}$$
$$= -81\text{ cm}$$
$$m = \frac{-d_i}{d_o}$$
$$= \frac{-(-81\text{ cm})}{128\text{ cm}}$$
$$= 0.63$$

الفصل 4

1. يجري طالب فيزياء تجربة الشق المزدوج على طاولة خاصة في مختبر البصريات، كما هو موضح في الشكل أدناه، مستخدمًا ليزر هيليوم–نيون، حيث الطول الموجي لضوئه 632.8 nm، فيمر ضوء الليزر من خلال الشقين اللذين تفصلهما مسافة 0.020 mm، ما المسافة بين مركز الهدب المركزي المضيء ومركز هدب الرتبة الأولى؟



$$L = 150.0\ cm - 50.0\ cm$$
$$= 100.0\ cm$$

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

$$x = \frac{\lambda L}{d}$$
$$= \frac{(6.328\times10^{-7}\ m)(1.000\ m)}{(2.0\times10^{-5}\ m)}$$
$$= 3.2\times10^{-2}\ m$$
$$= 3.2\ cm$$

2. استخدم ليزر مجهول الطول الموجي بدلاً من ليزر الهيليوم–النيون في التجربة الموصوفة في السؤال السابق. وللحصول على أفضل نمط للتداخل وضعت الشاشة على بعد 104.0 cm. فإذا كانت المسافة بين مركز الهدب المركزي المضيء ومركز هدب الرتبة الأولى 1.42 cm فما الطول الموجي لضوء الليزر المستخدم؟

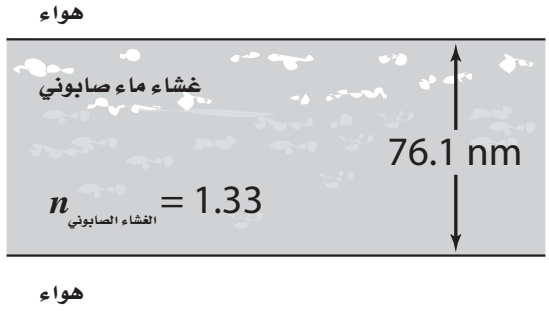
$$L = 104.0\ cm - 50.0\ cm$$
$$= 54.0\ cm$$

$$\lambda = \frac{xd}{L}$$
$$= \frac{(1.42\times10^{-2}\ m)(2.0\times10^{-5}\ m)}{(0.54\ m)}$$
$$= 5.3\times10^{-7}\ m$$
$$= 530\ nm$$

3. يمر ضوء طوله الموجي 454.5 nm عبر شقين يبعدان عن شاشة مسافة 95.2 cm، إذا كانت المسافة بين مركز الهدب المركزي المضيء ومركز هدب الرتبة الأولى 15.2 mm فما المسافة الفاصلة بين الشقين؟

$$\lambda = \frac{xd}{L}$$
$$d = \frac{\lambda L}{x}$$
$$= \frac{(4.545\times10^{-7}\ m)(0.952\ m)}{(0.0152\ m)}$$
$$= 2.85\times10^{-5}\ m$$

4. ما لون الضوء الذي سينعكس عن غشاء الماء المحتوي على الصابون المبين في الشكل أدناه؟



$$2d = \left(m+\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء الصابوني}}}$$

عندما تكون $m=0$، فإن

$$2d = \frac{1}{2}\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء الصابوني}}}$$

$$\lambda = 4dn_{\text{الغشاء الصابوني}}$$
$$= (4)\ (76.1\ nm)(1.33)$$
$$= 405\ nm$$

الضوء بنفسجي اللوّن.

5. يمكن لغشاء من مادة مجهولة سمكه 95.7 nm منع ضوء طوله الموجي 555 nm من الانعكاس عندما يُحاط بالهواء. ما معامل انكسار هذه المادة؟

$$2d = (m + \frac{1}{2})\ \frac{\lambda}{n_{\text{المادة المجهولة}}}$$

عندما تكون $m=0$، فإن

$$2d = \frac{1}{2}\ \frac{\lambda}{n_{\text{المادة المجهولة}}}$$

$$n_{\text{المادة المجهولة}} = \frac{\lambda}{4d}$$

$$= \frac{555\ \text{nm}}{(4)(95.7\ \text{nm})}$$

$$= 1.45$$

6. يوجد غشاء من الزيت سمكه 118 nm على سطح بركة ماء في الشارع. ما تردد الضوء الذي سينعكس إذا علمت أنَّ معامل انكسار الغشاء الزيتي $n = 1.45$؟

$$2d = (m + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء الزيتي}}}$$

عندما تكون $m=0$، فإن

$$2d = \frac{1}{2}\ \frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء الزيتي}}}$$

$$\lambda = 4\ dn_{\text{الغشاء الزيتي}}$$

$$= (4)\ (118\ \text{nm})\ (1.45)$$

$$= 685\ \text{nm}$$

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

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

$$= \frac{3.00\times10^{8}\ \text{m/s}}{6.85\times10^{-7}\ \text{m}}$$

$$= 4.38\times10^{14}\ \text{Hz}$$

7. يسقط ضوء بنفسجي طوله الموجي 415 nm على شقّ عرضه 0.040 mm. إذا كانت المسافة بين مركز الهدب المركزي المضيء ومركز هدب الرتبة الثالثة المعتم 18.7 cm فما المسافة بين الشق والشاشة؟

$$x_m = \frac{mL\lambda}{w}$$

$$L = \frac{x_m w}{m\lambda}$$

$$= \frac{(0.187\ \text{m})(4.0\times10^{-5}\ \text{m})}{(3)(4.15\times10^{-7}\ \text{m})}$$

$$L = 6.0\ \text{m}$$

8. يسقط ضوء أحمر طوله الموجي 685 nm على شق عرضه 0.025 mm. فإذا كانت المسافة بين مركز الهدب المركزي المضيء ومركز هدب الرتبة الثانية المعتم 6.3 cm فما عرض الهدب المركزي؟

$$x_m = \frac{mL\lambda}{w}$$

$$L = \frac{x_m w}{m\lambda}$$

$$= \frac{(0.063\ \text{m})(2.5\times10^{-5}\ \text{m})}{(2)(6.85\times10^{-7}\ \text{m})}$$

$$= 1.1\ \text{m}$$

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

$$= \frac{(2)(6.85\times10^{-7}\ \text{m})(1.1\ \text{m})}{(2.5\times10^{-5}\ \text{m})}$$

$$= 0.063\ \text{m}$$

9. إذا كان عرض الهدب المركزي المضيء في نمط الحيود 2.9 cm، وكان ضوء ليزر مجهول الطول الموجي يمر عبر شق مفرد عرضه 0.042 mm ويسقط على شاشة تبعد عن الشق 1.5 m فما الطول الموجي للضوء؟

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

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

$$= \frac{(0.029\ \text{m})(4.2\times10^{-5}\ \text{m})}{(2)(1.5\ \text{m})}$$

$$= 4.1\times10^{-7}\ \text{m}$$

10. لمحزوز حيود 13400 خط في كل بوصة (إنش)، فما المسافة الفاصلة بين الشقوق؟ (استخدم معامل التحويل التالي بين البوصة والسنتمتر 1 inch = 2.54 cm).

$$d = \left(\frac{1\ \text{inch}}{13{,}400\ \text{lines}}\right)\left(\frac{2.54\ \text{cm}}{1\ \text{inch}}\right)\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}\right)$$

$$= 1.90\times10^{-6}\ \text{m/line}$$

11. إذا مرَّ ضوء ليزر الهيليوم–نيون والذي طوله الموجي 632.8 nm عبر محزوز الحيود الموصوف في المسألة السابقة، فما الزاوية بين الخط المركزي المضيء والخط المضيء الأول؟

