وزارة التربية والتعليم
Ministry of Education
المملكة العربية السعودية

دليل حلول المسائل

الصف الثاني الثانوي

قسم العلوم الطبيعية

العبيكان
Obeikan

١٤٣٤ هـ - ٢٠١٣ م

Mc Graw Hill Education

الفيزياء ـ الصف الثاني الثانوي

Glencoe Sience

دليل حلول المسائل

SOLUTIONS MANUAL

Physics

أعدَّ النسخة العربية: شركة العبيكان للتعليم

www.obeikaneducation.com

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل© ٢٠٠٨م/ ١٤٢٩هـ.

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

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

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

المحتويات

مقدمة للمعلم

الفصل 1: الحركة الدورانية 5

الفصل 2: الزخم وحفظه 26

الفصل 3: الشغل والطاقة والآلات البسيطة 61

الفصل 4: الطاقة وحفظها 88

الفصل 5: الطاقة الحرارية 116

الفصل 6: حالات المادة 137

الفصل 7: الاهتزازات والموجات 166

الفصل 8: الصوت 177

الفصل 9: أساسيات الضوء 190

الفصل 10: الانعكاس والمرايا 204

الفصل 11: الانكسار والعدسات 221

الفصل 12: التداخل والحيود 239

مسائل إضافية 251

إلى المعلم

يعدّ دليل **حلول المسائل** دليلاً شاملاً للمسائل الواردة في كتاب الطالب، ويشمل المسائل التدريبية، ومسائل مراجعة الأقسام، ومسائل تقويم الفصل، فضلاً عن مسائل التحفيز الواردة في كل فصل، بالإضافة إلى مسائل إضافية وضعت في نهاية الدليل بوصفها أسئلة إثرائية للفصول. وقد أعيدت كتابة المسائل في هذا الدليل حتى لا يضطر المعلم إلى الرجوع إلى كتاب الطالب أو دليل المعلم عند استعراض المسائل مع الطلاب.

مسائل تدريبية

1–1 وصف الحركة الدورانية (صفحة 13–9)

صفحة 12

1. ما الإزاحة الزاويّة لعقارب ساعة يد خلال 1 h؟ اكتب إجابتك بثلاثة أرقام معنوية، وذلك لـ:

a. عقرب الثواني

$$\Delta\theta = (60)(-2\pi \text{ rad})$$

$$= -120\pi \text{ rad} \text{ أو } -377 \text{ rad}$$

b. عقرب الدقائق

$$\Delta\theta = -2\pi \text{ rad} \text{ أو } -6.28 \text{ rad}$$

c. عقرب الساعات

$$\Delta\theta = \left(\frac{1}{12}\right)(-2\pi \text{ rad})$$

$$= -\frac{\pi}{6}\text{rad} \text{ أو } -0.524 \text{ rad}$$

2. إذا كان التسارع الخطي لعربة نقل $1.85\ m/s^2$، والتسارع الزاوي لإطاراتها $5.23\ rad/s^2$ فما قطر الإطار الواحد للعربة؟

$$r = \frac{a}{\alpha}$$

$$= \frac{1.85\ m/s^2}{5.23\ rad/s^2}$$

$$= 0.354\ m$$

لذا، فالقطر يساوي 0.707 m

3. إذا كانت العربة التي في السؤال السابق تسحب قاطرة، قطر كل من إطاراتها 48 cm، فقارن بين:

a. التسارع الخطي للقاطرة والتسارع الخطي للعربة.

التغيرات في السرعة المتجهة هي نفسها، لذا فإن التسارعين الخطيين متساويان.

b. التسارع الزاوي للقاطرة والتسارع الزاوي للعربة.

لما كان نصف قطر الإطار قد نقص من 35.4 cm إلى 24 cm، فإن التسارع الزاوي سيزيد.

$$\alpha_1 = 5.23\ rad/s^2$$

$$\alpha_2 = \frac{a_2}{r} = \frac{1.85\ m/s^2}{0.24\ m}$$

$$= 7.7\ rad/s^2$$

4. إذا استبدلت بإطارات سيارتك إطارات أخرى قطرها أكبر فكيف تتغير السرعة الزاوية المتجهة وعدد الدورات إذا قمت بالرحلة نفسها، وقطعت المسافة نفسها ملتزمًا بالسرعة الخطية نفسها؟

بما أن $\omega = \frac{v}{r}$، فإنه إذا زادت r، فستقل ω، وسيقل عدد الدورات.

مراجعة القسم

1–1 وصف الحركة الدورانية (صفحة 13–9)

صفحة 13

5. السرعة الزاوية المتجهة يدور القمر حول محوره دورة كاملة خلال 27.3 يومًا، فإذا كان نصف قطر القمر 1.74×10^6 m، فاحسب:

a. زمن دوران القمر بوحدة الثانية.

زمن الدورة T

$$T = (27.3\ day)(24\ h/day)(3600\ s/h)$$

$$= 2.36\times10^6\ s$$

b. السرعة الزاوية لدوران القمر بوحدة rad/s.

$$\omega = \frac{1}{T}$$

$$= \frac{1}{2.36\times10^6}\ rev/s$$

$$= 2.66\times10^{-6}\ rad/s \quad \text{أو}$$

c. مقدار السرعة الخطية لصخرة على خط الاستواء للقمر (الناتجة فقط عن دوران القمر)؟

$$v = r\omega$$

$$= (1.74\times10^6\ m)(2.66\times10^{-6}\ rad/s)$$

$$= 4.63\ m/s$$

d. النسبة بين مقدار السرعة في الفرع السابق والسرعة الناتجة عند دوران الأرض لشخص يقف على خط الاستواء. علما بأن سرعة الأرض عند خط الاستواء 464 m/s.

السرعة عند خط الاستواء الأرضي 464 m/s، أو أسرع 100 مرة تقريبًا.

6. الإزاحة الزاوية إذا كان قطر الكرة المستخدمة في فأرة الحاسوب 2.0 cm، وحَرّكت الفأرة 12 cm، فما الإزاحة الزاوية للكرة؟

$$d = r\theta$$

$$\theta = \frac{d}{r} = \frac{12\ \text{cm}}{1.0\ \text{cm}} = 12\ \text{rad}$$

7. الإزاحة الزاوية هل لكل أجزاء عقرب الدقائق الإزاحة الزاوية نفسها؟ وهل لها إزاحة خطية متماثلة؟

الإزاحة الزاوية—نعم، المسافة الخطية—لا؛ لأن المسافة الخطية دالة في نصف القطر.

8. التسارع الزاوي يدور الملف الأسطواني في محرك غسالة الملابس 635 rev/min (أي 635 دورة في الدقيقة)، وعند فتح غطاء الغسالة يتوقف المحرك عن الدوران. فإذا احتاج الملف 8.0 s حتى يتوقف بعد فتح الغطاء فما التسارع الزاوي للملف الأسطواني؟

$$\omega_i = 635\ \text{rpm} = 66.53\ \text{rad/s}$$

$$\omega_f = 0.0,$$

لذا فإن

$$\Delta\omega = -66.5\ \text{rad/s}$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{-66.5\ \text{rad/s}}{8.0\ \text{s}} = -8.3\ \text{rad/s}^2$$

9. التفكير الناقد يبدأ مسار لولبي على قرص مضغوط CD على بُعد 2.7 cm من المركز، وينتهي على بُعد 5.5 cm. ويدور القرص المضغوط بحيث تتغير السرعة الزاوية كلما ازداد نصف قطر المسار، ويبقى مقدار السرعة الخطية المتجهة للمسار اللولبي ثابتًا ويساوي 1.4 m/s. احسب ما يلي:

المسار اللولبي على قرص (CD)

a. السرعة الزاوية المتجهة للقرص (بوحدة rad/s وrev/min) عند بداية المسار.

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$= \frac{1.4\ \text{m/s}}{0.027\ \text{m}}$$

$$\omega = 52\ \text{rad/s}$$

$$= 5.0\times10^2\ \text{rev/min}$$

b. السرعة الزاوية المتجهة للقرص عند نهاية المسار.

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$= \frac{1.4\ \text{m/s}}{0.055\ \text{m}}$$

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

$$= 2.4\times10^2\ \text{rev/min}$$

c. التسارع الزاوي للقرص إذا كان زمن قراءته كاملًا 76 min.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_f - \omega_i}{\Delta t}$$

$$= \frac{-25\ \text{rad/s} - 52\ \text{rad/s}}{(76\ \text{min})\ (60\ \text{s/min})}$$

$$= -5.9\times10^{-3}\ \text{rad/s}^2$$

مسائل تدريبية

2–1 ديناميكا الحركة الدورانية (صفحة 18–14)

صفحة 16

10. بالرجوع إلى مفتاح الشد في المثال 1، ما مقدار القوة التي يجب التأثير بها عموديًّا في مفتاح الشد؟

$$\tau = Fr\sin\theta$$

$$F = \frac{\tau}{r\sin\theta}$$

$$= \frac{35\ \text{N.m}}{(0.25\ \text{m})(\sin 90.0°)}$$

$$= 1.4\times10^2\ \text{N}$$

11. إذا تطلب تدوير جسم عزمًا مقداره 55.0 N.m، في حين كانت أكبر قوة يمكن التأثير بها 135 N، فما طول ذراع القوة الذي يجب استخدامه؟

بالنسبة إلى ذراع القوة الأقصر المحتمل، فإن $\theta = 90.0°$.

$$\tau = Fr\sin\theta$$

$$r = \frac{\tau}{F\sin\theta}$$

$$= \frac{55.0\ \text{N.m}}{(135\ \text{N})(\sin 90.0°)}$$

$$= 0.407\ \text{m}$$

12. لديك مفتاح شد طوله 0.234 m، وتريد أن تستخدمه في إنجاز مهمة تتطلب عزمًا مقداره 32.4 N.m، عن طريق التأثير بقوة مقدارها 232 N. ما مقدار أقل زاوية تصنعها القوة المؤثرة بالنسبة إلى الرأسي، وتسمح بتوفير العزم المطلوب؟

$$\tau = Fr\sin\theta$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\tau}{Fr}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{32.4\ \text{N.m}}{(232\ \text{N})(0.234\ \text{m})}\right)$$

$$= 36.6°$$

13. إذا كانت كتلتك 65 kg ووقفت على بدّالات دراجة هوائية، بحيث يصنع البدّال زاوية مقدارها 35° على الأفقي، وتبعد مسافة 18 cm عن مركز حلقة السلسلة، فما مقدار العزم الذي تؤثر فيه؟ وما مقدار العزم الذي تؤثر فيه إذا كانت البدّالات رأسيَّة؟

الزاوية بين القوة ونصف القطر تساوي $90° - 35° = 55°$.

$$\tau = Fr\sin\theta$$

$$= mgr\sin\theta$$

$$= (65\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.18\ \text{m})(\sin 55°)$$

$$= 94\ \text{N.m}$$

أما عندما تكون البدّالات رأسية فإن $\theta = 0.0°$، لذا يكون

$$\tau = Fr\sin\theta$$

$$= mgr\,(\sin 0.0°)$$

$$= 0.0\ \text{N.m}$$

صفحة 18

14. يجلس عليّ على بُعد 1.8 m من مركز الأرجوحة، فعلى أي بعد من مركز الأرجوحة يجب أن يجلس عبد الله حتى يتزن؟ علمًا بأنَّ كتلة عليّ 43 kg وكتلة عبدالله 52 kg.

$$F_{\text{عليّ}}r_{\text{عليّ}} = F_{\text{عبدالله}}r_{\text{عبدالله}}$$

$$r_{\text{عبدالله}} = \frac{F_{\text{عليّ}}r_{\text{عليّ}}}{F_{\text{عبدالله}}}$$

$$= \frac{m_{\text{عليّ}}gr_{\text{عليّ}}}{m_{\text{عبدالله}}g}$$

$$= \frac{m_{\text{عليّ}}r_{\text{عليّ}}}{m_{\text{عبدالله}}}$$

$$= \frac{(43\ \text{kg})(1.8\ \text{m})}{52\ \text{kg}}$$

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

15. إذا كان نصف قطر إطار دراجة هوائية 7.70 cm، وأثرت السلسلة بقوة عمودية مقدارها 35.0 N في الإطار في اتجاه حركة عقارب الساعة فما مقدار العزم اللازم لمنع الإطار من الدوران؟

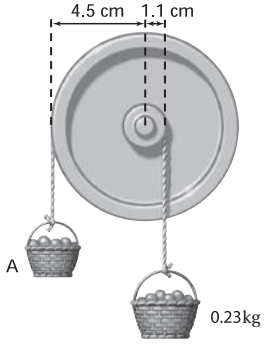
$$\tau_{\text{السلسلة}} = F_g r$$

$$= (-35.0\ \text{N})(0.0770\ \text{m})$$

$$= -2.70\ \text{N.m}$$

لذا، يجب أن يؤثر عزم مقداره $+2.70$ N.m لموازنة هذا العزم.

16. عُلقت سلتا فواكه بحبلين يمران على بكرتين قطراهما مختلفان، فاتزنتا كما في **الشكل 6–1**. ما مقدار كتلة السلة A؟



■ **الشكل 6–1**

$$\tau_1 = \tau_2$$

$$F_1r_1 = F_2r_2$$

$$m_1gr_1 = m_2gr_2$$

$$m_1 = \frac{m_2r_2}{r_1}$$

$$= \frac{(0.23\ \text{kg})\ (1.1\ \text{cm})}{4.5\ \text{cm}}$$

$$= 0.056\ \text{kg}$$

17. افترض أن نصف قطر البكرة الكبرى في السؤال السابق أصبح 6.0 cm، فما مقدار كتلة السلة A؟

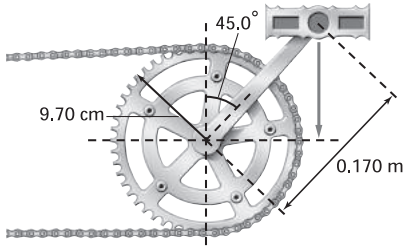
$$m_1 = \frac{m_2r_2}{r_1}$$

$$= \frac{(0.23\ \text{kg})\ (1.1\ \text{cm})}{6.0\ \text{cm}}$$

$$= 0.042\ \text{kg}$$

تابع الفصل 1

18. يقف شخص كتلته 65.0 kg على بدّالة دراجة هوائية، فإذا كان طول ذراع التدوير 0.170 m ويصنع زاوية 45.0° بالنسبة إلى الرأسي كما في **الشكل 7–1**. وكانت ذراع التدوير متصلةً بالإطار الخلفي (الذي تديره السلسلة عادة)، فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر فيها السلسلة لمنع الإطار من الدوران، علمًا بأن نصف قطر الإطار 9.70 cm؟



■ الشكل 7–1

$$\tau_{\text{ذراع التدوير}} = -\tau_{\text{السلسلة}}$$

$$F_{\text{ذراع التدوير}}\, r_{\text{ذراع التدوير}} \sin\theta = -F_{\text{السلسلة}}\, r_{\text{السلسلة}}$$

$$F_{\text{السلسلة}} = \frac{-F_{\text{ذراع التدوير}}\, r_{\text{ذراع التدوير}} \sin\theta}{r_{\text{السلسلة}}}$$

$$F_{\text{السلسلة}} = \frac{-mg\, r_{\text{ذراع التدوير}} \sin\theta}{r_{\text{السلسلة}}}$$

$$F_{\text{السلسلة}} = \frac{-(65.0\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)\ (0.170\ \text{m})\ (\sin 45.0°)}{0.097\ \text{m}}$$

$$F_{\text{السلسلة}} = 789\ \text{N}$$

مراجعة القسم

1–2 ديناميكا الحركة الدورانية (صفحة 18–14)

صفحة 18

19. العزم يريد عبد الرحمن أن يدخل من باب دوّار ساكن، وضّح كيف يدفع الباب ليولد عزمًا بأقل مقدار من القوة المؤثرة؟ وأين يجب أن تكون نقطة تأثير تلك القوة؟

لتوليد عزم بأقل قوة ينبغي عليه دفع الباب مقتربًا ما أمكن من حافة الباب، وبزاوية قائمة على الباب.

20. ذراع القوة حاول فيصل فتح باب، ولم يستطع دفعه بزاوية قائمة، فدفعه بزاوية 55° بالنسبة إلى العمودي، فقارن بين قوة دفعه للباب في هذه الحالة وبين القوة اللازمة لدفعه عندما تكون القوة عمودية عليه (90°) مع تساوي سرعة الباب في الحالتين.

الزاوية بين القوة ونصف القطر تساوي 35°. العزم يساوي: $\tau = Fr \sin\theta$، ولما كان $\sin 90° = 1$, و $\sin 35° = 0.57$، فإنه ينبغي عليه زيادة القوة بنسبة $\frac{1}{0.57} = 1.75$ للحصول على العزم نفسه.

تابع الفصل 1

21. محصلة العزم يسحب شخصان حبلين ملفوفين حول حافة إطار كبير، فإذا كانت كتلة الإطار 12 kg وقطره 2.4 m، ويسحب أحد الشخصين الحبل الأول في اتجاه حركة عقارب الساعة بقوة 43 N، ويسحب الشخص الآخر الحبل الثاني في اتجاه معاكس لاتجاه حركة عقارب الساعة بقوة 67 N، فما محصلة العزم على الإطار؟

$$\tau_{\text{المحصلة}} = \tau_1 + \tau_2$$

$$= F_1 r + F_2 r$$

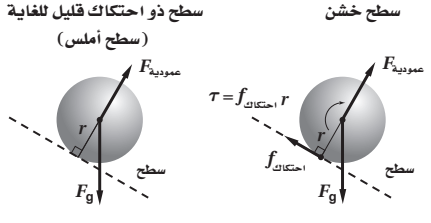
$$= (F_1 + F_2)\left(\frac{1}{2}d\right)$$

$$= (-43\ \text{N} + 67\ \text{N})\left(\frac{1}{2}\right)(2.4\ \text{m})$$

$$= 29\ \text{N.m}$$

22. التفكير الناقد إذا وضعت كرة عند أعلى سطح مائل مهمل الاحتكاك فسوف تنزلق إلى أسفل السطح دون دوران، ولكن إذا كان السطح خشنًا فإنّ الكرة ستتدحرج في أثناء انزلاقها إلى أسفل. وضح سبب ذلك، مستخدمًا مخطط الجسم الحر.

العزم يساوي: $\tau = Fr \sin\theta$، قوة الاحتكاك توازي السطح وتتعامد مع محور دوران الكرة فتولد عزمًا يجعل الكرة تدور في اتجاه حركة عقارب الساعة، وإذا كان السطح أملس فلا توجد قوة موازية للسطح في هذه الحالة ولا يوجد عزم، لذا لا يوجد دوران. وتذكر أنه قد تم إهمال القوى المؤثرة في نقطة المحور (مركز الكرة).



مسائل تدريبية

3–1 الاتزان (صفحة 24–19)

صفحة 23

23. يتزن لوح خشبي كتلته 24 kg وطوله 4.5 m على حاملين، أحدهما تحت مركز اللّوح مباشرة، والثاني عند الطرف. ما مقدار القوتين اللتين يؤثر بهما كل من الحاملين الرأسيين في اللوح؟

اختر مركز كتلة اللوح على أنه محور الدوران. ولما كان طرف اللوح الذي لا حامل تحته ولا داعم لا يؤثر بأي عزم، فإن طرف اللوح الآخر المدعوم بالحامل يجب ألا يؤثر بأي عزم كذلك؛ لذا فإن كل القوة المؤثرة مصدرها الحامل الذي يقع تحت مركز اللّوح، وهذه القوة مساوية لوزن اللوح الخشبي:

$$F_{\text{المركز}} = F_g = (24\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 2.4 \times 10^2\ \text{N}$$

$$F_{\text{الطرف}} = 0\ \text{N}$$

تابع الفصل 1

24. يتحرك غطاس كتلته 85 kg نحو الطرف الحر للوح القفز، فإذا كان طول اللّوح 3.5 m وكتلته 14 kg، وثبت بداعمين، أحدهما عند مركز الكتلة، والآخر عند أحد طرفي اللّوح، فما مقدار القوة المؤثرة في كل داعم؟

اختر مركز كتلة لوح القفز على أنه محور الدوران. إن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في لوح القفز تؤثر كليًّا في الداعم الموجود أسفل مركز الكتلة.

$$\tau_{\text{الطرف}} = -\tau_{\text{الغطاس}}$$

$$F_{\text{الطرف}} r_{\text{الطرف}} = -F_{\text{الغطاس}} r_{\text{الغطاس}}$$

$$F_{\text{الطرف}} = \frac{-F_{\text{الغطاس}} r_{\text{الغطاس}}}{r_{\text{الطرف}}}$$

$$= \frac{-m_{\text{الغطاس}} g\, r_{\text{الغطاس}}}{r_{\text{الطرف}}}$$

$$= \frac{-(85\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)(1.75\ \text{m})}{1.75\ \text{m}}$$

$$= -8.3 \times 10^2\ \text{N}$$

لحساب القوة المؤثرة في الداعم الموجود عند مركز الكتلة، لاحظ أنه لما كان اللوح لا يتحرك فإن:

$$F_{\text{الطرف}} + F_{\text{المركز}} = F_{\text{الغطاس}} + F_g$$

لذا فإن

$$F_{\text{المركز}} = F_{\text{الغطاس}} + F_g - F_{\text{الطرف}}$$

$$= 2F_{\text{الغطاس}} + F_g$$

$$= 2m_{\text{الغطاس}}\, g + m_{\text{اللوح}}\, g$$

$$= g(2m_{\text{الغطاس}} + m_{\text{اللوح}})$$

$$= (9.80\ \text{m/s}^2)\ (2(85\ \text{kg}) + 14\ \text{kg})$$

$$= 1.8 \times 10^3\ \text{N}$$

مراجعة القسم

3–1 الاتزان (صفحة 27–19)

صفحة 27

25. مركز الكتلة هل يمكن أن يكون مركز كتلة جسم في نقطة خارج الجسم؟ وضح ذلك.

نعم، يتحرك الجسم كما لو أن جميع كتلته مركّزة في مركز الكتلة. لا يوجد شيء في التعريف يتطلب أن تكون كتلة الجسم أو جزء منها في مركز الكتلة.

26. استقرار الجسم لماذا تكون المركبة المعدّلة التي أضيف إليها نوابض لتبدو مرتفعة، أقل استقرارًا من مركبة مشابهة غير معدّلة؟

يرتفع مركز كتلة المركبة ولكن لا تزداد أبعاد قاعدتها، وهذا من شأنه أن يجعل مركز كتلة المركبة خارج قاعدتها عند تمايلها.

تابع الفصل 1

27. شرطا الاتزان أعطِ مثالاً على جسم في الحالات التالية:

a. متزن دورانيًّا، ولكنه غير متزن انتقاليًّا.

كتاب ساقط دون دوران.

b. متزن انتقاليًّا، ولكنه غير متزن دورانيًّا.

لعبة أرجوحة أفقية غير متزنة، حيث تدور لعبة الأرجوحة حتى تضرب قدم اللاعب بالأرض.

28. تعيين مركز الكتلة وضّح كيف يمكنك إيجاد مركز كتلة كتاب الفيزياء.

اربط خيطًا بإحدى زوايا الكتاب، وعلّقه، ثم ارسم خطًّا على امتداد الخيط. ثم اربط الخيط بزاوية أخرى من زوايا الكتاب، وعلّقه ثانية، وارسم خطًّا آخر على امتداد الخيط. عندئذ سيكون مركز الكتلة في نقطة تقاطع الخطين.

29. دوران الأطر المرجعية إذا وضعت قطعة نقد على قرص دوّار، وبدأ انزلاقها إلى الخارج عند زيادة سرعة دوران القرص، فما القوى المؤثرة فيها؟

كتلة الأرض تؤثر بقوة إلى أسفل، في حين يؤثر سطح القرص الدوّار بقوتين: الأولى إلى أعلى لتوازن قوة الجاذبية، والثانية إلى الداخل وهي الناشئة بسبب الاحتكاك والتي تعطي قطعة النقد تسارعها المركزي. ولا يوجد هناك قوة إلى الخارج، وإذا لم يكن هناك قوة احتكاك فستتحرك قطعة النقد في خط مستقيم.

30. التفكير الناقد عندما تستخدم الكوابح ينخفض الجزء الأمامي للسيارة إلى أسفل. لماذا؟

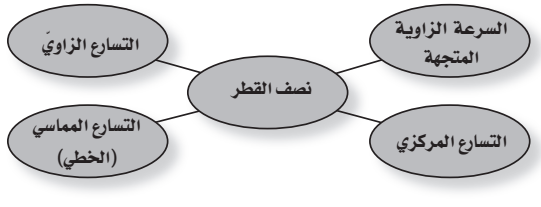
تؤثر الطريق بقوة في الإطارات مما يؤدي إلى توقف السيارة. ولما كان مركز الكتلة فوق الطريق فإنه توجد محصلة عزم تؤثر في السيارة تحاول تدويرها في الاتجاه الذي يجعل مقدمتها تنخفض إلى أسفل.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 32

31. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: التسارع الزاويّ، نصف القطر، التسارع المماسي (الخطي)، التسارع المركزي.



إتقان المفاهيم

صفحة 32

32. يدور إطار دراجة هوائية بمعدل ثابت 25 rev/min. فهل تقل سرعتها الزاوية المتجهة، أم تزداد أم تبقى ثابتة؟ (1–1)

تبقى ثابتة.

33. يدور إطار لعبة بمعدل ثابت 5 rev/min. فهل تسارعها الزاوي موجب أم سالب أم صفر؟ (1–1)

صفر.

34. هل تدور جميع أجزاء الأرض بالمعدل نفسه؟ وضح ذلك. (1–1)

نعم؛ لأن كل أجزاء الجسم الصلب تدور بالمعدل نفسه.

تابع الفصل 1

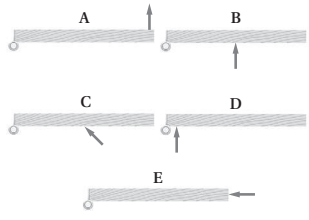
35. يدور إطار دراجة بمعدل ثابت 14 rev/min. فهل يكون اتجاه التسارع الكلي لنقطة على الإطار إلى الداخل، أم إلى الخارج، أم مماسيًّا، أم صفرًا؟ (1–1)

نحو الداخل (مركزي)

36. لماذا يُعد عزم الدوران أهم من القوة عند محاولة شدّ البرغي؟ (2–1)

يجب أن ينتج تسارع زاوي لشد البرغي. ويمكن أن تؤثر عزوم مختلفة في مفتاح الشد باستخدام أطوال مختلفة.

37. رتب العزوم المؤثرة في الأبواب الخمسة في **الشكل 14–1** من الأقل إلى الأكبر. ولاحظ أنّ مقدار القوة هو نفسه في الأبواب كلها. (2–1)



■ **الشكل 14– 1**

A > B > C > D > E = 0

38. لمعايرة العجلات توضع عجلة السيارة على محور دوران رأسي، وتضاف إليها أثقال لجعلها في وضع أفقي. لماذا تكافئ عمليةُ وضع الأثقال على العجلة عمليةَ تحريك مركز كتلتها حتى يصبح في منتصفها؟ (3–1)

عندما تتزن العجلة بحيث لا تدور في أي اتجاه، فعندئذٍ لا يؤثر فيها عزم. وهذا يعني أن مركز الكتلة في نقطة المركز (محور الدوران).

39. يقود سائقٌ سيارةً بطريقة خطرة؛ حيث يقودها على إطارين جانبيين فقط، فأين يكون مركز كتلة السيارة؟ (3–1)

يكون مباشرة فوق الخط الواصل بين النقطتين اللتين يلامس الإطاران عندهما الأرض. ليس هناك محصلة عزم تؤثر في السيارة، لذا فهي متزنة ومستقرة مؤقتًا.

40. لماذا تتزن عندما تقف على أطراف أصابع قدميك حافيًا، ولا تستطيع الاتزان إذا وقفت مواجهًا للجدار وأصابع قدميك تلامسه؟ (3–1)

يجب أن يكون مركز كتلتك فوق نقطة الدعم. ولكن مركز كتلتك تقريبًا في مركز جسمك، لذا فإن نصف جسمك تقريبًا يجب أن يكون أمام رؤوس أصابعك وأنت واقف عليها، والنصف الآخر يكون خلفها. أما إذا كانت رؤوس أصابعك مقابل الحائط، فلا يكون أي جزء من جسمك أمام رؤوس أصابعك.

41. لماذا يظهر لاعب الجمباز وكأنه يطير في الهواء عندما يرفع ذراعيه فوق رأسه في أثناء القفز؟ (3–1)

يحرك مركز كتلته قريبًا من رأسه.

42. لماذا يكون احتمال انقلاب سيارة لها إطارات أقطارها كبيرة أكبر من احتمال انقلاب سيارة ذات إطارات أقطارها صغيرة؟

مركز الكتلة للسيارة ذات الإطارات الكبيرة يقع عند نقطة أعلى مما في السيارات ذات الإطارات الصغيرة؛ لذا يمكن أن تنقلب دون أن تميل كثيرًا.

تطبيق المفاهيم

صفحة 33–32

43. ناقلا حركة، أحدهما صغير والآخر كبير، متصل أحدهما بالآخر ويدوران كما في **الشكل 15–1**. قارن أولاً بين سرعتيهما الزاويّتين المتجهتين، ثم بين السرعتين الخطيتين لسنّين متصلين معًا.

■ **الشكل 15– 1**

السرعتان الخطيتان للأسنان متماثلتان. وتكون السرعتان الزاويتان مختلفتين لأن نصفي القطر مختلفان و $\frac{v}{r} = \omega$.

44. الدوران في حوض الغسالة ما مبدأ عمل الغسالة؟ وكيف يؤثر دوران الحوض في الغسيل؟ اشرح ذلك بدلالة القوى على الملابس والماء.

يخضع الماء والملابس في حوض الغسالة لتسارعات مركزية كبيرة. تؤثر أسطوانة الدوران بقوى في الملابس. ولكن عندما يصل الماء إلى الثقوب في أسطوانة الدوران لا تؤثر فيه قوى مركزية للداخل، وعندئذٍ يتحرك بخط مستقيم خارج أسطوانة الدوران.

45. الإطار المثقوب افترض أن أحد إطارات سيارة والدك قد ثُقب، وأخرجت العدة لتساعده ووجدت أن هناك مشكلة في مقبض مفتاح الشد المستخدم لفك صمولة البراغي الثابتة، وأنه من المستحيل فك الصواميل، فاقترح عليك والدك عدة طرائق لزيادة العزم المؤثر لفكها. اذكر ثلاث طرائق يمكن أن يقترحها عليك والدك.

ضع ماسورة إطالة في طرف مفتاح الشد لزيادة طول ذراع القوة، أو أثّر بقوتك بزاوية قائمة بالنسبة إلى مفتاح الشد، أو زد القوة المؤثرة بالوقوف على طرف مفتاح الشد مثلاً.

46. الألعاب البهلوانية يسير لاعب بهلواني على حبل حاملاً قضيبًا يتدلى طرفاه أسفل مركزه، انظر إلى **الشكل 16–1**. كيف يؤدي القضيب إلى زيادة اتزان اللاعب؟ *تلميح: ابحث في مركز الكتلة.*

■ **الشكل 16– 1**

تدلي طرفي القضيب يجعل مركز الكتلة يقترب من السلك، مما يقلل من عزم الدوران المؤثر في اللاعب ويزيد من ثباته. ويؤدي تقليل العزم المؤثر إلى تقليل التسارع الزاوي إذا أصبح اللاعب في حالة عدم اتزان. كذلك يستطيع اللاعب استعمال القضيب لإزاحة مركز الكتلة من أجل الاتزان.

47. لعبة الحصان الدوّار عندما كان أحمد يجلس على لعبة الحصان الدوّار، قذف مفتاحًا نحو صديقه الواقف على الأرض لكي يلتقطه، هل يجب عليه قذف المفتاح قبل أن يصل النقطة التي يقف عندها صديقه بوقت قصير، أم ينتظر حتى يصبح صديقه خلفه مباشرة؟ وضح ذلك.

بما أن له سرعة متجهة مماسّيّة نحو الأمام فإن المفتاح سينطلق من يده بتلك السرعة المتجهة، لذا يتعين عليه قذفه قبل ذلك.

48. لماذا نهمل القوى التي تؤثر في محور دوران جسمٍ ما في حالة اتزان ميكانيكي عند حساب محصلة العزم عليه؟

العزم الناتج عن هذه القوى يساوي صفرًا؛ لأن طول ذراع القوة يساوي صفرًا.

49. لماذا نجعل عادةً محور الدوران عند نقطة تؤثر بها قوة أو أكثر في الجسم عند حل مسائل في الاتزان الميكانيكي؟

هذا يجعل العزم الناتج عن القوة يساوي صفرًا، مما يقلل عدد العزوم التي يجب أن تحسب.

إتقان حل المسائل

1–1 وصف الحركة الدورانية

صفحة 34–33

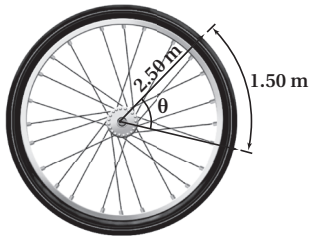
50. نصف قطر الحافة الخارجية لإطار سيارة 45 cm وسرعته 23 m/s، ما مقدار السرعة الزاوية للإطار بوحدة rad/s؟

$$v = r\omega$$

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$= \frac{23\ \text{m/s}}{0.45\ \text{m}} = 51\ \text{rad/s}$$

51. يدور إطار بحيث تتحرك نقطة عند حافته الخارجية مسافة 1.5 m. وإذا كان نصف قطر الإطار 2.50 m كما في **الشكل 17–1** فما مقدار الزاوية (بوحدات radians) التي دارها الإطار؟



■ **الشكل 17 – 1**

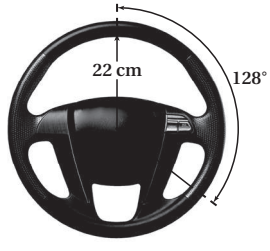
$$d = r\theta$$

$$\theta = \frac{d}{r}$$

$$= \frac{1.50\ \text{m}}{2.50\ \text{m}}$$

$$= 0.600\ \text{rad}$$

52. أديرت عجلة قيادة سيارة بزاوية قدرها 128°، انظر **الشكل 18–1**، فإذا كان نصف قطرها 22 cm، فما المسافة التي تتحركها نقطة على الطرف الخارجي لعجلة القيادة؟



■ **الشكل 18 – 1**

$$d = r\,\theta$$

$$= (0.22\ \text{m})\ (128°)\left(\frac{2\pi\ \text{rad}}{360°}\right) = 0.49\ \text{m}$$

53. المروحة تدور مروحة بمعدل 1880 rev /min، أي (1880 دورة كل دقيقة).

a. ما مقدار سرعتها الزاويّة المتجهة بوحدة rad/s؟

$$\omega = \left(1880\ \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right)\left(\frac{2\pi\ \text{rad}}{\text{rev}}\right)\left(\frac{\text{min}}{60\ \text{s}}\right)$$

$$= 197\ \text{rad/s}$$

b. ما مقدار الإزاحة الزاويّة للمروحة خلال 2.50 s؟

$$\theta = \omega t$$

$$= (197 \text{ rad/s})(2.50 \text{ s})$$

$$= 492 \text{ rad}$$

54. تناقص دوران المروحة في السؤال السابق من 475 rev/min إلى 187 rev/min خلال 4.00 s، ما مقدار تسارعها الزاويّ؟

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$= \frac{\omega_f - \omega_i}{\Delta t}$$

$$= \frac{(187 \text{ rev/min} - 475 \text{ rev/min})}{4.00 \text{ s}}\left(\frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}}\right)\left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right)$$

$$= -7.54 \text{ rad/s}^2$$

55. إطار سيارة نصف قطره 9.00 cm كما في **الشكل 19–1**، يدور بمعدل 2.50 rad /s، ما مقدار السرعة الخطية لنقطة تقع على بعد 7.00 cm من مركز الدوران؟

■ **الشكل 19– 1**

$$v = r\omega$$

$$= (7.00 \text{ cm})(2.50 \text{ rad/s})$$

$$= 17.5 \text{ cm/s}$$

56. الغسالة غسالة قطر حوضها 0.43 m، لها سرعتان: الأولى تدور بمعدل 328 rev /min، والأخرى بمعدل 542 rev /min.

a. ما مقدار نسبة التسارع المركزي لسرعة الدوران الأسرع والأبطأ؟ تذكر: $a_c = \frac{v^2}{r}$ ، و $v = r\omega$

$$\frac{a_{\text{الأسرع}}}{a_{\text{الأبطأ}}} = \frac{(r\omega_{\text{الأسرع}})^2}{(r\omega_{\text{الأبطأ}})^2}$$

$$= \frac{(542 \text{ rev/min})^2}{(328 \text{ rev / min})^2}$$

$$= 2.73$$

b. ما نسبة السرعة الخطية لجسم على سطح الحوض لكل من السرعتين؟

$$\frac{v_{\text{الأسرع}}}{v_{\text{الأبطأ}}} = \frac{\omega_{\text{الأسرع}}\, r}{\omega_{\text{الأبطأ}}\, r}$$

$$= \frac{\omega_{\text{الأسرع}}}{\omega_{\text{الأبطأ}}}$$

$$= \frac{\mathbf{542\ rev/min}}{\mathbf{328\ rev/min}}$$

$$= \mathbf{1.65}$$

57. أوجد القيمة القصوى للتسارع المركزي بدلالة **g** للغسالة في السؤال السابق.

$$a_c = \omega^2 r\left(\frac{\mathbf{1\ g}}{\mathbf{9.80\ m/s^2}}\right)$$

$$= \left(\mathbf{542\ rev/min}\left(\frac{\mathbf{2\pi\ rad}}{\mathbf{rev}}\right)\left(\frac{\mathbf{1 min}}{\mathbf{60\ s}}\right)\right)^2\left(\frac{\mathbf{0.43\ m}}{\mathbf{2}}\right)\left(\frac{\mathbf{1g}}{\mathbf{9.80\ m/s^2}}\right)$$

$$= \mathbf{71\ g}$$

58. استخدم جهاز الطرد المركزي الفائق السرعة لفصل مكونات الدم، بحيث يولّد تسارعًا مركزيًّا مقداره 0.35×10^6 g على بُعد 2.50 cm من المحور. ما مقدار السرعة الزاوية المتجهة اللازمة بوحدة rev/min؟

$$a_c = \omega^2 r$$

$$\omega = \sqrt{\frac{a_c}{r}}$$

$$= \sqrt{\frac{\mathbf{(0.35\times10^6)\ (9.80\ m/s^2)}}{\mathbf{0.025\ m}}}\left(\frac{\mathbf{rev}}{\mathbf{2\pi\ rad}}\right)\left(\frac{\mathbf{60\ s}}{\mathbf{1\ min}}\right)$$

$$= \mathbf{1.1\times10^5\ rev/min}$$

2–1 الديناميكا الدورانية Rotational Dynamics

صفحة 34

59. مفتاح الشد يتطلب شدّ برغي عزمًا مقداره 8.0 N.m، فإذا كان لديك مفتاح شد طوله 0.35 m، فما مقدار أقل قوة يجب التأثير بها في المفتاح؟

$$\tau = Fr\sin\theta$$

$$F = \frac{\tau}{r\sin\theta}$$

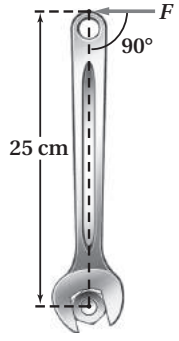
لأقل قوة ممكنة تكون الزاوية $90.0°$، لذا فإن:

$$F = \frac{\mathbf{8.0\ N.m}}{\mathbf{(0.35\ m)\ (\sin 90.0°)}}$$

$$= \mathbf{23\ N}$$

تابع الفصل 1

60. ما مقدار العزم المؤثر في صمولة والناتج عن قوة مقدارها 15 N تؤثر عموديًّا في مفتاح شدّ طوله 25 cm؟
انظر **الشكل 20–1**.