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

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{d}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{6.328\times10^{-7}\,\text{m}}{1.90\times10^{-6}\,\text{m}}\right)$$

$$= 19.5°$$

12. يمر ضوء طوله الموجي 589 nm عبر محزوز حيود؛ المسافة الفاصلة بين شقوقه 3.4×10^{-6} m، إذا كانت المسافة الفاصلة بين الخطوط في نمط الحيود 0.25 m فما المسافة بين محزوز الحيود والشاشة؟

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

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{d}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{5.89\times 10^{-7}\,\text{m}}{3.40\times 10^{-6}\,\text{m}}\right)$$

$$= 9.98°$$

$$\tan\theta = \frac{x}{L}$$

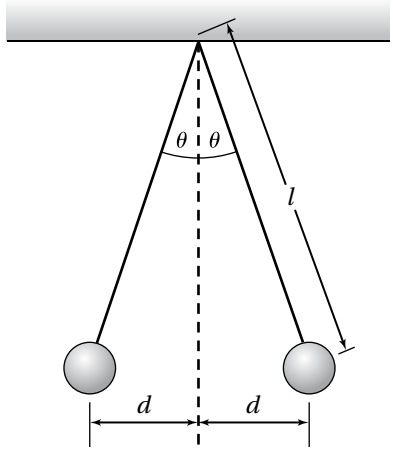
$$L = \frac{x}{\tan\theta}$$

$$= \frac{0.25\,\text{m}}{\tan 9.98°}$$

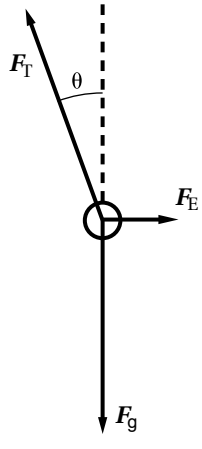
$$= 1.4\,\text{m}$$

ملحق مسائل الفصل 5

1. يمكن تحديد مقدار الشحنة بنقل تلك الشحنة مناصفة بين كرتيّ بيلسان متماثلتين كتلة كل منهما m ، بحيث يكون كل منهما معلقة بخيط عازل طوله l إلى نقطة تعليق واحدة. إذ عندما تنتقل الشـحنة إلى كل منهما فإنهما تتنافران وتتباعدان لتكونا في وضع اتزان كما في الشكل أدناه، حيث يصنع الخيط عندئذ زاوية مقدارهاθ مع الرأسي.



a. ارسم مخطط القوى التي تؤثر في كرة البيلسان اليمنى.



حيث :

قوة الشدّ $= F_T$
القوة الكهربائية $= F_E$
قوة الجاذبية $= F_g$

b. اشتق علاقة كدالة تربط بين q وكل من θ و m و l كدالة.

بما أن النظام في حالة اتزان ، فإن محصلة كل من مركتبي القوى الرأسية والأفقية يساوي صفرًا.

$$-F_T \sin\theta + F_E = 0$$

$$F_T \cos\theta - F_g = 0$$

أعد ترتيب الحدود وعوّض كل من F_E و F_g في العلاقة :

$$F_T \sin\theta = F_E = K\frac{q_A q_B}{(2d)^2} = K\frac{\left(\frac{q}{2}\right)^2}{4d^2} = K\frac{q^2}{16d^2}$$

$$F_T \cos\theta = F_g = mg$$

اقسم المعادلة الأولى على الثانية لإختصار F_T

$$\frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \tan\theta = K\frac{q^2}{16\,mg\,d^2}$$

من الشكل $d = l\sin\theta$ عوض مقدار d في المعادلة ثم حلها لإيجاد q

$$q^2 = \frac{16\,mg\,l^2\sin\theta^2\tan\theta}{K}$$

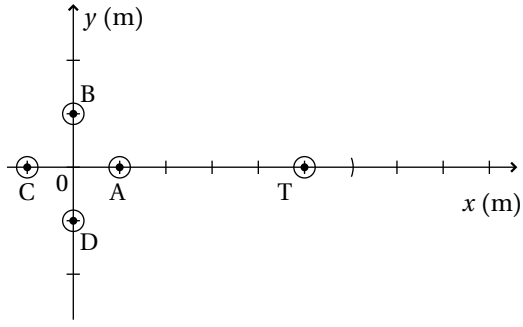
$$q = 4\,l\sin\theta\sqrt{\frac{mg\tan\theta}{K}}$$

c. استخدم العلاقة التي تم اشتقاقها لحساب مقدار q عندما تكون $\theta = 5.0°$، و $m = 2.00$ g، و $l = 10.0$ cm.

$$q = (4)(10.0\times10^{-2}\text{ m})(\sin 5.0°)\sqrt{\frac{(2.00\times10^{-3}\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(\tan 5.0°)}{(9.0\times10^{9}\text{ N•m}^2/\text{C}^2)}}$$

$$= 1.52\times10^{-8}\text{ C}$$

2. تتوزع أربع شحنات مقدار كل منها q بالتماثل حول نقطة الأصل O (0,0)، كما في الشكل أدناه عند النقاط ، A(1.000,0) ، B(0,1.000) ،C(−1.000,0) و D(0,−1.000) . جد القوة المؤثرة في الشحنة الموضوعة في النقطة T(5.000,0).



بسبب التماثل في توزيع الشحنات، فإن مركبات القوى المؤثرة في الشحنة عند النقطة T على المحور y يلغي كل منهما الآخر. ولا يحتاج إلى الحساب سوى المركبات على المحور x.

$$F_{T,x} = F_{AT,x} + F_{BT,x} + F_{CT,x} + F_{DT,x}$$

$$= Kqq_T\left(\frac{1}{|AT|^2} + \frac{\cos\theta_B}{|BT|^2} + \frac{1}{|CT|^2} + \frac{\cos\theta_D}{|DT|^2}\right)$$

$$= Kqq_T\left(\frac{1}{16} + (2)\left(\frac{\frac{5}{\sqrt{1^2+5^2}}}{1^2+5^2}\right) + \frac{1}{36}\right)$$

$$= 0.1657\,Kqq_T\text{ N}$$

3. إذا دمجت الشحنات الأربع في السؤال السابق إلى شحنة مفردة واحدة مقدارها $4q$ وضعت في نقطة الأصل، فما القوة عندئذ المؤثرة في الشحنة q_T؟

$$K\frac{(4q)(q_T)}{5^2} = Kqq_T\left(\frac{4}{25}\right)$$

$$= 0.1600\ Kqq_T\ \text{N}$$

تتوزع الشحنة بانتظام على سطح كروي، وتعامل الشحنة هنا كما لو أن جميع الشحنة تركزت في مركز الكرة، أما السؤال السابق فتم معالجة السؤال على التقريب في بعدين.

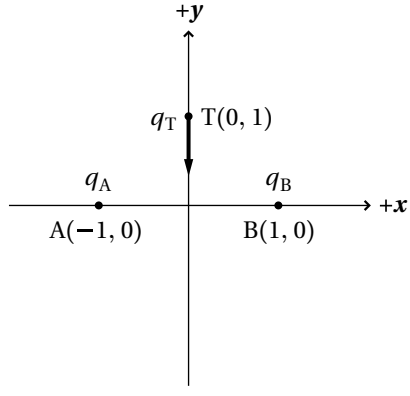
ملحق مسائل الفصل 6

1. وضُعت شحنة في مجال كهربائي مقداره $1.6\times10^{5}\ \text{N/C}$ يتجه نحو الغرب، فتأثرت بقوة مقدارها $0.48\ \text{N}$ نحو الشرق. ما مقدار ونوع هذه الشحنة؟

$$q=\frac{F}{E}=\frac{0.48\ \text{N}}{1.6\times10^{5}\ \text{N/C}}=3.0\times10^{-6}\ \text{C}$$

ولأن القوة المؤثرة في الشحنة تعاكس اتجاه المجال، لذا فالشحنة يجب أن تكون سالبة.

2. تأثرت شحنة اختبار مقدارها $-1.0\times10^{-6}\ \text{C}$ موضوعة عند النقطة $\text{T}\ (0,1)\ \text{m}$ بقوة مقدارها $0.19\ \text{N}$، باتجاه نقطة الأصل على طول محور x، نتيجة تأثير شحنتين متماثلتين موضوعتين عند النقطتين $\text{A}(-1,0)\text{m}$ و $\text{B}(1,0)\ \text{m}$.



a. ما نوع كل من الشحنتين عند A وB؟

يجب أن تكون كل من الشحنتين عند A وB موجبة؛ لتوليد قوة تجاذب على شحنة الاختبار.

b. ما مقدار واتجاه المجال الكهربائي عند T؟

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

$$=\frac{0.19\ \text{N}}{1.0\times10^{-6}\ \text{C}}$$

$$E=1.9\times10^{5}\ \text{N/C}$$

يكون اتجاه المجال بعكس اتجاه القوة؛ لأن الشحنة المتأثرة بالمجال سالبة، أي أن $E=1.9\times10^{5}\ \text{N/C}$ بعيدًا عن نقطة الأصل.

3. وُضعت شحنة اختبار مقدارها $-0.5\times10^{-7}\text{C}$ في مجال كهربائي شدته $6.2\times10^{4}\ \text{N/C}$ يتجه $15°$ شمال الشرق. ما مقدار القوة المؤثرة في الشحنة؟

$$F=Eq=(6.2\times10^{4}\ \text{N/C})(0.5\times10^{-7}\text{C})$$

$$=3.1\times10^{-3}\ \text{N}$$

يكون اتجاه القوة بعكس اتجاه المجال؛ لأن الشحنة المتأثرة بالمجال سالبة، أي أن $F=3.1\times10^{-3}\ \text{N}$، تتجه $15°$ جنوب الغرب.

4. ما النسبة التي يجب أن تزيد فيها المسافة عن شحنة نقطية لتقل فيه شدة المجال بنسبة 40%؟

شدة المجال الكهربائي للشحنة النقطية يساوي:

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

أي تتناسب شدة المجال الكهربائي عكسيًّا مع مربع البعد عن الشحنة.

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{r_2^{\,2}}{r_1^{\,2}}$$

$$r_2^{\,2}=\frac{E_1}{E_2}r_1^{\,2}$$

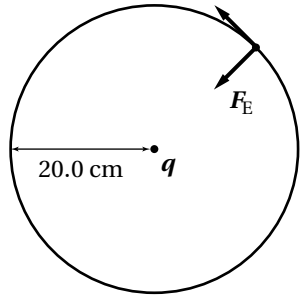
$$r_2=\sqrt{\frac{E_1}{E_2}}\,r_1$$

وفي هذه الحالة فإن: $E_2=(1-0.40)E_1=0.60E_1$

أي أن: $r_2=\sqrt{\frac{1}{0.60}}\,r_1=1.2\,r_1$

فالمسافة يجب أن تزيد بنسبة 30%.

5. يدور جسيم كتلته $m = 2.0\times10^{-6}\,\text{kg}$ في مسار دائري نصف قطره $r = 20.0\,\text{cm}$، حول شحنة نقطية q مقدارها $3.0\times10^{-5}\,\text{C}$ موضوعة في المركز.



a. ما شدة المجال الكهربائي عند جميع النقاط على المسار الدائري الذي يحيط بالشحنة النقطية؟

بما أن المسار دائري؛ لذا تكون المسافة بين الجسيم والشحنة النقطية ثابتة، وتبين من المسألة 2 أن شدة المجال الكهربائي تعتمد فقط على البعد عن الشحنة النقطية ولهذا يُعطى المجال الكهربائي بالعلاقة:

$$E = \frac{Kq}{r^2}$$
$$= (9.0\times10^9\,\text{N.m}^2/\text{C}^2)\left(\frac{3.0\times10^{-5}\,\text{C}}{(0.200\,\text{m})^2}\right)$$
$$= 6.8\times10^6\,\text{N/C}$$

وتكون باتجاه انصاف أقطار الدائرة، وخارجة من النقاط التي تكوّن المسار الدائري.

b. ما الشحنة التي يجب أن يحملها الجسيم ليبقى يدور في مساره الدائري محافظًا على زمن دوري $3.0\times10^{-3}\,\text{s}$، معتبرًا أن الجسيم يتأثر بقوة كهربائية فقط؟

يجب أن يكون اتجاه القوة الكهربائية F_E نحو الشحنة النقطية، ويتبن عند حساب التسارع المركزي للجسيم الدائر أن شحنة الجسيم يجب أن تكون سالبة حتى تحافظ القوة الكهربائية على المسار الدائري له.

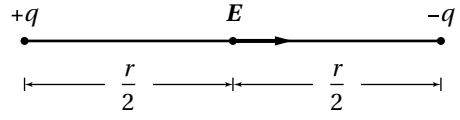
$$F_E = ma_C = m\frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

باتجاه أنصاف الأقطار إلى الداخل:

لذا فالشحنة على الجسيم يجب أن تكون:

$$q = \frac{F_E}{E}$$
$$= \frac{-4\pi^2 m}{ET^2}$$
$$= \frac{-4\pi^2(0.200\,\text{m})(2.0\times10^{-6}\,\text{kg})}{(6.8\times10^6\,\text{N/C})(3.0\times10^{-3}\,\text{s})^2}$$
$$= -2.6\times10^{-7}\,\text{C}$$

6. شحنتان متساويتان في المقدار ومختلفتان في النوع وتفصل بينهما مسافة 0.50 m، شدة المجال الكهربائي الناتج عنهما في منتصف المسافة بينهما تساوي 4.8×10^4 N/C وباتجاه الشحنة السالبة. فما مقدار كل من الشحنتين؟



شدة المجال الكهربائي هي محصلة مركبتي المجال الناتج عن كل من الشحنتين، وكل من مركبتي المجال يتجه نحو الشحنة السالبة، وفي منتصف المسافة بين الشحنتين يكون مقدار شدة المجال لكل من الشحنتين متساوية.

$$E = E_q + E_{-q} = \frac{2Kq}{\left(\frac{r}{2}\right)^2} = \frac{8Kq}{r^2}$$

وبحل المعادلة لإيجاد q بدلالة E

$$q = \frac{Er^2}{8K} = \frac{(4.8\times10^4\,\text{N/C})(0.50\,\text{m})^2}{(8)\,(9.0\times10^9\,\text{N.m}^2/\text{C}^2)}$$
$$= 1.7\times10^{-6}\,\text{C}$$

7. وُضعت كرة بيلسان تزن $3.0\times10^{-2}\,\text{N}$ وتحمل شحنة مقدارها $-1.0\times10^{-6}\,\text{C}$ بين لوحين فلزيين كبيرين ومتوازيين وتفصل بينهما مسافة 0.050 m، ما فرق الجهد ΔV الذي يجب أن يكون بين اللوحين لجعل كرة البيلسان تتعلق بينهما؟

$$\Delta V = Ed$$
$$= \frac{F_E d}{q}$$
$$= \frac{(3.0\times10^{-2}\,\text{N})(0.050\,\text{m})}{1.0\times10^{-6}\,\text{C}}$$
$$= 1.5\times10^3\,\text{V}$$

8. تعرف شدة المجال الكهربائي بالقوة لكل وحدة شحنة ، ووحدة شـدة المجـال هي نيوتن لـكل كولوم N/C . والصيغـة الرياضية لفرق الجهـد الكهربائي هي $\Delta V = Ed$ ، لـذا يمكـن اقتراح أن المجـال الكهربائي يعبر عنه بوحدة فولت لكل متر V/m .

a. وضّـح بتحليل الوحدات أن تعبيريّ وحدتي المجال الكهربائي المذكورتين متكافئتان.

$$\frac{\mathbf{V}}{\mathbf{m}} = \frac{\mathbf{J/C}}{\mathbf{m}} = \frac{\mathbf{(N \cdot m)/C}}{\mathbf{m}} = \frac{\mathbf{N}}{\mathbf{C}}$$

b. اقترح سببًا لماذا تستخدم وحدة V/m عادة في توضيح شدة المجال الكهربائي.