■ **الشكل 20–1**

$$\tau = Fr \sin\theta$$

$$= (15\ \text{N})(0.25\ \text{m})(\sin 90.0°)$$

$$= 3.8\ \text{N.m}$$

3–1 الاتزان Equilib*r*ium

صفحة 34

61. تبين مواصفات سيارة بأن وزنها موزع بنسبة 53% على الإطارات الأمامية و 47% على الإطارات الخلفية، فإذا كان طول لوح قاعدة سيارة 2.46 m، فأين يكون مركز كتلة السيارة؟

افترض أن مركز كتلة السيارة على بعد يساوي x من مقدمة السيارة، وأن وزن السيارة يساوي F_g .

$$\tau_{\text{مقدمة}} = \tau_{\text{مؤخرة}}$$

$$F_{\text{مقدمة}}\, r_{\text{مقدمة}} = F_{\text{مؤخرة}}\, r_{\text{مؤخرة}}$$

$$(0.53\, F_g)\, x = (0.47\, F_g)\ (2.46\ \text{m} - x)$$

$$x = 1.16\ \text{m}$$

62. لوح كتلته 12.5 kg وطوله 4.00 m، رفعه أحمد من أحد طرفيه، ثم طلب المساعدة، فاستجاب له جواد.

a. ما أقل قوة يؤثر بها جواد لرفع اللّوح إلى الوضع الأفقي؟ وعند أي جزء من اللّوح؟

يستطيع جواد رفع نصف الكتلة عند الطرف المقابل للطرف الذي رفعه أحمد.

$$F_{\text{أقل}} = mg$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)\ (12.5\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 61.2\ \text{N}$$

b. ما أكبر قوة يؤثر بها جواد لرفع اللّوح إلى الوضع الأفقي؟ وعند أي جزء من اللّوح؟

سوف يرفع الكتلة كلها،عند مركز كتلة اللوح (الوسط).

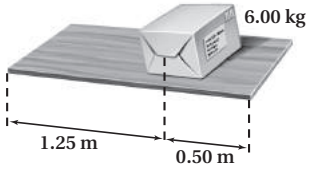
$$F_{\text{أكبر}} = mg$$

$$= (12.5\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 122\ \text{N}$$

تابع الفصل 1

63. يرفع شخصان لوحًا خشبيًّا من طرفيه إلى أعلى، فإذا كانت كتلة اللّوح 4.25 kg وطوله 1.75 m، ويوضع على بُعد 0.50 m من طرفه الأيمن صندوق كتلته 6.00 kg. انظر **الشكل 21–1**. ما القوتان اللتان يؤثر بهما الشخصان في اللّوح؟



■ **الشكل 21–1**

في حالة الاتزان، محصلة القوى جميعها تساوي صفرًا، ومحصلة العزوم حول أي محور دوران تساوي صفرًا أيضًا.

$$F_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} + F_{\text{اللوح}} + F_{\text{الصندوق}} = 0$$

$$\tau_{\text{يسار}} + \tau_{\text{يمين}} + \tau_{\text{اللوح}} + \tau_{\text{الصندوق}} = 0$$

يمكننا اختيار محور الدوران ليكون في موقع إحدى القوى المجهولة ($F_{\text{يسار}}$)، فيكون العزم الناتج عن تلك القوة يساوي صفرًا، وبهذه الطريقة يتم تبسيط العمليات الحسابية.

$$F_{\text{يسار}} r_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} r_{\text{يمين}} + F_{\text{اللوح}} r_{\text{اللوح}} + F_{\text{الصندوق}} r_{\text{الصندوق}} = 0$$

$$F_{\text{يسار}} r_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} r_{\text{يمين}} + m_{\text{اللوح}}\, g r_{\text{اللوح}} + m_{\text{الصندوق}}\, g r_{\text{الصندوق}} = 0$$

$$F_{\text{يسار}}(0) + F_{\text{يمين}}(1.25\ \text{m} + 0.50\ \text{m}) + (4.25\ \text{kg})(-9.80\ \text{m/s}^2)\left(\frac{1.25\ \text{m} + 0.50\ \text{m}}{2}\right) +$$

$$(6.00\ \text{kg})(-9.80\ \text{m/s}^2)(1.25\ \text{m}) = 0$$

$$F_{\text{يمين}} = 63\ \text{N}$$

وبتعويض النتيجة السابقة في معادلة القوة:

$$F_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} + F_{\text{اللوح}} + F_{\text{الصندوق}} = 0$$

$$F_{\text{يسار}} = -F_{\text{يمين}} - F_{\text{اللوح}} - F_{\text{الصندوق}}$$

$$= -F_{\text{يمين}} - m_{\text{اللوح}}\, g - m_{\text{الصندوق}}\, g$$

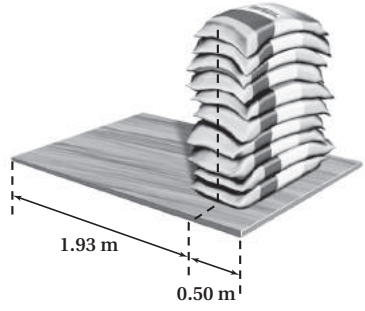
$$= -(63\ \text{N}) - (4.25\ \text{kg})\,(-9.80\ \text{m/s}^2) - (6.00\ \text{kg})(-9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 37\ \text{N}$$

مراجعة عامة

صفحة 35–34

64. التربة الرملية وضعت عشرة أكياس مملوءة بتربة رملية يزن كل منها 175 N بعضها فوق بعض، على بُعد 0.5 m من الطرف الأيمن لقطعة خشبية طولها 2.43 m. انظر **الشكل 22–1**. فرفع شخصان طرفي القطعة من نهايتيها إلى أعلى. ما مقدار القوة التي يؤثر بها كل من الشخصين في القطعة الخشبية مع إهمال وزنها؟



■ **الشكل 22–1**

في حالة الاتزان، محصلة القوى جميعها تساوي صفرًا، ومحصلة العزوم تساوي صفرًا أيضًا.

$$F_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} + F_{\text{أكياس}} = 0$$

$$\tau_{\text{يسار}} + \tau_{\text{يمين}} + \tau_{\text{أكياس}} = 0$$

اختر موقع القوة ($F_{\text{يمين}}$) على أنها محور الدوران، وذلك حتى تجعل عزم تلك القوة يساوي صفرًا.

$$\tau_{\text{يسار}} = -\tau_{\text{أكياس}}$$

$$-F_{\text{يسار}}\, r_{\text{يسار}} = -F_{\text{أكياس}}\, r_{\text{أكياس}}$$

$$F_{\text{يسار}} = \frac{-F_{\text{أكياس}}\, r_{\text{أكياس}}}{-r_{\text{يسار}}}$$

$$F_{\text{يسار}} = \frac{(10)(175\ \text{N})(0.50\ \text{m})}{2.43\ \text{m}}$$

$$= 3.6\times10^{2}\ \text{N}$$

وبتعويض النتيجة السابقة في معادلة القوة:

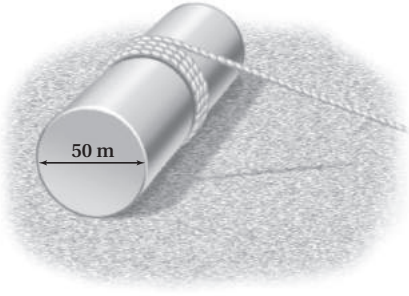
$$F_{\text{يسار}} + F_{\text{يمين}} + F_{\text{أكياس}} = 0$$

$$F_{\text{يمين}} = -F_{\text{يسار}} - F_{\text{أكياس}}$$

$$= -3.6\times10^{2}\ \text{N} - 10(-175\ \text{N})$$

$$= 1.4\times10^{2}\ \text{N}$$

65. يوضح **الشكل 23–1** أسطوانة قطرها 50 m في حالة سكون على سطح أفقي، فإذا لف حولها حبل ثم سحب، وأصبحت تدور دون أن تنزلق



■ **الشكل 23–1**

a. فما المسافة التي يتحركها مركز كتلة الأسطوانة عند سحب الحبل مسافة 2.5 m بسرعة ثابتة؟

يكون مركز الكتلة دائمًا فوق نقطة الاتصال مع السطح للأسطوانة المنتظمة؛ لذا تحرك مركز الكتلة 2.50 m.

b. وإذا سحب الحبل مسافة 2.5 m خلال زمن 1.25 s، فما سرعة مركز كتلة الأسطوانة؟

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

$$= \frac{(2.50\ \text{m})}{(1.25\ \text{s})}$$

$$= 2.00\ \text{m/s}$$

c. ما السرعة الزاوية المتجهة للأسطوانة؟

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$= \frac{2.00\ \text{m/s}}{\left(\frac{1}{2}\right)(50\ \text{m})}$$

$$= 8\times10^{-2}\ \text{rad/s}$$

66. القرص الصلب يدور قرص صلب في حاسوب حديث 7200 rev /min (دورة لكل دقيقة). فإذا صمّم على أن يبدأ الدوران من السكون ويصل السرعة الفعّالة خلال 1.5 s، فما التسارع الزاوي للقرص؟

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_f - \omega_i}{\Delta t}$$

$$= \frac{(7200\ \text{rev/min} - 0\ \text{rev/min})}{1.5\ \text{s}}\left(\frac{2\pi\ \text{rad}}{\text{rev}}\right)\left(\frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}\right)$$

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

67. عداد السرعة تقيس معظم أجهزة قياس السرعة في السيارات السرعة الزاوية للحركة، ثم تحولها إلى سرعة خطية، فكيف تؤثر زيادة قطر الإطارات في قراءة عداد السرعة؟

تقل السرعة الزاوية بزيادة القطر، وبالتالي تقل قراءة عداد السرعة.

68. يُسحب صندوق على الأرض باستخدام حبل مربوط بالصندوق على ارتفاع h من الأرض، فإذا كان معامل الاحتكاك 0.35 وارتفاع الصندوق 0.50 m وعرضه 0.25 m، فما مقدار القوة اللازمة لقلب الصندوق؟

افترض أن كتلة الصندوق تساوي M، ومركز كتلة الصندوق على بعد 0.25 m فوق سطح الأرض. يكون الصندوق على وشك الانقلاب عندما تكون العزوم المؤثرة فيه متساوية.

$$\tau_{\text{حبل}} = \tau_{\text{احتكاك}}$$

$$F_{\text{حبل}}\, r_{\text{حبل}} = F_{\text{احتكاك}}\, r_{\text{احتكاك}}$$

$$F_{\text{حبل}} = \frac{F_{\text{احتكاك}}\, r_{\text{احتكاك}}}{r_{\text{حبل}}}$$

$$F_{\text{حبل}} = \frac{\mu M g\, r_{\text{احتكاك}}}{r_{\text{حبل}}}$$

$$F_{\text{حبل}} = \frac{(0.35)\ \text{M}\ (9.80\ \text{m/s}^2)\ (0.25\ \text{m})}{h - 0.25\ \text{m}}$$

$$F_{\text{حبل}} = \frac{(0.86\ \text{m}^2/\text{s}^2)\ \text{M}}{h - 0.25\ \text{m}}$$

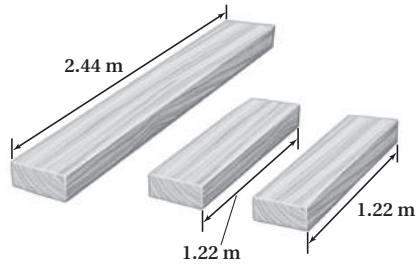
لاحظ أنه عندما تسحب الصندوق من عند مركز كتلته، يصبح المقام صفرًا. وهكذا تستطيع السحب بأي مقدار من القوة ولا ينقلب الصندوق.

69. إذا كان طـول عقـرب الثوانـي في سـاعة يـد 12 mm، فما سرعة دورانه؟

$$v = r\omega$$

$$= (0.012\ \text{m})\left(\frac{-2\pi\ \text{rad}}{\text{min}}\right)\left(\frac{\text{min}}{60\ \text{s}}\right)$$
$$= -1.3 \times 10^{-3}\ \text{m/s}$$

70. عارضة خشبية إذا اشتريت عارضة خشبيّة طولها 2.44 m، وعرضها 10 cm، وسمكها 10 cm، في حين اشترى زميلك عارضة خشبية مماثلة وقطعها إلى قطعتين طول كل منهما 1.22 m. انظر إلى **الشكل 24–1**، ثم حمل كل منكما ما اشتراه من الخشب على كتفيه.



■ **الشكل 24–1**

a. فأيكما يرفع ما اشتراه من الخشب بطريقة أسهل؟ ولماذا؟

بما أن الكتلتين متساويتان فإن وزنيهما متساويان أيضًا. لذا، يلزم القوة نفسها، وتؤثر إلى أعلى لرفع كل من الحملين.

b. وإذا كان كل منكما يؤثر بعزم بيديه ليمنع الخشب من الدوران، فأي الحملين يُعدّ منعه من الدوران أسهل؟ ولماذا؟

منع القطعة الخشبية الأطول من الدوران أسهل؛ لأن كتلتها موزعة على مسافة أطول (لها أكبر عزم قصور ذاتي).

71. اللّوح المسطح يحمل ماجد وعدي لوحًا مسطحًا طوله 2.43 m، ووزنه 143 N. فإذا كان ماجد يرفع أحد طرفي اللّوح بقوة 57 N

a. فما القوة التي يجب أن يؤثر بها عدي لرفع اللوح؟

$$F_{\text{عدي}} = F_g - F_{\text{ماجد}}$$
$$= 143\ \text{N} - 57\ \text{N}$$
$$= 86\ \text{N}$$

b. أي أجزاء اللّوح يجب أن يرفعه عدي؟

اختر نقطة الدوران عند النقطة التي يرفع فيها ماجد اللوح المسطّح.

$$\tau_{\text{عدي}} = \tau_g$$

$$F_{\text{عدي}}\, r_{\text{عدي}} = F_g r_g$$

$$r_{\text{عدي}} = \frac{F_g r_g}{F_{\text{عدي}}}$$

$$= \frac{(143\ \text{N})\left(\frac{2.43\ \text{m}}{2}\right)}{86\ \text{N}}$$

$$r_{\text{عدي}} = 2.0\ \text{m}$$

وعلى عدي أن يرفع اللوح على بعد 2.0 m من طرف اللوح الذي يرفعه ماجد.

72. عارضة فولاذية طولها 6.50 m، ووزنها 325 N تستقر على دعامتين المسافة بينهما 3.00 m، وبُعد كل من الطرفين عن الدعامتين متساوٍ. فإذا وقفت سوزان في منتصف العارضة وأخذت تتحرك نحو أحد الطرفين فما أقرب مسافة تتحركها سوزان لهذا الطرف قبل أن تبدأ العارضة في الانقلاب إذا كان وزن سوزان 575 N؟

تبعد كل دعامة مسافة 1.75 m عن طرف العارضة. اختر نقطة الدوران على أنها إحدى الدعامتين عند الطرف الأقرب لسوزان. سيكون مركز كتلة العارضة على بعد 1.50 m من تلك الدعامة. ستبدأ العارضة في الانقلاب عندما يكون عزم سوزان ($\tau_{\text{سوزان}}$) مساويًا لعزم مركز كتلة العارضة ($\tau_{\text{مركز كتلة العارضة}}$)، وسيكون الوزن كله على الدعامة الأقرب إلى سوزان.

$$\tau_{\text{سوزان}} = \tau_{\text{مركز كتلة العارضة}}$$

$$F_{\text{سوزان}}\, r_{\text{سوزان}} = F_{\text{مركز كتلة العارضة}}\, r_{\text{مركز كتلة العارضة}}$$

$$r_{\text{سوزان}} = \frac{F_{\text{مركز كتلة العارضة}}\, r_{\text{مركز كتلة العارضة}}}{F_{\text{سوزان}}}$$

$$= \frac{(325\ \text{N})\left(\frac{3.00\ \text{m}}{2}\right)}{575\ \text{N}}$$

$$= 0.848\ \text{m}$$

تستطيع سوزان أن تتحرك حتى تصبح على بُعد 0.848 m من الدعامة، أو $0.90\ \text{m} - 0.848 = 1.75$ من الطرف.

تابع الفصل 1

التفكير الناقد

صفحة 36–35

73. تطبيق المفاهيم نقطة على حافة إطار تتحرك حركة دورانية.

a. ما الشروط التي تجعل التسارع المركزي صفرًا؟

عندما $\omega = 0.0$

b. ما الشروط التي تجعل التسارع المماسي (الخطي) صفرًا؟

عندما $\alpha = 0.0$

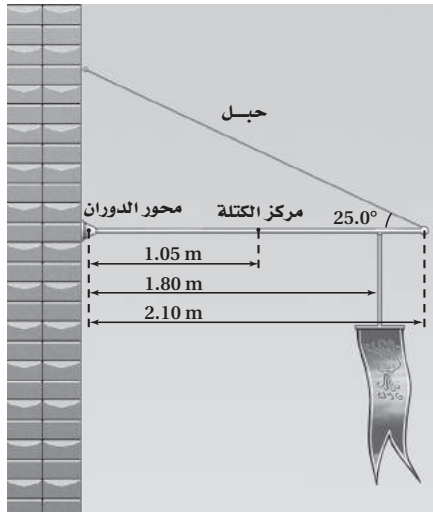
c. هل يمكن ألا يساوي التسارع الخطي صفرًا عندما يكون التسارع المركزي صفرًا؟ وضح ذلك.

عندما تكون $\omega = 0.0$ لحظيًا، غير أن α ليست صفرًا، حيث تستمر ω في التغير.

d. هل يمكن ألا يساوي التسارع المركزي صفرًا عندما يكون التسارع الخطي صفرًا؟ وضح ذلك.

نعم، مادامت ω ثابتة ولكنها ليست صفرًا.

74. التحليل والاستنتاج تتدلى راية كبيرة من سارية أفقية قابلة للدوران حول نقطة تثبيتها في جدار كما في **الشكل 25–1**، إذا كان طول السارية 2.10 m، ووزنها 175 N، ووزن الراية 105 N، وعُلِّقت على بعد 1.80 m من محور الدوران (نقطة التثبيت في الجدار) فما قوة الشد في الحبل الداعم للسارية؟



■ **الشكل 25–1**

يمكننا استخدام العزوم لإيجاد المركّبة الرأسية لقوة الشد ($F_{\text{شد}y}$). فالعزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة متزنة مع العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

$$\tau_{\text{في اتجاه حركة عقارب الساعة}} = \tau_{\text{في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة}}$$

$$\tau_{\text{الحبل}} = \tau_{\text{السارية}} + \tau_{\text{الراية}}$$

$$F_{\text{شد}y}\, r_{\text{الحبل}} = F_{\text{السارية}}\, r_{\text{السارية}} + F_{\text{الراية}}\, r_{\text{الراية}}$$

$$F_{\text{شد}y} = \frac{F_{\text{السارية}}\, r_{\text{السارية}} + F_{\text{الراية}}\, r_{\text{الراية}}}{r_{\text{الحبل}}}$$

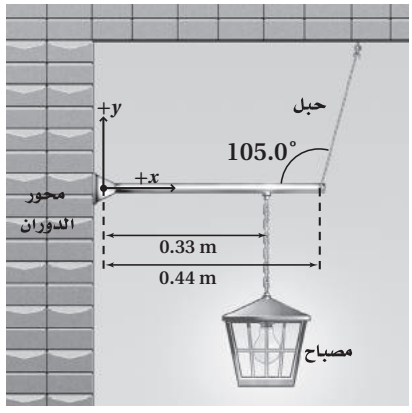
الشد الكلي يساوي:

$$F_{\text{شد}} = \frac{F_{\text{لأشد}}}{\sin 25^\circ} = \frac{F_{\text{السارية}}\, r_{\text{السارية}} + F_{\text{الراية}}\, r_{\text{الراية}}}{r_{\text{الحبل}} \sin 25^\circ}$$

$$= \frac{(175\ \text{N})(1.05\ \text{m}) + (105\ \text{N})(1.80\ \text{m})}{(2.10\ \text{m})\sin 25^\circ}$$

$$= 420\ \text{N}$$

75. التحليل والاستنتاج يتدلى مصباح من سلسلة معلقة بقضيب أفقي قابل للدوران حول نقطة اتصاله بجدار، ومشدود من طرفه الآخر بحبل، انظر إلى **الشكل 26–1**. إذا كان وزن القضيب 27 N، ووزن المصباح 64 N



■ **الشكل 26–1**

a. فما العزم المتولد من كل قوة؟

$$\tau_g = -F_g\, r \sin\theta$$

$$= -(27\ \text{N})(0.22\ \text{m})(\sin 90.0^\circ)$$

$$= -5.9\ \text{N.m}$$

$$\tau_{\text{المصباح}} = -F_{\text{المصباح}}\, r \sin\theta$$

$$= -(64\ \text{N})(0.33\ \text{m})(\sin 90.0^\circ)$$

$$= -21\ \text{N.m}$$

b. وما قوة الشد في الحبل الداعم لقضيب المصباح؟

يمكننا استخدام العزوم لإيجاد المركّبة الرأسية لقوة الشد ($F_{شدy}$). العزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة متزنة مع العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

$$\tau_{\text{في اتجاه حركة عقارب الساعة}} = \tau_{\text{في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة}}$$

$$\tau_{\text{الحبل}} = \tau_{\text{القضيب}} + \tau_{\text{المصباح}}$$

$$F_{شدy}\, r_{\text{الحبل}} = F_{\text{القضيب}}\, r_{\text{القضيب}} + F_{\text{المصباح}}\, r_{\text{المصباح}}$$

$$F_{شدy} = \frac{F_{\text{القضيب}}\, r_{\text{القضيب}} + F_{\text{المصباح}}\, r_{\text{المصباح}}}{r_{\text{الحبل}}}$$

الشد الكلي يساوي:

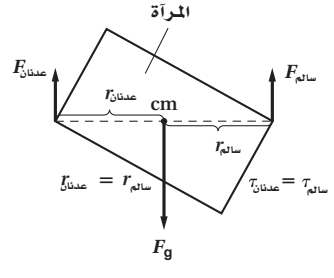
$$F_{\text{شد}} = \frac{F_{شدy}}{\sin 105^\circ} = \frac{F_{\text{القضيب}}\, r_{\text{القضيب}} + F_{\text{المصباح}}\, r_{\text{المصباح}}}{r_{\text{الحبل}} \sin 105^\circ}$$

$$F_{\text{شد}} = \frac{(27\ \text{N})\left(\frac{0.44\ \text{m}}{2}\right) + (64\ \text{N})\ (0.33\ \text{m})}{(0.44\ \text{m})\ \sin 105^\circ}$$

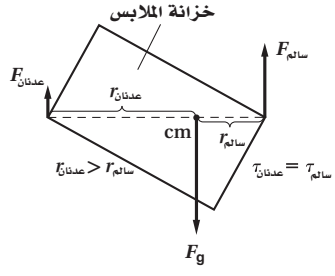
$$F_{\text{شد}} = 64\ \text{N}$$

76. التحليل والاستنتاج ينقل عدنان وسالم الأجسام الآتية إلى أعلى السلم: مرآة كبيرة، وخزانة ملابس، وتلفازًا، حيث يقف سالم عند الطرف العلوي، ويقف عدنان عند الطرف السفلي. وعلى افتراض أن كليهما يؤثر بقوى رأسية فقط.

a. ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا فيه سالمًا وعدنان يؤثران بالقوة نفسها في المرآة.

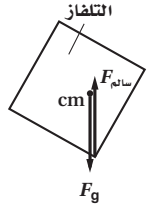


b. ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا فيه عدنان يؤثر بقوة أكبر في أسفل خزانة الملابس.



c. أين يكون مركز كتلة التلفاز لكي يحمل سالم الوزن كله؟

مباشرة فوق المكان الذي يرفع منه عدنان.



الكتابة في الفيزياء

صفحة 36

77. يعرف علماء الفلك أنه إذا كان التابع الطبيعي (كالقمر) قريبًا جدًّا من الكوكب فإنه سيتحطم إلى أجزاء بسبب قوى تسمى قوى المدّ والجزر. وبالمثل فإنّ الفرق بين قوتي الجاذبية الأرضية على طرفي القمر الاصطناعي القريب من الأرض والبعيد عنها أكبر من قوة تماسكه. ابحث في حد روش Roche limit، وحدّد بعد القمر عن الأرض ليدور حولها عند حد روش.

إذا كانت كثافة التابع تساوي كثافة الكوكب كان حد روش Roche limit يساوي نصف قطر الكوكب 2.446 مرة. وحد روش Roche للأرض يساوي 18,470 km.

78. تصنف محركات السيارات وفق عزم الدوران الذي تنتجه. ابحث عن سبب الاهتمام بعزم الدوران وقياسه.

تتسارع السيارة بسبب القوة التي تؤثر بها الأرض في الإطارات، وتنتج هذه القوة عن المحرك عن طريق تدوير محور الإطارات. والعزم المؤثر في الإطار يساوي القوة المؤثرة في حافة الإطار مضروبة في نصف قطره، وقد تغير نواقل الحركة القوة المؤثرة لكنها لا تغير العزم؛ لذا فإن مقدار العزم المتولد من المحرك ينتقل إلى الإطارات.

مراجعة تراكمية

صفحة 36

79. تحركت زلاجة كتلتها 60.0 kg بسرعة 18.0 m/s في منعطف نصف قطره 20.0 m. كم يجب أن يكون الاحتكاك بين الزلاجة والجليد حتى تجتاز المنعطف؟

$$F_{\text{احتكاك}} = F_{\text{محصلة}} = \frac{mv^2}{r}$$

$$= \frac{(60.0\ \text{kg})(18.0\ \text{m/s})^2}{20.0\ \text{m}} = 972\ \text{N}$$

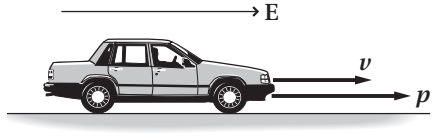
مسائل تدريبية

2–1 الدفع والزخم (صفحة 45–39)

صفحة 44

1. تتحرك سيارة صغيرة كتلتها 725 kg بسرعة 115 km/h في اتجاه الشرق. عبر عن حركة السيارة برسم تخطيطي.

a. احسب مقدار زخمها وحدد اتجاهه، وارسم سهما على رسم السيارة يعبر عن الزخم.



$$p = mv$$

$$= (725\ \text{kg})(115\ \text{km/h})\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right)$$

$$= 2.32\times10^{4}\ \text{kg.m/s}\ \text{شرقًا}$$

b. إذا امتلكت سيارة أخرى الزخم نفسه، وكانت كتلتها 2175 kg، فما سرعتها المتجهة؟

$$v = \frac{p}{m}$$

$$= \frac{(2.32\times10^{4}\ \text{kg.m/s})\left(\frac{3600\ \text{s}}{1\ \text{h}}\right)\left(\frac{1\ \text{km}}{1000\ \text{m}}\right)}{2175\ \text{kg}}$$

$$= 38.4\ \text{km/h}\ \text{شرقًا}$$

2. إذا ضغط السائق في السؤال السابق على الكوابح بشدة لإبطاء السيارة خلال 2.0 s، وكان متوسط القوة المؤثرة في السيارة لإبطائها يساوي 5.0×10^{3} N،

$$\Delta t = 2.0\ \text{s}$$

$$F = -5.0\times10^{3}\ \text{N}$$

a. فما التغير في زخم السيارة؟ أي ما مقدار واتجاه الدفع على السيارة؟

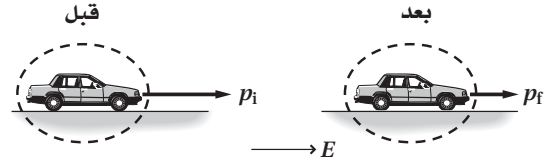
$$\text{الدفع} = F\Delta t$$

$$= (-5.0\times10^{3}\ \text{N})(2.0\ \text{s})$$

$$= -1.0\times10^{4}\ \text{N.s}$$

اتجاه الدفع نحو الغرب ومقداره 1.0×10^{4} N.s

b. أكمل الرسمين لما قبل الضغط على الكوابح وبعده، ثمّ حدّد الزخم والسرعة المتجهة للسيارة بعد الانتهاء من الضغط على الكوابح.



$p_i = 2.32\times10^4\ \text{kg.m/s}$ شرقًا

$F\Delta t = \Delta p = p_f - p_i$

$p_f = F\Delta t + p_i$

$= -1.0\times10^4\ \text{kg.m/s} + 2.32\times10^4\ \text{kg.m/s}$

$= 1.3\times10^4\ \text{kg.m/s}$ شرقًا

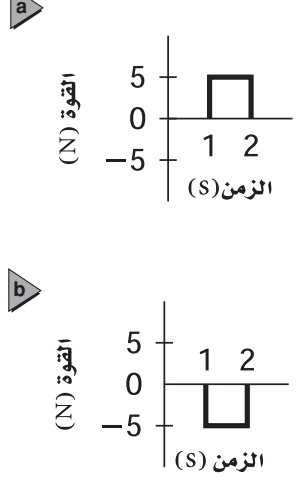
$p_f = mv_f$

$v_f = \frac{p_f}{m} = \frac{1.3\times10^4\ \text{kg.m/s}}{725\ \text{kg}}$

$= 18\ \text{m/s}$

$= 65\ \text{km/h}$ شرقًا

3. تتدحرج كرة بولنج كتلتها 7.0 kg على ممر الانزلاق بسرعة متجهة مقدارها 2.0 m/s. احسب سرعة الكرة، واتجاه حركتها بعد تأثير كل دفع من الدفعين المبينين في **الشكلين 3a–2 و 3b–2**.



■ **الشكل 3 – 2**

a. $F\Delta t = p_f - p_i = mv_f - mv_i$

$v_f = \frac{F\Delta t + mv_i}{m}$

$= \frac{(5.0\ \text{N})(1.0\ \text{s}) + (7.0\ \text{kg})(2.0\ \text{m/s})}{7.0\ \text{kg}}$

$= 2.7\ \text{m/s}$ في اتجاه السرعة المتجهة الأصلية نفسها

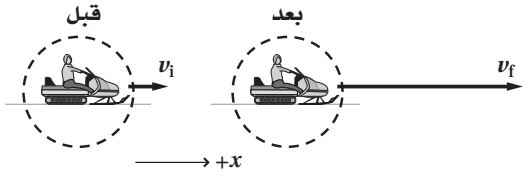
b. $v_f = \frac{F\Delta t + mv_i}{m}$

$= \frac{(-5.0\ \text{N})(1.0\ \text{s}) + (7.0\ \text{kg})(2.0\ \text{m/s})}{7.0\ \text{kg}}$

$= 1.3\ \text{m/s}$ في اتجاه السرعة المتجهة الأصلية نفسها

4. سرّع سائق عربة ثلج كتلتها 240.0 kg، وذلك بالتأثير بقوة أدت إلى زيادة سرعتها من 6.0 m/s إلى 28.0 m/s خلال فترة زمنية مقدارها 60.0 s.

a. ارسم مخططًا يمثل الوضعين الابتدائي والنهائي للعربة.



b. ما التغير في زخم العربة؟ وما الدفع على العربة؟

$\Delta p = F\Delta t$

$= m(v_f - v_i)$

$= (240.0\ \text{kg})(28.0\ \text{m/s} - 6.00\ \text{m/s})$

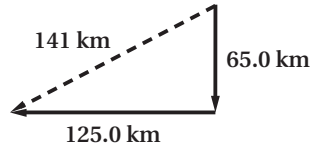
$= 5.28\times10^3\ \text{kg.m/s}$

c. ما مقدار متوسط القوة التي أثرت في العربة؟

$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{5.28\times10^3\ \text{kg.m/s}}{60.0\ \text{s}}$

$= 88.0\ \text{N}$

5. افترض أنَّ شخصًا كتلته 60.0 kg موجود في المركبة التي اصطدمت بالحائط الأسمنتي في المثال 1، حيث السرعة المتجهة للشخص مساوية للسرعة المتجهة للمركبة قبل التصادم وبعده، وتغيرت هذه السرعة المتجهة خلال 2.0 s. ارسم مخططًا يمثل المسألة.



a. ما متوسط القوة المؤثرة في الشخص؟

$$F\Delta t = \Delta p = p_f - p_i$$

$$F = \frac{p_f - p_i}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.0\ \text{kg.m/s}) - (60.0\ \text{kg})\ (94\ \text{km/h})}{0.20\ \text{s}}$$

$$\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right)$$

$= 7.8\times10^3$ N في عكس اتجاه الحركة

b. يعتقد بعض الأشخاص أنّ بإمكانهم أن يوقفوا اندفاع أجسامهم إلى الأمام في مركبة ما عندما تتوقف فجأة، وذلك بوضع أيديهم على لوحة العدادات. احسب كتلة جسم وزنه يساوي القوة التي حسبتها في الفرع **a**. وهل تستطيع رفع مثل هذه الكتلة؟ وهل أنت قويّ بدرجة كافية لتوقف جسمك باستخدام ذراعيك؟

$$F_g = mg$$

$$m = \frac{F_g}{g} = \frac{7.8\times10^3\ \text{N}}{9.80\ \text{m/s}^2} = 8.0\times10^2\ \text{kg}$$

ومثل هذه الكتلة لا يمكن رفعها لأنها ثقيلة؛ لذا لا يمكنك إيقاف جسمك بأمان بذراعيك.

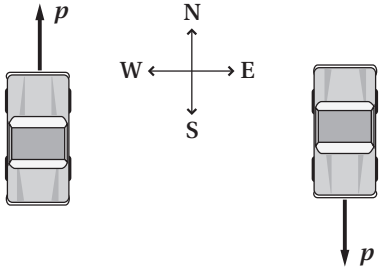
مراجعة القسم

1–2 الدفع والزخم (صفحة 45–39)

صفحة 45

6. الزخم هل يختلف زخم سيارة تتحرك جنوبًا عن زخم السيارة نفسها عندما تتحرك شمالاً، إذا كان مقدار السرعة في الحالتين متساويًا؟ ارسم متجهات الزخم لتدعم إجابتك.

نعم؛ فالزخم كمية متجهة، ويكون زخما السيارتين في اتجاهين متعاكسين.



7. الدفع والزخم عندما تقفز من ارتفاع معين إلى الأرض فإنك تثني رجليك لحظة ملامسة قدميك الأرض. بيّن لماذا تفعل هذا اعتمادًا على المفاهيم الفيزيائية التي تعلمتها في هذا الفصل.

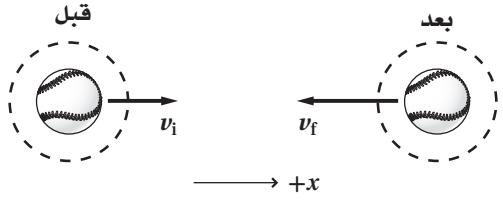
لقد قلّلت القوة بزيادة الفترة الزمنية التي استغرقتها لإيقاف حركة جسمك.

8. الزخم أيّهما له زخم أكبر، ناقلة نفط راسية بثبات في رصيف ميناء، أم قطرة مطر ساقطة؟

لقطرة المطر الساقطة زخم أكبر؛ لأنّ ناقلة النفط في وضع السكون لها زخم يساوي صفرًا.