لأنة قياس فرق الجهد والمسـافة عمليًا يكون أسـهل من قياس القوى المؤثرة في الشحنات.

9. أفترض أن لوحين فلزيين متوازيين بينهما مجال كهربائي مقـداره 3.0×10^4 N/C، ومتباعدين بمقدار 0.050 m، واعتبر عندما تجيب عن الأسئلة التالية أن نقطة P موضوعة على بعد 0.030 m من اللوح السالب الشحنة A.

a. ما الجهد في النقطة P نسبة إلى اللوح A؟

$$\Delta V_{PA} = (3.0\times10^4\ \mathbf{V/m})(0.030\ \mathbf{m})$$
$$= 9.0\times10^2\ \mathbf{V}$$

b. مـا الجهـد في النقطةP نسـبة إلى اللـوح B الموجب الشحنة؟

$$\Delta V_{PB} = -(3.0\times10^4\ \mathbf{V/m})(0.020\ \mathbf{m})$$
$$= -6.0\times10^2\ \mathbf{V}$$

10. تختزن بطارية من الحجم AA جهدها 1.5 V شحنة مقدارها 2500 C. فما الشغل الذي يمكن أن تبذله هذه البطارية؟

$$W = q\Delta V = (2.5\times10^3\ \mathbf{C})(1.5\ \mathbf{V})$$
$$= 3.8\times10^3\ \mathbf{J}$$

11. تتسارع الإلكترونات في الأنبوب المفرغ من المهبط إلى الصفيحـة الفلزية الموجبة الجهد بالنسـبة للمهبط، فإذا كان جهـد الصفيحة 240 V+، فما الطاقة الحركية التي تمتلكها الإلكترونات للوصول إلى الصفيحة؟

الطاقة الحركية التي تكسبها الإلكترونات تكون مساوية لطاقة الوضع الكهربائية التي تفقدها عندما تتحرك خلال فرق جهد 240 V.

$$\Delta KE = -W = -e\Delta V$$
$$= (1.60\times10^{-19}\ \mathbf{C})(240\ \mathbf{V})$$
$$= 3.8\times10^{-17}\ \mathbf{J}$$

12. تتعلق قطرة زيت تحمل خمس إلكترونات فائضة في مجال كهربائي مقداره 2.0×10^3 N/C. فما كتلة هذه القطرة؟

$$F_g = mg = F_E = qE = neE$$
$$m = \frac{F_g}{g} = \frac{neE}{g}$$
$$= \frac{(5)(1.60\times10^{-19}\ \mathbf{C})(2.8\times10^3\ \mathbf{N/C})}{9.80\ \mathbf{m/s^2}}$$
$$= 1.6\times10^{-16}\ \mathbf{kg}$$

13. تزن قطرة زيت 7.5×10^{-15} N، وتحمل ثلاث إلكترونات فائضة.

a. ما فرق الجهد اللازم لجعل القطرة تتعلق بين لوحين تفصل بينهما مسافة 2.3 cm؟

$$F_g = F_E = qE = neE = ne\frac{\Delta V}{d}$$
$$\Delta V = \frac{F_g d}{ne}$$
$$= \frac{(7.5\times10^{-15}\ \mathbf{N})(2.3\times10^{-2}\ \mathbf{m})}{(3)\ (1.60\times10^{-19}\ \mathbf{C})}$$
$$= 3.6\times10^2\ \mathbf{V}$$

b. إذا التقطت القطرة إلكترونًا آخر، فما فرق الجهد بين اللوحين اللازم لإبقاء القطرة معلقة بينهما؟

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

أي أن فرق الجهد يتناسب عكسيًا مع عدد الإلكترونات الفائضة.

$$\frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} = \frac{n_1}{n_2}$$
$$\Delta V_2 = \frac{n_1}{n_2}\Delta V_1$$
$$= \left(\frac{3}{4}\right)(3.6\times10^2\ \mathbf{V}) = 2.7\times10^2\ \mathbf{V}$$

أي ينخفض بمقدار 90 V.

14. بُذل شغل مقداره $4.50\times10^{-4}\ \text{J}$ لتحريك شحنة مقدارها $2.00\times10^{-6}\ \text{C}$ بعكس مجال كهربائي ثابت. فما فرق الجهد الكهربائي بين نقطة بداية تحريك الشحنة ونقطة نهايته؟

$$\Delta V=\frac{W_q}{q}=\frac{4.50\times10^{-4}\ \text{J}}{2.00\times10^{-6}\ \text{C}}$$
$$=225\ \text{V}$$

15. مكثفان سعة الأول $C_1=220\ \mu_F$ وسعة الآخر $C_2=470\ \mu_F$، إذا وصل كل منهما بفرق جهد 48 V.

a. ما مقدار الشحنة q_1 و q_2 على كل من المكثفين؟

$$C=\frac{q}{\Delta V}$$
$$q_1=C_1\Delta V=(220\times10^{-6}\ \text{F})(48.0\ \text{V})=1.1\times10^{-2}\ \text{C}$$
$$q_2=C_2\Delta V=(470\times10^{-6}\ \text{F})(48.0\ \text{V})=2.3\times10^{-2}\ \text{C}$$

b. ما مجموع الشحنة q_T على المكثفين معًا؟

$$q_T=q_1+q_2$$
$$=C_1\Delta V+C_2\Delta V$$
$$=(C_1+C_2)\Delta V$$
$$=(220\times10^{-6}\ \text{F}+470\times10^{-6}\ \text{F})\ (48.0\ \text{V})$$
$$=3.3\times10^{-2}\ \text{C}$$

c. أعد الفرعين a و b عندما يكون فرق الجهد $\Delta V'=96.0\ \text{V}$.

$$q_1'=C_1\Delta V'=(220\times10^{-6}\ \text{F})(96.0\ \text{V})=2.1\times10^{-2}\ \text{C}$$
$$q_2'=C_2\Delta V'=(470\times10^{-6}\ \text{F})(96.0\ \text{V})=4.5\times10^{-2}\ \text{C}$$
$$q_T'=q_1'+q_2'$$
$$=C_1\Delta V'+C_2\Delta V'$$
$$=(C_1+C_2)\Delta V'$$
$$=(220\times10^{-6}\ \text{F}+470\times10^{-6}\ \text{F})\ (96.0\ \text{V})$$
$$=6.6\times10^{-2}\ \text{C}$$

d. أعتبر أن المكثفين يمثلان نظام ما، ما المكثف المفرد المكافئ لهما C_{eq} والذي يمكنه أن يحل محل المكثف C_1 والمكثف C_2 ويعطي النتائج نفسها؟

اعتبر أن: $C_{\text{كلية}}=C_1+C_2=690\ \mu\text{F}$

أي أن: $q_T'=C_{\text{كلية}}\Delta V$

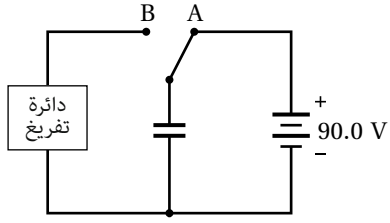
$$=(690\times10^{-6}\ \text{F})(48.0\ \text{V})=3.3\times10^{-2}\ \text{C}$$
$$q_T'=C_{\text{كلية}}\Delta V'=(690\times10^{-6}\ \text{F})(96.0\ \text{V})=6.6\times10^{-2}\ \text{C}$$

وهذا يعطي النتيجة السابقة نفسها.

e. بالاعتماد على ما سبق، قدّر السعة المكافئة لنظام مكون من مجموعة من المكثفات جميعها متصلة عبر فرق الجهد نفسه.

السعة المكافئة للمكثفات ستكون مجموع سعات المكثفات المفردة.