9. الدفع والزخم قذفت كرة بيسبول كتلتها 0.174 kg أفقيًّا بسرعة 26.0 m /s. وبعد أن ضُربت الكرة بالمضرب تحركت في الاتجاه المعاكس بسرعة 38.0 m /s.

a. ارسم متجهات الزخم للكرة قبل ضربها بالمضرب وبعده.



b. ما التغير في زخم الكرة؟

$$\Delta p = m(v_f - v_i)$$

$$= (0.174\ \text{kg})(38.0\ \text{m/s} - (-26.0\ \text{m/s}))$$

$$= 11.1\ \text{kg.m/s}$$

c. ما الدفع الناتج عن المضرب؟

$$F\Delta t = p_f - p_i$$

$$= \Delta p$$

$$= 11.1\ \text{kg.m/s}$$

$$= 11.1\ \text{N.s}$$

d. إذا بقي المضرب متصلاً بالكرة مدة 0.80 ms فما متوسط القوة التي أثر بها المضرب في الكرة؟

$$F\Delta t = m(v_f - v_i)$$

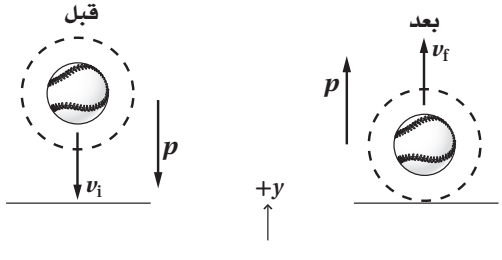
$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.174\ \text{kg})\ (38.0\ \text{m/s} - (-26.0\ \text{m/s}))}{(0.80\ \text{ms})\left(\frac{1\ \text{s}}{1000\ \text{ms}}\right)}$$

$$= 1.4 \times 10^4\ \text{N}$$

10. الزخم إنّ مقدار سرعة كرة السلة لحظة اصطدامها بالأرض هو نفسه بعد التصادم مباشرة. هل يعني ذلك أن التغير في زخم الكرة يساوي صفرًا عند اصطدامها بالأرض؟ إذا كان الجواب بالنفي ففي أيّ اتجاه يكون التغير في الزخم؟ ارسم متجهات الزخم لكرة السلة قبل أن تصطدم بالأرض وبعده.

لا، يكون التغير في الزخم إلى أعلى؛ فقبل أن تصطدم الكرة بالأرض يكون متجه الزخم إلى أسفل، وبعد التصادم يكون متجه الزخم إلى أعلى.



11. التفكير الناقد يصوّب رام سهامه في اتجاه هدف، فتنغرز بعض السهام في الهدف، ويرتد بعضها الآخر عنه. افترض أن كتل السهام وسرعاتها المتجهة متساوية، فأيّ السهام ينتج دفعًا أكبر على الهدف؟ *تلميح: ارسم مخططًا تبيّن فيه زخم السهام قبل إصابة الهدف وبعدها في الحالتين.*

تنتج الأسهم المرتدة عن الهدف دفعًا أكبر؛ لأن لها زخمًا في الاتجاه المعاكس عند ارتدادها، وهذا يعني أن لديها تغيرًا كبيرًا في الزخم.

مسائل تدريبية

2–2 حفظ الزخم (صفحة 55–46)

صفحة 48

12. اصطدمت سيارتا شحن كتلة كل منهما 3.0×10^5 kg، فالتصقتا معًا، فإذا كانت سرعة إحداهما قبل التصادم مباشرة 2.2 m/s، وكانت الأخرى ساكنة، فما سرعتهما النهائية؟

$$p_i = p_f$$

$$mv_{Ai} + mv_{Bi} = 2mv_f$$

$$v_f = \frac{v_{Ai} + v_{Bi}}{2}$$

$$= \frac{2.2\ \text{m/s} + 0.0\ \text{m/s}}{2}$$

$$= 1.1\ \text{m/s}$$

13. يتحرك قرص لعبة هوكي كتلته 0.105 kg بسرعة 24 m/s، فيمسك به حارس مرمى كتلته 75 kg في حالة سكون، ما السرعة التي ينزلق بها حارس المرمى على الجليد؟

$$p_{i,\text{قرص الهوكي}} + p_{i,\text{حارس المرمى}} = p_{f,\text{قرص الهوكي}} + p_{f,\text{حارس المرمى}}$$

$$m_{\text{قرص الهوكي}} v_{i,\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{حارس المرمى}} v_{i,\text{حارس المرمى}} = m_{\text{قرص الهوكي}} v_{f,\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{حارس المرمى}} v_{f,\text{حارس المرمى}}$$

وبما أن:

$$v_{i,\text{حارس المرمى}} = 0.0\ \text{kg.m/s}$$

فإن:

$$m_{\text{قرص الهوكي}} v_{i,\text{قرص الهوكي}} = (m_{\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{حارس المرمى}}) v_f$$

حيث إن

$v_f = v_{f,\text{قرص الهوكي}} = v_{f,\text{حارس المرمى}}$ هي السرعة النهائية المشتركة لحارس المرمى وقرص الهوكي

$$v_f = \frac{m_{\text{قرص الهوكي}} v_{i,\text{حارس المرمى}}}{(m_{\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{حارس المرمى}})}$$

$$= \frac{(0.105\ \text{kg})(24\ \text{m/s})}{(0.105\ \text{kg} + 75\ \text{kg})} = 0.34\ \text{m/s}$$

تابع الفصل 2

14. اصطدمت رصاصة كتلتها 35.0 g بقطعة خشب ساكنة كتلتها 5.0 kg، فاستقرت فيها، فإذا تحركت قطعة الخشب والرصاصة معًا بسرعة 8.6 m/s فما السرعة الابتدائية للرصاصة قبل التصادم؟

$$m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{i،الرصاصة}} + m_{\text{قطعة الخشب}} v_{\text{i،قطعة الخشب}} = (m_{\text{الرصاصة}} + m_{\text{قطعة الخشب}}) v_{\text{f}}$$

حيث إن v_{f} هي السرعة النهائية المشتركة للرصاصة وقطعة الخشب.

لما كانت

$$v_{\text{i،قطعة الخشب}} = 0.0 \text{ m/s},$$

فإن

$$v_{\text{i،الرصاصة}} = \frac{(m_{\text{الرصاصة}} + m_{\text{قطعة الخشب}})\, v_{\text{f}}}{m_{\text{الرصاصة}}}$$

$$= \frac{(0.0350 \text{ kg} + 5.0 \text{ kg})(8.6 \text{ m/s})}{0.0350 \text{ kg}}$$

$$= 1.2 \times 10^{3} \text{ m/s}$$

15. تحركت رصاصة كتلتها 35.0 g بسرعة 475 m/s، فاصطدمت بكيس من الطحين كتلته 2.5 kg موضوع على أرضية ملساء في حالة سكون، فاخترقت الرصاصة الكيس، انظر إلى **الشكل 5–2**، وخرجت منه بسرعة 275 m/s، ما سرعة الكيس لحظة خروج الرصاصة منه؟

■ **الشكل 5–2**

$$m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{i،الرصاصة}} + m_{\text{الكيس}} v_{\text{i،الكيس}} = m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{f،الرصاصة}} + m_{\text{الكيس}} v_{\text{f،الكيس}}$$

حيث إن

$$v_{\text{i،الكيس}} = 0.0 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{f،الكيس}} = \frac{(m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{i،الرصاصة}} - m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{f،الرصاصة}})}{m_{\text{الكيس}}}$$

$$v_{\text{f،الكيس}} = \frac{m_{\text{الرصاصة}} (v_{\text{i،الرصاصة}} + v_{\text{f،الرصاصة}})}{m_{\text{الكيس}}}$$

$$= \frac{(0.0350 \text{ kg})(475 \text{ m/s} - 275 \text{ m/s})}{2.5 \text{ kg}}$$

$$= 2.8 \text{ m/s}$$

تابع الفصل 2

16. إذا اصطدمت الرصاصة المذكورة في السؤال السابق بكرة فولاذية كتلتها 2.5 kg في حالة سكون، فارتدت الرصاصة عنها بسرعة مقدارها 5.0 m/s، فكم تكون سرعة الكرة بعد ارتداد الرصاصة؟

النظام يمثل الرصاصة والكرة

$$m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{i،الرصاصة}} + m_{\text{الكرة}} v_{\text{i،الكرة}} = m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{f،الرصاصة}} + m_{\text{الكرة}} v_{\text{f،الكرة}}$$

بما أن

$$v_{\text{i،الكرة}} = 0.0\ \text{m/s}\ ,\ v_{\text{f،الرصاصة}} = -5.0\ \text{m/s}$$

فإن

$$v_{\text{i،الكرة}} = \frac{m_{\text{الرصاصة}} (v_{\text{i،الرصاصة}} - v_{\text{f ،الرصاصة}})}{m_{\text{الكرة}}}$$

$$= \frac{(0.0350\ \text{kg})\ (475\ \text{m/s} - (-5.0\ \text{m/s}))}{2.5\ \text{kg}}$$

$$= 6.7\ \text{m/s}$$

17. تحركت كرة كتلتها 0.50 kg بسرعة 6.0 m/s فاصطدمت بكرة أخرى كتلتها 1.00 kg تتدحرج في الاتجاه المعاكس بسرعة مقدارها 12.0 m/s. فإذا ارتدت الكرة الأقل كتلة إلى الخلف بسرعة مقدارها 14 m/s بعد التصادم فكم يكون مقدار سرعة الكرة الأخرى بعد التصادم؟

افترض أن الكرة الأولى هي الكرة C تتحرك ابتدائيًا في الاتجاه الموجب (نحو الأمام).

$$m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} = m_C v_{Cf} + m_D v_{Df}$$

$$v_{Df} = \frac{m_C\, v_{Ci} + m_D\, v_{Di} - m_C\, v_{Cf}}{m_D}$$

$$= \frac{(0.50\ \text{kg})\ (6.0\ \text{m/s}) + (1.00\ \text{kg})\ (-12.0\ \text{m/s}) - (0.50\ \text{kg})\ (-14\ \text{m/s})}{2.5\ \text{kg}}$$

$$= -2.0\ \text{m/s},$$

أو في الاتجاه المعاكس 2.0 m/s

صفحة 52

18. أطلق نموذج لصاروخ كتلته 4.00 kg، بحيث نفث 50.0 g من الوقود المحترق من العادم بسرعة مقدارها 625 m/s، ما سرعة الصاروخ المتجهة بعد احتراق الوقود؟ *تلميح: أهمل القوتين الخارجيتين الناتجتين عن الجاذبية ومقاومة الهواء.*

$$p_{\text{i ،الصاروخ}} + p_{\text{i ،الوقود}} = p_{\text{f،الصاروخ}} + p_{\text{f ،الوقود}}$$

حيث

$$p_{\text{f،الصاروخ}} + p_{\text{f ،الوقود}} = 0.0\ \text{kg.m/s}$$

إذا كانت كتلة الصاروخ الابتدائية (بما فيها كتلة الوقود) تساوي:

$$m_{\text{الصاروخ}} = 4.00\ \text{kg},$$

عندها تكون كتلة الصاروخ النهائية تساوي:

$$m_{\text{f،الصاروخ}} = 4.00\ \text{kg} - 0.0500\ \text{kg} = 3.95\ \text{kg}$$

$$0.0\ \text{kg.m/s} = m_{\text{f،الصاروخ}}\ v_{\text{f،الصاروخ}} + m_{\text{الوقود}} v_{\text{f،الوقود}}$$

$$v_{f,\text{الصاروخ}} = \frac{-m_{\text{الوقود}}\, v_{f,\text{الوقود}}}{m_{f,\text{الصاروخ}}}$$

$$= \frac{-(0.0500\ \text{kg})(-625\ \text{m/s})}{3.95\ \text{kg}}$$

$$= 7.91\ \text{m/s}$$

19. ترتبط عربتان إحداهما مع الأخرى بخيط يمنعهما من الحركة، ولدى احتراق الخيط دفع نابض مضغوط بينهما العربتين في اتجاهين متعاكسين، فإذا اندفعت إحدى العربتين وكتلتها 1.5 kg بسرعة متجهة 27 cm/s إلى اليسار، فما السرعة المتجهة للعربة الأخرى التي كتلتها 4.5 kg؟

افترض أن العربة التي كتلتها 1.5 kg تمثل العربة C، وأن العربة التي كتلتها 4.5 kg تمثل العربة D.

$$p_{Ci} + p_{Di} = p_{Cf} + p_{Df}$$

ولما كانت:

$$p_{Ci} = p_{Di} = 0.0\ \text{kg.m/s}$$

$$m_D v_{Df} = -m_C v_{Cf}$$

فإن:

$$v_{Df} = \frac{-m_C v_{Cf}}{m_D}$$

$$= \frac{-(1.5\ \text{kg})(-27\ \text{cm/s})}{4.5\ \text{kg}}$$

$$= 9.0\ \text{cm/s}\ \text{إلى اليمين}$$

20. قامت صفاء وديمة بإرساء زورق، فإذا تحركت صفاء التي كتلتها 80.0 kg إلى الأمام بسرعة 4.0 m/s عند مغادرة الزورق، فما مقدار واتجاه سرعة الزورق وديمة إذا كانت كتلتاهما معًا تساوي 115 kg؟

$$p_{i,\text{صفاء}} + p_{i,\text{ديمة}} = p_{f,\text{صفاء}} + p_{f,\text{ديمة}}$$

ولما كانت:

$$p_{i,\text{صفاء}} = p_{i,\text{ديمة}} = 0.0\ \text{kg.m/s}$$

فإن:

$$m_{\text{صفاء}} v_{f,\text{صفاء}} = -m_{\text{ديمة}} v_{f,\text{ديمة}}$$

$$v_{f,\text{ديمة}} = \frac{-m_{\text{صفاء}} v_{f,\text{صفاء}}}{m_{\text{ديمة}}}$$

$$= \frac{-(80.0\ \text{kg})\ (4.0\ \text{m/s})}{115\ \text{kg}}$$

$$= 2.8\ \text{m/s}\ \text{في الاتجاه المعاكس}$$

صفحة 54

21. تحركت سيارة كتلتها 925 kg شمالاً بسرعة 20.1 m/s، فاصطدمت بسيارة كتلتها 1865 kg متحركة غربًا بسرعة 13.4 m/s، فالتحمتا معًا. ما مقدار سرعتهما واتجاههما بعد التصادم؟

قبل:

$$p_{i,y} = m_y v_{i,y}$$

$$= (925\ \text{kg})(20.1\ \text{m/s})$$

$$= 1.86\times10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$p_{i,x} = m_x v_{i,x}$$

$$= (1865\ \text{kg})(-13.4\ \text{m/s})$$

$$= -2.50\times10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$p_{f,y} = p_{i,y}$$

$$p_{f,x} = p_{i,x}$$

$$p_f = p_i$$

$$= \sqrt{(p_{f,x})^2 + (p_{f,y})^2}$$

$$= \sqrt{(-2.5\times10^4\ \text{kg.m/s})^2 + (1.86\times10^4\ \text{kg.m/s})^2}$$

$$= 3.12\times10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$v_f = \frac{p_f}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{3.12\times10^4\ \text{kg. m/s}}{(925\ \text{kg} + 1865\ \text{kg})} = 11.2\ \text{m/s}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_{f,y}}{p_{f,x}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{1.86\times10^4\ \text{kg.m/s}}{-2.50\times10^4\ \text{kg.m/s}}\right)$$

$$= 36.6^\circ\ \text{شمال الغرب}$$

تابع الفصل 2

22. اصطدمت سيارة كتلتها 1732 kg متحركة شرقًا بسرعة 31.3 m/s، بسيارة أخرى كتلتها 1383 kg متحركة جنوبًا بسرعة 11.2 m/s، فالتحمتا معًا. ما مقدار سرعتهما واتجاههما مباشرة بعد التصادم؟

قبل:

$$p_{i,x} = p_{1,x} + p_{2,x}$$

$$= m_1 v_{1i} + 0$$

$$p_{i,y} = p_{1,y} + p_{2,y}$$

$$= 0 + m_2 v_{2i}$$

$$p_f = p_i$$

$$= \sqrt{p_{i,x}{}^2 + p_{i,y}{}^2}$$

$$= \sqrt{(m_1 v_{1i})^2 + (m_2 v_{2i})^2}$$

$$v_f = \frac{p_f}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{\sqrt{(m_1 v_{1i})^2 + (m_2 v_{2i})^2}}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{\sqrt{((1732\ \text{kg})(31.3\ \text{m/s}))^{2+}((1383\ \text{kg})(-11.2\ \text{m/s}))^2}}{1782\ \text{kg} + 1383\ \text{kg}}$$

$$= 18.1\ \text{m/s}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_{i,y}}{p_{i,x}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{m_2 v_{2i}}{m_1 v_{1i}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{(1383\ \text{kg})(-11.2\ \text{m/s})}{(1732\ \text{kg})(31.3\ \text{m/s})}\right)$$

$$= 15.9^\circ \text{ جنوب الشرق}$$

تابع الفصل 2

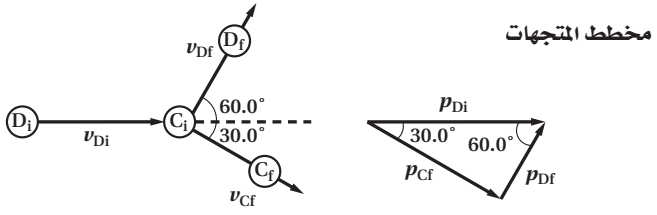
23. تعرضت كرة بلياردو ساكنة كتلتها 0.17 kg للاصطدام بكرة مماثلة لها متحركة بسرعة 4.0 m/s، فتحركت الكرة الثانية بعد التصادم في اتجاه يميل 60.0° إلى يسار اتجاهها الأصلي، في حين تحركت الكرة الأولى في اتجاه يميل 30° إلى يمين الاتجاه الأصلي للكرة المتحركة. ما سرعة كل من الكرتين بعد التصادم؟

$$p_{Ci} + p_{Di} = p_{Cf} + p_{Df}$$

حيث

$$p_{Ci} = 0.0 \text{ kg.m/s}$$

$$m_C = m_D = m = 0.17 \text{ kg}$$



يزوِّدنا مخطط المتجهات بمعادلتي الزخم النهائيتين للكرة التي تكون ساكنة (C) في البداية، والكرة التي تكون متحركة (D) في البداية.

$$p_{Cf} = p_{Di} \sin 60.0^\circ$$

$$p_{Df} = p_{Di} \cos 60.0^\circ$$

يمكننا استخدام معادلة الزخم للكرة الساكنة لإيجاد سرعتها المتجهة النهائية.

$$p_{Cf} = p_{Di} \sin 60.0^\circ$$

$$mv_{Cf} = mv_{Di} \sin 60.0^\circ$$

$$v_{Cf} = v_{Di} \sin 60.0^\circ$$

$$= (4.0 \text{ m/s})(\sin 60.0^\circ)$$

$$= 3.5 \text{ m/s}, \text{ نحو اليمين } 30.0^\circ$$

ويمكننا استخدام معادلة الزخم للكرة المتحركة لإيجاد سرعتها المتجهة النهائية.

$$p_{Df} = p_{Di} \cos 60.0^\circ$$

$$mv_{Df} = mv_{Di} \cos 60.0^\circ$$

$$v_{Df} = v_{Di} \cos 60.0^\circ$$

$$= (4.0 \text{ m/s})(\cos 60.0^\circ)$$

$$= 2.0 \text{ m/s}, \text{ نحو اليسار } 60.0^\circ$$

تابع الفصل 2

24. تحركت سيارة كتلتها 1923 kg شمالاً، فاصطدمت بسيارة أخرى كتلتها 1345 kg متحركة شرقًا بسرعة 15.7 m/s، فالتحمتا معًا وتحركتا بسرعة مقدارها 14.5 m/s وتميل على الشرق بزاوية مقدارها 63.5°. فهل كانت السيارة المتحركة شمالاً متجاوزة حدّ السرعة 20.1 m/s قبل التصادم؟

قبل:

$$p_{i,x} = m_2 v_{2,i}$$

$$= (1345\ \text{kg})(15.7\ \text{m/s})$$

$$= 2.115 \times 10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$p_f = p_i$$

$$= (m_1 + m_2) v_f$$

$$= (1345\ \text{kg} + 1923\ \text{kg})(14.5\ \text{m/s})$$

$$= 4.74 \times 10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$p_{f,y} = p_f \sin\theta$$

$$= (4.74 \times 10^4\ \text{kg.m/s})(\sin 63.5°)$$

$$= 4.24 \times 10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$p_{f,y} = p_{i,y} = m_1 v_{1,i}$$

$$v_{1,i} = \frac{p_{f,y}}{m_1} = \frac{4.24 \times 10^4\ \text{kg.m/s}}{1923\ \text{kg}}$$

$$= 22.1\ \text{m/s}$$

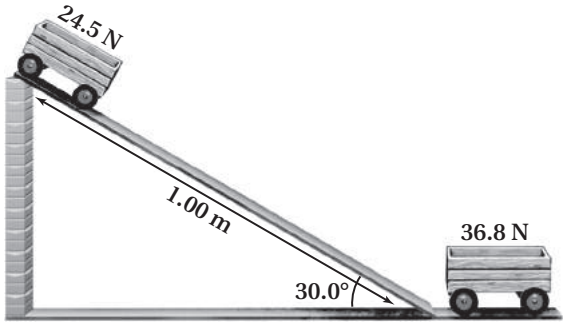
نعم، إنها تتعدى حد السرعة

مراجعة القسم

2–2 حفظ الزخم (صفحة 55–46)

صفحة 55

25. السرعة تحركت عربة وزنها 24.5 N من السكون على مستوى مائل طوله 1.0 m ويميل على الأفق بزاوية 30.0°. انظر إلى **الشكل 9–2**. اندفعت العربة إلى نهاية المستوى المائل، فصدمت عربة أخرى وزنها 36.8 N موضوعة عند أسفل المستوى المائل.



■ **الشكل 9–2**

a. احسب مقدار سرعة العربة الأولى عند أسفل المستوى المائل.

القوة الموازية لسطح المستوى المائل هي:

$$F_{\parallel} = F_g \sin\theta$$

ولما كانت:

$$a = \frac{F_{\parallel}}{m},\ m = \frac{F_g}{g}$$

فإن:

$$a = \frac{F_g \sin\theta}{\frac{F_g}{g}} = g \sin\theta$$

ويرتبط كل من السرعة المتجهة للعربة وتسارعها بواسطة معادلة الحركة

$$v^2 = v_i^2 + 2a(d - d_i)$$

حيث $v_i = 0,\ d_i = 0$

لذا فإن:

$$v^2 = 2ad$$

$$v = \sqrt{2ad}$$

$$= \sqrt{(2)\ (g \sin\theta)\ (d)}$$

$$= \sqrt{(2)\ (9.80\ \text{m/s}^2)(\sin 30.0°)(1.00\ \text{m})}$$

$$= 3.13\ \text{m/s}$$

b. إذا التحمت العربتان معًا فما سرعة انطلاقهما بعد التصادم؟

$$m_C v_{Ci} = (m_C + m_D) v_f$$

لذا، فإن:

$$v_f = \frac{m_C v_{Ci}}{m_C + m_D}$$

$$= \frac{\left(\frac{F_C}{g}\right) v_{Ci}}{\frac{F_C}{g} + \frac{F_D}{g}}$$

$$= \frac{F_C v_{Ci}}{F_C + F_D}$$

$$= \frac{(24.5\ \text{N})(3.13\ \text{m/s})}{24.5\ \text{N} + 36.8\ \text{N}}$$

$$= 1.25\ \text{m/s}$$

26. حفظ الزخم يستمرّ مضرب لاعب كرة التنس في التقدم إلى الأمام بعد ضرب الكرة، فهل يكون الزخم محفوظًا في التصادم؟ فسّر ذلك، وتنبه إلى أهمية تعريف النظام.

لا؛ لأن كتلة المضرب أكبر كثيرًا من كتلة الكرة، ويحدث تغير صغير في سرعته. بالإضافة إلى أنّ المضرب محمول بكتلة كبيرة وهي الذراع المتحركة المرتبطة مع الجسم المتصل بالأرض؛ لذا فإن المضرب والكرة لا يشكلان نظامًا معزولاً.

27. الزخم يركض لاعب القفز بالزانة في اتجاه نقطة الانطلاق بزخم أفقي. من أين يأتي الزخم الرأسي عندما يقفز اللاعب فوق العارضة؟

يأتي الزخم الرأسي من قوة دفع الأرض للزانة، وتكتسب الأرض زخمًا رأسيًا مساويًا في المقدار ومعاكسًا في الاتجاه.

28. الزخم الابتدائي ركض لاعبان في مباراة كرة قدم من اتجاهين مختلفين، فاصطدما وجهًا لوجه عندما حاولا ضرب الكرة برأسيهما، فاستقرّا في الجو، ثم سقطا على الأرض. صف زخميهما الابتدائيين.

بما أن زخمهما النهائي يساوي صفرًا، فإن زخميهما الابتدائيين متساويان مقدارًا ومتعاكسان اتجاهًا.

29. التفكير الناقد إذا التقطتَ كرة وأنت واقف على لوح تزلج فإنّك ستندفع إلى الخلف. أما إذا كنت تقف على الأرض فإنه يمكنك تجنب الحركة عندما تلتقط الكرة. اشرح كلتا الحالتين باستخدام قانون حفظ الزخم، موضحًا أي نظام استخدمت في كلتا الحالتين.

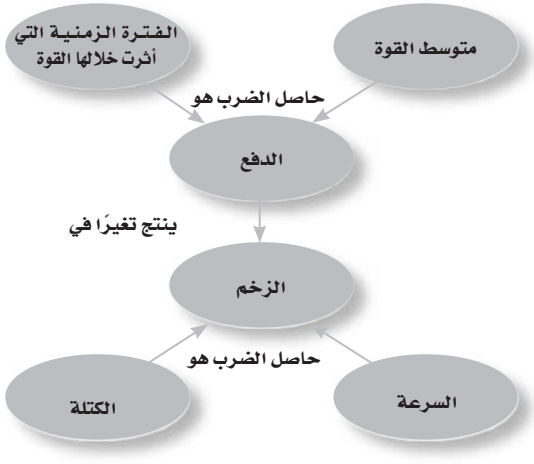
في حالة لوح التزلج، تكوّن أنت والكرة ولوح التزلج نظامًا معزولًا، ويتوزّع زخم الكرة عليكم. أما في الحالة الثانية فهناك قوة خارجية، ما لم يتم تضمين الأرض؛ لذا يكون الزخم غير محفوظ. وإذا تم تضمين كتلة الأرض الكبيرة في النظام فإن التغير في سرعتها لا يكاد يذكر (يمكن إهماله).

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 60

30. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الكتلة، الزخم، متوسط القوة، الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوة.



إتقان المفاهيم

صفحة 60

31. هل يمكن أن يتساوى زخم رصاصة مع زخم شاحنة؟ فسّر ذلك. (1–2)

نعم؛ لكي يكون للرصاصة زخم الشاحنة نفسه، يجب أن تكون سرعتها أكبر كثيرًا من سرعة الشاحنة؛ لأن كتلة الشاحنة أكبر كثيرًا من كتلة الرصاصة.

$$m_{\text{الرصاصة}} v_{\text{الرصاصة}} = m_{\text{الشاحنة}} v_{\text{الشاحنة}}$$

تابع الفصل 2

32. رمى لاعبٌ كرة فتلقفها لاعب آخر. مفترضًا أن مقدار سرعة الكرة لم يتغير في أثناء تحليقها في الجوِّ، أجب عن الأسئلة الآتية: (1–2)

a. أي اللاعبين أثر في الكرة بدفع أكبر؟

يؤثر ضارب الكرة ومتلقيها بمقدار الدفع نفسه في الكرة ولكن في اتجاهين متعاكسين.

b. أي اللاعبين أثَّر في الكرة بقوة أكبر؟

يؤثر متلقي الكرة بقوة أكبر في الكرة؛ لأن الفترة الزمنية التي تؤثر فيها القوة أصغر.

33. ينص القانون الثاني لنيوتن على أنه إذا لم تؤثر قوة محصلة في نظامٍ ما فإنه لا يمكن أن يكون هناك تسارع. هل نستنتج أنه لا يمكن أن يحدث تغير في الزخم؟ (1–2)

إذا لم يكن هناك قوة محصلة على النظام فهذا يعني أنه لا يوجد دفع محصل على النظام، ولا يوجد تغير في الزخم، لكن قد يكون لأجزاء مفردة من النظام تغير في الزخم طالما بقي التغير المحصل في الزخم يساوي صفرًا.

34. لماذا تُزود السيارات بماصّ صدمات يمكنه الانضغاط في أثناء الاصطدام؟ (1–2)

تزود السيارات بماصّ صدمات ينضغط في أثناء التصادم؛ لزيادة زمن التصادم، مما يقلل من القوة.

35. ما المقصود «بالنظام المعزول»؟ (2–2)

النظام المعزول هو النظام الذي لا تؤثر فيه أيّ قوى خارجية.

36. في الفضاء الخارجي، تلجأ المركبة الفضائية إلى تشغيل صواريخها لتزيد من سرعتها المتجهة. كيف يمكن للغازات الحارة الخارجة من محرك الصاروخ أن تغير سرعة المركبة المتجهة حيث لا يوجد شيء في الفضاء يمكن للغازات أن تدفعه؟ (2–2)

لما كان الزخم محفوظًا فإن التغير في زخم الغازات في اتجاه ما يجب أن يوازن بتغير مساوٍ له في زخم المركبة الفضائية في الاتجاه المعاكس.

37. تتحرك كرة على طاولة البلياردو، فتصطدم بكرة ثانية ساكنة. فإذا كان للكرتين الكتلة نفسها، وسكنت الكرة الأولى بعد تصادمهما معًا. فماذا يمكننا أن نستنتج حول سرعة الكرة الثانية؟ (2–2)

يجب أن تتحرك الكرة الثانية بنفس سرعة الكرة الأولى قبل أن تصدمها.

38. أسقطت كرة سلة في اتجاه الأرض. وقبل أن تصطدم بالأرض كان اتجاه الزخم إلى أسفل، وبعد أن اصطدمت بالأرض أصبح اتجاه الزخم إلى أعلى. (2–2)

a. لماذا لم يكن زخم الكرة محفوظًا، مع أن الارتداد عبارة عن تصادم؟

لا يكون زخم الكرة الساقطة محفوظًا؛ لأن الأرض ليست جزءًا من النظام، حيث تؤثر بقوة خارجية، لذا يوجد دفع يؤثر في الكرة.

b. أي نظام يكون فيه زخم الكرة محفوظًا؟

يكون الزخم الكلي محفوظًا إذا كان النظام مكونًا من الكرة والأرض.

39. تستطيع قوة خارجية فقط أن تغير زخم نظامٍ ما. وضح كيف تؤدي القوة الداخلية لكوابح السيارة إلى إيقافها. (2–2)

عندما يضغط السائق على كوابح السيارة فإنها توقف السيارة وذلك بإيقاف الإطارات؛ حيث تؤثر قوة الاحتكاك الخارجية للطريق في الإطارات في الاتجاه المعاكس لحركة السيارة؛ لذا تتوقف السيارة. ولكن إذا لم يكن هناك قوة احتكاك – عندما يكون الطريق جليدًا مثلاً – فعندئذٍ لا يكون هناك قوة خارجية لإيقاف السيارة.

تطبيق المفاهيم

صفحة 61–60

40. اشرح مفهوم الدفع باستخدام الأفكار الفيزيائية بدلاً من المعادلات الرياضية.

الدفع هو أن تؤثر قوة F في جسم ما خلال فترة زمنية Δt مسببةً تغيرًا في زخمه بمقدار $F\Delta t$.

41. هل يمكن أن يكتسب جسم ما دفعًا من قوة صغيرة أكبر من الدفع الذي يكتسبه من قوة كبيرة؟ فسّر ذلك.

نعم، إذا أثّرت قوة صغيرة فترة زمنية طويلة فإنها تنتج دفعًا أكبر.

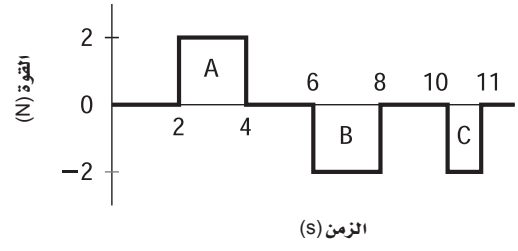
42. إذا كنت جالسًا في ملعب بيسبول واندفعت الكرة نحوك خطأً، فأيهما أكثر أمانًا لإمساك الكرة بيديك: تحريك يديك نحو الكرة ثم تثبيتها عند الإمساك بها، أم تحريك يديك في اتجاه حركة الكرة نفسه؟ فسّر ذلك.

عليك تحريك يدك في نفس اتجاه حركة الكرة؛ وذلك لتزيد الفترة الزمنية للتصادم، ومن ثم تقلل القوة.

43. انطلقت رصاصة كتلتها 0.11 g من مسدس بسرعة 323 m/s، بينما انطلقت رصاصة أخرى مماثلة من بندقية بسرعة 396 m/s. فسّر الاختلاف في مقدار سرعتي الرصاصتين، مفترضًا أنّ الرصاصتين تعرضتا لمقدار القوة نفسه من الغازات المتمددة.

تستغرق الرصاصة الخارجة من البندقية زمنًا أطول؛ لذا تكتسب زخمًا أكبر.

44. إذا تعرض جسم ساكن إلى قوى دفع تم تمثيلها بالمنحنى الموضح في **الشكل 10–2**، فصف حركة الجسم بعد كلٍّ من الدفع A، و B، و C.

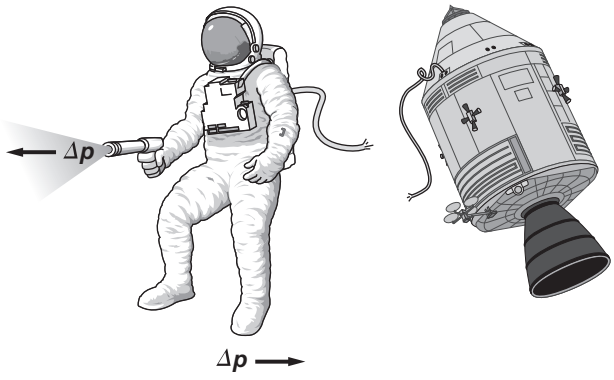


■ **الشكل 10 – 2**

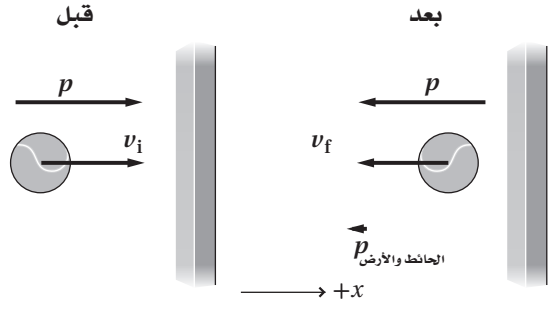
بعد زمن الدفع A يتحرك الجسم بسرعة متجهة موجبة وثابتة. وبعد زمن الدفع B يصبح الجسم ساكنًا. وبعد زمن الدفع C يتحرك الجسم بسرعة متجهة سالبة وثابتة.

45. بينما كان رائد فضاء يسبح في الفضاء، انقطع الحبل الذي يربطه مع السفينة الفضائية، فاستخدم الرائد مسدس الغاز ليرجع إلى الوراء حتى يصل السفينة. استخدم نظرية الدفع – الزخم والرسم التخطيطي؛ لتوضح فاعلية هذه الطريقة.

عندما يطلق رائد الفضاء الغاز من المسدس في الاتجاه المعاكس للسفينة، يولّد المسدس دفعًا يؤدي إلى تحريك الرائد في اتجاه السفينة.



46. كرة تنس عندما ترتد كرة تنس عن حائط ينعكس زخمها. فسّر هذه العملية باستخدام قانون حفظ الزخم، محدِّدًا النظام ومضمِّنًا تفسيرك رسمًا تخطيطيًّا.



نفترض أن النظام يتكون من الكرة والحائط والأرض، فيكتسب الحائط والأرض بعض الزخم خلال التصادم.

47. تخيل أنك تقود سفينة فضائية تتحرك بين الكواكب بسرعة كبيرة، فكيف تستطيع إبطاء سرعة سفينتك من خلال تطبيق قانون حفظ الزخم؟

وذلك بإطلاق كمية من الغاز العادم بسرعة كبيرة في نفس اتجاه حركة السفينة، لذا فإن زخم هذا الغاز سوف يقلل من زخم السفينة الفضائية ومن ثم تقل سرعتها.

تابع الفصل 2

48. اصطدمت شاحنتان تبدوان متماثلتين على طريق زلق (تجاهل الاحتكاك)، وكانت إحدى الشاحنتين ساكنة، فالتحمت الشاحنتان معًا وتحركتا بسرعة مقدارها أكبر من نصف مقدار السرعة الأصلية للشاحنة المتحركة. ما الذي يمكن أن تستنتجه عن حمولة كل من الشاحنتين؟

إذا تساوت كتلتا الشاحنتين فسوف تتحركان بعد التصادم بنصف مقدار سرعة الشاحنة المتحركة؛ لذا لابد أن تكون حمولة الشاحنة المتحركة أكبر.

49. لماذا يُنصح بإسناد كعب البندقية على الكتف عند بداية تعلم الإطلاق؟ فسّر ذلك بدلالة الدفع والزخم.

عندما تحمل البندقية بشكل حر فإن زخم الارتداد للبندقية يؤثر في الاتجاه المعاكس لحركة الرصاصة، وسوف تكتسب البندقية سرعة أكبر مما يؤدي إلى اصطدامها بالكتف. يجب أن يؤثر زخم الارتداد في كتلتك وكتلة البندقية مسببًا سرعة أقل في الاتجاه المعاكس لحركة الرصاصة.

50. أُطلقت رصاصتان متساويتان في الكتلة على قوالب خشبية موضوعة على أرضية ملساء، فإذا كانت سرعتا الرصاصتين متساويتين، وكانت إحدى الرصاصتين مصنوعة من المطاط والأخرى من الألومنيوم، وارتدت الرصاصة المطاطية عن القالب، في حين استقرت الرصاصة الأخرى في الخشب، ففي أي الحالتين سيتحرك القالب الخشبي أسرع؟ فسّر ذلك.

يكون الزخم محفوظًا؛ لذا فإن زخم القالب والرصاصة بعد التصادم يكون مساويًا لزخم الرصاصة قبل التصادم. للرصاصة المطاطية زخم سالب بعد التصادم بالقالب؛ لذا يجب أن يكون زخم القالب الذي ارتدّت عنه الرصاصة المطاطية أكبر، أي أن سرعته أكبر.

إتقان حل المسائل

صفحة 65–61

1 – 2 الدفع والزخم

صفحة 63–61

51. جولف إذا ضُربت كرة جولف كتلتها 0.058 kg، بقوة مقدارها 272 N بمضرب، فأصبحت سرعتها المتجهة 62.0 m /s، فما زمن تلامس الكرة بالمضرب؟

$$\Delta t = \frac{m\Delta v}{F} = \frac{(0.058\ \text{kg})\ (62.0\ \text{m/s})}{272\ \text{N}} = 0.013\ \text{s}$$

52. رُميت كرة بيسبول كتلتها 0.145 kg بسرعة 42 m/s. فضربها لاعب المضرب أفقيًّا في اتجاه الرامي بسرعة 58 m/s.

a. أوجد التغير في زخم الكرة.

افترض أن اتجاه رمي كرة البيسبول هو الاتجاه الموجب

$$\Delta p = mv_f - mv_i = m(v_f - v_i)$$
$$= (0.145\ \text{kg})(-58\ \text{m/s} - (+42\ \text{m/s}))$$
$$= -14\ \text{kg.m/s}$$

b. إذا لامست الكرة المضرب مدة $4.6\times10^{-4}\ s$، فما متوسط القوة في أثناء التلامس؟

$$F\Delta t = \Delta p$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$= \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.145\ kg)(-58\ m/s - (+42\ m/s))}{4.6\times10^{-4}\ s}$$

$$= -3.2\times10^{4}\ N$$

53. بولنج إذا أثرت قوة مقدارها 186 N في كرة بولنج كتلتها 7.3 kg مدة 0.40 s، فما التغير في زخم الكرة؟ وما التغير في سرعتها المتجهة؟

$$\Delta p = F\Delta t$$

$$= (186\ N)(0.40\ s)$$

$$= 74\ N.s$$

$$= 74\ kg.m/s$$

$$\Delta v = \frac{\Delta p}{m}$$

$$= \frac{F\Delta t}{m}$$

$$= \frac{(186\ N)(0.40\ s)}{7.3\ kg}$$

$$= 1.0\times10^{1}\ m/s$$

54. تتسارع شاحنة نقل كتلتها 5500 kg من 4.2 m/s إلى 7.8 m/s، خلال 15 s وذلك عن طريق تطبيق قوة ثابتة عليها.

a. ما التغير الحاصل في الزخم؟

$$\Delta p = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$= (5500\ kg)(7.8\ m/s - 4.2\ m/s)$$

$$= 2.0\times10^{4}\ kg.m/s$$

b. ما مقدار القوة المؤثرة في الشاحنة؟

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$= \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(5500\ kg)\ (7.8\ m/s - 4.2\ m/s)}{15.0\ s}$$

$$= 1.3\times10^{3}\ N$$

55. أطلق ضابط شرطة رصاصة كتلتها 6.0 g بسرعة 350 m/s داخل حاوية بهدف اختبار أسلحة القسم. إذا أوقفت الرصاصة داخل الحاوية خلال 1.8 ms، فما متوسط القوة التي أوقفت الرصاصة؟

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$= \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.0060\ kg)(0.0\ m/s - 350\ m/s)}{1.8\times10^{-3}\ s}$$

$$= -1.2\times10^{3}\ N$$

56. الكرة الطائرة اقتربت كرة كتلتها 0.24 kg من أروى بسرعة مقدارها 3.8 m /s في أثناء لعبة الكرة الطائرة، فضربت أروى الكرة بسرعة مقدارها 2.4 m /s في الاتجاه المعاكس. ما متوسط القوة التي أثرت بها أروى في الكرة، إذا كان زمن تلامس يديها بالكرة 0.025 s؟

$$F = \frac{m\Delta v}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.24\ kg)\ (-2.4\ m/s - 3.8\ m/s)}{0.025\ s}$$

$$= -6.0\times10^{1}\ N$$

57. الهوكي ضرب لاعبٌ قرص هوكي مؤثرًا فيه بقوة ثابتة مقدارها 30.0 N مدة 0.16 s. ما مقدار الدفع المؤثر في القرص؟

$$F\Delta t = (30.0\ N)(0.16\ s)$$

$$= 4.8\ N.s$$

58. التزلج إذا كانت كتلة أخيك 35.6 kg، وكان لديه لوح تزلج كتلته 1.3 kg، فما الزخم المشترك لأخيك مع لوح التزلج إذا تحركا بسرعة 9.50 m /s؟

$$p = mv$$

$$= (m_{\text{أخيك}} + m_{\text{اللوح}})v$$

$$= (35.6\ \text{kg} + 1.3\ \text{kg})(9.50\ \text{m/s})$$

$$= 3.5\times10^{2}\ \text{kg.m/s}$$

59. ضرب لاعبٌ قرص هوكي ساكنًا كتلته 0.115 kg، فأثر فيه بقوة ثابتة مقدارها 30.0 N في زمن مقداره 0.16 s، فما مقدار السرعة التي سيتجه بها إلى الهدف؟

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

ولما كانت:

$$v_i = 0$$

فإن:

$$v_f = \frac{F\Delta t}{m}$$

$$= \frac{(30.0\ \text{N})(0.16\ \text{s})}{0.115\ \text{kg}}$$

$$= 42\ \text{m/s}$$

60. إذا تحرك جسم كتلته 25 kg بسرعة متجهة 12 m/s+ قبل أن يصطدم بجسم آخر، فأوجد الدفع المؤثر فيه إذا تحرك بعد التصادم بالسرعة المتجهة

a. 8.0 m/s+

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$= (25\ \text{kg})(8.0\ \text{m/s} - 12\ \text{m/s})$$

$$= -1.0\times10^{2}\ \text{kg.m/s}$$

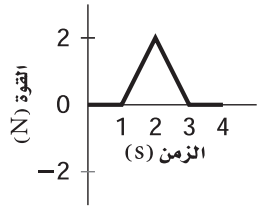
b. 8.0 m/s−

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$= (25\ \text{kg})(-8.0\ \text{m/s} - 12\ \text{m/s})$$

$$= -5.0\times10^{2}\ \text{kg.m/s}$$

61. تتحرك كرة كتلتها 0.150 kg في الاتجاه الموجب بسرعة مقدارها 12 m/s، بفعل الدفع المؤثر فيها والموضح في الرسم البياني في **الشكل 11–2**. ما مقدار سرعة الكرة عند 4.0 s؟



■ الشكل 11 – 2

$$F\Delta t = m\Delta v$$

$$\text{مساحة الرسم} = m\Delta v$$

$$\frac{1}{2}(2.0\ \text{N})(2.0\ \text{s}) = m(v_f - v_i)$$

$$2.0\ \text{N.s} = (0.150\ \text{kg})(v_f - 12\ \text{m/s})$$

$$v_f = \frac{2.0\ \text{kg. m/s}}{0.150\ \text{kg}} + 12\ \text{m/s}$$

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

62. البيسبول تتحرك كرة بيسبول كتلتها 0.145 kg بسرعة 35 m /s قبل أن يمسكها اللاعب مباشرة.

a. أوجد التغير في زخم الكرة.

$$\Delta p = m(v_f - v_i)$$

$$= (0.145\ \text{kg})(0.0\ \text{m/s} - 35\ \text{m/s})$$

$$= -5.1\ \text{kg.m/s}$$

b. إذا كانت اليد التي أمسكت الكرة، والمحمية بقفاز، في وضع ثابت، حيث أوقفت الكرة خلال 0.050 s، فما متوسط القوة المؤثرة في الكرة؟

$$\Delta p = F_{\text{متوسطة}} \Delta t$$

وعليه فإن:

$$F_{\text{متوسطة}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.145\ \text{kg})(0.0\ \text{m/s} - 35\ \text{m/s})}{0.050\ \text{s}}$$

$$= -1.0 \times 10^2\ \text{N}$$

c. إذا تحركت اليد في أثناء إيقاف الكرة إلى الخلف حيث استغرقت الكرة 0.500 s لتتوقف، فما متوسط القوة التي أثرت فيها اليد في الكرة؟

$$\Delta p = F_{\text{متوسطة}} \Delta t$$

وعليه فإن:

$$F_{\text{متوسطة}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.145\ \text{kg})(0.0\ \text{m/s} - 35\ \text{m/s})}{0.500\ \text{s}}$$

$$= -1.0 \times 10^1\ \text{N}$$

63. هوكي إذا اصطدم قرص هوكي كتلته 0.115 kg بعمود المرمى بسرعة 37 m/s، وارتد عنه في الاتجاه المعاكس بسرعة 25 m/s، انظر **الشكل 12–2**.

■ الشكل 12–2

a. فما الدفع على القرص؟

$$F\Delta t = m(v_f - v_i)$$

$$= (0.115\ \text{kg})(-25\ \text{m/s} - 37\ \text{m/s})$$

$$= -7.1\ \text{kg.m/s}$$

b. وما متوسط القوة المؤثرة في القرص، إذا استغرق التصادم $5.0\times10^{-4}\ s$؟

$$F\Delta t = m(v_f - v_i)$$

$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(0.115\ kg)(-25\ m/s - 37\ m/s)}{5.0\times10^{-4}\ s}$$

$$= -1.4\times10^{4}\ N$$

64. إذا تحرك جزيء نيتروجين كتلته $4.7\times10^{-26}\ kg$ بسرعة $550\ m/s$، واصطدم بجدار الإناء الذي يحويه مرتدًّا إلى الوراء بمقدار السرعة نفسه.

a. ما الدفع الذي أثر به الجزيء في الجدار؟

$$F\Delta t = m(v_f - v_i)$$

$$= (4.7\times10^{-26}\ kg)(-550\ m/s - 550\ m/s)$$

$$= -5.20\times10^{-23}\ kg.m/s$$

الدفع الذي أثّر به الجدار في الجزيء يساوي $-5.20\times10^{-23}\ kg.m/s$

الدفع الذي أثّر به الجزيء في الجدار يساوي $+5.20\times10^{-23}\ kg.m/s$

b. إذا حدث 1.5×10^{23} تصادم كل ثانية، فما متوسط القوة المؤثرة في الجدار؟

$$F\Delta t = m(v_f - v_i)$$

$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

إذا أخذ في الاعتبار التصادمات جميعها فإن القوة تكون:

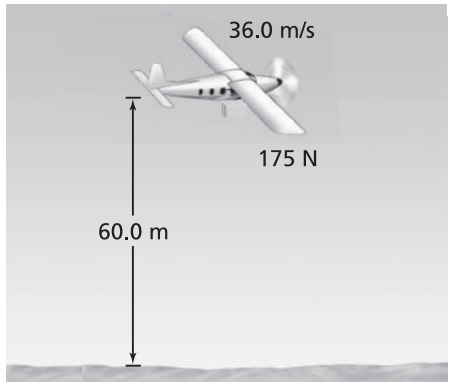
$$F_{\text{كلية}} = (1.5\times10^{23})\frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= (1.5\times10^{23})\frac{(4.7\times10^{-26}\ kg)(-550\ m/s - 550\ m/s)}{1.0\ s}$$

$$= 7.8\ N$$

تابع الفصل 2

65. حلّقت طائرة إنقاذ حيوانات في اتجاه الشرق بسرعة 36.0 m/s، وأسقطت رزمة علف من ارتفاع 60.0 m، انظر إلى **الشكل 13–2**. أوجد مقدار واتجاه زخم رزمة العلف قبل اصطدامها بالأرض مباشرة، علمًا بأن وزنها 175 N.



■ **الشكل 13–2**

استخدم أولا حركة المقذوف لإيجاد السرعة المتجهة لرزمة العلف.

$$p = mv$$

ولحساب v خذ في الاعتبار مركّبتيها الأفقية والرأسية.

$$v_x = 36.0\ \text{m/s}$$

$$v_y^2 = v_{iy}^2 + 2dg = 2dg$$

لذا فإن:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_x^2 + 2dg}$$

ويكون الزخم عندئذٍ:

$$p = \frac{F_g v}{g} = \frac{F_g \sqrt{v_x^2 + 2dg}}{g}$$

$$= \frac{(175\ \text{N})\sqrt{(36.0\ \text{m/s})^2 + (2)(60.0\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)}}{9.80\ \text{m/s}^2}$$

$$= 888\ \text{kg. m/s}$$

وتكون الزاوية بالنسبة إلى الأفقي:

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x}$$

$$= -\frac{\sqrt{2dg}}{v_x}$$

$$= -\frac{\sqrt{(2)(60.0\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)}}{36.0\ \text{m/s}}$$

$$= -43.6°$$

تابع الفصل 2

66. حادث اصطدمت سيارة متحركة بسرعة 10.0 m /s بحاجز وتوقفت خلال 0.050 s. وكان داخل السيارة طفل كتلته 20.0 kg. افترض أن سرعة الطفل المتجهة تغيرت بنفس مقدار تغير سرعة السيارة المتجهة وفي الفترة الزمنية نفسها.

a. ما الدفع اللازم لإيقاف الطفل؟

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$= (20.0\ \text{kg})(0.0\ \text{m/s} - 10.0\ \text{m/s})$$

$$= -2.00\times10^2\ \text{kg.m/s}$$

b. ما متوسط القوة المؤثرة في الطفل؟

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(20.0\ \text{kg})(0.0\ \text{m/s} - 10.0\ \text{m/s})}{0.050\ \text{s}}$$

$$= -4.0\times10^3\ \text{N}$$

c. ما الكتلة التقريبية لجسمٍ وزنه يساوي القوة المحسوبة في الفرع b؟

$$F_g = mg$$

$$m = \frac{F_g}{g} = \frac{4.0\times10^3\ \text{N}}{9.80\ \text{m/s}^2}$$

$$= 4.1\times10^2\ \text{kg}$$

d. هل يمكنك رفع مثل هذا الوزن بذراعك؟

لا.

e. لماذا يُنصح باستخدام كرسي أطفال في السيارة، بدلاً من احتضان الطفل؟

لن تكون قادرًا على حماية طفل في حضنك في أثناء وقوع التصادم.

67. الصواريخ تُستخدم صواريخ صغيرة لعمل تعديل بسيط في مقدار سرعة الأقمار الاصطناعية. فإذا كانت قوة دفع أحد هذه الصواريخ 35 N، وأُطلق لتغيير السرعة المتجهة لمركبة فضائية كتلتها 72000 kg بمقدار 63 cm /s، فما الفترة الزمنية التي يجب أن يؤثر الصاروخ في المركبة خلالها؟

$$F\Delta t = m\Delta v$$

$$\Delta t = \frac{m\Delta v}{F}$$

$$= \frac{(72000\ \text{kg})(0.63\ \text{m/s})}{35\ \text{N}}$$

$$= 1.3\times10^3\ \text{s}$$

$$= 22\ \text{min}\ \text{أو}$$

2–2 حفظ الزخم

صفحة 65–63

68. كرة القدم ركض لاعبُ كرة قدم كتلته 95 kg بسرعة 8.2 m /s، فاصطدم في الهواء بلاعب دفاع كتلته 128 kg يتحرك في الاتجاه المعاكس، وبعد تصادمهما معًا في الجو أصبحت سرعة كل منهما صفرًا.

a. حدّد الوضعين قبل الاصطدام وبعده، ومثّلهما برسم تخطيطي.

قبل:

$$m_{\text{اللاعب الأول}} = 95\ \text{kg}$$

$$v_{\text{اللاعب الأول}} = 8.2\ \text{m/s}$$

$$m_{\text{لاعب الدفاع}} = 128\ \text{kg}$$

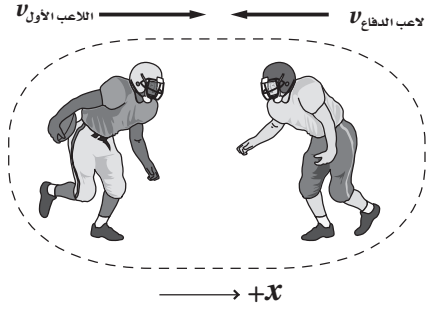
$$v_{\text{لاعب الدفاع}} = ?$$

بعد:

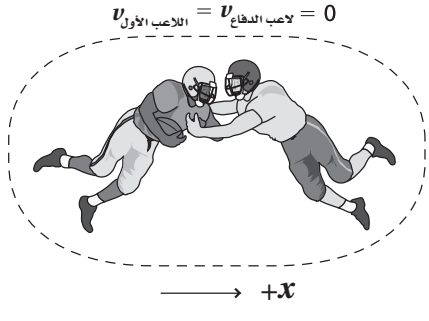
$$m = 223\ \text{kg}$$

$$v_f = 0\ \text{m/s}$$

قبل



بعد



b. كم كان زخم اللاعب الأول قبل التصادم؟

$$p_{\text{اللاعب الأول}} = m_{\text{اللاعب الأول}} v_{\text{اللاعب الأول}} = (95\ \text{kg})(8.2\ \text{m/s})$$

$$= 7.8\times10^2\ \text{kg.m/s}$$

c. ما التغير في زخم اللاعب الأول؟

$$\Delta p_{\text{اللاعب الأول}} = p_f - p_{\text{اللاعب الأول}}$$

$$= 0 - p_{\text{اللاعب الأول}} = -7.8\times10^2\ \text{kg.m/s}$$

d. ما التغير في زخم لاعب الدفاع؟

$$+7.8\times10^2\ \text{kg.m/s}$$

e. كم كان زخم لاعب الدفاع قبل التصادم؟

$$-7.8\times10^2\ \text{kg.m/s}$$

f. كم كانت سرعة لاعب الدفاع قبل التصادم؟

$$m_{\text{لاعب الدفاع}} v_{\text{لاعب الدفاع}} = -7.8\times10^2\ \text{kg. m/s}$$

$$v_{\text{لاعب الدفاع}} = \frac{-7.8\times10^2\ \text{kg. m/s}}{128\ \text{kg}}$$

$$= -6.1\ \text{m/s}$$

69. تحركت كرة زجاجية C كتلتها 5.0 g بسرعة مقدارها 20.0 cm/s، فاصطدمت بكرة زجاجية أخرى D كتلتها 10.0 g تتحرك بسرعة 10 cm/s في الاتجاه نفسه. أكملت الكرة C حركتها بعد الاصطدام بسرعة مقدارها 8.0 cm/s وفي الاتجاه نفسه.

a. ارسم الوضع، وعرّف النظام، ثم حدّد الوضعين قبل التصادم وبعده، وأنشئ نظام إحداثيات.

قبل:

$$m_C = 5.0\ \text{g}$$

$$m_D = 10.0\ \text{g}$$

$$v_{Ci} = 20.0\ \text{cm/s}$$

$$v_{Di} = 10.0\ \text{cm/s}$$

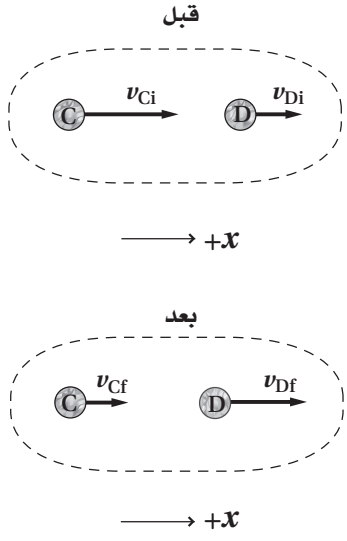
بعد:

$$m_C = 5.0\ \text{g}$$

$$m_D = 10.0\ \text{g}$$

$$v_{Cf} = 8.0\ \text{cm/s}$$

$$v_{Df} = ?$$



b. احسب زخمي الكرتين قبل التصادم.

$$m_C v_{Ci} = (5.0\times10^{-3}\,\text{kg})(0.200\,\text{m/s})$$

$$= 1.0\times10^{-3}\,\text{kg.m/s}$$

$$m_D v_{Di} = (1.00\times10^{-2}\,\text{kg})(0.100\,\text{m/s})$$

$$= 1.0\times10^{-3}\,\text{kg.m/s}$$

c. احسب زخم الكرة C بعد التصادم.

$$m_C v_{Cf} = (5.0\times10^{-3}\,\text{kg})(0.080\,\text{m/s})$$

$$= 4.0\times10^{-4}\,\text{kg.m/s}$$

d. احسب زخم الكرة D بعد التصادم.

$$p_{Ci} + p_{Di} = p_{Cf} + p_{Df}$$

$$p_{Df} = p_{Ci} + p_{Di} - p_{Cf}$$

$$= 1.00\times10^{-3}\,\text{kg.m/s} + 1.00\times10^{-3}\,\text{kg.m/s} - 4.0\times10^{-4}\,\text{kg.m/s}$$

$$= 1.6\times10^{-3}\,\text{kg.m/s}$$

e. ما مقدار سرعة الكرة D بعد التصادم؟

$$p_{Df} = m_D v_{Df}$$

لذا فإن:

$$v_{Df} = \frac{p_{Df}}{m_D}$$

$$= \frac{1.6\times10^{-3}\ \text{kg. m/s}}{1.00\times10^{-2}\ \text{kg}}$$

$$= 1.6\times10^{-1}\ \text{m/s} = 0.16\ \text{m/s}$$

$$= 16\ \text{cm/s}$$

70. أُطلقت قذيفة كتلتها 50.0 g بسرعة متجهة أفقية مقدارها 647 m/s، من منصة إطلاق كتلتها 4.65 kg، تتحرك في الاتجاه نفسه بسرعة 2.00 m/s. ما السرعة المتجهة للمنصة بعد الإطلاق؟

أفترض أن C ترمز إلى القذيفة وأن D ترمز إلى منصة الإطلاق.

$$p_{Ci} + p_{Di} = p_{Cf} + p_{Df}$$

$$m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} = m_C v_{Cf} + m_D v_{Df}$$

لذا فإن:

$$v_{Df} = \frac{m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} - m_C v_{Cf}}{m_D}$$

على افتراض أن القذيفة C أطلقت في اتجاه حركة منصة الإطلاق D.

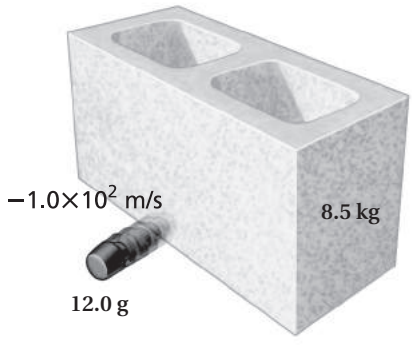
$$v_{Df} = \frac{(0.0500\ \text{kg})(2.00\ \text{m/s}) + (4.65\ \text{kg})(2.00\ \text{m/s}) - (0.0500\ \text{kg})(647\ \text{m/s})}{4.65\ \text{kg}}$$

$$= -4.94\ \text{m/s},$$

أو

$$= 4.94\ \text{m/s}$$ **إلى الخلف**

71. تحركت رصاصة مطاطية كتلتها 12.0 g بسرعة متجهة مقدارها 150 m/s، فاصطدمت بطوبة أسمنتية ثابتة كتلتها 8.5 kg موضوعة على سطح عديم الاحتكاك، وارتدت في الاتجاه المعاكس بسرعة متجهة -1.0×10^2 m/s، انظر إلى **الشكل 14–2**. ما السرعة التي ستتحرك بها الطوبة؟



■ **الشكل 14–2**

افترض أن C ترمز إلى الرصاصة المطاطية وأن D ترمز إلى الطوبة الأسمنتية.

$$m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} = m_C v_{Cf} + m_D v_{Df}$$

$$v_{Df} = \frac{m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} - m_C v_{Cf}}{m_D}$$

لما كانت الحالة الابتدائية للطوبة هي السكون فإن:

$$v_{Df} = \frac{m_C(v_{Ci} - v_{Cf})}{m_D}$$

$$= \frac{(0.0120\ \text{kg})(150\ \text{m/s} - (-1.0\times10^2\ \text{m/s}))}{8.5\ \text{kg}}$$

$$= 0.35\ \text{m/s}$$

تابع الفصل 2

72. دفعت عربتا مختبر متصلتان بنابض إحداهما نحو الأخرى لينضغط النابض، وتسكن العربتان. وعند إفلاتهما ابتعدت العربة التي كتلتها 5.0 kg بسرعة متجهة 0.12 m/s، في حين ابتعدت العربة الأخرى التي كتلتها 2.0 kg في الاتجاه المعاكس. ما السرعة المتجهة للعربة ذات الكتلة 2.0 kg؟

$$m_1 v_i = -m_2 v_f$$

$$v_f = \frac{m_1 v_i}{-m_2}$$

$$= \frac{(5.0\ \text{kg})(0.12\ \text{m/s})}{-(2.0\ \text{kg})}$$

$$= -0.30\ \text{m/s}$$

73. لوح التزلج يركب أحمد الذي كتلته 42 kg لوح تزلج كتلته 2.00 kg، ويتحركان بسرعة 1.20 m /s. فإذا قفز أحمد عن اللوح وتوقف لوح التزلج تمامًا في مكانه، فما مقدار سرعة قفزه؟ وما اتجاهه؟

$$m_{\text{أحمد}} v_{i,\text{أحمد}} + m_{\text{لوح التزلج}} v_{i,\text{لوح التزلج}} = m_{\text{أحمد}} v_{f,\text{أحمد}} + m_{\text{لوح التزلج}} v_{f,\text{لوح التزلج}}$$

ولما كانت:

$$v_{f,\text{لوح التزلج}} = 0\ ,\ v_{i,\text{أحمد}} = v_{i,\text{لوح التزلج}} = v_i$$

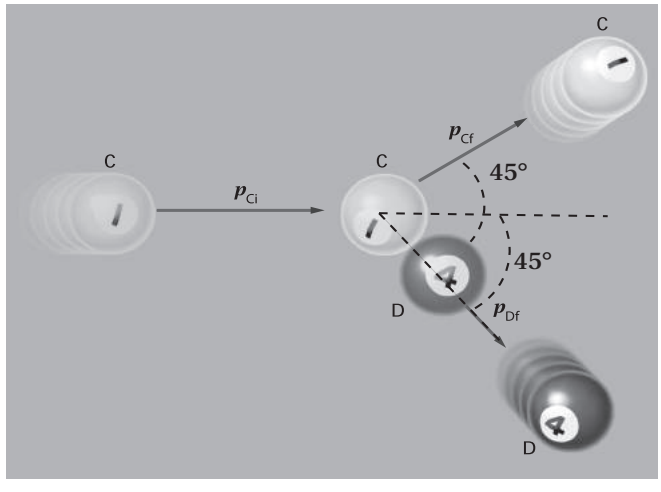
فإن:

$$v_{f,\text{أحمد}} = \frac{(m_{\text{أحمد}} + m_{\text{لوح التزلج}})\, v_i}{m_{\text{أحمد}}}$$

$$= \frac{(42.00\ \text{kg} + 2.00\ \text{kg})(1.20\ \text{m/s})}{42.00\ \text{kg}}$$

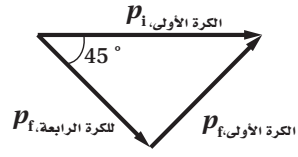
= 1.26 m/s في الاتجاه نفسه الذي كان يتحرك فيه

74. البلياردو تدحرجت كرة بلياردو كتلتها 0.16 kg بسرعة 4.0 m /s، فاصطدمت بالكرة الثابتة التي تحمل رقم أربعة والتي لها الكتلة نفسها. فإذا تحركت الكرة الأولى بزاوية 45° فوق الخط الأفقي، وتحركت الكرة الثانية بالزاوية نفسها تحت الخط الأفقي، انظر **الشكل 15–2**، فما السرعة المتجهة لكل من الكرتين بعد التصادم؟



■ الشكل 15–2

يمكننا الحصول على معادلات الزخم من مخطط المتجهات.



$$p_{f,\text{الكرة الأولى}} = p_{i,\text{الكرة الأولى}} \sin 45°$$

$$m_{\text{الكرة الأولى}} v_{f,\text{الكرة الأولى}} = m_{\text{الكرة الأولى}} v_{i,\text{الكرة الأولى}} \sin 45°$$

$$v_{f,\text{الكرة الأولى}} = v_{i,\text{الكرة الأولى}} \sin 45°$$

$$= (4.0\ \text{m/s})(\sin 45)$$

$$= 2.8\ \text{m/s}$$

بالنسبة إلى الكرة الرابعة:

$$p_{f,\text{الكرة الرابعة}} = p_{i,\text{الكرة الأولى}} \cos 45°$$

$$m_{\text{الكرة الرابعة}} v_{f,\text{الكرة الرابعة}} = m_{\text{الكرة الأولى}} v_{i,\text{الكرة الأولى}} (\cos 45°)$$

ولما كانت

$$m_{\text{الكرة الرابعة}} = m_{\text{الكرة الأولى}}$$

فإن

$$v_{f,\text{الكرة الرابعة}} = v_{i,\text{الكرة الأولى}} \cos 45°$$

$$= (4.0\ \text{m/s})(\cos 45°)$$

$$= 2.8\ \text{m/s}$$

75. اصطدمت شاحنة كتلتها 2575 kg، بمؤخرة سيارة صغيرة ساكنة كتلتها 825 kg، فتحركتا معًا بسرعة 8.5 m/s. احسب مقدار السرعة الابتدائية للشاحنة، وذلك بإهمال الاحتكاك بالطريق.

$$p_{i,\text{الشاحنة}} + p_{i,\text{السيارة}} = p_{f,\text{الشاحنة}} + p_{f,\text{السيارة}}$$

$$m_{\text{الشاحنة}} v_{i,\text{الشاحنة}} = (m_{\text{الشاحنة}} + m_{\text{السيارة}})\, v_f$$

لذا فإن:

$$v_{i,\text{الشاحنة}} = \frac{(m_{\text{الشاحنة}} + m_{\text{السيارة}})\, v_f}{m_{\text{الشاحنة}}}$$

$$= \frac{(2575\ \text{kg} + 825\ \text{kg})\ (8.5\ \text{m/s})}{2575\ \text{kg}}$$

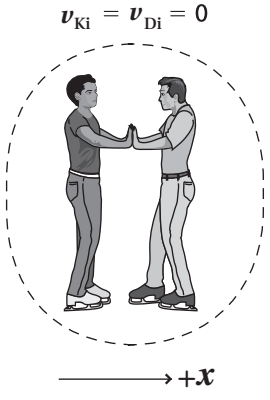
$$= 11\ \text{m/s}$$

76. يقف متزلجان أحدهما مقابل الآخر، ثم يتدافعان بالأيدي. إذا كانت كتلة الأول 90 kg، وكتلة الثاني 60 kg

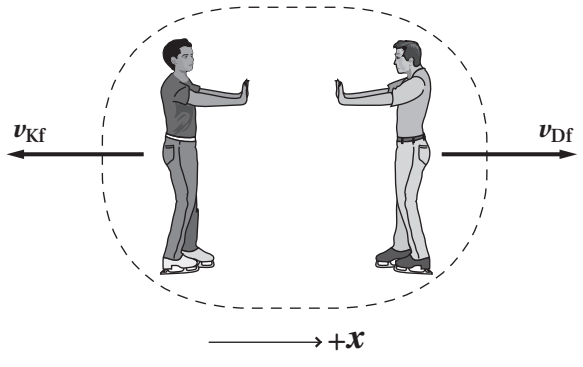
a. فارسم الوضع محددًا حالتيهما قبل التدافع، وبعده، وأنشئ نظام إحداثيات.

افترض أن D يرمز إلى المتزلج الأول وأن K يرمز إلى المتزلج الثاني.

قبل



بعد



قبل:

$$m_K = 60.0\ \text{kg}$$

$$m_D = 90.0\ \text{kg}$$

$$v_i = 0.0\ \text{m/s}$$

بعد:

$$m_K = 60.0\ \text{kg}$$

$$m_D = 90.0\ \text{kg}$$

$$v_{Kf} = ?$$

$$v_{Df} = ?$$

b. أوجد النسبة بين سرعتي المتزلجين في اللحظة التي أفلتا فيها أيديهما.

$$p_{Ki} + p_{Di} = 0.0\ \text{kg.m/s} = p_{Kf} + p_{Df}$$

لذا فإن

$$m_K v_{Kf} + m_D v_{Df} = 0.0\ \text{kg.m/s}$$

$$m_K v_{Kf} = -m_D v_{Df}$$

وعليه، فإن النسبة بين سرعتي المتزلجين تساوي

$$\frac{v_{Kf}}{v_{Df}} = -\left(\frac{m_D}{m_K}\right) = -\left(\frac{90.0\ \text{kg}}{60.0\ \text{kg}}\right) = -1.50$$

وتدل الإشارة السالبة على أن السرعتين المتجهتين في اتجاهين معاكسين.

c. أي المتزلجين سرعته أكبر؟

للمتزلج ذي الكتلة الأقل سرعة أكبر.

d. أي المتزلجين دفع بقوة أكبر؟

إن القوتين متساويتان مقدارًا ومتعاكستان اتجاهًا.

77. تحركت كرة بلاستيكية كتلتها 0.200 kg بسرعة 0.30 m/s فاصطدمت بكرة بلاستيكية أخرى كتلتها 0.100 kg تتحرك في الاتجاه نفسه بسرعة 0.10 m/s. بعد التصادم استمرت الكرتان في الحركة في اتجاههما نفسه قبل التصادم. فإذا كانت السرعة الجديدة للكرة ذات الكتلة 0.100 kg هي 0.26 m/s، فكم تكون السرعة الجديدة للكرة الأخرى؟

بافتراض أن C ترمز للكتلة 0.200 kg، وD للكتلة 0.100 kg

$$m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} = m_C v_{Cf} + m_D v_{Df}$$

لذا فإن

$$v_{Cf} = \frac{m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} - m_D v_{Df}}{m_C}$$

$$= \frac{(0.200\ \text{kg})(0.30\ \text{m/s}) + (0.100\ \text{kg})(0.10\ \text{m/s}) - (0.100\ \text{kg})(0.26\ \text{m/s})}{0.200\ \text{kg}}$$

= 0.22 m/s في الاتجاه الأصلي نفسه

مراجعة عامة

صفحة 65

78. تؤثر قوة ثابتة مقدارها 6.00 N في جسم كتلته 3.00 kg مدة 10.0 s. ما التغير في زخم الجسم وسرعته المتجهة؟

التغير في زخم الجسم يساوي:

$$\Delta p = F\Delta t$$

$$= (6.00\ \text{N})(10.0\ \text{s})$$

$$= 60.0\ \text{N.s} = 60.0\ \text{kg.m/s}$$

التغير في سرعة الجسم المتجهة يحسب بواسطة الدفع

$$F\Delta t = m\Delta v$$

$$\Delta v = \frac{F\Delta t}{m}$$

$$= \frac{(6.00\ \text{N})(10.0\ \text{s})}{3.00\ \text{kg}}$$

$$= 20.0\ \text{m/s}$$

79. تغيرت السرعة المتجهة لسيارة كتلتها 625 kg من 10.0 m/s إلى 44.0 m/s خلال 68.0 s، بفعل قوة خارجية ثابتة.

a. ما التغير الناتج في زخم السيارة؟

$$\Delta p = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

$$= (625\ \text{kg})(44.0\ \text{m/s} - 10.0\ \text{m/s})$$

$$= 2.12\times10^4\ \text{kg.m/s}$$

b. ما مقدار القوة التي أثرت في السيارة؟

$$F\Delta t = m\Delta v$$

لذا فإن:

$$F = \frac{m\Delta v}{\Delta t}$$

$$= \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(625\ \text{kg})(44.0\ \text{m/s} - 10.0\ \text{m/s})}{68.0\ \text{s}}$$

$$= 313\ \text{N}$$

80. سيارة سباق تتسارع سيارة سباق كتلتها 845 kg من السكون إلى 100.0 km /h خلال 0.90 s.

a. ما التغير في زخم السيارة؟

$$\Delta p = m(v_f - v_i)$$

$$= (845\ \text{kg})(100.0\ \text{km/h} - 0.0\ \text{km/h})\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right)$$

$$= 2.35\times10^4\ \text{kg.m/s}$$

b. ما متوسط القوة المؤثر في السيارة؟

$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$= \frac{(845\ \text{kg})(100.0\ \text{km/h} - 0.0\ \text{km/h})\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right)}{0.90\ \text{s}}$$

$$= 2.6\times10^4\ \text{N}$$

c. ما الذي ولّد هذه القوة؟

تولدت هذه القوة من خلال الاحتكاك مع الطريق.

تابع الفصل 2

81. هوكي الجليد تحرك قرص هوكي كتلته 0.115 kg بسرعة 35.0 m /s، فاصطدم بسترة كتلتها 0.365 kg رميت على الجليد من قبل أحد المشجعين، فانزلق القرص والسترة معًا. أوجد سرعتهما المتجهة.

$$m_{\text{قرص الهوكي}} v_{\text{i،قرص الهوكي}} = (m_{\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{السترة}}) v_{\text{f}}$$

$$v_{\text{f}} = \frac{m_{\text{قرص الهوكي}} v_{\text{i،قرص الهوكي}}}{m_{\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{السترة}}}$$

$$= \frac{(0.115\ \text{kg})(35.0\ \text{m/s})}{(0.115\ \text{kg} + 0.365\ \text{kg})}$$

$$= 8.39\ \text{m/s}$$

82. تركب فتاة كتلتها 50.0 kg عربة ترفيه كتلتها 10.0 kg، وتتحرك شرقًا بسرعة 5.0 m/s. فإذا قفزت الفتاة من مقدمة العربة ووصلت الأرض بسرعة 7.0 m/s في اتجاه الشرق بالنسبة إلى الأرض.

a. فارسم الوضعين قبل القفز وبعده، وعين نظام إحداثياتهما.