16. دائرة شحن تتكون من بطارية جديدة جهدها 90 V، سعتها $2.5\times10^4\ \text{C}$، ومكثف سعته $6800\ \mu_F$ متصل بمفتاح في الوضع A، فإذا حُرك المفتاح إلى الوضع B لتفريغ شحنة المكثف.



a. ما عدد المرات التي يمكن إعادة تفريغ شحنة المكثف حتى تفرغ البطارية تمامًا.

عندما يشحن المكثف تمامًا فإن شحنته تكون:

$$q_c=C\Delta V=(6800\times10^{-6}\ \text{F})(90.0\ \text{V})=0.61\ \text{C}$$

عدد مرات تفريغ المكثف N هي:

$$N=\frac{2.5\times10^4\ \text{C}}{0.61\ \text{C/مرة}}=4.1\times10^4\ \text{مرة}$$

b. إذا استغرق تفريغ المكثف 120 ms في كل مرة، فما معدل القدرة المبدّدة في دائرة التفريغ عندئذ؟

الطاقة الكلية المختزنة في المكثف تساوي الشغل المبذول لتخزين الشحنات فيه.

$$W=q_c\Delta V$$

معدل القدرة المبدّدة تساوي الطاقة المبدّدة مقسومة

على الزمن المستغرق.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{W}{t} = \frac{q_c \Delta V}{t}$$
$$= \frac{(0.61\ \text{C})(90.0\ \text{V})}{0.12\ \text{s}}$$
$$= 4.6 \times 10^{2}\ \text{W}$$

17. مكثف كهربائي سعته $0.68\ \mu_F$، يحمل شحنة مقدارها $1.36 \times 10^{-5}\ \text{C}$ على أحد لوحيه. ما فرق الجهد بين أقطاب المكثف؟

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$
$$\Delta V = \frac{q}{C} = \frac{1.36 \times 10^{-5}\ \text{C}}{0.68 \times 10^{-6}\ \text{F}}$$
$$= 2.0 \times 10^{1}\ \text{V}$$

ملحق مسائل الفصل 7

1. مصباح زينة كهربائي قدرته 7.5 W ، يعمل عندما يضيء على تيار 60.0 mA. فما فرق الجهد بين طرفيه؟

$$P = IV$$

$$V = \frac{P}{I} = \frac{7.5\ \text{W}}{60.0\times10^{-3}\ \text{A}} = 125\ \text{V}$$

2. تُخزّن بطارية نيكل كادميوم فرق الجهد بين قطبيها 1.2 V شحنةً مقدارها 4.0×10^{3} mAh (ميلي أمبير ساعة)

a. ما سعة البطارية بالكولوم؟ (تلميح : 1C = 1 A.s).

$$q = (4.0\times10^{3}\ \text{mAh})\left(\frac{1\ \text{A}}{1000\ \text{mA}}\right)\left(\frac{3600\ \text{s}}{1\ \text{h}}\right)$$

$$= 1.4\times10^{4}\ \text{A.s} = 1.4\times10^{4}\ \text{C}$$

b. كم من الزمن تستغرق شحنة البطارية ليسحب منها تيار 125 mA؟

$$q = It$$

$$t = \frac{4.0\times10^{3}\ \text{mAh}}{125\ \text{mA}} = 32\ \text{ساعة}$$

3. يستهلك عنصر تسخين في فرن كهربائي قدرةً مقدارها 5.0×10^{3} W عندما يوصل بمصدر جهده 240 V. ما مقدار التيار المتدفق في عنصر التسخين؟

$$P = IV$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{5.0\times10^{3}\ \text{W}}{240\ \text{V}} = 21\ \text{A}$$

4. مقاومة فتيل مصباح كهربائي وهو بارد 20.0 Ω، ويستهلك عند تشغيله قدرة مقداره 75 W عندما يكون موصولًا بمصدر جهده 120 V. فما المعامل الذي يتجاوز فيه تيار بدء تشغيل المصباح تيار التشغيل؟

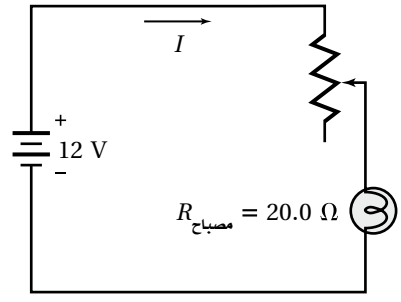
$$I_{\text{بدء التشغيل}} = \frac{V}{R}$$

$$I_{\text{التشغيل}} = \frac{P}{V}$$

$$\frac{I_{\text{بدء التشغيل}}}{I_{\text{التشغيل}}} = \frac{\frac{V}{R}}{\frac{P}{V}} = \frac{V^2}{RP} = \frac{(120\ \text{V})^2}{(20.0\ \Omega)(75\ \text{W})} = 9.6$$

يكون تيار بدء التشغيل أكبر بـ 9.6 مرة من تيار التشغيل .

5. استخدم مجزئ جهد في الدائرة الكهربائية المبينة أدناه؛ لتغيير مقدار تيار المصباح. فإذا كانت المقاومة في الدائرة تعود فقط لمقاومة المصباح، فما مقدار التيار في الدائرة الكهربائية؟



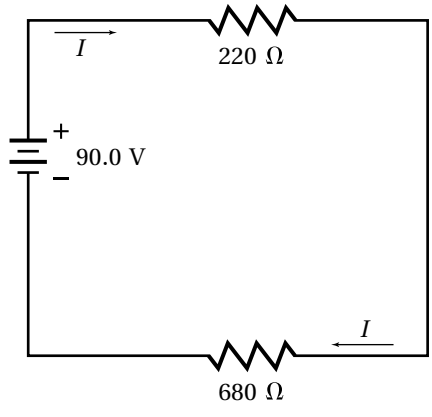
$$I = \frac{V}{R_{\text{مصباح}}} = \frac{12\ \text{V}}{20.0\ \Omega} = 0.60\ \text{A}$$

6. تستهلك حمّاصة خبز في أثناء تشغيلها 1875 W، فإذا وصلت بمصدر كهربائي جهده 125 V. فما مقاومة الحمّاصة؟

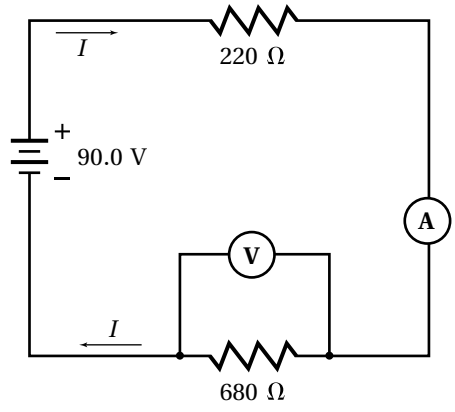
$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(125\ \text{V})^2}{1875\ \text{W}} = 8.33\ \Omega$$

7. ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة كهربائية تتضمن بطارية جهدها 90.0 V، ومقاومتان أحدهما 220 Ω والأخرى 680 Ω موصولتان على التوالي مع البطارية، محددًّا اتجاه التيار الاصطلاحي.



8. عدّل الرسم التخطيطي في المسألة السابقة بحيث يتضمن أميتر وفولتمتر لقياس فرق الجهد بين طرفي المقاومة 680 Ω.