قبل:

$$m_{\text{الفتاة}} = 50.0\ \text{kg}$$

$$m_{\text{العربة}} = 10.0\ \text{kg}$$

$$v_{\text{i}} = 5.0\ \text{m/s}$$

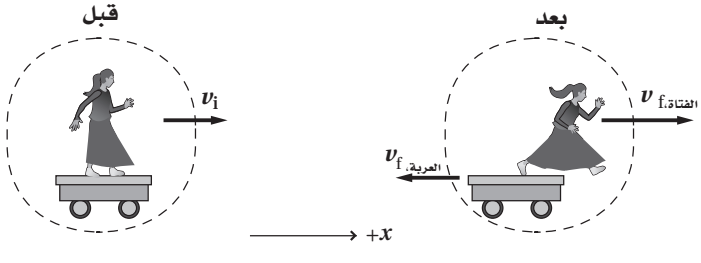
بعد:

$$m_{\text{الفتاة}} = 50.0\ \text{kg}$$

$$m_{\text{العربة}} = 10.0\ \text{kg}$$

$$v_{\text{f،الفتاة}} = 7.0\ \text{m/s}$$

$$v_{\text{f،العربة}} = ?$$



b. أوجد السرعة المتجهة للعربة بعد أن قفزت منها الفتاة.

$$(m_{\text{الفتاة}} + m_{\text{العربة}})v_i = m_{\text{الفتاة}}v_{f,\text{الفتاة}} + m_{\text{العربة}}v_{f,\text{العربة}}$$

لذا فإن

$$v_{f,\text{العربة}} = \frac{(m_{\text{الفتاة}} + m_{\text{العربة}})v_i - m_{\text{الفتاة}}v_{f,\text{الفتاة}}}{m_{\text{العربة}}}$$

$$= \frac{(50.0\ \text{kg} + 10.0\ \text{kg})\ (5.0\ \text{m/s}) - (50.0\ \text{kg})(7.0\ \text{m/s})}{10.0\ \text{kg}}$$

$$= -5.0\ \text{m/s}$$

أو غربًا 5.0 m/s

83. قفز شاب كتلته 60.0 kg إلى ارتفاع 0.32 m.

a. ما زخمه عند وصوله إلى الأرض؟

$$v^2 = v_0^2 + 2dg$$

لذا تكون السرعة المتجهة للشاب

$$v = \sqrt{2dg}$$

ويكون زخم الشاب

$$p = mv = m\sqrt{2dg}$$

$$= (60.0\ \text{kg})\sqrt{(2)(0.32\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 1.5\times10^2\ \text{kg. m/s}$$ **إلى أسفل**

b. ما الدفع اللازم لإيقاف الشاب؟

$$F\Delta t = m\Delta v = m(v_f - v_i)$$

ولإيقاف الشاب فإن

$$v_f = 0$$

لذا فإن

$$F\Delta t = -mv_f = -p = -1.5\times10^2\ \text{kg.m/s}$$ **حيث تدل الإشارة السالبة على أن الدفع يجب أن يؤثر إلى أعلى**

c. عندما يهبط الشاب على الأرض تنثني ركبتاه مؤديتين إلى إطالة زمن التوقف إلى 0.050 s. أوجد متوسط القوة المؤثرة في جسم الشاب.

$$F\Delta t = m\Delta v = m\sqrt{2dg}$$

$$F = \frac{m\sqrt{2dg}}{\Delta t}$$

$$= (60.0\ \text{kg})\frac{\sqrt{(2)(0.32\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)}}{0.050\ \text{s}}$$

$$= 3.0\times10^3\ \text{N}$$

تابع الفصل 2

d. قارن بين قوة إيقاف الشاب ووزنه.

$$F_g = mg = (60.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2) = 5.98\times10^2\ \text{N}$$

قوة إيقاف الشاب تساوي 5 أضعاف وزنه تقريبًا.

التفكير الناقد

صفحة 66–65

84. تطبيق المفاهيم يركض لاعب كتلته 92 kg بسرعة 5.0 m/s، محاولاً الوصول إلى المرمى مباشرة، وعندما وصل خط المرمى اصطدم بلاعبين من فريق الخصم في الهواء كتلة كل منهما 75 kg، وقد كانا يركضان في عكس اتجاهه حيث كان أحدهما يتحرك بسرعة 2.0 m/s، والآخر بسرعة 4.0 m/s، فالتحموا جميعًا، وأصبحوا كأنهم كتلة واحدة.

a. ارسم الحدث موضحًا الوضع قبل الاصطدام وبعده.

قبل:

$$m_A = 92\ \text{kg}$$

$$m_B = 75\ \text{kg}$$

$$m_C = 75\ \text{kg}$$

$$v_{Ai} = 5.0\ \text{m/s}$$

$$v_{Bi} = -2.0\ \text{m/s}$$

$$v_{Ci} = -4.0\ \text{m/s}$$

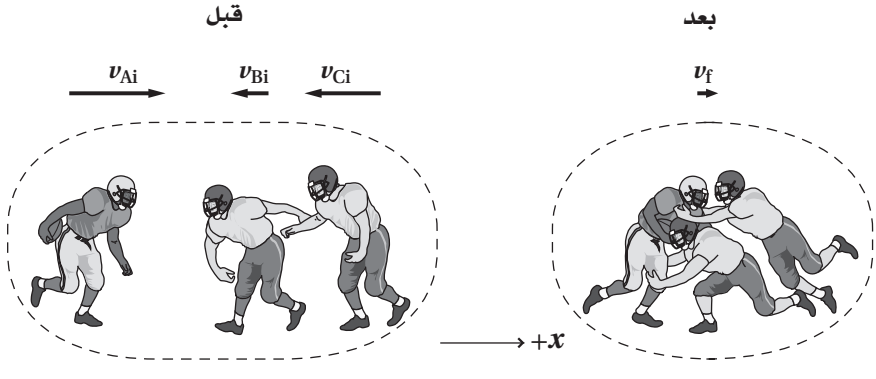
بعد:

$$m_A = 92\ \text{kg}$$

$$m_B = 75\ \text{kg}$$

$$m_C = 75\ \text{kg}$$

$$v_f = ?$$



b. ما السرعة المتجهة للاعبي الكرة بعد التصادم؟

$$p_{Ai} + p_{Bi} + p_{Ci} = p_{Af} + p_{Bf} + p_{Cf}$$

$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} + m_C v_{Ci} = m_A v_{Af} + m_B v_{Bf} + m_C v_{Cf}$$

$$= (m_A + m_B + m_C) v_f$$

$$v_f = \frac{m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} + m_C v_{Ci}}{m_A + m_B + m_C}$$

$$= \frac{(92\ \text{kg})(5.0\ \text{m/s}) + (75\ \text{kg})(-2.0\ \text{m/s}) + (75\ \text{kg})(-4.0\ \text{m/s})}{92\ \text{kg} + 75\ \text{kg} + 75\ \text{kg}}$$

$$= 0.041\ \text{m/s}$$

الكتابة في الفيزياء

صفحة 66

85. كيف يمكن أن تصمم حواجز الطريق السريع لتكون أكثر فعالية في حماية أرواح الأشخاص؟ ابحث في هذه القضية، وصف كيف يمكن استخدام الدفع والتغير في الزخم في تحليل تصاميم الحواجز.

لا يعتمد التغير في زخم السيارة على كيفية توقف السيارة، وهكذا فإنّ الدفع أيضًا لا يتغير. ولتقليل القوة يجب زيادة الفترة الزمنية التي تستغرقها السيارة للتوقف. ويعمل استخدام حواجز قادرة على زيادة الفترة الزمنية اللازمة لتوقف السيارة على تقليل القوة، وتستخدم عادة الحاويات البلاستيكية المرنة المملوءة بالرمل.

86. على الرغم من أن الوسائد الهوائية تحمي العديد من الأرواح، إلاّ أنها قد تسبب إصابات تؤدي إلى الموت. اكتب آراء صانعي السيارات في ذلك، وحدّد ما إذا كانت المشاكل تتضمن الدفع والزخم أو أشياء أخرى.

هناك طريقتان لكي تعمل الوسائد الهوائية على تقليل الإصابات. أولاً تزيد الوسائد الهوائية من الفترة الزمنية التي يؤثر خلالها الدفع، لذا فهي تقلل القوة. ثانيًا أن الوسادة الهوائية توزّع القوة على مساحة أكبر، لذا فهي تقلل الضغط. وهكذا فإن الإصابات الناتجة عن تأثير قوى من أجسام صغيرة تقل. إن معظم أخطار الوسائد الهوائية تنجم عن أنّ هذه الوسائد يجب أن تنتفخ بسرعة كبيرة. يمكن لسطح الوسادة الهوائية أن يصل إلى الراكب بسرعة قد تصل إلى 322 km/h، وتحدث الإصابات عندما تصطدم الوسادة الهوائية المتحركة بالراكب. وما زالت هذه الأنظمة تتطور حتى ينضبط معدل امتلاء الوسادة الهوائية بالغازات لتطابق حجم الراكب.

تابع الفصل 2

مراجعة تراكمية

صفحة 65

87. لُفّ حبلٌ حول طبل قطره 0.600 m. وسُحب بآلة تؤثر فيه بقوة ثابتة مقدارها 40.0 N مدة 2.00 s. وفي هذه الفترة تم فك 5.00 m من الحبل. أوجد ω، α عند 2.0 s.(الفصل 1)

التسارع الزاوي يساوي حاصل قسمة التسارع الخطي لحافة الطبل على نصف قطر الطبل.

$$\alpha = \frac{a}{r}$$

ويتم إيجاد التسارع الخطي من معادلة الحركة.

$$x = \frac{1}{2}at^2$$

$$a = \frac{2x}{t^2}$$

لذا فإن التسارع الزاوي يساوي:

$$\alpha = \frac{a}{r} = \frac{2x}{rt^2}$$

$$= \frac{(2)(5.00\ \text{m})}{\left(\frac{0.600\ \text{m}}{2}\right)(2.00\ \text{s})^2}$$

$$= 8.33\ \text{rad/s}^2$$

عند نهاية الزمن 2.00 s، تحسب السرعة المتجهة الزاوية على النحو الآتي:

$$\omega = \alpha t$$

$$= \frac{2xt}{rt^2}$$

$$= \frac{2x}{rt}$$

$$= \frac{(2)(500\ \text{m})}{\left(\frac{0.600\ \text{m}}{2}\right)(2.00\ \text{s})}$$

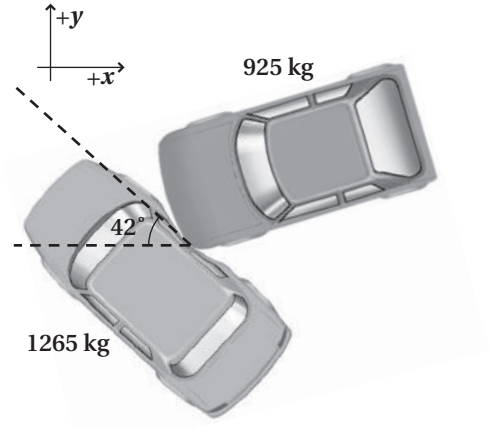
$$= 16.7\ \text{rad /s}$$

تابع الفصل 2

مسألة تحفيز

صفحة 55

كان صديقك يقود سيارة كتلتها 1265 kg في اتجاه الشمال، فصدمته سيارة صغيرة كتلتها 925 kg متجهة غربًا، فالتحمتا معًا، وانزلقتا 23.1 m في اتجاه يصنع زاوية °42 شمال الغرب. وكانت السرعة القصوى المسموح بها في تلك المنطقة 22 m/s. افترض أنّ الزخم كان محفوظًا خلال التصادم، وأنّ التسارع كان ثابتًا في أثناء الانزلاق، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الإطارات والأسفلت 0.65.



1. ادّعى صديقك أنه لم يكن مسرعًا، لكن السائق الآخر كان مسرعًا. كم كانت سرعة سيارة صديقك قبل التصادم؟

يوفر مخطط المتجهات معادلة الزخم لسيارة صديقك،

$$p_{Ci} = p_f \sin 42°$$

فتكون السرعة المتجهة الابتدائية لسيارة صديقك، عندئذ:

$$v_{Ci} = \frac{p_{Ci}}{m_C} = \frac{p_f \sin 42°}{m_C} \quad \frac{(m_C + m_D)\, v_f \sin 42°}{m_C}$$

يمكننا إيجاد v_f عن طريق إيجاد التسارع وزمن الانزلاق في أثناء التصادم، فالتسارع يساوي:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{\mu F_g}{m} = \frac{\mu(m_C + m_D)g}{m_C + m_D} = \mu g$$

ويمكن حساب الزمن بمعادلة المسافة.

$$d = \frac{1}{2} a t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{\frac{2d}{\mu g}}$$

السرعة المتجهة النهائية (وهي سرعة السيارتين معًا بعد التصادم مباشرة) عندئذٍ تساوي:

$$v_f = at = \mu g \sqrt{\frac{2d}{\mu g}} = \sqrt{2d\mu g}$$

وباستخدام ذلك، يمكننا الآن إيجاد السرعة المتجهة الابتدائية لسيارة صديقك.

$$v_{Ci} = \frac{(m_C + m_D)\, v_f \sin 42^\circ}{m_C}$$

$$= \frac{(m_C + m_D)\, \sqrt{2d\mu g}\, (\sin 42^\circ)}{m_C}$$

$$= \frac{(1265\ \text{kg} + 925\ \text{kg}) \left(\sqrt{(2)\ (23.1\ \text{m})(0.65)(9.80\ \text{m/s}^2)}\right) (\sin 42^\circ)}{1265\ \text{kg}}$$

$$= 2.0 \times 10^1\ \text{m/s}$$

2. كم كانت سرعة السيارة الأخرى قبل التصادم؟ وهل يمكنك أن تدعم ادعاء صديقك؟

بواسطة مخطط المتجهات، تكون معادلة الزخم للسيارة الأخرى على النحو الآتي:

$$p_{Di} = p_f \cos 42^\circ$$

$$= (m_C + m_D) v_f \cos 42^\circ$$

$$= (m_C + m_D)\, \sqrt{2d\mu g}\, (\cos 42^\circ)$$

تكون معادلة السرعة المتجهة الابتدائية للسيارة الأخرى عندئذٍ تساوي:

$$v_{Di} = \frac{p_{Di}}{m_D}$$

$$= \frac{(m_C + m_D)\sqrt{2d\mu g}\, (\cos 42^\circ)}{m_D}$$

$$= \frac{(1265\ \text{kg} + 925\ \text{kg}) \left(\sqrt{(2)(23.1\ \text{m})(0.65)(9.80\ \text{m/s}^2)}\right) (\cos 42^\circ)}{925\ \text{kg}}$$

$$= 3.0 \times 10^1\ \text{m/s}$$

لم يتجاوز الصديق حدّ السرعة 22 m/s، في حين تجاوزت السيارة الأخرى هذا الحد.

مسائل تدريبية

3–1 الطاقة والشغل (صفحة 80–69)

صفحة 75

1. اعتمد على المثال 1 لحل المسألة التالية:

a. إذا أثر لاعب الهوكي بضعف القوة، أيْ 9.00 N، في القرص، فكيف تتغير طاقة حركة القرص؟

لمّا كانت

$$W = Fd \text{ و } \Delta KE = W$$

فإن مضاعفة القوة تؤدي إلى مضاعفة الشغل، ومن ثم يؤدي إلى مضاعفة التغير في الطاقة الحركية ليصبح 1.35 J.

b. إذا أثر اللاعب بقوة مقدارها 9.00 N في القرص، ولكن بقيت العصا ملامسة للقرص لنصف المسافة فقط، أيْ 0.075 m، فما مقدار التغير في الطاقة الحركية؟

لما كانت

$$W = Fd$$

فإن تقليل المسافة إلى النصف سيقلل الشغل إلى النصف، ومن ثم يؤدي إلى تقليل التغير في الطاقة الحركية بمقدار النصف، فيصبح 0.68 J.

2. يؤثر طالبان معًا بقوة مقدارها 825 N لدفع سيارة مسافة 35 m.

a. ما مقدار الشغل الذي يبذله الطالبان على السيارة؟

$$W = Fd = (825\ \text{N})(35\ \text{m})$$
$$= 2.9\times10^{4}\ \text{J}$$

b. إذا تضاعفت القوة المؤثرة، فما مقدار الشغل المبذول لدفع السيارة إلى المسافة نفسها؟

$$W = Fd$$
$$= (2)(825\ \text{N})(35\ \text{m})$$
$$= 5.8\times10^{4}\ \text{J}$$ **أي أن الشغل قد تضاعف**

3. يتسلق رجل جبلاً وهو يحمل حقيبة كتلتها 7.5 kg، وبعد 30.0 min وصل إلى ارتفاع 8.2 m فوق نقطة البداية.

a. ما مقدار الشغل الذي بذله المتسلق على حقيبة الظهر؟

$$W = Fd$$
$$= mgd$$
$$= (7.5\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(8.2\ \text{m})$$
$$= 6.0\times10^{2}\ \text{J}$$

b. إذا كان وزن المتسلق 645 N، فما مقدار الشغل الذي بذله لرفع نفسه هو وحقيبة الظهر؟

$$W = Fd + 6.0\times10^{2}\ \text{J}$$
$$= (645\ \text{N})(8.2\ \text{m}) + 6.0\times10^{2}\ \text{J}$$
$$= 5.9\times10^{3}\ \text{J}$$

c. ما مقدار التغير في طاقة المتسلق والحقيبة؟

$$P = \frac{W}{t} = \left(\frac{5.9\times10^{3}\ \text{J}}{30.0\ \text{min}}\right)\left(\frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}\right)$$
$$= 3.3\ \text{W}$$

صفحة 76

4. إذا كان البحّار في المثال 2 يسحب القارب بالقوة نفسها إلى المسافة نفسها ولكن بزاوية 50.0°، فما مقدار الشغل الذي يبذله؟

$$W = Fd\cos\theta$$
$$= (255\ \text{N})(30.0\ \text{m})(\cos 50.0°)$$
$$= 4.92\times10^{3}\ \text{J}$$

5. يرفع شخصان صندوقًا ثقيلاً مسافة 15 m بحبلين يصنع كل منها زاوية 15° مع الرأسي، ويؤثر كل من الشخصين بقوة مقدارها 225 N. ما مقدار الشغل الذي يبذلانه؟

$$W = Fd\cos\theta$$
$$= (2)(225\ \text{N})(15\ \text{m})(\cos 15°)$$
$$= 6.5\times10^{3}\ \text{J}$$

6. يحمل مسافر حقيبة سفر وزنها 215 N إلى أعلى سُلّم، بحيث يعمل إزاحة مقدارها 4.20 m في الاتجاه الرأسي، و 4.60 m في الاتجاه الأفقي.

a. ما مقدار الشغل الذي بذله المسافر؟

لما كانت الجاذبية تؤثّر رأسيًا، فإن الإزاحة الرأسية فقط هي التي تؤخذ في الاعتبار.

$$W = Fd = (215\ \text{N})(4.20\ \text{m}) = 903\ \text{J}$$

b. إذا حمل المسافر نفسه حقيبة السفر نفسها إلى أسفل السلم نفسه، فما مقدار الشغل الذي يبذله؟

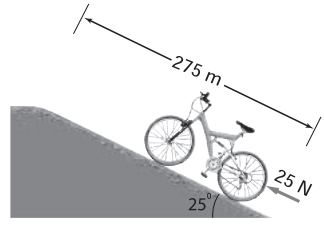
تكون القوة إلى أعلى، في حين تكون الإزاحة إلى أسفل؛ لذا فإن:

$$W = Fd\cos\theta$$
$$= (215\ \text{N})(4.20\ \text{m})(\cos 180.0^\circ)$$
$$= -903\ \text{J}$$

7. يُستخدم حبل في سحب صندوق مسافة 15.0 m على سطح الأرض، فإذا كان الحبل مربوطًا بحيث يصنع زاوية مقدارها 46.0° فوق سطح الأرض وتؤثر قوة مقدارها 628 N في الحبل، فما مقدار الشغل الذي تبذله هذه القوة؟

$$W = Fd\cos\theta$$
$$= (628\ \text{N})(15.0\ \text{m})(\cos 46.0^\circ)$$
$$= 6.54\times10^3\ \text{J}$$

8. دفع سائق دراجة هوائية كتلتها 13 kg إلى أعلى تل ميله 25° وطوله 275 m، في اتجاه موازٍ للطريق وبقوة مقدارها 25 N، كما في **الشكل 4–3**، فما مقدار الشغل الذي:



■ **الشكل 4–3**

a. يبذله السائق على دراجته الهوائية؟

القوة والإزاحة في الاتجاه نفسه.

$$W = Fd$$
$$= (25\ \text{N})(275\ \text{m})$$
$$= 6.9\times10^3\ \text{J}$$

b. تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الدراجة الهوائية؟

القوة إلى أسفل (−90°)، وتكون الإزاحة بزاوية 25° فوق الأفقي أو بزاوية 115° عن اتجاه تأثير القوة.

$$W = Fd\cos\theta$$
$$= mgd\cos\theta$$
$$= (13\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(275\ \text{m})(\cos 115^\circ)$$
$$= -1.5\times10^4\ \text{J}$$

صفحة 79–78

9. رُفع صندوق يزن 575 N رأسيًّا إلى أعلى مسافة 20.0 m بحبل قوي موصول بمحرك. فإذا تم إنجاز العمل خلال 10.0 s، فما القدرة التي يولدها المحرك بوحدة W ووحدة kW؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = \frac{(575\ \text{N})(20.0\ \text{m})}{10.0\text{s}}$$
$$= 1.15\times10^3\ \text{W} = 1.15\ \text{kW}$$

10. إذا كنت تدفع عربة يدوية مسافة 60.0 m وبسرعة ثابتة المقدار مدة 25.0 s، وذلك بالتأثير بقوة مقدارها 145 N في اتجاه أفقي

a. فما مقدار القدرة التي تولدها؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = \frac{(145\ \text{N})(60.0\ \text{m})}{25.0\ \text{s}} = 348\ \text{W}$$

b. وإذا كنت تحرك عربة اليد بضعف مقدار السرعة، فما مقدار القدرة التي تولدها؟

بمضاعفة السرعة يقل الزمن t إلى النصف، ومن ثم تتضاعف القدرة P فتصبح 696 W.

تابع الفصل 3

11. ما مقدار القدرة التي تولدها مضخة في رفع 35 L من الماء كل دقيقة من عمق 110 m؟ [كل 1 L من الماء كتلته 1.00 kg]

$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgd}{t} = \left(\frac{m}{t}\right) gd$$

ولما كانت:

$$\frac{m}{t} = (35\ \text{L/min})(1.00\ \text{kg/L})$$

فإن:

$$P = \left(\frac{m}{t}\right) gd$$

$$= (35\ \text{L/min})(1.00\ \text{kg/L})(9.80\ \text{m/s}^2)(110\ \text{m})(1\ \text{min}/60\ \text{s})$$

$$= 0.63\ \text{kW}$$

12. يولد محرك كهربائي قدرة 65 kW لرفع مصعد مكتمل الحمولة مسافة 17.5 m خلال 35 s. ما مقدار القوة التي يبذلها المحرك؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t}$$

$$F = \frac{Pt}{d} = \frac{(65\times10^3\ W)(35\ \text{s})}{17.5\ \text{m}}$$

$$= 1.3\times10^5\ \text{N}$$

13. صُمّمت رافعة ليتم تثبيتها على شاحنة كما في **الشكل 7–3**، ولدى اختبار قدراتها ربطت الرافعة بجسم وزنه يعادل أكبر قوة تستطيع الرافعة التأثير بها، ومقدارها 6.8×10^3 N، فرفعت الجسم مسافة 15 m مولدة قدرة مقدارها 0.30 kW. ما الزمن الذي احتاجت إليه الرافعة لرفع الجسم؟

■ **الشكل 7–3**

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t}$$

$$t = \frac{Fd}{P}$$

$$= \frac{(6.8\times10^3\ \text{N})(15\ \text{m})}{(0.30\times10^3\ \text{W})} = 340\ \text{s}$$

$$= 5.7\ \text{min}$$

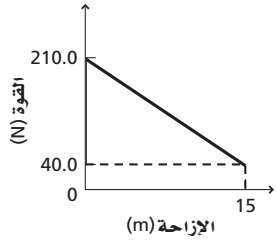
14. توقفت سيارتك فجأة وقمت بدفعها، ولاحظت أن القوة اللازمة لجعلها تستمر في الحركة آخذة في التناقص مع استمرار حركة السيارة. افترض أنه خلال مسافة 15 m الأولى تناقصت قوتك بمعدل ثابت من 210.0 N إلى 40.0 N، فما مقدار الشغل الذي بذلته على السيارة؟ ارسم المنحنى البياني القوة – الإزاحة لتمثل الشغل المبذول خلال هذه الفترة.

الشغل المبذول يساوي مساحة شبه المنحرف أسفل الخط الغامق:

$$W = \frac{1}{2}d(F_1 + F_2)$$

$$= \frac{1}{2}(15\text{ m})(210.0\text{ N} + 40.0\text{ N})$$

$$= 1.9\times10^3\text{ J}$$



مراجعة القسم

1–3 الطاقة والشغل (صفحة 80–69)

صفحة 80

15. الشغل تدفع مريم جسمًا كتلته 20 kg مسافة 10 m على أرضية غرفة بقوة أفقية مقدارها 80 N. احسب مقدار الشغل الذي تبذله مريم.

$$W = Fd = (80\text{ N})(10\text{ m}) = 8\times10^2\text{ J}$$

الكتلة ليست مهمة في هذه المسألة.

16. الشغل يدفع عاملٌ ثلاجةً كتلتها 185 kg بسرعة ثابتة إلى أعلى لوح مائل عديم الاحتكاك طوله 10.0 m ويميل بزاوية 11.0° على الأفقي؛ لتحميلها على سيارة نقل. ما مقدار الشغل الذي يبذله العامل؟

$$y = (10.0\text{ m})(\sin 11.0°)$$

$$= 1.91\text{ m}$$

$$W = Fd = mgd\sin\theta$$

$$= (185\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(10.0\text{ m})(\sin 11.0°)$$

$$= 3.46\times10^3\text{ J}$$

17. الشغل والقدرة هل يعتمد الشغل اللازم لرفع كتاب إلى رف عالٍ، على مقدار سرعة رفعه؟ وهل تعتمد القدرة على رفع الكتاب على مقدار سرعة رفعه؟ وضح إجابتك.

لا، الشغل لا يعتمد على الزمن. في حين أن القدرة تعتمد على الزمن، حيث تعتمد القدرة المطلوبة على مقدار سرعة رفعك للكتاب.

18. القدرة يرفع مصعد جسمًا كتلته 1.1×10^3 kg مسافة 40.0 m خلال 12.5 s. ما القدرة التي يولدها المصعد؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = \frac{mgd}{t}$$

$$= \frac{(1.1\times10^3\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(40.0\text{ m})}{12.5\text{ s}}$$

$$= 3.4\times10^4\text{ W}$$

19. الشغل تسقط كرة كتلتها 0.180 kg مسافة 2.5 m، فما مقدار الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الكرة؟

$$W = F_g d = mgd$$

$$= (0.180\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(2.5\text{ m})$$

$$= 4.4\text{ J}$$

20. الكتلة ترفع رافعة صندوقًا مسافة 1.2 m، وتبذل عليه شغلاً مقداره 7.0 kJ. ما مقدار كتلة الصندوق؟

$$W = Fd = mgd$$

لذا فإن

$$m = \frac{W}{gd} = \frac{7.0\times10^{3}\ \text{J}}{(9.80\ \text{m/s}^2)(1.2\ \text{m})}$$

$$= 6.0\times10^{2}\ \text{kg}$$

21. الشغل تحمل أنت وزميلك صندوقين متماثلين من الطابق الأول في مبنى إلى غرفة تقع في نهاية ممر في الطابق الثاني. فإذا اخترت أن تحمل الصندوق إلى أعلى الدرج ثم تمر عبر الممر لتصل إلى الغرفة، في حين اختار زميلك أن يحمل صندوقه من الممر في الطابق الأول ثم يصعد به سلّما رأسيًّا إلى أن يصل إلى الغرفة، فأيهما يبذل شغلاً أكبر؟

كلاهما يبذل مقدار الشغل نفسه. وفي الحالتين يؤخذ في الحسبان الارتفاع والقوة الرأسية فقط.

22. الشغل وطاقة الحركة إذا تضاعفت الطاقة الحركية لجسم بفعل شغل مبذول عليه، فهل تتضاعف سرعة الجسم؟ إذا كان الجواب بالنفي فما النسبة التي تتغير بها سرعة الجسم؟

تتناسب الطاقة الحركية مع مربع السرعة؛ لذا فإن مضاعفة الطاقة تؤدي إلى مضاعفة مربع السرعة. فتتزايد السرعة بالمعامل $\sqrt{2}$ أو 1.4.

23. التفكير الناقد وضح كيفية إيجاد التغير في طاقة نظام إذا أثرت فيه ثلاث قوى في آنٍ واحد.

بما أن الشغل عبارة عن التغير في الطاقة الحركية، لذا احسب الشغل الذي بذلته كل قوة. يمكن أن يكون الشغل موجبًا أو سالبًا أو صفرًا اعتمادًا على الزاوية بين القوة وإزاحة الجسم. ويمثل مجموع الكميات الثلاث (للشغل) التغير في طاقة النظام.

مسائل تدريبية

2–3 الآلات (صفحة 89–81)

صفحة 87

24. إذا تضاعف نصف قطر ناقل الحركة في الدراجة الهوائية في المثال 4، في حين بقيت القوة المؤثرة في السلسلة والمسافة التي تحركتها حافة الإطار دون تغيير، فما الكميات التي تتغير؟ وما مقدار التغير؟

$$IMA = \frac{r_e}{r_r} = \frac{8.00\ \text{cm}}{35.6\ \text{cm}} = 0.225\ \text{(تضاعفت)}$$

$$MA = (\frac{e}{100})IMA = \frac{95.0}{100}(0.225)$$

$$= 0.214\ \text{(تضاعفت)}$$

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

$$F_r = (MA)(F_e)$$

$$= (0.214)(155\ \text{N})$$

$$= 33.2\ \text{N}$$

$$IMA = \frac{d_e}{d_r}$$

لذا فإن

$$d_e = (IMA)(d_r)$$

$$= (0.225)(14.0\ \text{cm})$$

$$= 3.15\ \text{cm}$$

25. تُستخدم مطرقة ثقيلة لطرق إسفين في جذع شجرة لتقسيمه، وعندما ينغرس الإسفين مسافة 0.20 m في الجذع فإنه ينفلق مسافة مقدارها 5.0 cm. إذا علمت أن القوة اللازمة لفلق الجذع هي 1.7×10^{4} N، وأن المطرقة تؤثر بقوة 1.1×10^{4} N، فاحسب مقدار:

a. الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) للإسفين.

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} = \frac{(0.20\ \text{m})}{(0.050\ \text{m})} = 4.0$$

b. الفائدة الميكانيكية (MA) للإسفين.

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

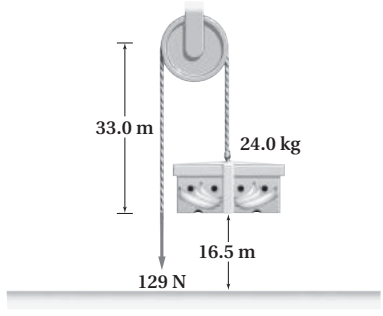
$$= \frac{(1.7\times10^4\ \text{N})}{(1.1\times10^4\ \text{N})} = 1.5$$

c. كفاءة الإسفين إذا اعتبرناه آلة.

$$e = \frac{MA}{IMA}\times 100$$

$$= \frac{1.5}{4.0}\times 100 = 38\%$$

26. يستخدم عامل نظام بكرة عند رفع صندوق كرتون كتلته 24.0 kg مسافة 16.5 m كما في **الشكل 14–3**. فإذا كان مقدار القوة المؤثرة 129 N وسُحب الحبل مسافة 33.0 m



الشكل 14–3 ■

a. فما مقدار الفائدة الميكانيكية (MA) لنظام البكرة؟

$$MA = \frac{F_r}{F_e} = \frac{mg}{F_e}$$

$$= \frac{(24.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{129\ \text{N}}$$

$$= 1.82$$

b. وما مقدار كفاءة النظام؟

$$e = \left(\frac{MA}{IMA}\right)\times 100$$

$$= \frac{(MA)(100)}{\frac{d_e}{d_r}}$$

$$= \frac{(MA)(d_r)(100)}{d_e}$$

$$= \frac{(1.82)(16.5\ \text{m})\ (100)}{33.0\ \text{m}}$$

$$= 91.0\%$$

27. إذا أثرت بقوة مقدارها 225 N في رافعة لرفع صخرة وزنها 1.25×10^3 N مسافة 13 cm، وكانت كفاءة الرافعة 88.7% فما المسافة التي تحركتها نهاية الرافعة من جهتك؟

$$e = \frac{W_o}{W_i}\times 100$$

$$= \frac{F_r d_r}{F_e d_e}\times 100$$

لذا فإن

$$d_e = \frac{F_r d_r\ (100)}{e\ F_e}$$

$$= \frac{(1.25\times10^3\ \text{N})(0.13\ \text{m})(100)}{(88.7)\ (225\ \text{N})}$$

$$= 0.81\ \text{m}$$

28. تتكون رافعة من ذراع نصف قطره 45 cm، يتصل الذراع بأسطوانة نصف قطرها 7.5 cm، ملفوف حولها حبل، ومن الطرف الثاني للحبل يتدلى الثقل المراد رفعه. عندما تدور الذراع دورة واحدة، تدور الأسطوانة دورة واحدة أيضًا.

a. ما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) لهذه الآلة؟

قارن بين إزاحة القوة المسلطة وإزاحة المقاومة لدورة واحدة.

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} = \frac{(2\pi)45\ \text{cm}}{(2\pi)7.5\ \text{cm}} = 6.0$$

b. إذا كانت فاعلية الآلة 75% فقط نتيجة تأثير قوة الاحتكاك، فما مقدار القوة التي يجب التأثير بها في مقبض الذراع ليؤثر بقوة مقدارها 750 N في الحبل؟

$$e = \left(\frac{MA}{IMA}\right) \times 100$$

$$= \frac{F_r}{(F_e)(IMA)} \times 100$$

لذا فإن

$$F_e = \frac{(F_r)(100)}{(IMA)e}$$

$$= \frac{(750\ \text{N})(100)}{(6.0)\ (75)}$$

$$= 1.7 \times 10^2\ \text{N}$$

مراجعة القسم

2–3 الآلات (صفحة 89–81)

صفحة 89

29. الآلات البسيطة صنّف الأدوات أدناه إلى رافعة، أو عجلة ومحور، أو مستوى مائل، أو إسفين، أو بكرة.

a. مفك البراغي

عجلة ومحور

b. كمّاشة

رافعة

c. إزميل

إسفين

d. نزّاعة الدبابيس

رافعة

30. الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) يتفحص عامل نظام بكرات متعددة؛ وذلك لتقدير أكبر جسم يمكن أن يرفعه. فإذا كانت أكبر قوة يمكن للعامل التأثير بها رأسيًّا إلى أسفل مساوية لوزنه 875 N، وعندما يحرك العامل الحبل مسافة 1.5 m فإن الجسم يتحرك مسافة 0.25 m، فما وزن أثقل جسم يمكنه رفعه؟

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

$$F_r = (MA)(F_e)$$

افترض أن الكفاءة تساوي 100%

$$MA = IMA = \left(\frac{d_e}{d_r}\right)$$

$$F_r = \frac{(1.5\ \text{m})\ (875\ \text{N})}{(0.25\ \text{m})}$$

$$= 5.2 \times 10^3\ \text{N}$$

31. الآلات المُركّبة للونش ذراع نصف قطر دورانه 45 cm، يُدوِّر أسطوانة نصف قطرها 7.5 cm خلال مجموعة من نواقل الحركة، بحيث يدور الذراع ثلاث دورات لتدور الأسطوانة دورة واحدة. فما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) لهذه الآلة المُركّبة؟

الفائدة الميكانيكية المثالية (*IMA*) لهذه الآلة المُركّبة (النظام) تساوي حاصل ضرب الفائدة الميكانيكية المثالية (*IMA*) لكل آلة.

إن نسبة الإزاحات لكل من الذراع والأسطوانة تساوي:

$$\frac{2\pi(45\ \text{cm})}{2\pi(7.5\ \text{cm})} = 6.0$$

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} = \frac{(3)(2\pi r)}{2\pi r}$$

$$= \frac{(3)(2\pi)(45\ \text{cm})}{(2\pi)(7.5\ \text{cm})}$$

$$= 18$$

تابع الفصل 3

32. الكفاءة إذا رفعت كفاءة آلة بسيطة، فهل تزداد الفائدة الميكانيكية (MA)، والفائدة الميكانيكية المثالية (IMA)، أم تنقص، أم تبقى ثابتة؟

إما أن تزداد الفائدة الميكانيكية وتبقى الفائدة الميكانيكية المثالية كما هي، أو تقل الفائدة الميكانيكية المثالية وتبقى الفائدة الميكانيكية كما هي، أو تزداد الفائدة الميكانيكية وتقل الفائدة الميكانيكية المثالية.

33. التفكير الناقد تتغير الفائدة الميكانيكية لدراجة هوائية متعددة نواقل الحركة بتحريك السلسلة بحيث تُدوّر ناقل حركة خلفيًّا مناسبًا.

a. عند الانطلاق بالدراجة عليك أن تؤثر في الدراجة بأكبر قوة ممكنة؛ لتكسبها تسارعًا، فهل ينبغي أن تختار ناقل حركة صغيرًا أم كبيرًا؟

كبير، لزيادة

$$IMA = \frac{r_{\text{ناقل الحركة}}}{r_{\text{الإطار}}}$$

b. إذا وصلت إلى مقدار السرعة المناسب وأردت تدوير الدوّاسة بأقل عدد ممكن من الدورات، فهل تختار ناقل حركة كبيرًا أم صغيرًا؟

صغير؛ لأنه سيتطلب إزاحة أقل تقطعها السلسلة حتى يدور الإطار دورة واحدة، لذا فإنه يتطلب عددًا أقل لدورات الدوّاسة.

c. بعض أنواع الدراجات الهوائية تمنحك فرصة اختيار حجم ناقل الحركة الأمامي. فإذا كنت بحاجة إلى قوة أكبر لتحدث تسارعًا في أثناء صعودك تلًّا، فهل تتحول إلى ناقل الحركة الأمامي الأصغر أم الأكبر؟

الأصغر؛ وذلك من أجل زيادة الفائدة الميكانيكية المثالية لدواسة ناقل الحركة الأمامي؛ لأن

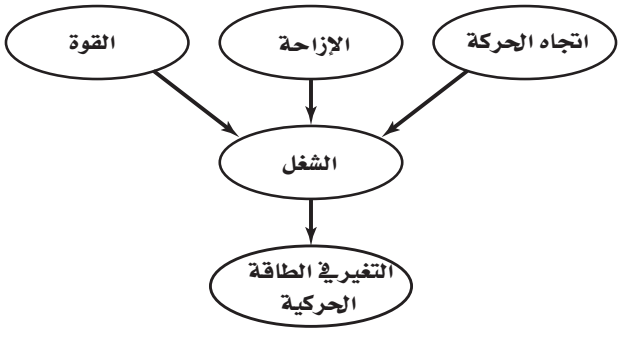
$$IMA = \frac{r_{\text{الدواسات}}}{r_{\text{ناقل الحركة الأمامي}}}$$

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 94

34. كوّن خريطة مفاهيم مستخدمًا المصطلحات الآتية:
القوة، الإزاحة، اتجاه الحركة، الشغل، التغير في الطاقة الحركية.