9. إذا كانت المقاومة الكلية في المسألة 8 هي 9.0×10^{2} Ω، فما قراءة كل من الأميتر والفولتمتر؟

قراءة الأميتر:

$$I=\frac{V}{R}$$
$$=\frac{90.0\text{ V}}{9.0\times10^{2}\ \Omega}=0.10\text{ A}$$

قراءة الفولتمتر:

$$V=IR=(0.10\text{ A})(680\ \Omega)$$
$$=68\text{ V}$$

10. يزود محرك كهربائي محور الحمل بقدرة 5.2 hp (746 W = حصان ميكانيكي (hp) ، وتحت ظروف التشغيل تكون كفاءته 82.8% (الكفاءة هي النسبة بين القدرة الناتجة والقدرة المدخلة)

a. ما التيار الذي يسحبه المحرك من مصدر كهربائي جهده 240 V؟

$$\text{الكفاءة}=\frac{P_{\text{المدخلة}}}{P_{\text{الناتجة}}}=0.828$$

$$I=\frac{P_{\text{المدخلة}}}{V}=\frac{\dfrac{P_{\text{الناتجة}}}{\text{الكفاءة}}}{V}$$

$$=\frac{\dfrac{(\text{حصان }5.2)(\text{حصان/W }746)}{0.828}}{240\text{ V}}$$

$$=2.0\times10^{1}\text{ A}$$

b. ما الذي يحدث لـ 17.2% المتبقية من قدرة المحرك المدخلة؟

مبدئيًا يحدث فقدان للطاقة من ملفات المحرك يتناسب مع المقدار I^2R، وهذه الطاقة تتحول إلى طاقة حرارية تزال من داخل المحرك بواسطة مراوح أو طرق أخرى.

11. يُستخدم تيار 380 A وفرق جهد 440 V في عملية التسخين الصناعية.

a. ما مقدار المقاومة الفعّالة في عنصر التسخين؟

$$R=\frac{V}{I}=\frac{440\text{ V}}{380\text{ A}}=1.2\ \Omega$$

b. ما الطاقة المستخدمة خلال عملية التسخين في فترة 8 ساعات؟

$$E=Pt=VIt=(440\text{ V})(380\text{ A})(8\text{ h})\left(\frac{3600\text{ s}}{1\text{ h}}\right)$$
$$=5\times10^{9}\text{ J}$$

12. تعمل مقاومة تسخين مقدارها 8 Ω على مصدر جهد مقداره 120 V.

a. ما مقدار التيار الذي تتطلبه مقاومة التسخين؟

$$I=\frac{V}{R}=\frac{120\text{ V}}{8\ \Omega}=15\text{ A}$$

b. ما الزمن الذي يلزم مقاومة التسخين لتوليد طاقة حرارية مقدارها 2.0×10^{4} J؟

$$E=Pt=VIt$$

$$t=\frac{E}{VI}=\frac{2.0\times10^{4}\text{ J}}{(120\text{ V})(15\text{ A})}=11\text{ s}$$

13. أعلن مصنع مصابيح كهربائية أن المصابيح التي يصنعها بقدرة 55 W تعطي تدفقًا ضوئيًا مقداره 800.0 lm، وهي تقريبًا تساوي التدفق الضوئي الذي تعطيه المصابيح ذات القدرة 60 W والتي تعطي تدفقًا ضوئيًا مقداره 840.0 lm.

a. ما نوع المصابيح التي تحول الطاقة الكهربائية إلى ضوئية بفعالية اكبر؟

مصباح 55 W يولّد $\frac{800.0\text{ lm}}{55\text{ W}}$ أو 14.5 lm/W، في حين المصباح 60 W يولّد $\frac{840.0\text{ lm}}{60\text{ W}}$ أو 14.0 lm/W، ويتبين أن مصباح 55 W أكثر فعّالية.

b. أفترض أن العمر التشغيلي للمصابيح 1.0×10^3 ساعة وكلفة التشغيل kWh/ريال 0.12. فما التوفير في كلفة تشغيل المصابيح ذات القدرة 55 W؟

كلفة تشغيل مصباح 60 W = (0.0600 kW)(1.0×10³ h)(0.12 ريال /kWh)) = 7.20 ريال

كلفة تشغيل مصباح 55 W = (0.055 kW)(1.0×10³ h)(0.12 ريال /kWh))= 6.60 ريال

الفرق في الكلفة (التوفير) = 7.20 ريال − 6.60 ريال = 0.60 ريال

c. هل يعود التوفير في الكلفة إلى ارتفاع كفاءة المصابيح، أو بسبب استعداد المستهلكين لقبول انخفاض الضوء الناتج؟

يعود التوفير في الاستهلاك إلى رغبة المستهلكين لقبول الانخفاض في الضوء الناتج.

14. ما معامل انخفاض فقد القدرة الكهربائية I^2R في الأسلاك عند نقل الطاقة الكهربائية من 220 V إلى 20 kV؟ علمًا بأن معدل انتقال الطاقة بقي نفسه.

القدرة المطلوب نقلها هي نفسها، أما التيار فسيقل بالمعامل نفسه الذي ارتفع فيه الجهد أي 10^2؛ لذا فسيكون فقد القدرة الكهربائية I^2R منخفضًا بالمعامل 10^4؛ بسبب تربيع التيار في معادلة القدرة.

15. فاتورة الاستخدامات الكهربائية المتعددة لمنزل هي 1245 kWh خلال 30 يومًا. فما متوسط القدرة المستهلكة خلال هذه تلك الفترة؟

$$P = \frac{E}{t} = \left(\frac{1.245\times10^6\ \text{Wh}}{30\ \text{d}}\right)\left(\frac{1\ \text{d}}{24\ \text{h}}\right)$$

$$= 2\times10^3\ \text{W}$$

ملحق مسائل الفصل 8

1. وصِلت المقاومتان 47 Ω و82 Ω في دائرة توالٍ كهربائية ببطارية جهدها 90 V. ما مقدار مقاومة ثالثة R_3 توصل في الدائرة على التوالي؛ لينخفض تيار الدائرة إلى 350 mA؟

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R}$$

$$R = \frac{V_{\text{مصدر}}}{I}$$

$$= \frac{90\ \text{V}}{0.350\ \text{A}} = 257\ \Omega$$

المقومات المتصلة على التوالي: $R = R_1 + R_2 + R_3$

$$R_3 = R - R_1 - R_2$$

$$= 257\ \Omega - 47\ \Omega - 82\ \Omega$$

$$= 128\ \Omega$$

2. مـا أقل عدد من المقاومـات المتصلة على التوالي ذات المقدار 100.0 Ω، بحيث لا يزيد تيار الدائرة عن 10.0 mA عند وصل تلك المقاومات ببطارية جهدها 12.0 V؟

حيث: $I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R}$ $I \le 0.0100\ \text{A}$

اعتبـر أن عـدد المقاومـات التي مقدارها 100 يسـاوي n وعليه تكون المقاومة المكافئة في دائرة التوالي:

$$R = 100.0n$$

$$0.0100\ \text{A} \ge \frac{12.0\ \text{V}}{R}$$

$$0.0100\ \text{A} \ge \frac{12.0\ \text{V}}{100.0n}$$

$$n \ge \frac{12.0\ \text{V}}{(0.0100)(100.0)} = 12.0$$

يجب أن يكون عدد المقاومات لا يقل عن 12 مقاومة.

3. مولد كهربائـي مقاومته 120.0 Ω موصول على التوالي مع المقاومات 100.0 Ω و 400.0 Ω و 700.0 Ω.

a. ما مقدار التيار الذي يتدفق في الدائرة؟

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R} = \frac{120.0\ \text{V}}{100.0\ \Omega + 400.0\ \Omega + 700.0\ \Omega}$$

$$= 0.1000\ \text{A}$$

b. ما الهبوط في الجهد عبر المقاومة 400.0 Ω؟

$$V_{400.0\,\Omega} = IR_{400.0\,\Omega} = (0.1000\ \text{A})(400.0\ \Omega) = 40.00\ \text{V}$$

4. أثبت أن القدرة الكلية المبدّدة عبر المقاومات المتصلة علـى التوالي في دائرة كهربائية تعطى بالعلاقة $P = I^2R$، حيث R المقاومة المكافئة في الدائرة.