إتقان المفاهيم

صفحة 94

35. ما وحدة قياس الشغل؟ (1–3)

الجول

36. افترض أن قمرًا صناعيًّا يدور حول الأرض في مدار دائري، فهل تبذل قوة الجاذبية الأرضية أي شغل على القمر؟ (1–3)

لا، إن قوة الجاذبية تتّجه نحو مركز الأرض ومتعامدة مع اتجاه إزاحة القمر الصناعي.

37. ينزلق جسم بسرعة ثابتة على سطح عديم الاحتكاك. ما القوى المؤثرة في الجسم؟ وما مقدار الشغل التي تبذله كل قوة؟ (1–3)

قوة الجاذبية والقوة العمودية فقط تؤثران في الجسم. لا يُبذل شغل؛ لأن الإزاحة متعامدة مع هذه القوى. ولا توجد قوة في اتجاه الإزاحة؛ لأن الجسم ينزلق بسرعة ثابتة.

38. عرّف كلاًّ من الشغل والقدرة؟ (1–3)

الشغل يساوي حاصل ضرب القوة في المسافة التي قطعها الجسم في اتجاه القوة. أما القدرة فهي المعدل الزمني لبذل الشغل.

تابع الفصل 3

39. ماذا تكافئ وحدة الواط بدلالة وحدات الكيلوجرام والمتر والثانية؟ (3–1)

$$W = J/s$$
$$= N.m/s$$
$$= (kg.m/s^2).m/s$$
$$= kg.m^2/s^3$$

40. وضّح العلاقة بين الشغل المبذول والتغير في الطاقة. (3–1)

الشغل المبذول يساوي التغير في الطاقة الحركية.

41. هل يمكن لآلة ما أن تُعطي شغلاً ناتجًا أكبر من الشغل المبذول عليها. (3–2)

لا، $e \leq 100\%$

42. فسر كيف يمكن اعتبار الدوّاسات التي في الدراجة الهوائية آلة بسيطة؟ (3–2)

تنقل الدواسة القوة من السائق إلى الدراجة من خلال العجلة والمحور.

تطبيق المفاهيم

صفحة 95–94

43. أي الحالتين التاليتين تتطلب بذل شغل أكبر: حمل حقيبة ظهر وزنها 420 N إلى أعلى تل ارتفاعه 200 m، أو حمل حقيبة ظهر وزنها 210 N إلى أعلى تل ارتفاعه 400 m؟ ولماذا؟

كل منها يحتاج إلى مقدار الشغل نفسه؛ لأن حاصل ضرب القوة في المسافة متساوٍ.

44. الرفع يقع صندوق كتب تحت تأثير قوتين في أثناء رفعك له عن الأرض لتضعه على سطح طاولة؛ إذ تؤثر فيه الجاذبية الأرضية بقوة مقدارها (mg) إلى أسفل، وتؤثر فيه أنت بقوة مقدارها (mg) إلى أعلى. ولأن هاتين القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه فيبدو كأنه لا يوجد شغل مبذول، ولكنك تعلم أنك بذلت شغلاً. فسر ما الشغل الذي بُذل؟

أنت تبذل شغلا موجبًا على الصندوق؛ لأن القوة والحركة في الاتجاه نفسه. وقوة الجاذبية تبذل شغلاً سالبًا على الصندوق؛ لأن قوة الجاذبية في عكس اتجاه الحركة. وكل من الشغل الذي تبذله أنت وتبذله الجاذبية الأرضية مستقل عن الآخر، ولا يلغي أحدهما الآخر.

45. يحمل عامل صناديق كرتونية إلى أعلى السلم ثم يحمل صناديق مماثلة لها في الوزن إلى أسفله. غير أن معلم الفيزياء يرى أن هذا العامل لم «يشتغل» مطلقًا؛ لذا فإنه لا يستحق أجرًا. فكيف يمكن أن يكون المعلم على صواب؟ وكيف يمكن إيجاد طريقة ليحصل فيها العامل على أجره؟

الشغل الكلي يساوي صفرًا. إن حمل صندوق الكرتون إلى أعلى السلم يتطلب بذل شغل موجب. وحمله ثانية إلى أسفل السلم يتطلب بذل شغل سالب. والشغلان المبذولان في الحالتين متساويان في المقدار ومتعاكسان في الإشارة؛ لأن المسافتين في الحالتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه. قد يحسب الطلاب أجر العامل على أساس الزمن الذي يحتاج إليه لحمل الصناديق، إما إلى أعلى أو إلى أسفل، وليس على أساس الشغل المبذول.

46. إذا حمل العامل في المسألة السابقة الكراتين إلى أسفل سلم، ثم سار بها مسافة 15 m في ممر، فهل يبذل شغلا الآن؟ فسّر إجابتك.

لا، القوة المؤثرة في الصندوق رأسية إلى أعلى والإزاحة أفقية على امتداد الممر، وهما متعامدتان ولا يُبذل شغل في هذه الحالة.

47. صعود الدرج يصعد شخصان لهما الكتلة نفسها العدد نفسه من الدرجات. فإذا صعد الشخص الأول الدرجات خلال 25 s، وصعد الشخص الثاني الدرجات خلال 35 s،

a. فأي الشخصين بذل شغلاً أكبر؟ فسر إجابتك.

يبذل الشخصان مقدار الشغل نفسه؛ لأنهما يصعدان عدد الدرجات نفسه ولهما الكتلة نفسها.

b. أي الشخصين أنتج قدرة أكثر؟ فسر إجابتك.

الشخص الذي يصعد خلال 25 s ينتج قدرة أكبر، لأنه يحتاج إلى زمن أقل لقطع المسافة.

48. وضح أن القدرة المنقولة يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$P = F v \cos\theta$$

$$P = \frac{W}{t},\ W = Fd\cos\theta$$

لذا فإن

$$P = \frac{Fd\cos\theta}{t}$$

ولأن

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

فإن:

$$P = Fv\cos\theta$$

49. كيف تستطيع زيادة الفائدة الميكانيكية المثالية لآلة؟

زد النسبة $\frac{d_e}{d_r}$ لزيادة الفائدة الميكانيكية المثالية للآلة.

50. الإسفين كيف تستطيع زيادة الفائدة الميكانيكية للإسفين دون تغيير فائدته الميكانيكية المثالية؟

قلّل الاحتكاك ما أمكن لتقليل قوة المقاومة.

51. المدارات فسر لماذا لا يتعارض دوران كوكب حول الشمس مع نظرية الشغل والطاقة؟

بافتراض أن المدار دائري، تكون قوة الجاذبية متعامدة مع اتجاه الحركة. وهذا يعني أن الشغل المبذول يساوي صفرًا. وحيث إنه لا يوجد تغير في الطاقة الحركية للكوكب، فإن سرعته لا تتزايد ولا تتناقص.

52. المطرقة ذات الكماشة تستخدم المطرقة ذات الكماشة لسحب مسمار من قطعة خشب كما في **الشكل 16–3**. فأين ينبغي أن تضع يدك على المقبض؟ وأين ينبغي أن يكون موقع المسمار بالنسبة لطرفي الكماشة لجعل القوة (المسلطة) أقل ما يمكن؟

■ الشكل 16–3

يجب أن تكون يدك بعيدة قدر الإمكان عن رأس المطرقة لجعل d_e كبيرة ما أمكن. ويجب أن يكون المسمار قريبًا إلى الرأس قدر الإمكان لجعل d_r صغيرة ما أمكن.

إتقان حل المسائل

صفحة 98–95

1–3 الطاقة والشغل

صفحة 97–95

53. يبلغ ارتفاع الطابق الثالث لمنزل 8 m فوق مستوى الشارع. ما مقدار الشغل اللازم لنقل ثلاجة كتلتها 150 kg إلى الطابق الثالث؟

$$W = Fd = mgd$$

$$= (150\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(8\ \text{m})$$

$$= 1\times10^4\ \text{J}$$

54. يبذل ماهر شغلاً مقداره 176 J لرفع نفسه مسافة 0.300 m. ما كتلة ماهر؟

$$W = Fd = mgd$$

لذا فإن

$$m = \frac{W}{gd} = \frac{176\ \text{J}}{(9.80\ \text{m/s}^2)(0.300\ \text{m})}$$

$$= 59.9\ \text{kg}$$

55. كرة قدم بعد أن سجل لاعبٌ كتلته 84.0 kg هدفًا، قفز مسافة 1.20 m فوق سطح الأرض فرحًا. ما الشغل الذي بذله اللاعب؟

$$W = Fd = mgd$$

$$= (84.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.20\ \text{m})$$

$$= 988\ \text{J}$$

56. لعبة شد الحبل بذل الفريق A خلال لعبة شد الحبل شغلاً مقداره 2.20×10^3 J عند سحب الفريق B مسافة 2.00 m، فما مقدار القوة التي أثر بها الفريق A؟

$W = Fd$

لذا فإن

$$F = \frac{W}{d} = 2.20\times10^3\ \text{J} / 2.00\ \text{m} = 1.10\times10^3\ \text{N}$$

57. تسير سيارة بسرعة ثابتة، في حين يؤثر محركها بقوة مقدارها 551 N لموازنة قوة الاحتكاك، والمحافظة على ثبات السرعة. ما مقدار الشغل الذي تبذله السيارة ضد قوة الاحتكاك عند انتقالها بين مدينتين تبعدان مسافة 161 km إحداهما عن الأخرى؟

$$W = Fd = (551\ \text{N})(1.61\times10^5\ \text{m})$$

$$= 8.87\times10^7\ \text{J}$$

58. قيادة الدراجة يؤثر سائق دراجة هوائية بقوة مقدارها 15.0 N عندما يقود دراجته مسافة 251 m لمدة 30.0 s. ما مقدار القدرة التي ولّدها؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t}$$

$$= \frac{(15.0\ \text{N})(2.51\ \text{m})}{30.0}$$

$$= 126\ \text{W}$$

59. يرفع أمين مكتبة كتابًا كتلته 2.2 kg من الأرض إلى ارتفاع 1.25 m، ثم يحمل الكتاب ويسير مسافة 8.0 m إلى رفوف المكتبة، ويضع الكتاب على رف يرتفع مسافة 0.35 m فوق مستوى الأرض. ما مقدار الشغل الذي بذله على الكتاب؟ **يؤخذ في الحسبان الإزاحة الرأسية المحصلة فقط.**

$$W = Fd = mgd$$

$$= (2.2\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.35\ \text{m})$$

$$= 7.5\ \text{J}$$

60. تستخدم قوة مقدارها 300.0 N لدفع جسم كتلته 145 kg أفقيًّا مسافة 30.0 m خلال 3.00 s.

a. احسب مقدار الشغل المبذول على الجسم.

$$W = Fd = (300.0\ \text{N})(30.0\ \text{m})$$

$$= 9.00\times10^3\ \text{J}$$

$$= 9.00\ \text{kJ}$$

b. احسب مقدار القدرة المتولدة.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{9.00\times10^3\ \text{J}}{3.00\ \text{s}}$$

$$= 3.00\times10^3\ \text{W}$$

$$= 3.00\ \text{kW}$$

61. العربة يتم سحب عربة عن طريق التأثير في مقبضها بقوة مقدارها 38.0 N، وتصنع زاوية 42.0° مع خط الأفق، فإذا سحبت العربة بحيث أكملت مسارًا دائريًّا نصف قطره 25.0 m، فما مقدار الشغل المبذول؟

$$W = Fd\cos\theta$$

$$= (F)(2\pi r)\cos\theta$$

$$= (38.0\ \text{N})(2\pi)(25.0\ \text{m})(\cos 42.0°)$$

$$= 4.44\times10^3\ \text{J}$$

62. مجزّ العشب يدفع عامل مجز عشب بقوة مقدارها 88.0 N، مؤثرًا في مقبضه الذي يصنع زاوية 41.0° على الأفقي. ما مقدار الشغل الذي يبذله العامل في تحريك المِجزّ مسافة 1.2 km لجزّ العشب في فناء المنزل؟

$$W = Fd\cos\theta$$

$$= (88.0\ \text{N})(1.2\times10^3\ \text{m})(\cos 41.0°)$$

$$= 8.0\times10^4\ \text{J}$$

63. يلزم بذل شغل مقداره 1210 J لسحب قفص كتلته 17.0 kg مسافة 20.0 m. فإذا تم إنجاز الشغل بربط القفص بحبل وسحبه بقوة مقدارها 75.0 N، فما مقدار زاوية ربط الحبل بالنسبة للأفقي؟

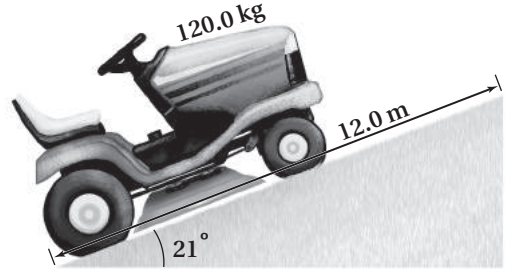
$$W = Fd\cos\theta$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{W}{Fd}\right)$$

$$= \cos^{-1}\left(\frac{1210\text{ J}}{(75.0\text{ N})(20.0\text{ m})}\right)$$

$$= 36.2^\circ$$

64. جرّار زراعي يصعد جرّار زراعي كتلته 120 kg أعلى طريق مائل بزاوية 21° على الأفقي كما في **الشكل 17–3**، فإذا قطع الجرار مسافة 12.0 m بسرعة ثابتة خلال 2.5 s، فاحسب القدرة التي أنتجها الجرّار.



■ الشكل 17–3

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd\sin\theta}{t} = \frac{mgd\sin\theta}{t}$$

$$= \frac{(120\text{ kg})\ (9.80\text{ m/s}^2)(12.0\text{ m})(\sin 21^\circ)}{2.5\text{ s}}$$

$$= 2.0\times10^3\text{ W} = 2.0\text{ kW}$$

65. إذا كنت تدفع صندوقًا إلى أعلى مستوى يميل بزاوية 30.0° على الأفقي عن طريق التأثير فيه بقوة مقدارها 225 N في اتجاه موازٍ للمستوى المائل، فتحرك الصندوق بسرعة ثابتة، وكان معامِل الاحتكاك يساوي 0.28، فما مقدار الشغل الذي بذلته على الصندوق إذا كانت المسافة الرأسية المقطوعة 1.15 m؟

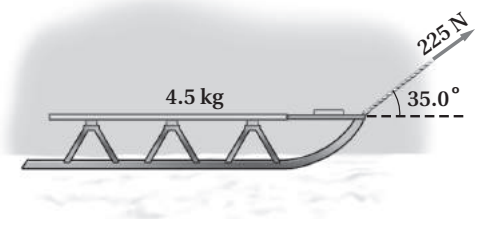
***F* و *d* متوازيان، لذا فإن**

$$W = Fd = F\left(\frac{h}{\sin\theta}\right)$$

$$= \frac{(225\text{ N})(1.15\text{ m})}{\sin 30.0^\circ}$$

$$= 518\text{ J}$$

66. زلاّجة يسحب شخص زلاجة كتلتها 4.5 kg على جليد بقوة مقدارها 225 N بحبل يميل بزاوية 35.0° على الأفقي كما في **الشكل 18–3**. فإذا تحركت الزلاجة مسافة 65.3 m، فما مقدار الشغل الذي بذله الشخص؟



■ الشكل 18–3

$$W = Fd\cos\theta$$

$$= (225\text{ N})(65.3\text{ m})(\cos 35.0^\circ)$$

$$= 1.20\times10^4\text{ J}$$

67. درج كهربائي يقف شخص كتلته 52 kg على درج كهربائي طوله 227 m، ويميل 31° على الأفقي في متنزه المحيط في مدينة هونج كونج والذي يعد أطول درج كهربائي في العالم. ما مقدار الشغل الذي يبذله الدرج على الشخص؟

$$W = Fd\sin\theta = mgd\sin\theta$$

$$= (52\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(227\text{ m})(\sin 31^\circ)$$

$$= 6.0\times10^4\text{ J}$$

تابع الفصل 3

68. مدحلة العشب تُدفع مدحلة عشب بقوة مقدارها 115 N في اتجاه مقبضها الذي يميل بزاوية 22.5° على الأفقي، فإذا أنتجت قدرة 64.6 W لمدة 90.0 s، فما مقدار المسافة التي دفعتها المدحلة؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd\cos\theta}{t}$$

لذا فإن:

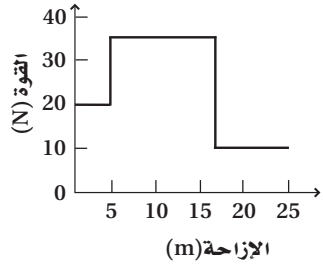
$$d = \frac{Pt}{F\cos\theta}$$

$$= \frac{(64.6\ \text{W})(90.0\ \text{s})}{(115\ \text{N})(\cos 22.5°)}$$

$$= 54.7\ \text{m}$$

69. يدفع عامل صندوقًا على أرضية مصنع متغيرة الخشونة بقوة أفقية، حيث يجب على العامل أن يؤثر بقوة مقدارها 20 N لمسافة 5 m، ثم بقوة مقدارها 35 N لمسافة 12 m، وأخيرًا يؤثر بقوة مقدارها 10 N مسافة 8 m.

a. ارسم المنحنى البياني للقوة – المسافة.



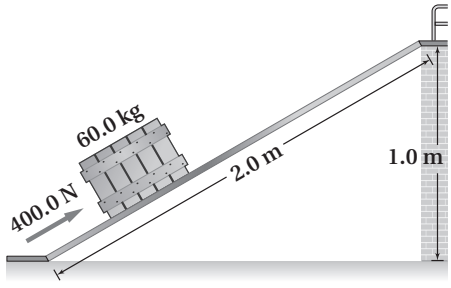
b. ما مقدار الشغل الذي بذله العامل لدفع الصندوق؟

$$W = F_1 d_1 + F_2 d_2 + F_3 d_3$$

$$= (20\ \text{N})(5\ \text{m}) + (35\ \text{N})(12\ \text{m}) + (10\ \text{N})(8\ \text{m})$$

$$= 600\ \text{J}$$

70. يدفع شخص صندوقًا كتلته 60.0 kg إلى أعلى مستوى مائل طوله 2.0 m متصل بمنصة أفقية ترتفع 1.0 m فوق مستوى الأرض، كما في **الشكل 19–3**. حيث تلزم قوة مقدارها 400.0 N تؤثر في اتجاه يوازي المستوى المائل لدفع الصندوق إلى أعلى المستوى بسرعة ثابتة المقدار.



■ **الشكل 19–3**

a. ما مقدار الشغل الذي بذله الشخص في دفع الصندوق إلى أعلى المستوى المائل؟

$$W = Fd = (400.0\ \text{N})(2.0\ \text{m}) = 8.0\times10^{2}\ \text{J}$$

b. ما مقدار الشغل الذي يبذله الشخص إذا رفع الصندوق رأسيًّا إلى أعلى من سطح الأرض إلى المنصة؟

$$W = Fd = mgd$$

$$= (60.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.0\ \text{m})$$

$$= 5.9\times10^{2}\ \text{J}$$

71. محرك القارب يدفع محركٌ قاربًا على سطح الماء بسرعة ثابتة مقدارها 15 m/s، ويجب أن يؤثر المحرك بقوة مقدارها 6.0 kN ليوازن قوة مقاومة الماء لحركة القارب. ما قدرة محرّك القارب؟

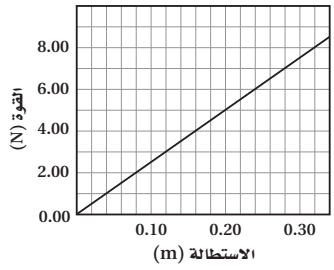
$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = Fv$$

$$= (6.0\times10^{3}\ \text{N})(15\ \text{m/s})$$

$$= 9.0\times10^{4}\ \text{W} = 9.0\times10^{1}\ \text{kW}$$

تابع الفصل 3

72. يوضح الرسم البياني في **الشكل 20–3** منحنى القوة –الاستطالة (المسافة التي يستطيلها النابض تحت تأثير القوة) لنابض معين.



■ **الشكل 20–3**

a. احسب ميل المنحنى البياني k، وبين أن $F = kd$، حيث $k = 25\ N/m$.

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{5.00\ N - 0.00\ N}{0.20\ m - 0.00\ m}$$

$$F_1 = kd_1$$

أفترض أن

$$d_1 = 0.20\ m$$

ومن الرسم البياني

$$F_1 = 5.00\ N$$

لذا فإن

$$k = \frac{F_1}{d_1}$$

$$= \frac{5.00\ N}{0.20\ m} = 25\ N/m$$

b. احسب مقدار الشغل المبذول في استطالة النابض من 0.00 m إلى 0.20 m، وذلك بحساب المساحة تحت المنحنى البياني من 0.00 m إلى 0.20 m.

$$A = \frac{1}{2}\text{(القاعدة)(الارتفاع)}$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(0.20\ m)(5.00\ N)$$

$$= 0.50\ J$$

c. بين أن إجابة الفرع (b) يمكن التوصل إليها باستخدام المعادلة $W = \frac{1}{2}kd^2$، حيث تمثل W الشغل، و $k = 25\ N/m$ (ميل المنحنى البياني)، و d مسافة استطالة النابض (0.20 m).

$$W = \frac{1}{2}kd^2 = \left(\frac{1}{2}\right)(25\ N/m)(0.20\ m)^2$$

$$= 0.50\ J$$

73. استخدم الرسم البياني في **الشكل 20–3** لإيجاد الشغل اللازم لاستطالة النابض من 0.12 m إلى 0.28 m.

اجمع مساحة كلٍّ من المثلث والمستطيل، علمًا بأن مساحة المثلث تساوي:

$$\frac{1}{2}bh = \frac{1}{2}(0.28\ m - 0.12\ m)(7.00\ N - 3.00\ N)$$

$$= 0.32\ J$$

ومساحة المستطيل تساوي:

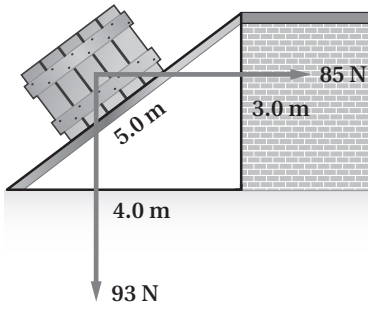
$$bh = (0.28\ m - 0.12\ m)(3.00\ N - 0.00\ N)$$

$$= 0.48\ J$$

الشغل الكلي يساوي:

$$0.32\ J + 0.48\ J = 0.80\ J$$

74. يدفع عامل صندوقًا يزن 93 N إلى أعلى مستوى مائل، لكن اتجاه دفع العامل أفقي يوازي سطح الأرض. انظر **الشكل 21–3**.



■ **الشكل 21–3**

a. إذا أثر العامل بقوة مقدارها 85 N، فما مقدار الشغل الذي يبذله؟

مقدار الإزاحة التي في اتجاه القوة تساوي 4.0 m؛ لذا فإن

$$W = Fd = (85\ N)(4.0\ m)$$

$$= 3.4 \times 10^2\ J$$

b. ما مقدار الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية؟ (انتبه إلى الإشارات التي تستخدمها)

مقدار الإزاحة التي في اتجاه القوة تساوي $-3.0\ \text{m}$،

لذا فإن

$$W = Fd = (93\ \text{N})(-3.0\ \text{m})$$

$$= -2.8\times10^{2}\ \text{J}$$

c. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي 0.20، فما مقدار الشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك؟ (انتبه إلى الإشارات التي تستخدمها).

$$W = \mu F_N d = \mu(F_{\text{العامل},\perp} + F_{g,\perp})d$$

$$= 0.20[(85\ \text{N})(\sin\theta) + (93\ \text{N})(\cos\theta)](-5.0\ \text{m})$$

$$= 0.20\left[(85\ \text{N})\left(\frac{3.0}{5.0}\right) + (93\ \text{N})\left(\frac{4.0}{5.0}\right)\right](-5.0\ \text{m})$$

$$= -1.3\times10^{2}\ \text{J}\ \text{(الشغل المبذول ضد قوة الاحتكاك)}$$

75. مضخة الزيت تضخ مضخة $0.550\ \text{m}^3$ من الزيت خلال 35.0 s في برميل يقع على منصة ترتفع 25.0 m فوق مستوى أنبوب السحب. فإذا كانت كثافة الزيت $0.820\ \text{g/cm}^3$، فاحسب:

a. الشغل الذي تبذله المضخة.

الشغل المبذول يساوي

$$W = F_g d = mgh$$

$$= (\text{الكثافة})(\text{الحجم})gh$$

$$= (0.550\ \text{m}^3)(0.820\ \text{g/cm}^3)\left(\frac{1.0\ \text{kg}}{1000\ \text{g}}\right)(1.00\times10^{6}\ \text{cm}^3/\text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)(25.0\ \text{m})$$

$$= 1.10\times10^{5}\ \text{J}$$

b. القدرة التي تولدها المضخة.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1.10\times10^{5}\ \text{J}}{35.0\ \text{s}}$$

$$= 3.14\times10^{3}\ \text{W} = 3.14\ \text{kW}$$

تابع الفصل 3

76. حزام نقل يُستخدم حزام نقل طوله 12.0 m يميل بزاوية 30.0° على الأفقي؛ لنقل حزم من الصحف من غرفة البريد إلى مبنى الشحن. فإذا كانت كتلة كل صحيفة 1.0 kg، وتتكون كل حزمة من 25 صحيفة، فاحسب القدرة التي يولدها حزام النقل إذا كان ينقل 15 حزمة في الدقيقة.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = \frac{mgd}{t}$$

$$= (\text{25 صحيفة})(\text{15 حزمة/min})\,(\text{1.0 kg/صحيفة})(9.80\ \text{m/s}^2)\,(12.0\ \text{m})(\sin 30.0°)(1\ \text{min}/60\ \text{s})$$

$$= 3.7\times10^{2}\ \text{W}$$

77. تسير سيارة على الطريق بسرعة ثابتة مقدارها 76 km/h. فإذا كان محرك السيارة يولد قدرة مقدارها 48 kW، فاحسب متوسط القوة التي تقاوم حركة السيارة.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = Fv$$

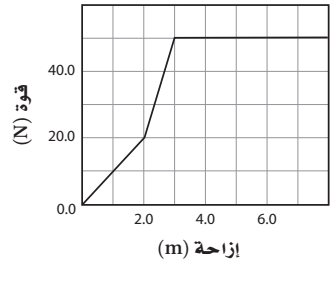
لذا فإن:

$$F = \frac{P}{v}$$

$$= \frac{48000\ \text{W}}{\left(\frac{76\ \text{km}}{1\ \text{h}}\right)\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right)}$$

$$= 2.3\times10^{3}\ \text{N}$$

78. يوضح الرسم البياني في **الشكل 22–3** منحنى القوة والإزاحة لعملية سحب جسم.



■ الشكل 22–3

a. احسب الشغل المبذول لسحب الجسم مسافة 7.0 m.

أوجد المساحة تحت المنحنى (انظر الرسم البياني)

0.0 – 2.0 m:

$$W_1 = \frac{1}{2}\,(20.0\ \text{N})(2.0\ \text{m}) = 2.0\times10^{1}\ \text{J}$$

2.0 m – 3.0 m:

$$W_2 = \frac{1}{2}(30.0\text{ N})(1.0\text{ m}) + (20\text{ N})(1.0\text{ m})$$
$$= 35\text{ J}$$

3.0 m – 7.0 m:

$$W_3 = (50.0\text{ N})(4.0\text{ m})$$
$$= 2.0\times10^2\text{ J}$$

الشغل الكلي:

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$
$$= 2.0\times10^1\text{ J} + 35\text{ J} + 2.0\times10^2\text{ J}$$
$$= 2.6\times10^2\text{ J}$$

b. احسب القدرة المتولدة إذا تم إنجاز الشغل خلال 2.0 s.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{2.6\times10^2\text{ J}}{2.0\text{ s}} = 1.3\times10^2\text{ W}$$

3–2 الآلات

صفحة 98–97

79. رفع شخص صندوقًا وزنه 1200 N مسافة 5.00 m باستخدام مجموعة بكرات، بحيث سحب 20.0 m من الحبل، فما مقدار:

a. القوة (المسلّطة) التي سيطبقها شخص إذا كانت هذه الآلة مثالية؟

$$\frac{F_r}{F_e} = \frac{d_e}{d_r}$$

لذا فإن

$$F_e = \frac{F_r d_r}{d_e} = \frac{(1200\text{ N})(5.00\text{ m})}{20.0\text{ m}}$$
$$= 3.0\times10^2\text{ N}$$

b. القوة المستخدمة لموازنة قوة الاحتكاك إذا كانت القوة الفعلية (المسلّطة) 340 N؟

$$F_e = F_f + F_{e,\text{المثالي}}$$

$$F_f = F_e - F_{e,\text{المثالي}}$$
$$= 340\text{ N} - 3.0\times10^2\text{ N}$$
$$= 40\text{ N}$$

c. الشغل الناتج؟

$$W_o = F_r d_r = (1200\text{ N})(5.00\text{ m})$$
$$= 6.0\times10^3\text{ J}$$

d. الشغل المبذول؟

$$W_i = F_e d_e = (340\text{ N})(20.0\text{ m})$$
$$= 6.8\times10^3\text{ J}$$

e. الفائدة الميكانيكية؟

$$MA = \frac{F_r}{F_e} = \frac{1200\text{ N}}{340\text{ N}} = 3.5$$

80. الرافعة تُعد الرافعة آلة بسيطة ذات فاعلية كبيرة جدًّا؛ وذلك بسبب ضآلة قوة الاحتكاك فيها، فإذا استخدمت رافعة فاعليتها 90%، فما مقدار الشغل اللازم بذله لرفع جسم كتلته 18.0 kg مسافة 0.50 m؟

$$e = \frac{W_o}{W_i}\times100$$

$$W_i = \frac{(W_o)(100)}{e} = \frac{(mgd)(100)}{90.0}$$
$$= \frac{(18.0\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(0.50\text{ m})(100)}{90.0}$$
$$= 98\text{ J}$$

81. يستخدم نظام بكرة لرفع جسم وزنه 1345 N مسافة 0.975 m، حيث يسحب شخص الحبل مسافة 3.90 m عن طريق التأثير فيه بقوة مقدارها 375 N.

a. ما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية للنظام؟

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} = \frac{3.90\text{ m}}{0.975\text{ m}}$$
$$= 4.00$$

b. ما مقدار الفائدة الميكانيكية؟

$$MA = \frac{F_r}{F_e} = \frac{1345\text{ N}}{375\text{ N}}$$
$$= 3.59$$

c. ما كفاءة النظام؟

$$e = \frac{MA}{IMA} \times 100$$

$$= \frac{3.59}{4.00} \times 100$$

$$= 89.8\%$$

82. تؤثر قوة مقدارها 1.4 N مسافة 40.0 cm في حبل متصل برافعة لرفع جسم كتلته 0.50 kg مسافة 10.0 cm. احسب كلاً مما يلي:

a. الفائدة الميكانيكية MA.

$$MA = \frac{F_r}{F_e} = \frac{mg}{F_e}$$

$$= \frac{(0.50\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{1.4\ \text{N}}$$

$$= 3.5$$

b. الفائدة الميكانيكية المثالية IMA.

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} = \frac{40.0\ \text{cm}}{10.0\ \text{cm}} = 4.00$$

c. الكفاءة.

$$e = \frac{MA}{IMA} \times 100$$

$$= \frac{3.5}{4.00} \times 100 = 88\%$$

83. يؤثر طالب بقوة مقدارها 250 N في رافعة، مسافة 1.6 m فيرفع صندوقًا كتلته 150 kg. فإذا كانت كفاءة الرافعة 90% ، فاحسب المسافة التي ارتفعها الصندوق؟

$$\text{e} = 90 = \frac{MA}{IMA} \times 100 = \frac{\frac{F_r}{F_e}}{\frac{d_e}{d_r}} \times 100$$

$$= \frac{F_r d_r}{F_e d_e} \times 100$$

لذا فإن:

$$d_r = \frac{\text{e}F_e d_e}{100 F_r} = \frac{\text{e}F_e d_e}{100\ mg}$$

$$= \frac{(90.0)(250\ \text{N})(1.6\ \text{m})}{(100)(150\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 0.24\ \text{m}$$

84. ما مقدار الشغل اللازم لرفع جسم كتلته 215 kg مسافة 5.65 m باستخدام آلة كفاءتها 72.5%؟

$$e = \frac{W_o}{W_i} \times 100$$

$$= \frac{F_r d_r}{W_i} \times 100$$

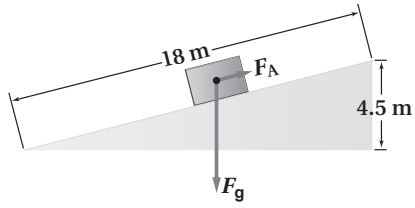
$$= \frac{mgd_r}{W_i} \times 100$$

$$W_i = \frac{mgd_r}{e} \times 100$$

$$= \frac{(215\ kg)(9.80\ m/s^2)(5.65\ m)(100)}{72.5}$$

$$= 1.64 \times 10^4\ J$$

85. إذا كان طول المستوى المائل 18 m كما في **الشكل 23–3**، وارتفاعه 4.5 m، فاحسب ما يأتي:



■ **الشكل 23–3**

a. مقدار القوة الموازية للمستوى المائل F_A اللازمة لسحب صندوق كتلته 25 kg بسرعة ثابتة إلى أعلى المستوى المائل إذا أهملنا قوة الاحتكاك.

$$W = F_g d = mgh$$

لذا فإن:

$$F = F_g = \frac{mgh}{d}$$

$$= \frac{(25\ kg)(9.80\ m/s^2)(4.5\ m)}{18\ m}$$

$$= 61\ N$$

b. الفائدة الميكانيكية المثالية للمستوى المائل.

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} = \frac{18\ m}{4.5\ m} = 4.0$$

c. الفائدة الميكانيكية الحقيقية MA وكفاءة المستوى المائل إذا لزمت قوة مقدارها 75 N في اتجاه موازٍ لسطح المستوى المائل لإنجاز العمل.

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

$$= \frac{mg}{F_e} = \frac{(25\ kg)(9.80\ m/s^2)}{75\ N} = 3.3$$

$$e = \frac{MA}{IMA} \times 100$$

$$= \frac{3.3}{4.0} \times 100 = 82\%$$

86. الدراجة الهوائية يُحرك صبي دوّاسات (بدّالات) دراجة هوائية نصف قطر ناقل الحركة فيها 5.00 cm، ونصف قطر إطارها 38.6 cm كما في **الشكل 24–3**، فإذا دار الإطار دورة واحدة، فما طول السلسلة المستخدمة؟

■ **الشكل 24–3**

$$d = 2\pi r = 2\pi(5.00\ cm) = 31.4\ cm$$

87. الونش يشغل محرك كفاءته 88% ونشًا كفاءته 42%، فإذا كانت القدرة المزوّدة للمحرك 5.5 kW، فما السرعة الثابتة التي يرفع فيها الونش صندوقًا كتلته 410 kg؟

$$\text{الكفاءة الكلية} = (88\%)(42\%) = 37\%$$

$$\text{القدرة المفيدة} = (5.5\ kW)(37\%)$$

$$= 2.0\ kW$$

$$= 2.0 \times 10^3 W$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = F\left(\frac{d}{t}\right) = Fv$$

$$v = \frac{P}{F_g} = \frac{P}{mg} = \frac{2.0 \times 10^3\ \text{W}}{(410\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 0.50\ \text{m/s}$$

88. تتكون آلة مركّبة من رافعة متصلة بنظام بكرات. فإذا كانت هذه الآلة المركّبة في حالتها المثالية تتكون من رافعة فائدتها الميكانيكية المثالية 3.0، ونظام بكرة فائدتها الميكانيكية المثالية 2.0

a. فأثبت أن الفائدة الميكانيكية المثالية IMA للآلة المركّبة تساوي 6.0.

$$W_{i1} = W_{o1} = W_{i2} = W_{o2}$$

$$W_{i1} = W_{o2}$$

$$F_{e1}\, d_{e1} = F_{r2}\, d_{r2}$$

بالنسبة إلى الآلة المركبة

$$IMA_{\text{مركبة}} = \frac{d_{e1}}{d_{r2}}$$

$$\frac{d_{e1}}{d_{r1}} = IMA_1,\ \frac{d_{e2}}{d_{r2}} = IMA_2$$

$$d_{r1} = d_{e2}$$

$$\frac{d_{e1}}{IMA_1} = d_{r1} = d_{e2} = (IMA_2)(d_{r2})$$

$$d_{e1} = (IMA_1)(IMA_2)(d_{r2})$$

$$\frac{d_{e1}}{d_{r2}} = IMA_{\text{مركبة}} = (IMA_1)(IMA_2)$$

$$= (3.0)(2.0) = 6.0$$

b. وإذا كانت كفاءة الآلة المركّبة 60%، فما مقدار القوة (المسلّطة) التي يجب التأثير بها في الرافعة لرفع صندوق وزنه 540 N؟

$$e = \frac{MA}{IMA} \times 100 = \frac{\frac{F_r}{F_e}}{IMA} \times 100$$

$$= \frac{(F_r)(100)}{(F_e)(IMA)}$$

لذا فإن

$$F_e = \frac{(F_r)(100)}{(e)\ (IMA)}$$

$$= \frac{(540\ \text{N})(100)}{(60.0)(6.0)}$$

$$= 150\ \text{N}$$

c. إذا تحركت جهة تأثير القوة من الرافعة مسافة 12.0 cm، فما المسافة التي رُفع إليها الصندوق؟

$$\frac{d_{e1}}{d_{r2}} = IMA_{\text{مركبة}}$$

$$d_{r2} = \frac{d_{e1}}{IMA_C}$$

$$= \frac{12.0\ \text{cm}}{6.0}$$

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

مراجعة عامة

صفحة 98–99

89. المستويات المائلة إذا أرادت فتاة نقل صندوق إلى منصة ترتفع 2.0 m عن سطح الأرض، ولديها الخيار أن تستخدم مستوى مائلا طوله 3.0 m أو مستوى مائلا طوله 4.0 m، فأي المستويين ينبغي أن تستخدم الفتاة إذا أرادت أن تبذل أقل مقدار من الشغل، علمًا أن المستويين عديما الاحتكاك؟

يمكنها أن تستخدم أيًّا منهما؛ المسافة الرأسية فقط مهمة. إذا استخدمت الفتاة المستوى المائل الأطول فسوف تحتاج إلى قوة أقل. الشغل المبذول سوف يكون هو نفسه.