القـدرة الكلية المبدّدة تسـاوي مجموع القـدرة المبدّدة عبر جميع المقاومات.

$$P = P_1 + P_2 + \dots$$

$$= I^2R_1 + I^2R_2 + \dots$$

$$= I^2(R_1 + R_2 + \dots)$$

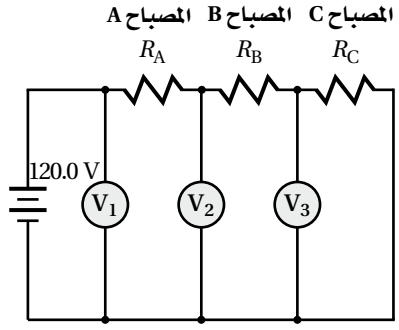
$$= I^2R$$

5. في تجربة كما في الشكل أدناه وصلت ثلاثة مصابيح متماثلة على التوالي ثم وصلت بمصدر للجهد مقداره 120.0 V. وعندمـا أغلق المفتاح أضاءت جميع المصابيح، ولكن عندما أعيدت التجربة في اليوم التالي أضاء المصباحان A وB إضاءة أكثر من عادية، ولكن المصباح C بقي معتمًا، أستخدم فولتمتر لقياس فرق الجهد في الدائرة كما يظهر في الشكل، وكانت قراءات الفولتمتر كما يلي:

$V_1 = 120.0\ \text{V}$

$V_2 = 60.0\ \text{V}$

$V_3 = 0.0\ \text{V}$



a. ماذا حدث في هذه الدائرة؟

أحدثَ المصباح C دائرة قصر من خلال قاعدته، وعندها لم يمر تيار خلال فتيله بقي معتمًا، ودائرة القصر هذه عملت كمقاومة صفرية فسمحت لتيار الدائرة بالتدفق، ودلت القياسات المتوفرة لفرق الجهد على وجود هبوط في الجهد عبر المصباحين الآخرين.

b. فسر لماذا أضاء كل من المصباحين A وB أكثر من العادي؟

لأن الهبوط في الجهد عبر كل من المصباحين ازداد من $\frac{120.0\text{ V}}{3} = 40.00\text{ V}$ إلى $\frac{120.0\text{ V}}{2} = 60.00\text{ V}$، وبالتالي ازدادت القدرة المبدّدة $P = \frac{V^2}{R}$ عبر كل من المصباحين بسبب ازدياد V.

c. هل يكون التيار المتدفق الآن في الدائرة أكبر أم أقل؟

يكون تدفق التيار في الدائرة أكبر، لأن المقاومة المكافئة للمقاومتين ودائرة القصر أقل من المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث، وهذا الخفض في المقاومة المكافئة أدى إلى زيادة التيار.

6. سلك من مصابيح الزينة يتكون من 25 مصباح متماثل موصولة على التوالي، كل مصباح يبدّد 1.00 W عندما يتصل السلك بمقبس 125 V.

a. ما القدرة التي يجب أن يزود بها مصدر الـ 125 V؟

$$P = (25\text{ مصباح})(1.00\text{ W/مصباح})$$

$$= 25.0\text{ W}$$

b. ما المقاومة المكافئة للدائرة؟

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

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(125\text{ V})^2}{25.0\text{ W}} = 625\ \Omega$$

c. ما مقاومة كل مصباح؟

بما أن المصابيح متصلة على التوالي:

$$R_{\text{مصباح}} = \frac{R}{25} = \frac{625\ \Omega}{25} = 25.0\ \Omega$$

d. ما الهبوط في الجهد عبر كل مصباح؟

بما أن المصابيح متصلة على التوالي:

$$V_{\text{مصباح}} = \frac{V}{25} = \frac{125\text{ V}}{25} = 5.00\text{ V}$$

7. وصلت مقاومتان معًا على التوالي، ثم وصلتا ببطارية جهدها 12.0 V، فكان الهبوط في الجهد عبر أحد المقاومتين يساوي 5.5 V.

a. ما الهبوط في الجهد عبر المقاومة الأخرى؟

12.0 V − 5.5 V = 6.5 V

b. إذا كان التيار في الدائرة 5.0 mA. فما مقدار كل من المقاومتين؟

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

$$R_1 = \frac{5.5\text{ V}}{0.0050\text{ A}} = 1100\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{6.5\text{ V}}{0.0050\text{ A}} = 1300\ \Omega$$

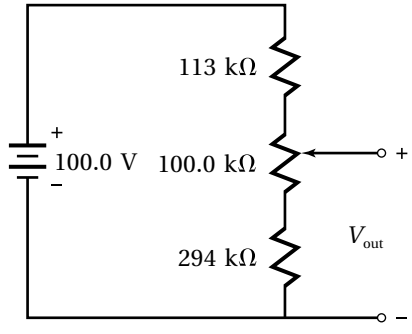
8. إذا كانت مواصفات المقاومتين في المسألة 7 تشير إلى أن القيّم الحقيقية لأيٍّ منهما قد يكون مختلف عن القيمة الأسمية المسجلة عليها، فإذا كان المدى المحتمل للقيم الحقيقية لهاتين المقاومتين كالآتي: $1050\Omega \le R_1 \le 1160\ \Omega$ و $1240\Omega \le R_2 \le 1370\ \Omega$. فما القيم الصغرى والعظمى للهبوط في الجهد عندما تكون قيمته الأسمية 5.5 V؟

بعمل جدول كالجدول أدناه؛ لتحديد القيم الصغرى والكبرى للمقاومتين، وبعدها يُحسب الهبوط في الجهد من العلاقة: $V = 12R_1/R_1 + R_2$.

الهبوط في المقاومة (V)	مقاومة R_2 kΩ	مقاومة R_1 kΩ
5.5	1.24	1.05
5.2	1.37	1.05
5.8	1.24	1.16
5.5	1.37	1.16

ومن الجدول يستنتج أن مدى الهبوط في الجهد من 5.2 V إلى 5.8 V.

9. دائرة مجزئ جهد تتكون من مجزئ جهد كالمبين أدناه، ومن مقاومتين ثابتتين هما 113 Ω و 294 Ω، ومدى مقاومة مجزئ الجهد يتراوح بين 0.0 و 100.0 Ω.



a. ما الجهد الناتج $V_{\text{ناتج}}$ عندما تكون مقاومة مجزئ الجهد موضوعة عند أدنى قيمة لها 0.0 Ω؟

$$V_{\text{ناتج}} = V_{\text{أدنى}}$$

$$= \left(\frac{294\ \text{k}\Omega}{294\ \text{k}\Omega + 100\ \text{k}\Omega + 113\ \text{k}\Omega}\right)(100.0\ \text{V})$$

$$= 58.0\ \text{V}$$

b. ما الجهد الناتج $V_{\text{ناتج}}$ عندما تكون مقاومة مجزئ الجهد موضوعة عند أعلى قيمة لها 100.0 Ω؟

$$V_{\text{ناتج}} = V_{\text{أعلى}}$$

$$= \left(\frac{294\ \text{k}\Omega + 100\ \text{k}\Omega}{294\ \text{k}\Omega + 100\ \text{k}\Omega + 113\ \text{k}\Omega}\right)(100.0\ \text{V})$$

$$= 77.7\ \text{V}$$

c. ما نسبة التغير في إعدادات مجزئ الجهد المطلوبه لقياس $V_{\text{ناتج}}$ عند 65.0 V بدقة؟

الإعداد المطلوب هو نفسه كالنسبة بين الجهد من $V_{\text{أدنى}}$ إلى 65.0 V إلى مدى الجهد الكلي المتوفر.

$$\frac{(65.0\ \text{V}) - V_{\text{أدنى}}}{V_{\text{أعلى}} - V_{\text{أدنى}}} = \frac{65.0\ \text{V} - 58.0\ \text{V}}{77.7\ \text{V} - 58.0\ \text{V}} \times 100\%$$

$$= 35.5\%$$

10. مصباحان قدرة الأول 25.0 W وقدرة الآخر 75.0 W، متصلان على التوازي مع مصدر جهده 125 V.

a. أي من المصباحين أكثر سطوعًا؟

يبدّد المصباح الذي قدرته 75.0 W قدرة أكبر؛ لذا يكون أكثر سطوعًا.

b. ما مقاومة التشغيل لكل منهما؟

بما أن المصابيح متصلة على التوازي، ففرق الجهد يكون نفسه عبر كل منهما.

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

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

$$R_{75} = \frac{(125\ \text{V})^2}{75.0\ \text{W}} = 208\ \Omega$$

$$R_{25} = \frac{(125\ \text{V})^2}{25.0\ \text{W}} = 625\ \Omega$$

c. إذا وصل المصباحان على التوالي فما القدرة المبددة في كل منهما عندئذٍ؟

التيار في الدائرة الآن يكون:

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R} = \frac{V}{R_{25} + R_{15}} = \frac{125\ \text{V}}{833\ \Omega} = 0.150\ \text{A}$$

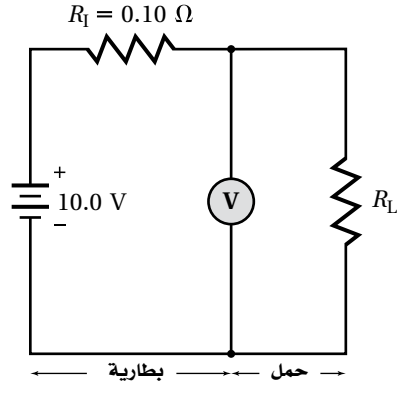
القدرة المبدّدة عبر كل مصباح:

$$P_{75} = I^2R_{75} = (0.150\ \text{A})^2(208\ \Omega) = 4.68\ \text{W}$$

$$P_{25} = I^2R_{25} = (0.150\ \text{A})^2(625\ \Omega) = 14.1\ \text{W}$$

المصباح الذي قدرته 25 W يكون في هذه الحالة أكثر سطوعًا.

11. بطارية جهدها 10.0 V لها مقاومة داخلية مقدارها 0.10 Ω، يمكن تمثيلها بمقاومة متصلة على التوالي مع البطارية كما في الشكل أدناه.



a. اشتق علاقة بين الهبوط في جهد البطارية V كدالة في التيار I.

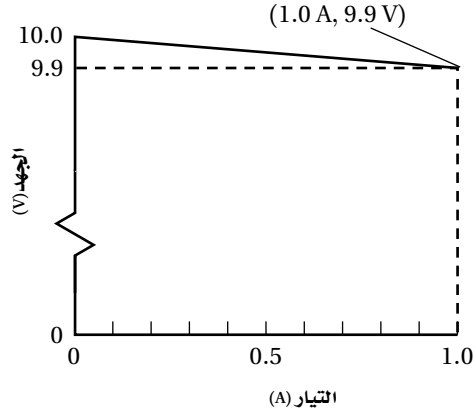
جهد البطارية = مجموع الهبوط في الجهد

$$10.0 = IR_I + V$$

$$V = 10.0 - IR_I$$

$$= 10.0 - 0.10I$$

b. ارسم رسمًا بيانيًّا العلاقة بين فرق الجهد والتيار عندما يكون مدى التيار من 0.0 إلى 1.0 A.



c. ما مقدار المقاومة التي تستبدل بها مقاومة الحمل R_L بين قطبي البطارية لتعطي تيارًا مقداره 1.0 A؟

$$I = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R} = \frac{V_{\text{مصدر}}}{R_I + R_L}$$

$$R_L = \frac{V_{\text{مصدر}}}{I} - R_I$$

$$= \frac{10.0\ \text{V}}{1.0\ \text{A}} - 0.10\ \Omega$$

$$= 9.9\ \Omega$$

d. كيف تختلف علاقة I – V في حالة إذا ما كان مصدر الجهد مثالي؟

يعطي مصدر الجهد المثالي فرق جهد محدد وثابت بغض النظر عن التيار المسحوب منه.

12. اثبت أن القدرة المبدّدة في المقاومات المتصلة على التوازي تُعطى بالعلاقة $P = \frac{V^2}{R}$. حيث R المقاومة المكافئة.

المجموع الكلي للقدرة المبدّدة تساوي مجموع القدرة المبدّدة عبر كل مقاومة.

$$P = P_1 + P_2 + \ldots$$

$$= \frac{V^2}{R_1} + \frac{V^2}{R_2} + \ldots$$

$$= V^2\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots\right)$$

$$= \frac{V^2}{R}$$

13. يتكون سلك مصابيح زينة من 10 مصابيح، ولكل منها مقاومة تساوي 200.0 Ω، وهي مجهزة بمصابيح خاصة تشكّل دائرة قصر عندما يزداد الهبوط في الجهد فيها ليصل إلى جهد الخط ويحدث ذلك عندما يحترق فتيل أحد المصابيح. ويوصل طرفي سلك المصابيح بمقبس التيار المنزلي عند جهد 120.0 V، وتُحمى هذه المصابيح بمنصهر يتحمل لغاية 250.0 mA. فما عدد المصابيح عندئذٍ التي تفشل في الإضاءة دون أن يحترق المنصهر؟

يعمل سلك مصابيح الزينة مادام التيار أقل من 250.0 mA .

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

$$0.250\ \text{A} \geq \frac{V}{nR_{\text{المصباح}}}$$

$$0.250\ \text{A} \geq \frac{120\ \text{V}}{(n)(200.0\ \Omega)}$$

$$n \geq \frac{120\ \text{V}}{(0.250\ \text{A})(200.0\ \Omega)}$$

$$n \geq 2.4$$

أي يعمل السلك عندما تضيء ثلاثة مصابيح على الأقل، أو لا يضيء أكثر من 7 مصابيح.

14. وصل مصباح قدرته 60.0 W بمصباح قدرته 75.0 W على التوالي مع مصدر جهده 120 V.

a. ما المقاومة المكافئة للدائرة؟

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

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

$$= \frac{(120\ \text{V})^2}{60.0\ \text{W} + 75.0\ \text{W}}$$

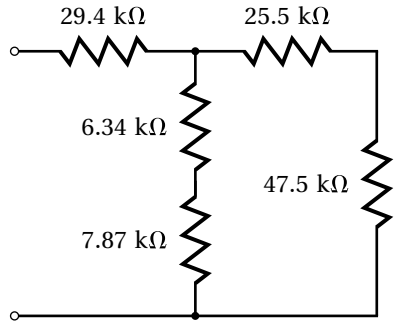
$$= 1.1 \times 10^2\ \Omega$$

b. إذا وصل مجفف شعر قدرته 1875 W الآن على التوازي مع المصباحين. فما المقاومة المكافئة الجديدة للدائرة؟

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

$$= \frac{(120\ \text{V})^2}{60.0\ \text{W} + 75.0\ \text{W} + 1875\ \text{W}} = 7.2\ \Omega$$

15. مـا المقاومـة المكافئـة لمجموعـة المقاومة في شـبكة المقاومات في الشكل أدناه؟



$$R_1 = 29.4\ \text{k}\Omega$$

$$R_{2,3} = 6.34\ \text{k}\Omega + 7.87\ \text{k}\Omega$$

$$= 14.21\ \text{k}\Omega$$

$$R_{4,5} = 25.5\ \text{k}\Omega + 47.5\ \text{k}\Omega$$

$$= 73.0\ \text{k}\Omega$$

$$\frac{1}{R_{\text{توازي}}} = \frac{1}{R_{2,3}} + \frac{1}{R_{4,5}} = \frac{1}{14.21\ \text{k}\Omega} + \frac{1}{73.0\ \text{k}\Omega}$$

$$R_{\text{توازي}} = 11.9\ \text{k}\Omega$$

$$R = R_1 + R_{\text{توازي}} = 29.4\ \text{k}\Omega + 11.9\ \text{k}\Omega$$

$$= 41.3\ \text{k}\Omega$$