90. يرفع لاعب ثقلاً كتلته 240 kg مسافة 2.35 m.

a. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب لرفع الثقل؟

$$W = Fd = mgd$$

$$= (240\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(2.35\ \text{m})$$

$$= 5.5 \times 10^3\ \text{J}$$

b. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب للإمساك بالثقل فوق رأسه؟

$d = 0$، لذلك فإنه لا يبذُل شغلًا.

c. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب لإنزال الثقل مرة أخرى على الأرض؟

d معاكسة للحركة في الفرع a من هذا السؤال، لذا يكون W معاكسًا أيضًا، $-5.5\times10^3\ J$.

d. هل يبذل اللاعب شغلاً إذا ترك الثقل يسقط في اتجاه الأرض؟

لا، لا يؤثر بقوة، لذا فإنه لا يبذل شغلاً سواء أكان موجبًا أو سالبًا.

e. إذا رفع اللاعب الثقل خلال 2.5 s، فما مقدار قدرته على الرفع؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{5.5\times10^3\ J}{2.5\ s}$$

$$= 2.2\ kW$$

91. يتطلب جر صندوق عبر أرض أفقية بسرعة ثابتة قوة أفقية مقدارها 805 N. فإذا ربطت الصندوق بحبل، وسحبته، بحيث يميل الحبل بزاوية 32° على الأفقي

a. فما مقدار القوة التي تؤثر بها في الحبل؟

$$F_x = F\cos\theta$$

لذا فإن

$$F = \frac{F_x}{\cos\theta} = \frac{805\ N}{\cos 32°}$$

$$= 9.5\times10^2\ N$$

b. وما مقدار الشغل الذي بذلته على الصندوق إذا حركته مسافة 22 m؟

$$W = F_x d = (805\ N)(22\ m)$$

$$= 1.8\times10^4\ J$$

c. إذا حركت الصندوق خلال 8.0 s، فما مقدار القدرة الناتجة؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1.8\times10^4\ J}{8.0\ s} = 2.2\ kW$$

92. العربة والمستوى المائل تُستخدم عربة متحركة لنقل ثلاجة كتلتها 115 kg إلى منزل، وقد وضعت العربة التي تحمل الثلاجة على مستوى مائل، ثم سحبت بمحرك يسلط عليها قوة مقدارها 496 N، فإذا كان طول المستوى المائل 2.10 m، وارتفاعه 0.85 m، وكونت العربة والمستوى المائل آلة، فاحسب كلاً مما يأتي:

a. مقدار الشغل الذي يبذله المحرك.

$$W_i = Fd = (496\ N)(2.10\ m)$$

$$= 1.04\times10^3\ J$$

b. مقدار الشغل المبذول على الثلاجة من خلال الآلة.

d = الإزاحة إلى أعلى $= 0.850\ m$

$$W_o = F_g d = mgd$$

$$= (115\ kg)(9.80\ m/s^2)(0.850\ m)$$

$$= 958\ J$$

c. كفاءة الآلة.

$$e = \frac{W_o}{W_i}\times 100$$

$$= \frac{958\ J}{1.04\times10^3\ J}\times 100$$

$$= 92.1\%$$

تابع الفصل 3

93. تبذل سمر شغلاً مقداره 11.4 kJ، لجر صندوق خشبي بحبل مسافة 25.0 m على أرضية غرفة بسرعة ثابتة المقدار، حيث يصنع الحبل زاوية 48.0° على الأفقي.

a. ما مقدار القوة التي يؤثر بها الحبل في الصندوق؟

$$W = Fd\cos\theta$$

لذا فإن

$$F = \frac{W}{d\cos\theta} = \frac{11400\ \text{J}}{(25.0\ \text{m})(\cos 48.0°)}$$

$$= 681\ \text{N}$$

b. ما مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة في الصندوق؟

يتحرك الصندوق بسرعة ثابتة، لذا فإن قوة الاحتكاك تساوي المركبة الأفقية للقوة التي يؤثر بها الحبل في الصندوق.

$$f_k = F_x = F\cos\theta$$

$$= (681\ \text{N})(\cos 48.0°)$$

$$= 456\ \text{N, في عكس اتجاه الحركة}$$

c. ما مقدار الشغل المبذول من أرضية الغرفة بواسطة قوة الاحتكاك بين الأرض والصندوق؟

تكون القوة والإزاحة متعاكستين في الاتجاه، لذا فإن

$$W = -Fd = -(456\ \text{N})(25.0\ \text{m})$$

$$= -1.14\times10^4\ \text{J}$$

بسبب عدم وجود قوة محصلة تؤثّر في الصندوق، فإن الشغل المبذول على الصندوق يجب أن يكون مساويًا في المقدار ومعاكسًا في الإشارة للطاقة التي بذلتها أو حررتها سمر؛ أي -1.14×10^4 J.

94. تزلج سحبت مزلجة (عربة التنقل على الجليد) وزنها 845 N مسافة 185 m، حيث تطلبت هذه العملية بذل شغل مقداره 1.20×10^4 J عن طريق التأثير بقوة سحب مقدارها 125 N في حبل مربوط بالمزلجة. ما مقدار الزاوية التي يصنعها الحبل بالنسبة للأفقي؟

$$W = Fd\cos\theta$$

لذا فإن

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{W}{Fd}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{1.20\times10^4\ \text{J}}{(125\ \text{N})(185\ \text{m})}\right)$$

$$= 58.7°$$

95. يسحب ونش كهربائي صندوقًا وزنه 875 N إلى أعلى مستوى يميل بزاوية 15° على الأفقي وبسرعة مقدارها 0.25 m/s. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصندوق والمستوى المائل 0.45، فأجب عن الآتي:

a. ما القدرة التي أنتجها الونش؟

بُذل شغل على الصندوق من قِبل الونش، والجاذبية، والاحتكاك. وبما أن الطاقة الحركية للصندوق لم تتغير، فإن مجموع الشغل للمصادر الثلاثة السابقة يساوي صفرًا، ووفقًا لذلك فإن

$$W_{\text{الونش}} = W_{\text{الاحتكاك}} + W_{\text{الجاذبية}}$$

أو

$$P_{\text{الونش}} = P_{\text{الاحتكاك}} + P_{\text{الجاذبية}}$$

$$= \frac{\mu F_N d}{t} + \frac{F_g d \sin\theta}{t}$$

$$= \mu F_N\left(\frac{d}{t}\right) + F_g\left(\frac{d}{t}\right)\sin\theta$$

$$= \mu F_N v + F_g v \sin\theta$$

$$= (\mu F_g)(\cos\theta)(v) + F_g v \sin\theta$$

$$= (0.45)(875\ \text{N})(\cos 15°)\ (0.25\ \text{m/s}) + (875\ \text{N})(0.25\ \text{m/s})\ (\sin 15°)$$

$$= 1.52\times 10^2\ \text{W}$$

b. إذا كانت كفاءة الونش 85%، فما القدرة الكهربائية التي يجب تزويد الونش بها؟

$$e = \frac{W_o}{W_i} = \frac{P_o}{P_i}$$

لذا فإن

$$P_i = \frac{P_o}{e}$$

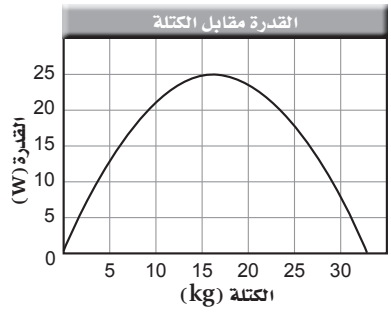
$$= 1.52 \times 10^2\ \text{W} / 0.85$$

$$= 1.79 \times 10^2\ \text{W}$$

التفكير الناقد

صفحة 100–99

96. حلّل ثم استنتج افترض أنك تعمل في مستودع، وتقوم بحمل صناديق إلى طابق التخزين الذي يرتفع 12 m فوق سطح الأرض، ولديك 30 صندوقًا كتلتها الكلية 150 kg يجب نقلها بأقصى سرعة ممكنة، ولتحقيق ذلك لديك أكثر من خيار؛ إذ يمكن أن تحمل صندوقين معًا في المرة الواحدة، كما يمكن أن تحمل أكثر من صندوقين، لكنك ستصبح بطيئًا، وترهق نفسك، مما يضطرك للإكثار من الاستراحات، ويمكن أيضًا أن تحمل صندوقًا واحدًا فقط في كل مرة، وبذلك تستهلك معظم طاقتك في رفع جسمك. إن القدرة (بوحدة الواط) التي يستطيع جسمك إنتاجها مدة طويلة تعتمد على الكتلة التي تحملها، كما في **الشكل 25–3**، الذي يعد مثالاً على منحنى القدرة الذي يطبق على الآلات كما يطبق على الإنسان. بالاعتماد على الشكل حدد عدد الصناديق التي ستحملها كل مرّة والتي تقلل الزمن المطلوب، وحدد كذلك الزمن الذي تقضيه في إنجاز هذا العمل. ملاحظة: أهمل الزمن اللازم لتعود إلى أسفل السلالم ورفع كل صندوق وإنزاله.



■ **الشكل 25–3**

الشغل الذي ينبغي بذله هو نفسه،

$$W = F_g d = mgd$$

$$= (150\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(12\ \text{m})$$

$$= 1.76\times10^4\ \text{J}$$

ومن خلال الرسم البياني؛ يتبيَّن أن القدرة القصوى تساوي 25 W وذلك عند 15 kg. ولما كانت كتلة الصندوق الواحد تساوي:

$$\frac{(150\ \text{kg})}{(\text{صندوق}30)} = 5\ \text{kg}$$

فإن كتلة الصناديق الثلاثة مجتمعة تساوي 15 kg.

$$P = \frac{W}{t}$$

لذا فإن

$$t = \frac{W}{t}$$

$$= \frac{1.76\times10^4\ \text{J}}{25\ \text{W}}$$

$$= 7.0\times10^2\ \text{s}$$

$$= 12\ \text{min}$$

97. تطبيق المفاهيم يجتاز عدّاء كتلته 75 kg مضمارًا طوله 50.0 m خلال 8.50 s. افترض أن تسارع العدّاء ثابت في أثناء السباق.

a. ما متوسط قدرة العدّاء خلال السباق؟

مع افتراض أن تسارع العدّاء ثابت تكون القوة ثابتة

$$d = d_i + v_i t + \frac{1}{2}at^2$$

وبما أن

$$d_i = v_i = 0$$

إذن:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = \frac{mad}{t} = \frac{m\left(\frac{2d}{t^2}\right)d}{t}$$

$$= \frac{2md^2}{t^3} = \frac{(2)(75\ \text{kg})(50.0\ \text{m})}{(8.50\ \text{s})^3}$$

$$= 6.1\times10^2\ \text{W}$$

b. وما أقصى قدرة يولدها العدّاء؟

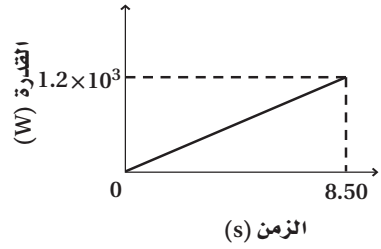
تزداد القدرة خطيًّا بدءًا من الصفر؛ وذلك لأن السرعة تزداد خطيًّا كما يتضح مما يلي:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = F\left(\frac{d}{t}\right) = Fv$$

لذا فإن

$$P_{\text{عظمى}} = 2P_{\text{متوسط}} = 1.2\times10^3\ \text{W}$$

c. ارسم منحنى بيانيًّا كميًّا للقدرة مقابل الزمن يمثل مسار السباق من بدايته لنهايته.



98. تطبيق المفاهيم إذا اجتاز العدّاء في السؤال السابق مضمار السباق نفسه (طوله 50.0 m) خلال الزمن نفسه (8.50 s)، لكنه هذه المرة تسارع في الثانية الأولى فقط، ثم أخذ يعدو خلال الزمن المتبقي للسباق بسرعة منتظمة، فاحسب ما يأتي:

a. متوسط القدرة المتولدة خلال الثانية الأولى.

مسافة الثانية الأولى + مسافة بقية السباق = 50.0 m

$$d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2} at^2$$

$$d_i = v_i = 0$$

$$d_f = \frac{1}{2} a(t_1)^2 + v_f(t_2) = 50.0\ \text{m}$$

السرعة المتجهة النهائية:

$$v_f = v_i + at$$

$$v_i = 0$$

$$v_f = at = a(t_1)$$

لذا فإن

$$d_f = \frac{1}{2} at_1^2 + at_1 t_2$$

$$= a\left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2\right)$$

$$a = \frac{d_f}{\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2}$$

$$= \frac{50.0\ \text{m}}{\left(\frac{1}{2}\right)(1.00\ \text{s})^2 + (1.00\ \text{s})(7.50\ \text{s})}$$

$$= 6.25\ \text{m/s}^2$$

بالنسبة إلى الثانية الأولى:

$$d = \frac{1}{2} at^2 = \left(\frac{1}{2}\right)(6.25\ \text{m/s}^2)(1.00\ \text{s})^2$$

$$= 3.12\ \text{m}$$

وبالاستعانة بحل المسألة السابقة

$$P = \frac{mad}{t}$$

$$P_{ave} = \frac{(75\text{kg})(6.25\ \text{m/s}^2)(3.12\ \text{m})}{1.00\ \text{s}}$$

$$= 1.5\times10^3\ \text{W}$$

b. أقصى قدرة يولّدها العدّاء؟

$$P_{max} = 2P_{ave} = 3.0\times10^3\text{W}$$

تابع الفصل 3

الكتابة في الفيزياء

صفحة 100

99. تُعد الدراجة الهوائية آلة مركّبة وكذلك السيارة أيضًا. أوجد كفاءة مكوّنات مجموعات القدرة (المحرك، وناقل الحركة، والإطارات)، واستكشف التحسينات الممكنة في كفاءة كل منها.

الكفاءة الإجمالية تساوي %(30–15). كفاءة ناقل الحركة تساوي %90 تقريبًا. احتكاك التدحرج في الإطارات %1 تقريبًا (نسبة قوة الدفع إلى الوزن المتحرك). إن أكبر زيادة يمكن تحقيقها في المحرك.

100. غالبًا ما تستخدم المصطلحات الآتية بوصفها مترادفات في الحياة اليومية: القوة، والشغل، والقدرة، والطاقة. احصل على أمثلة من الصحف والإذاعة والتلفاز تستخدم فيها هذه المصطلحات بمعانٍ مختلفة عن معانيها في الفيزياء.

ستتنوع الإجابات. فمثلا نقول: «إنها ليست مجرد طاقة، إنها قدرة» تظهر في المراجع الشائعة.

مراجعة تراكمية

صفحة 100

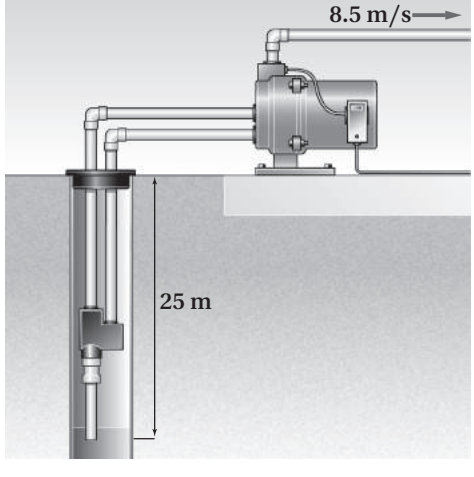
101. يقول بعض الناس أحيانًا إن القمر يبقى في مساره؛ لأن «قوة الطرد المركزي توازن تمامًا قوة الجذب المركزي، والنتيجة أن القوة المحصلة تساوي صفرًا». وضح مدى صحة هذا القول. (الفصل 1)

هناك قوة واحدة على القمر هي قوة الجاذبية للكتلة الأرضية المؤثّرة فيه. وهذه القوة المحصلة تؤدي إلى تسارع القمر وهو تسارع مركزي في اتجاه مركز الأرض.

مسألة تحفيز

صفحة 83

تسحب مضخة كهربائية الماء بمعدل $0.25\ m^3/s$ من بئر عمقها 25 m، فإذا كان الماء يتدفق خارجًا من المضخة بسرعة 8.5 m/s



(الأبعاد في الصورة ليست بمقياس رسم)

1. فما القدرة اللازمة لرفع الماء إلى السطح؟

الشغل المبذول في عملية الرفع يساوي $F_g d = mgd$؛ لذا فإن القدرة تساوي:

$$P_{\text{الرفع}} = \frac{W}{t} = \frac{F_g d}{t} = \frac{mgd}{t}$$

$$= \frac{(0.25\ m^3)(1.00 \times 10^3\ kg/m^3)(9.80\ m/s^2)(25\ m)}{1.0\ s}$$

$$P_{\text{الرفع}} = 6.1\times10^{4}\ \text{W}$$

$$= 61\ \text{kW}$$

2. وما القدرة اللازمة لزيادة الطاقة الحركية للمضخة؟

الشغل المبذول في زيادة الطاقة الحركية للمضخة يساوي $\frac{1}{2}mv^2$؛ لذا فإن:

$$P = \frac{W}{t}$$

$$= \frac{\Delta \text{KE}}{t}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}mv^2}{t}$$

$$= \frac{mv^2}{2t}$$

$$= \frac{(0.25\ \text{m}^3)(1.00\times10^3\ \text{k/gm}^3)(8.5\ \text{m/s})^2}{(2)(1.0\ \text{s})}$$

$$= 9.0\times10^3\ \text{W} = 9.0\ \text{kW}$$

3. إذا كانت كفاءة المضخة % 80، فما القدرة التي يجب تزويد المضخة بها؟

$$\text{e} = \frac{W_\text{o}}{W_\text{i}} \times 100$$

$$= \frac{\frac{W_\text{o}}{t}}{\frac{W_\text{i}}{t}} \times 100$$

$$= \frac{P_\text{o}}{P_\text{i}} \times 100$$

$$P_\text{i} = \frac{P_\text{o}}{\text{e}} \times 100 = \frac{9.0\times10^3\ \text{W}}{80} \times 100$$

$$= 1.1\times10^4\ \text{W}$$

$$= 11\ \text{kW}$$

مسائل تدريبية

4–1 الأشكال المتعددة للطاقة (صفحة 112–103)

صفحة 106

1. يتحرك متزلج كتلته 52.0 kg بسرعة 2.5 m/s، ويتوقف خلال مسافة 24.0 m ما مقدار الشغل المبذول بفعل الاحتكاك مع الجليد لجعل المتزلج يتوقف؟ وما مقدار الشغل الذي يجب على المتزلج أن يبذله ليصل إلى سرعة 2.5 m/s مرة أخرى؟

لجعل المتزلج يتوقف:

$$W = KE_f - KE_i$$

$$= \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$= \frac{1}{2}(52.0\text{ kg})(0.00\text{ m/s})^2 - \frac{1}{2}(52.0\text{ kg})(2.5\text{ m/s})^2$$

$$= -163\text{ J}$$

لزيادة سرعة المتزلج حتى تصبح 2.5 m/s مرة أخرى:

$$W = KE_f - KE_i$$

$$= \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$= \frac{1}{2}(52.0\text{ kg})(2.5\text{ m/s})^2 - \frac{1}{2}(52.0\text{ kg})(0.00\text{ m/s})^2$$

$$= +163\text{ J}$$

2. سيارة صغيرة كتلتها 875.0 kg زادت سرعتها من 22.0 m/s إلى 44.0 m/s عندما تجاوزت سيارة أخرى، فما مقدار طاقتي حركتها الابتدائية والنهائية؟ وما مقدار الشغل المبذول على السيارة لزيادة سرعتها؟

الطاقة الحركية الابتدائية للسيارة تساوي:

$$KE_i = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(875.5\text{ kg})(22.0\text{ m/s})^2$$

$$= 2.12\times10^5\text{ J}$$

الطاقة الحركية النهائية للسيارة تساوي:

$$KE_f = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(875.5\text{ kg})(44.0\text{ m/s})^2$$

$$= 8.47\times10^5\text{ J}$$

الشغل المبذول يساوي:

$$KE_f - KE_i = 8.47\times10^5\text{ J} - 2.12\times10^5\text{ J}$$

$$= 6.35\times10^5\text{ J}$$

3. ضرب مذنب كتلته 7.85×10^{11} kg الأرض بسرعة 25.0 km/s. أوجد الطاقة الحركية للمذنب بوحدة الجول، وقارن بين الشغل المبذول من الأرض لإيقاف المذنب والمقدار 4.2×10^{15} J والذي يمثل الطاقة الناتجة عن أكبر سلاح نووي على الأرض.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(7.85\times10^{11}\text{ kg})(2.50\times10^4\text{ m/s})^2$$

$$= 2.45\times10^{20}\text{ J}$$

$$\frac{KE_{\text{المذنب}}}{KE_{\text{القنبلة}}} = \frac{2.45\times10^{20}\text{ J}}{4.2\times10^{15}\text{ J}} = 5.8\times10^4$$

يلزم 5.8×10^4 قنبلة لتوليد المقدار نفسه من الطاقة التي استخدمت من قبل الأرض لإيقاف المذنب.

صفحة 110

4. ما مقدار طاقة الوضع لكرة البولنج في المثال 1، عندما تكون على سطح الأرض، على اعتبار مستوى الإسناد عند سلة الكرات؟

$$PE = mgh$$

$$= (7.30\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(-0.610\text{ m})$$

$$= -43.6\text{ J}$$

5. احسب الشغل الذي تبذله عندما تُنزل بتمهلٍ كيسَ رمل كتلته 20.0 kg مسافة 1.20 m من شاحنة إلى الرصيف؟

$$W = Fd$$

$$= mg(h_f - h_i)$$

$$= (20.0\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(0.00\text{ m} - 1.20\text{ m})$$

$$= -2.35\times10^2\text{ J}$$

6. رفع طالب كتابًا كتلته 2.2 kg من فوق سطح طاولة ارتفاعها عن سطح الأرض 0.80 m، ثم وضعه على رف الكتب الذي يرتفع عن سطح الأرض مسافة 2.10 m. ما مقدار طاقة الوضع للكتاب بالنسبة إلى سطح الطاولة؟

$$PE = mg(h_f - h_i)$$

$$= (2.2\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(2.10\text{ m} - 0.80\text{ m})$$

$$= 28\text{ J}$$

7. إذا سقطت قطعة طوب كتلتها 1.8 kg من مدخنة ارتفاعها 6.7 m إلى سطح الأرض، فما مقدار التغير في طاقة وضعها؟

اختر مستوى الإسناد عند سطح الأرض.

$$\Delta PE = mg(h_f - h_i)$$
$$= (1.8\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.0\ \text{m} - 6.7\ \text{m})$$
$$= -1.2\times10^2\ \text{J}$$

8. رفع عامل صندوقًا كتلته 10.1 kg من الأرض إلى سطح طاولة ارتفاعها 1.1 m، ثم دفع الصندوق على سطح الطاولة مسافة 5.0 m، ثم أسقطه على الأرض. ما التغيرات في طاقة الصندوق؟ وما مقدار التغير في طاقته الكلية؟ (أهمل الاحتكاك).

لرفع الصندوق إلى الطاولة:

$$W = Fd$$
$$= mg(h_f - h_i)$$
$$= \Delta PE$$
$$= (10.1\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.1\ \text{m} - 0.0\ \text{m})$$
$$= 1.1\times10^2\ \text{J}$$

عند دفع الصندوق على الطاولة يكون $W = 0.0$؛ لأن الارتفاع لم يتغير ولأننا أهملنا الاحتكاك.

عند إسقاط الصندوق على الأرض فإن

$$W = Fd$$
$$= mg(h_f - h_i)$$
$$= \Delta PE$$
$$= (10.1\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.0\ \text{m} - 1.1\ \text{m})$$
$$= -1.1\times10^2\ \text{J}$$

مجموع التغير في الطاقة للحالات الثلاث يساوي:

$$1.1\times10^2\ \text{J} + 0.0\ \text{J} + (-1.1\times10^2\ \text{J}) = 0.0\ \text{J}$$

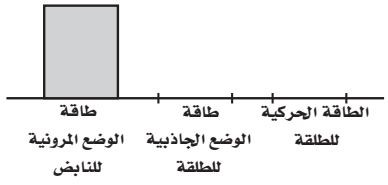
مراجعة القسم

1–4 الأشكال المتعددة للطاقة (صفحة 112–103)

صفحة 112

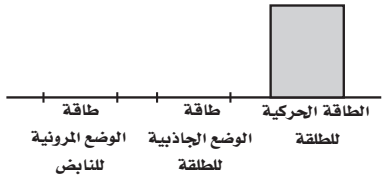
9. **طاقة الوضع المرونية** لديك مسدس لعبة، تدفع بداخله الطلقات المطاطية، فتضغط نابضًا، وعندما يتحرر النابض يطلق الرصاصات المطاطية، بفعل طاقة وضعه المرونية، إلى خارج المسدس. فإذا استخدمت هذا النظام لإطلاق الطلقات المطاطية إلى أعلى فارسم مخططًا بيانيًّا بالأعمدة يصف أشكال الطاقة في الحالات الآتية:

a. عند دفع الطلقات المطاطية داخل ماسورة المسدس، مما يؤدي إلى انضغاط النابض.



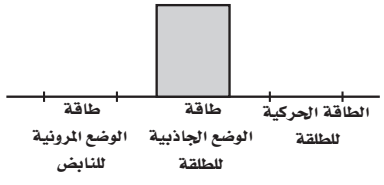
ينبغي أن يكون هناك ثلاثة أعمدة: أحدها لطاقة الوضع المرونية للنابض، والثاني لطاقة الوضع الجاذبية للطلقة، والثالث للطاقة الحركية للطلقة. ويكون عمود طاقة الوضع المرونية للنابض على مستوى الحد الأقصى، أما العمودان الآخران فيكون مستوى كل منهما يساوي صفرًا.

b. عند تمدد النابض وخروج الطلقات من ماسورة المسدس بعد سحب الزناد.



يكون عمود الطاقة الحركية في مستوى الحد الأقصى، أما العمودان الآخران فيكون مستوى كل منهما يساوي صفرًا.

c. عند وصول الطلقات إلى أقصى ارتفاع لها.



يكون عمود طاقة الوضع الجاذبية في مستوى الحد الأقصى، أما العمودان الآخران فيساوي مستوى كل منهما صفرًا.

تابع الفصل 4

10. طاقة الوضع أطلقت قذيفة كتلتها 25.0 kg من مدفع على سطح الأرض. فإذا كان مستوى الإسناد هو سطح الأرض فما مقدار طاقة الوضع للنظام عندما تصبح القذيفة على ارتفاع 425 m؟ وما التغير في طاقة الوضع عندما تصل القذيفة إلى ارتفاع 225 m؟

طاقة الوضع عند ارتفاع 425 m:

$$PE = mgh$$
$$= (25.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(425\ \text{m})$$
$$= 1.04\times10^5\ \text{J}$$

طاقة الوضع عند ارتفاع 225 m:

$$PE = mgh$$
$$= (25.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(225\ \text{m})$$
$$= 5.51\times10^4\ \text{J}$$

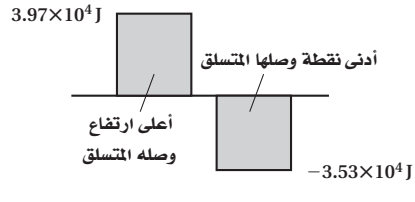
التغير في الطاقة يساوي:

$$(1.04\times10^5\ \text{J}) - (5.51\times10^4\ \text{J}) = 4.89\times10^4\ \text{J}$$

11. نظرية الشغل – الطاقة كيف تطبق نظرية الشغل – الطاقة عند رفع كرة البولنج من سلة الكرات إلى كتفك؟

الطاقة الحركية لكرة البولنج تساوي صفرًا عندما تكون مستقرة في حمالة الكرات، وتساوي صفرًا أيضًا عندما تكون عند مستوى الكتف بعد أن ترفعها؛ لذا فالشغل الكلي المبذول منك ومن الجاذبية على الكرة يجب أن يكون صفرًا.

12. طاقة الوضع متسلق صخور كتلته 90.0 kg تسلق في البداية 45.0 m فوق سطح طبقة صخرية ليصل إلى قمة التل، ثم هبط إلى نقطة تبعد 85.0 m أسفل قمة التل. فإذا كان سطح الطبقة الصخرية هو مستوى الإسناد، فجد طاقة الوضع الجاذبية للنظام (المتسلق والأرض) عند أعلى ارتفاع وصله المتسلق، وكذلك عند أدنى نقطة. وارسم مخططًا بيانيًّا بالأعمدة لكلا الوضعين.



$$PE = mgh$$

عند أعلى ارتفاع وصله المتسلق:

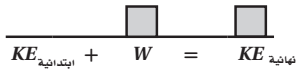
$$PE = (90.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(+45.0\ \text{m})$$
$$= 3.97\times10^4\ \text{J}$$

عند أدنى نقطة وصلها المتسلق:

$$PE = (90.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)\ (+45.0\ \text{m} - 85.0\ \text{m})$$
$$= -3.53\times10^4\ \text{J}$$

13. التفكير الناقد استخدم زياد خرطومًا هوائيًّا ليؤثر بقوة أفقية ثابتة في قرص مطاطي موجود فوق مضمار هوائي عديم الاحتكاك، فجعل الخرطوم مصوبًا على القرص طوال تحركه لمسافة محددة ليضمن التأثير بقوة ثابتة في أثناء حركة القرص.

a. وضح ما حدث بدلالة الشغل والطاقة، واستعن برسم مخططٍ بيانيٍّ بالأعمدة.



أثّر زياد بقوة ثابتة F خلال مسافة d، وبذل شغلا $W = Fd$ على القرص المطاطي. وهذا الشغل يغير الطاقة الحركية للقرص المطاطي بمقدار يساوي:

$$W = (KE_f - KE_i)$$
$$= \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$
$$= \frac{1}{2}mv_f^2$$

b. افترض أن زيادًا استخدم قرصًا مطاطيًّا آخر كتلته نصف كتلة القرص الأول، وبقيت الظروف كلها كما هي، فكيف تتغير طاقة الحركة والشغل في هذا الوضع عن الوضع الأول؟

إذا استخدم قرصًا مطاطيًّا آخر كتلته نصف كتلة القرص الأول فعندئذ يأخذ القرص المطاطي المقدار نفسه من الشغل، والتغير نفسه في الطاقة الحركية، لكنه يتحرك أسرع بمعامل مقداره 1.414.

c. وضّح ما حدث في a و b بدلالة الدفع والزخم.

ليس للقرصين المطاطيين الزخم النهائي نفسه.

زخم القرص المطاطي الأول يساوي:

$$p_1 = m_1 v_1$$

زخم القرص المطاطي الثاني يساوي:

$$p_2 = m_2 v_2$$

$$= \left(\frac{1}{2} m_1\right)(1.414 v_1)$$

$$= 0.707\, p_1$$

القرص المطاطي الثاني له زخم أقل من القرص الأول. ويتعرض القرص المطاطي الثاني لدفع أقل؛ وذلك لأن التغير في الزخم يساوي الدفع المزود بواسطة خرطوم الهواء.

مسائل تدريبية

4–2 حفظ الطاقة (صفحة 123–113)

صفحة 117

14. يقترب سائق دراجة من تل بسرعة 8.5 m/s. فإذا كانت كتلة السائق والدراجة 85.0 kg، فاختر نظام إسناد مناسب، ثم احسب طاقة الحركة الابتدائية للنظام. وإذا صعد السائق التل بالدرّاجة، فاحسب الارتفاع الذي ستتوقف عنده الدراجة بإهمال المقاومات.

النظام هو الدرّاجة + السائق + الأرض.

والطاقة الكلية محفوظة؛ لأنه لا يوجد قوى خارجية.

$$KE = \frac{1}{2} m v^2$$

$$= \frac{1}{2}(85.0\ \text{kg})(8.5\ \text{m/s})^2$$

$$= 3.1 \times 10^3\ \text{J}$$

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

$$\frac{1}{2} m v^2 + 0 = 0 + mgh$$

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{(8.5\ \text{m/s})^2}{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 3.7\ \text{m}$$

15. افترض أن السائق في السؤال السابق استمرّ في الحركة عن طريق التدوير المستمر للبدّالات (الدوّاسات)، ولم يتوقف، ففي أي نظام تعتبر الطاقة محفوظة؟ وأي أشكال الطاقة اكتسبت منها الدراجة طاقتها؟

يبقى نظام الأرض، والدراجة الهوائية والسائق كما هو، ولكن الطاقة الموجودة الآن ليست طاقة ميكانيكية فقط، بل يجب أخذ الطاقة الكيميائية المختزنة في جسم السائق في الاعتبار؛ فبعض هذه الطاقة يتحول إلى طاقة ميكانيكية.

16. بدأ متزلج بالانزلاق من السكون من قمة تل ارتفاعه 45.0 m يميل بزاوية 30° على الأفقي في اتجاه الوادي، ثم استمرّ في الحركة حتى وصل إلى التل الآخر الذي يبلغ ارتفاعه 40.0 m. حيث يقاس ارتفاع التلين بالنسبة لقاع الوادي. ما سرعة المتزلج عندما يمر بقاع الوادي، مع إهمال الاحتكاك وتأثير أعمدة التزلج؟ وما مقدار سرعة المتزلج عند أعلى التل الثاني؟ وهل لزاوية ميل التل أي تأثير في الجواب؟

عند قاع الوادي:

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

$$0 + mgh = \frac{1}{2} m v^2 + 0$$

$$v^2 = 2gh$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$= \sqrt{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)(45.0\ \text{m})}$$

$$= 29.7\ \text{m/s}$$

عند أعلى التل الثاني:

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

$$0 + mgh_i = \frac{1}{2} m v^2 + mgh_f$$

$$v^2 = 2g(h_i - h_f)$$

$$= \sqrt{2g(h_i - h_f)}$$

$$= \sqrt{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)(45.0\ \text{m} - 40.0\ \text{m})}$$

$$= 9.90\ \text{m/s}$$

لا يوجد لزاوية ميل التل أي تأثير.

17. تقرر في إحدى مسابقات الغوص أن يكون الرابح هو من يثير أكبر كمية من رذاذ الماء عندما يغوص فيه. ولا تعتمد كمية الرذاذ على طريقة الغواص فقط، وإنما على مقدار الطاقة الحركية للغواص أيضًا. وفي هذه المسابقة قفز جميع الغواصين عن عارضة غوص ارتفاعها 3.00 m، فإذا كانت كتلة أحدهم 136 kg وقام بحركته بأن ألقى نفسه عن العارضة ببساطة. أمّا الغواص الثاني فكانت كتلته 102 kg وقفز عن العارضة إلى أعلى، فما الارتفاع الذي يجب أن يصل إليه اللاعب الثاني حتى يثير رذاذًا مساويًا لما أثاره الغواص الأول؟

باستخدام سطح الماء بوصفه مستوى الإسناد، تكون الطاقة الحركية للغواص لحظة دخوله الماء مساوية لطاقة الوضع الجاذبية له عند أعلى نقطة وصلها في قفزته. فالغواص الذي كتلته أكبر له طاقة وضع جاذبية تساوي:

$$PE = mgh = (136\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(3.00\ \text{m})$$

$$= 4.00\times10^3\ \text{J}$$

ولمعادلة هذه الطاقة فإنه على الغواص الذي كتلته أصغر أن يقفز إلى ارتفاع يساوي:

$$h = \frac{4.00\times10^3\ \text{J}}{(102\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)} = 4.00\ \text{m}$$

لذا، فإن على الغواص الذي كتلته أصغر أن يقفز إلى أعلى ارتفاع فوق المنصة، 1.00 m.

صفحة 121

18. انطلقت رصاصة كتلتها 8.00 g أفقيًّا نحو قطعة خشبية كتلتها 9.00 kg موضوعة على سطح طاولة، واستقرت فيها، وتحركتا كجسم واحد بعد التصادم على سطح عديم الاحتكاك بسرعة 10.0 m/s. فما مقدار السرعة الابتدائية للرصاصة؟

حفظ الزخم:

$$mv = (m + M)v_f$$

أو

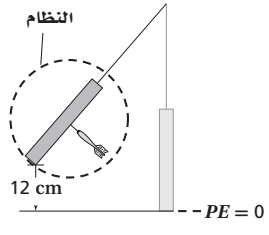
$$v = \frac{(m + M)v_f}{m}$$

$$= \frac{(0.00800\ \text{kg} + 9.00\ \text{kg})(0.100\ \text{m/s})}{0.00800\ \text{kg}}$$

$$= 1.13\times10^2\ \text{m/s}$$

19. هدف مغناطيسي كتلته 0.73 kg معلق بخيط، أُطلق سهم حديدي كتلته 0.0250 kg أفقيًّا في اتجاه الهدف، فاصطدم به، والتحما معًا، وتحركا كبندول ارتفع 12.0 cm فوق المستوى الابتدائي قبل أن يتوقف لحظيًّا عن الحركة.

a. مثّل الحالة (الوضع)، ثم اختر النظام.



يتضمن النظام الهدف المعلق والسهم.

b. حدّد الكمية الفيزيائية المحفوظة في كل جزء من أجزاء الحركة كلها، ثم فسر ذلك.

يكون الزخم فقط محفوظًا في التصادم العديم المرونة بين السهم والهدف؛ لذا فإن

$$mv_i + MV_i = (m + M)v_f$$

حيث تكون $v_i = 0$، أي الهدف في البداية ساكنًا، وتمثل v_f سرعة الجسمين بعد التصادم والالتحام. تكون الطاقة محفوظة في أثناء التحام السهم بالهدف وارتفاعهما إلى أعلى؛ لذا فإن $\Delta PE = \Delta KE$، أو عند أعلى ارتفاع للتأرجح

$$(m + M)gh_f = \frac{1}{2}(m + M)(v_f)^2$$

c. ما السرعة الابتدائية للسهم؟

حل بالنسبة إلى v_f

$$v_f = \sqrt{2gh_f}$$

عوض v_f في معادلة الزخم، وحل بالنسبة إلى v_i

$$v_i = \left(\frac{m + M}{m}\right)\sqrt{2gh_f}$$

$$= \left(\frac{0.025\ \text{kg} + 0.73\ \text{kg}}{0.025\ \text{kg}}\right)\left(\sqrt{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)(0.120\ \text{m})}\right)$$

$$= 46\ \text{m/s}$$

20. يتزلج لاعب كتلته 91.0 kg على الجليد بسرعة 5.50 m/s، ويتحرك لاعب آخر له الكتلة نفسها بسرعة 8.1 m/s في الاتجاه نفسه ليضرب اللاعب الأول من الخلف، ثم ينزلقان معًا.

a. احسب المجموع الكلي للطاقة، والمجموع الكلي للزخم في النظام قبل التصادم.

$$KE_i = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$$

$$= \frac{1}{2}(91.0\ \text{kg})(5.50\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(91.0\ \text{kg})(8.1\ \text{m/s})^2$$

$$= 4.4\times10^3\ \text{J}$$

$$p_i = m_1v_1 + m_2v_2$$

$$= (91.0\ \text{kg})(5.5\ \text{m/s}) + (91.0\ \text{kg})(8.1\ \text{m/s})$$

$$= 1.2\times10^3\ \text{kg.m/s}$$

b. ما مقدار سرعة اللاعبين بعد التصادم؟

بعد التصادم:

$$p_i = p_f$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_f$$

$$v_f = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_1}$$

$$= \frac{(91.0\ \text{kg})(5.50\ \text{m/s}) + (91.0\ \text{kg})(8.1\ \text{m/s})}{91.0\ \text{kg} + 91.0\ \text{kg}}$$

$$= 6.8\ \text{m/s}$$

c. ما مقدار الطاقة المفقودة في التصادم؟

الطاقة الحركية النهائية تساوي

$$KE_f = \frac{1}{2}(m_1 + m_2) v_f^2$$

$$= \frac{1}{2}(91.0\ \text{kg} + 91.0\ \text{kg})(6.8\ \text{m/s})^2$$

$$= 4.2 \times 10^3\ \text{J}$$

لذا فإن الطاقة المفقودة في التصادم تساوي

$$KE_i - KE_f = 4.4 \times 10^3\ \text{J} - 4.2 \times 10^3\ \text{J}$$

$$= 2 \times 10^2\ \text{J}$$

مراجعة القسم

4–2 حفظ الطاقة (صفحة 123–113)

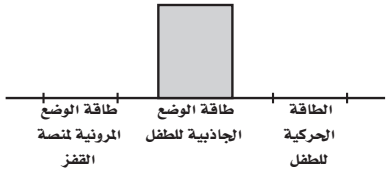
صفحة 123

21. النظام المغلق هل الأرض نظام مغلق ومعزول؟ دعّم إجابتك.

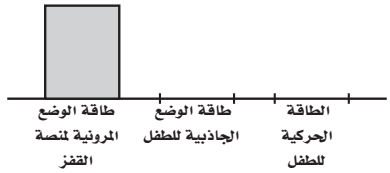
لتبسيط المسائل التي تحدث خلال فترة زمنية قصيرة تعد الأرض نظامًا مغلقًا. وفي الواقع الأرض ليست نظامًا معزولًا؛ لأنها تتأثر بقوى جاذبية مصدرها الكواكب والشمس والنجوم الأخرى. وبالإضافة إلى ذلك فإن الأرض تستقبل بشكل مستمر الطاقة الكهرومغناطيسية، المشعة في المقام الأول من الشمس.

22. الطاقة قفز طفل عن منصة القفز (منصة البهلوان)، ارسم تمثيلاً بيانيًّا بالأعمدة يبين أشكال الطاقة الموجودة في الأوضاع التالية:

a. الطفل عند أعلى نقطة في مساره.



b. الطفل عند أدنى نقطة في مساره.



23. الطاقة الحركية افترض أن كرة من اللبان (العلكة) تصادمت مع كرة مطاطية صغيرة في الهواء، ثم ارتدتا إحداهما عن الأخرى. هل تتوقع أن تبقى الطاقة الحركية محفوظة؟ وإذا كان الجواب بالنفي فماذا حدث للطاقة؟

على الرغم من أن الكرة المطاطية قد ارتدت مع خسارة القليل من الطاقة إلا أن الطاقة الحركية لن تكون محفوظة؛ وذلك لأن العلكة غالبًا قد تشوهت بسبب التصادم.

24. الطاقة الحركية تكون الكرة المستخدمة في تنس الطاولة كرة خفيفة جدًّا وصلبة، وتضرب بمضرب صلب (خشبي مثلًا). أما في التنس الأرضي فتكون الكرة أكثر ليونة وتضرب بمضرب شبكي. فلماذا صُمّمت الكرة والمضرب في كل لعبة بهذه الطريقة؟ وهل تستطيع التفكير في كيفية تصميم كرة ومضرب تستخدمان في ألعاب رياضية أخرى؟

صُمّمت عناصر اللعبة بحيث تنقل أكبر كمية من الطاقة الحركية إلى الكرة. وتأخذ الكرة اللينة طاقة مع خسارة أقل من المضرب الشبكي. ويمكن اتخاذ تصميم آخر لعناصر اللعبة، وذلك بأن يكون كل من كرة الجولف والمضرب صلبًا.

25. طاقة الوضع سقطت كرة مطاطية من ارتفاع 8.0 m على أرض أسمنتية صلبة، فاصطدمت بها وارتدت عنها عدة مرات، وفي كل مرة كانت تخسر $\frac{1}{5}$ مجموع طاقتها. فكم مرة ستصطدم الكرة بالأرض حتى تصل إلى ارتفاع 4 m بعد الارتداد؟

$$E_{\text{كلية}} = mgh$$

لما كان ارتفاع الارتداد يتناسب مع الطاقة، فإنه في كل ارتداد سوف ترتد الكرة إلى $\frac{4}{5}$ ارتفاع الارتداد السابق.

بعد ارتداد واحد:

$$h = \left(\frac{4}{5}\right)(8\text{ m}) = 6.4\text{ m}$$

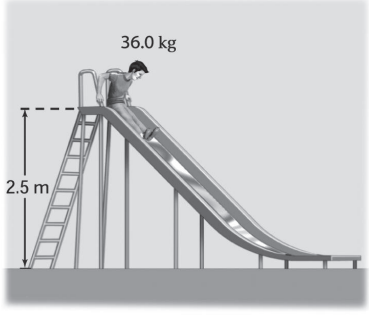
بعد ارتدادين:

$$h = \left(\frac{4}{5}\right)(6.4\text{ m}) = 5.12\text{ m}$$

بعد ثلاثة ارتدادات:

$$h = \left(\frac{4}{5}\right)(5.12\text{ m}) = 4.1\text{ m}$$

26. الطاقة ينزلق طفل كتلته 36.0 kg على لعبة انزلاق ارتفاعها 2.5 m كما في **الشكل 14–4**. ويتحرك عند أدنى نقطة في اللعبة بسرعة 3.0 m/s، فما مقدار الطاقة المفقودة خلال انزلاقه؟



■ الشكل 14–4

$$E_i = mgh$$

$$= (36.0\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(2.5\text{ m})$$

$$= 880\text{ J}$$

$$E_f = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(36.0\text{ kg})(3.0\text{ m/s})^2$$

$$= 160\text{ J}$$

$$E_{\text{مفقودة}} = 880\text{ J} - 160\text{ J} = 720\text{ J}$$

27. التفكير الناقد سقطت كرة من ارتفاع 20.0 m وعندما وصلت إلى نصف الارتفاع، أيْ 10 m، كان نصف طاقتها طاقة وضع، والنصف الآخر طاقة حركة. عندما تستغرق الكرة في رحلتها نصف زمن سقوطها، فهل ستكون طاقة الوضع للكرة نصف طاقتها أم أقل أم أكثر؟

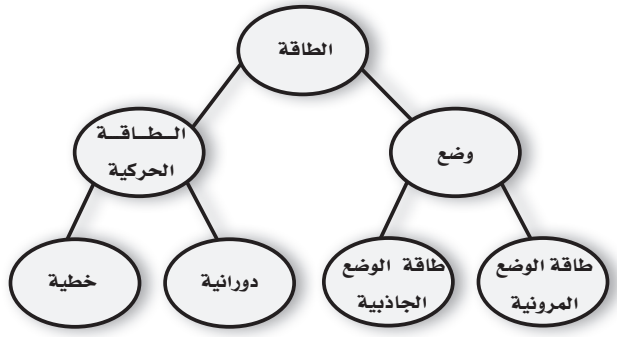
ستسقط الكرة ببطء أكثر خلال الجزء الأول من سقوطها. لذا فإن الكرة لن تقطع نصف المسافة التي ستسقطها خلال النصف الأول من زمن سقوطها. ومن ثم سيكون معظم طاقة الكرة طاقة وضع مقارنة بطاقتها الحركية.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 128

28. أكمل خريطة المفاهيم بالمصطلحات الآتية: طاقة الوضع الجاذبية، طاقة الوضع المرونية، الطاقة الحركية.



إتقان المفاهيم

صفحة 128

في جميع المسائل اللاحقة، افترض أن مقاومة الهواء مهملة، إلا إذا أعطيت قيمتها.

29. وضّح العلاقة بين الشغل المبذول والتغير في الطاقة. (1–4)

الشغل المبذول على الجسم يسبب تغير طاقة الجسم. وهذه هي نظرية الشغل–الطاقة.

30. ما نوع الطاقة في ساعة تعمل بضغط النابض؟ وما نوع الطاقة في الساعة الميكانيكية؟ وماذا يحدث للطاقة عندما تتوقف الساعة عن العمل؟ (1–4)

يختزن نابض الساعة طاقة وضع مرونية، والساعة التي تعمل لها طاقة وضع مرونية وطاقة حركة دورانية. وتتوقف الساعة عن العمل عندما تتحول الطاقة كلها التي فيها إلى حرارة نتيجة الاحتكاك في نواقل الحركة والوصلات.

31. وضح كيفية ارتباط تغير الطاقة مع القوة؟ (1–4)

تبذل القوة شغلًا عندما تؤثر في جسم فتحركه مسافة في اتجاهها، وهذا ينتج تغيرًا في الطاقة.

32. أُسقطت كرة من أعلى مبنى، فإذا اخترت أعلى المبنى بوصفه مستوى إسناد، في حين اختار زميلك أسفل المبنى بوصفه مستوى إسناد، فوضح هل تكون حسابات الطاقة نفسها أم مختلفة وفقًا لمستوى الإسناد في الحالات الآتية؟ (1–4)

a. طاقة وضع الكرة عند أي نقطة.

تختلف طاقات الوضع باختلاف مستويي الإسناد.

b. التغير في طاقة وضع الكرة نتيجة السقوط.

التغيرات في طاقات الوضع الناتج عن السقوط متساوية؛ لأن التغير في h هو نفسه بالنسبة إلى مستويي الإسناد.

c. الطاقة الحركية للكرة عند أي نقطة.

الطاقة الحركية للكرة عند أي نقطة متساوية؛ لأن السرعة المتجهة هي نفسها.

33. هل هناك حالة يمكن أن تكون فيها الطاقة الحركية لكرة البيسبول سالبة؟ (1–4)

لا يمكن أن تكون الطاقة الحركية لكرة البيسبول سالبة؛ لأن الطاقة الحركية تعتمد على مربع السرعة المتجهة، وهي موجبة دائمًا.

34. هل هناك حالة يمكن أن تكون فيها طاقة الوضع لكرة البيسبول سالبة؟ وضّح ذلك دون استخدام معادلات. (1–4)

قد تكون طاقة وضع الجاذبية لكرة البيسبول سالبة إذا كان ارتفاع الكرة تحت مستوى الإسناد.

35. إذا زادت سرعة عدّاء إلى ثلاثة أضعاف سرعته الابتدائية، فما معامل تزايد طاقته الحركية؟ (1–4)

تزداد الطاقة الحركية للعدّاء 9 مرات؛ لأنه تم تربيع السرعة.

36. ما تحولات الطاقة عندما يقفز لاعب الوثب بالزانة؟ (2–4)

يركض لاعب الوثب بالزانة (طاقة حركية)، وعند ثني الزانة تضاف طاقة وضع مرونية إلى الزانة، وعندما ترفع الزانة جسم اللاعب تتحول الطاقة الحركية وطاقة الوضع المرونية إلى طاقة حركية وطاقة وضع جاذبية. وعندما يترك اللاعب الزانة تكون جميع طاقته طاقة حركية وطاقة وضع جاذبية.

37. لماذا تتغير الوثبة كثيرًا في رياضة الوثب بالزانة عندما تستبدل بالعصا الخشبية القاسية عصا مرنة أو عصا مصنوعة من الألياف الزجاجية؟ (2–4)

يمكن لقضيب الليف الزجاجي المرن أن يختزن طاقة وضع مرونية؛لأنه ينثني بسهولة. ويمكن لهذه الطاقة أن تتحرر وتدفع اللاعب رأسيًا إلى أعلى. أما قضيب الخشب فلا يختزن طاقة وضع مرونية. وأقصى ارتفاع للاعب القفز العالي محدد بالتحول المباشر للطاقة الحركية إلى طاقة وضع جاذبية.

38. عندما قُذفت كرة طينية في اتجاه قرص الهوكي المطاطي الموضوع على الجليد التحمت الكرة المندفعة وقرص الهوكي المطاطي معًا، وتحركا ببطء. (2–4)

a. هل الزخم محفوظ في التصادم؟ وضح ذلك.

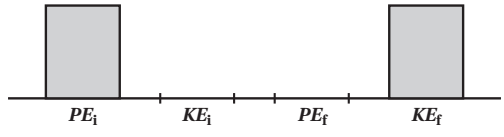
الزخم الكلي للكرة والقرص المطاطي محفوظ في التصادم بسبب عدم وجود قوى غير متزنة في هذا النظام.

b. هل الطاقة الحركية محفوظة في التصادم؟ وضح ذلك.

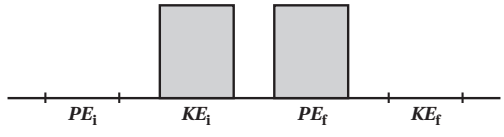
الطاقة الحركية الكلية غير محفوظة بسبب ضياع جزء منها في أثناء تغير شكل الكرة عند ضربها، وعند التحام الكرة بالقرص المطاطي.

39. مثّل بيانيًا بالأعمدة كلاً من العمليات التالية: (2–4)

a. انزلاق مكعب من الجليد، بادئًا حركته من السكون، على سطح مائل عديم الاحتكاك.



b. انزلاق مكعب من الجليد صاعدًا أعلى سطح مائل عديم الاحتكاك، ثم توقفه لحظيًا.



40. صف تحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع وبالعكس لشخص يركب في الأفعوانية جولة كاملة. (2–4)

تكون معظم طاقة الشخص والعربة خلال جولة الأفعوانية على شكل طاقة وضع عند قمة المنحدر، وطاقة حركية عند أسفل المنحدر.

41. صف كيفية فقدان طاقة الحركة وطاقة الوضع المرونية عند ارتداد كرة مطاطية، وصف ما يحدث لحركة الكرة. (2–4)

يختزن في كل ارتداد جزء من الطاقة الحركية للكرة على شكل طاقة وضع مرونية، ويبدّد التشوه في الكرة ما تبقى من طاقتها في صورة طاقة حرارية وصوت. وبعد الارتداد تتحول طاقة الوضع المرونية المختزنة إلى طاقة حركية. وكل ارتداد تالٍ للكرة يبدأ بطاقة حركية أقل؛ وذلك بسبب الطاقة الضائعة في التشوه، مما يجعل الكرة تصل إلى ارتفاع أقل، وفي النهاية تتبدد طاقة الكرة كلها وتتوقف عن الحركة (تسكن).

تطبيق المفاهيم

صفحة 129–128

42. استخدم سائق سيارة سباق الكوابح لإيقافها. طبق نظرية الشغل – الطاقة في الأوضاع الآتية: (على اعتبار أن النظام يحوي السيارة ولا يتضمن الطريق).

a. إذا كانت إطارات السيارة تتدحرج دون انزلاق.

إذا لم تنزلق إطارات السيارة فستحتكّ سطوح الكوابح بالإطارات فتبذل شغلا يؤدي إلى إيقاف السيارة. والشغل الذي تبذله المكابح يساوي التغير في الطاقة الحركية للسيارة. ونلاحظ ارتفاع حرارة سطح الكوابح؛ لأن الطاقة الحركية تتحوّل إلى طاقة حرارية.

b. انزلقت إطارات السيارة عندما استخدمت الكوابح.

إذا استخدمت الكوابح وانزلقت إطارات السيارة فهذا يعني أن الكوابح انغلقت وتوقفت عن الاحتكاك وعندئذ تحتكّ الإطارات بالطريق وتبذل شغلا يعمل على إيقاف السيارة. وترتفع درجة حرارة سطح الإطار وليس درجة حرارة المكابح. ولا تعد هذه الطريقة فعّالة في إيقاف السيارة، كما أنها تتلف الإطارات.

43. تسير سيارة صغيرة وشاحنة كبيرة بالسرعة نفسها. أيهما يبذل شغلاً أكبر: محرك السيارة أم محرك الشاحنة؟

الشاحنة الكبيرة لها طاقة حركية أكبر $KE = \frac{1}{2}mv^2$؛ لأن كتلتها أكبر من كتلة السيارة الصغيرة، وبحسب نظرية الشغل– الطاقة فإن محرك الشاحنة الكبيرة يبذل شغلاً أكبر.

تابع الفصل 4

44. المنجنيق استخدمت جيوش المسلمين مدفع المنجنيق في فتوحاتهم. حيث يعمل بعض هذه الأنواع باستخدام حبل مشدود، وعندما يُرخى الحبل ينطلق ذراع المنجنيق. ما نوع الطاقة المستخدمة عند قذف الصخرة بالمنجنيق؟

تختزن طاقة الوضع المرونية في حبل الربط المشدود، والذي يبذل شغلا على الصخرة. وللصخرة طاقة حركية وطاقة وضع خلال حركتها في الهواء. وعندما تصطدم الصخرة بالحائط يؤدّي التصادم العديم المرونة إلى تحول معظم الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية وطاقة صوتية وإلى بذل شغل يعمل على تحطيم جزء من الحائط، وتظهر بعض الطاقة الميكانيكية في الشظايا المتناثرة الناتجة عن الاصطدام.

45. تصادمت سيارتان وتوقفتا تمامًا بعد التصادم، فأين ذهبت طاقتاهما؟

تستهلك الطاقة في ثني الصفائح الفلزية في السيارة. كما تفقد الطاقة أيضًا بسبب قوى الاحتكاك بين السيارتين والإطارات، كما تفقد على شكل طاقة حرارية وصوت.

46. بُذل شغل موجب على النظام خلال عملية معينة، فقلّت طاقة الوضع. هل تستطيع أن تستنتج أي شيء حول التغير في الطاقة الحركية للنظام؟ وضح ذلك.

الشغل يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية الكلية، $W = \Delta(KE + PE)$. إذا كانت W موجبة و ΔPE سالبة، فيجب أن تكون ΔKE موجبة وأكبر من W.

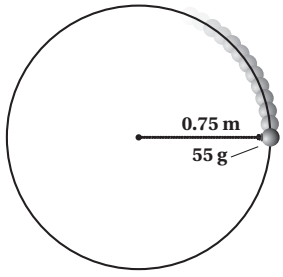
47. بُذل شغل موجب على النظام خلال عملية معينة، فزادت طاقة الوضع. هل تستطيع أن تحدد ما إذا كانت الطاقة الحركية للنظام زادت، أو قلت، أو بقيت كما هي؟ وضح ذلك.

الشغل يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية الكلية، $W = \Delta(KE + PE)$. إذا كانت W موجبة و ΔPE موجبة أيضًا فعندئذٍ لا يمكنك الحديث على نحوٍ جازم عن ΔKE.

48. التزلج يتحرك متزلجان مختلفان في الكتلة بالسرعة نفسها وفي الاتجاه نفسه، فإذا أثر الجليد في المتزلجين بقوة الاحتكاك نفسها فقارن بين مسافة التوقف لكل منهما.

سيكون للمتزلج ذي الكتلة الأكبر طاقة حركية أكبر. وستتبدّد الطاقة الحركية لكلا المتزلجين بالشغل السالب، $W = Fd$ المبذول بالاحتكاك مع الجليد. ولما كانت قوى الاحتكاك متساوية فإن المتزلج ذا الكتلة الأكبر سيقطع مسافة أكبر قبل التوقف.

49. إذا دوّرت جسمًا كتلته 55 g في نهاية خيط طوله 0.75 m حول رأسك في مستوى دائري أفقي بسرعة ثابتة، كما في **الشكل 15–4**.



■ **الشكل 15–4**

a. فما مقدار الشغل المبذول على الجسم من قوة الشد في الخيط في دورة واحدة؟

لا تبذل قوة الشد شغلاً على الكتلة؛ لأن قوة الشد تسحب في اتجاه عمودي على اتجاه حركة الكتلة.

b. وهل تتفق إجابتك في الفرع (a) مع نظرية الشغل–الطاقة؟ وضح ذلك.

لا يتعارض ذلك مع نظرية الشغل–الطاقة؛ لأن الطاقة الحركية للكتلة ثابتة فهي تتحرك بسرعة ثابتة.

50. أعطِ أمثلة محددة توضح العمليات الآتية:

a. بُذل شغل على نظام ما فازدادت الطاقة الحركية ولم تتغير طاقة الوضع.

دفع قرص الهوكي أفقيًّا على الجليد؛ النظام يحتوي على قرص الهوكي فقط.

b. تحول طاقة الوضع إلى طاقة حركية دون أن يُبذل شغل على النظام.

إسقاط كرة؛ النظام مكون من الأرض والكرة.

c. بُذل شغل على النظام، فازدادت طاقة الوضع ولم تتغير الطاقة الحركية.

ضغط النابض في مسدس لعبة؛ النظام مكون من النابض فقط.

d. بذل النظام شغلا فقلَّت الطاقة الحركية ولم تتغير طاقة الوضع.

سيارة مسرعة تتحرك على طريق مستوٍ، حيث يتم التأثير بالكوابح مما يؤدي إلى تقليل سرعتها.

51. الأفعوانية إذا كلفت بتعديل تصميم أفعوانية، وطلب المالك إليك أن تجعل اللعب عليها أكثر إثارة عن طريق جعل السرعة في أسفل المنحدر الأول ضعف السرعة قبل التعديل. فكم يكون ارتفاع المنحدر الأول للأفعوانية بالنسبة لارتفاعه الأصلي؟

يكون ارتفاع المنحدر مضاعفًا أربع مرات.

52. قُذفت كرتان متماثلتان من قمة منحدر عالٍ، إحداهما رأسيًّا إلى أعلى، والأخرى رأسيًّا إلى أسفل وكان لها مقدار السرعة الابتدائية نفسه. قارن بين طاقتيهما الحركية وسرعتيهما عندما ترتطمان بالأرض؟

على الرغم من أن الكرتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين إلا أن لهما نفس الطاقة الحركية وطاقة الوضع عند لحظة قذفهما. وسيكون لهما نفس الطاقة الميكانيكية والسرعة عندما ترتطمان بالأرض.

إتقان حلّ المسائل

صفحة 133–129

4–1 الأشكال المتعددة للطاقة

صفحة 131–129

53. تتحرك سيارة كتلتها 1600 kg بسرعة 12.5 m/s. ما طاقتها الحركية؟

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(1600\ \text{kg})(12.5\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.3\times10^5\ \text{J}$$

54. ما مقدار الطاقة الحركية لسيارة سباق كتلتها 1525 kg، عندما تكون سرعتها 108 km/h؟

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(1525\ \text{kg})\left(\frac{(108\ \text{km/h})(1000\ \text{m/km})}{3600\ \text{s/h}}\right)^2$$

$$= 6.86\times10^5\ \text{J}$$

55. مجموع كتلتي خليل ودراجته 45.0 kg. فإذا قطع خليل 1.80 km خلال 10.0 min بسرعة ثابتة، فما مقدار طاقته الحركية؟

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2}(45.0\ \text{kg})\left(\frac{(1.80\ \text{km})((1000\ \text{m/km})}{(10.0\ \text{min})(60\ \text{s/min})}\right)^2$$

$$= 243\ \text{J}$$

56. كتلة خالد 45 kg ويسير بسرعة 10.0 m/s.

a. أوجد طاقته الحركية.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(45\ \text{kg})(10.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 2.3\times10^3\ \text{J}$$

b. إذا تغيرت سرعة خالد إلى 5.0 m/s. فاحسب طاقته الحركية الآن.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(45\ \text{kg})(5.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 5.6\times10^2\ \text{J}$$

c. أوجد نسبة الطاقة الحركية في الفرع a إلى الطاقة الحركية في الفرع b. وفسر ذلك.

$$\frac{\frac{1}{2}(mv_1^2)}{\frac{1}{2}(mv_2^2)} = \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{(10.0)^2}{(5.0)^2} = \frac{4}{1}$$

مضاعفة السرعة المتجهة يضاعف الطاقة الحركية أربع مرات. تتناسب الطاقة الحركية طرديًّا مع مربع السرعة.

57. كتلة كل من أسماء وآمنة متساويتان وتساوي 45 kg، وقد تحركتا معًا بسرعة 10.0 m /s كجسم واحد.

a. ما مقدار الطاقة الحركية لهما معًا؟

$$KE_{\text{لأسماء وآمنة}} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(m_{\text{أسماء}} + m_{\text{آمنة}})v^2$$

$$= \frac{1}{2}(45\ \text{kg} + 45\ \text{kg})(10.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 4.5\times10^3\ \text{J}$$

b. ما نسبة كتلتيهما معًا إلى كتلة أسماء؟

$$\frac{m_{\text{أسماء}} + m_{\text{آمنة}}}{m_{\text{أسماء}}} = \frac{45\ \text{kg} + 45\ \text{kg}}{45\ \text{kg}}$$

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

c. ما نسبة طاقتيهما الحركية معًا إلى الطاقة الحركية لأسماء؟ فسر إجابتك.

$$KE_{\text{أسماء}} = \frac{1}{2} m_{\text{أسماء}} v^2 = \frac{1}{2}(45\ \text{kg})(10.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 2.3\times10^3\ \text{J}$$

$$\frac{KE_{\text{لأسماء وآمنة}}}{KE_{\text{أسماء}}} = \frac{\frac{1}{2}(m_{\text{أسماء}} + m_{\text{آمنة}})v^2}{\frac{1}{2}m_{\text{أسماء}}v^2} = \frac{m_{\text{أسماء}} + m_{\text{آمنة}}}{m_{\text{أسماء}}}$$

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

نسبة طاقتهما الحركية إلى الطاقة الحركية لأسماء هي نفسها النسبة بين كتلتهما إلى كتلة أسماء. تتناسب الطاقة الحركية طرديًا مع الكتلة.

58. القطار في فترة الخمسينيات من القرن الماضي، استُخدم قطار تجريبي كتلته 2.5×10^4 kg، وقد تحرك في مسار مستوٍ بمحرك نفاث يؤثر بقوة دفع مقدارها 5.00×10^5 N خلال مسافة 509 m. فما مقدار:

a. الشغل المبذول على القطار؟

$$W = Fd = (5.00\times10^5\ \text{N})(509\ \text{m})$$

$$= 2.55\times10^8\ \text{J}$$

b. التغير في الطاقة الحركية للقطار؟

$$\Delta KE = W = 2.55\times10^8\ \text{J}$$

c. الطاقة الحركية النهائية للقطار إذا بدأ بالحركة من السكون؟

$$\Delta KE = KE_f - KE_i$$

$$KE_f = \Delta KE + KE_i$$

$$= 2.55\times10^8\ \text{J} + 0.00\ \text{J}$$

$$= 2.55\times10^8\ \text{J}$$

d. السرعة النهائية للقطار إذا أهملنا قوى الاحتكاك؟

$$KE_f = \frac{1}{2} m v_f^2$$

لذا فإن:

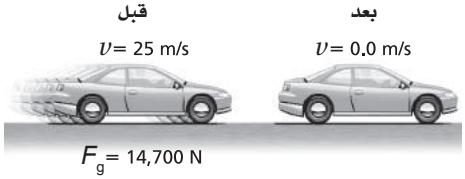
$$v_f^2 = \frac{KE_f}{\frac{1}{2}m}$$

$$= \frac{2.55\times10^8\ \text{J}}{\frac{1}{2}(2.50\times10^4\ \text{kg})}$$

لذا فإن:

$$v_f = \sqrt{2.04\times10^4\ \text{m}^2/\text{s}^2} = 143\ \text{m/s}$$

59. مكابح السيارة تتحرك سيارة وزنها 14700 N بسرعة 25 m /s، وفجأة استخدم السائق المكابح، وأخذت السيارة في التوقف، كما في **الشكل 16–4**. فإذا كان متوسط قوة الاحتكاك بين إطارات السيارة والطريق تساوي 7100 N فما المسافة التي تتحركها السيارة قبل أن تتوقف؟



■ **الشكل 16–4**

$$W = Fd = \frac{1}{2} m v^2$$

$$m = \frac{F_g}{g}$$

لذا فإن:

$$d = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{F}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{F_g}{g}\right)v^2}{F}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{14700\ \text{N}}{9.80\ \text{m/s}^2}\right)(25.0\ \text{m/s})^2}{7100\ \text{N}}$$

$$= 66\ \text{m}$$

60. تتحرك عربة صغيرة كتلتها 15.0 kg بسرعة متجهة مقدارها 7.50 m/s على مسار مستوٍ، فإذا أثرت فيها قوة مقدارها 10.0 N فتغيرت سرعتها وأصبحت 3.20 m/s، فما مقدار:

a. التغير في الطاقة الحركية للعربة؟

$$\Delta KE = KE_f - KE_i = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)$$

$$= \frac{1}{2}(15.0\text{ kg})((3.20\text{ m/s})^2 - (7.50\text{ m/s})^2)$$

$$= -345\text{ J}$$

b. الشغل المبذول على العربة؟

$$W = \Delta KE = -345\text{ J}$$

c. المسافة التي ستتحركها العربة خلال تأثير القوة؟

$$W = Fd$$

لذا فإن:

$$d = \frac{W}{F} = \frac{-346\text{ J}}{-10.0\text{ N}} = 34.5\text{ m}$$

61. يتسلق حسن حبلاً في صالة اللعب مسافة 3.5 m. ما مقدار طاقة الوضع التي يكتسبها إذا كانت كتلته 60.0 kg؟

$$PE = mgh$$

$$= (60.0\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(3.5\text{ m})$$

$$= 2.1\times10^3\text{ J}$$

62. البولنج احسب الزيادة في طاقة الوضع لكرة بولنج كتلتها 6.4 kg عندما ترفع 2.1 m إلى أعلى نحو رف الكرات.

$$PE = mgh$$

$$= (6.4\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(2.1\text{ m})$$

$$= 1.3\times10^2\text{ J}$$

63. احسب التغير في طاقة الوضع لخديجة عندما تهبط من الطابق العلوي إلى الطابق السفلي مسافة 5.50 m، علمًا بأن وزنها 505 N؟

$$PE = mg\Delta h = F_g\Delta h$$

$$= (505\text{ N})(-5.50\text{ m})$$

$$= -2.78\times10^3\text{ J}$$

64. رفع الأثقال يرفع لاعب أثقالاً كتلتها 180 kg مسافة 1.95 m. فما الزيادة في طاقة وضع الأثقال؟

$$PE = mgh$$

$$= (180\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(1.95\text{ m})$$

$$= 3.4\times10^3\text{ J}$$

65. أُطلق صاروخ تجريبي كتلته 10.0 kg رأسيًّا إلى أعلى من محطة إطلاق. فإذا أعطاه الوقود طاقة حركية مقدارها 1960 J خلال زمن احتراق وقود المحرك كله. فما الارتفاع الإضافي (عن ارتفاع المنصة) الذي سيصل إليه الصاروخ؟

$$PE = mgh = KE$$

$$h = \frac{KE}{mg} = \frac{1960}{(10.0\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)}$$

$$= 20.0\text{ m}$$

66. ترفع نبيلة كتاب فيزياء وزنه 12.0 N من سطح طاولة ارتفاعها عن سطح الأرض 75 cm إلى رف يرتفع 2.15 m فوق سطح الأرض، فما مقدار التغير في طاقة الوضع للنظام؟

$$PE = mg\Delta h = F_g\Delta h = F_g(h_f - h_i)$$

$$= (12.0\text{ N})(2.15\text{ m} - 0.75\text{ m})$$

$$= 17\text{ J}$$

67. صُمّم جهازٌ ليظهر مقدار الطاقة المبذولة. يحوي الجهاز جسمًا مربوطًا بحبل، فإذا سحب شخص الحبل ورفع الجسم مسافة 1.00 m، فسيشير مقياس الطاقة إلى أن 1.00 J من الشغل قد بُذل. فما مقدار كتلة الجسم؟

$$W = PE = mgh$$

$$m = \frac{W}{gh} = \frac{1.00\text{ J}}{(9.80\text{ m/s}^2)(1.00\text{ m})}$$

$$= 0.102\text{ kg}$$

68. التنس من الشائع عند لاعبي التنس الأرضي المحترفين أن المضرب يؤثر في الكرة بقوة متوسطة مقدارها 150.0 N. فإذا كانت كتلة الكرة 0.060 kg ولامست أسلاك المضرب مدة 0.030 s كما في **الشكل 17–4**، فما مقدار الطاقة الحركية للكرة لحظة ابتعادها عن المضرب؟ افترض أن الكرة بدأت الحركة من السكون.

■ **الشكل 17–4**

$$Ft = m\Delta v = mv_f - mv_i,\ v_i = 0$$

لذا فإن

$$v_f = \frac{Ft}{m} = \frac{(150.0\ \text{N})(3.0\times10^{-2}\ \text{s})}{6.0\times10^{-2}\ \text{kg}}$$

$$= 75\ \text{m/s}$$

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(6.0\times10^{-2}\ \text{kg})(75\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.7\times10^{2}\ \text{J}$$

69. يحمل طارق صاروخ دفع نفاث، ويقف على سطح جليدي عديم الاحتكاك. فإذا كانت كتلة طارق 45 kg وزوّد الصاروخ طارقًا بقوة ثابتة لمسافة 22.0 m فاكتسب طارق سرعة مقدارها 62.0 m/s.

a. فما مقدار الطاقة الحركية النهائية لطارق؟

$$KE_f = \frac{1}{2}mv_f^2$$

$$= \frac{1}{2}(45\ \text{kg})(62.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 8.6\times10^{4}\ \text{J}$$

b. وما مقدار القوة؟

الشغل المبذول على طارق يساوي التغير في طاقته الحركية.

$$W = Fd = \Delta KE = KE_f - KE_i$$

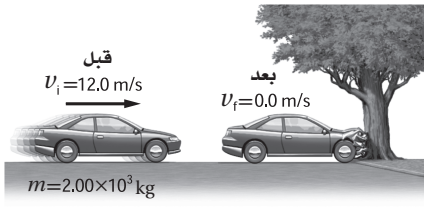
$$KE_i = 0\ \text{J}$$

لذا فإن

$$F = \frac{KE_f}{d} = \frac{8.6\times10^{4}\ \text{J}}{22.0\ \text{m}}$$

$$= 3.9\times10^{3}\ \text{N}$$

70. التصادم اصطدمت سيارة كتلتها 2.00×10^{3} kg وسرعتها 12.0 m/s بشجرة، فلم تتحرك الشجرة وتوقفت السيارة كما في **الشكل 18–4**.



■ **الشكل 18–4**

a. ما مقدار التغير في الطاقة الحركية للسيارة؟

$$\Delta KE = KE_f - KE_i = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)$$

$$= \frac{1}{2}(2.00\times10^{3}\ \text{kg})((0.0\ \text{m/s})^2 - (12.0\ \text{m/s})^2)$$

$$= -1.44\times10^{5}\ \text{J}$$

b. ما مقدار الشغل المبذول عندما ترتطم مقدمة السيارة بالشجرة؟

$$W = \Delta KE = -1.44\times10^{5}\ \text{J}$$

c. احسب مقدار القوة التي أثرت في مقدمة السيارة لمسافة 50.0 cm.

$$W = Fd$$

لذا فإن

$$F = \frac{W}{d}$$

$$= \frac{-1.44\times10^{5}\ \text{J}}{0.500\ \text{m}}$$

$$= -2.88\times10^{5}\ \text{N}$$

71. أثرت مجموعة من القوى في حجر وزنه 32 N، فكانت محصلة القوى عليه ثابتة ومقدارها 410 N، وتؤثر في اتجاه رأسي، فإذا استمر تأثير القوة المحصلة على الحجر حتى رفعته إلى مسافة 2.0 m، ثم توقف تأثير القوة، فما المسافة الرأسية التي سيرتفعها الحجر من نقطة توقف تأثير القوة فيه؟

$$W = Fd = (410\ \text{N})(2.0\ \text{m}) = 8.2\times10^{2}\ \text{J}$$

ولكن

$$W = \Delta PE = mg\Delta h$$

لذا فإن

$$\Delta h = \frac{W}{mg} = \frac{8.0\times10^{2}\ \text{J}}{32\ \text{N}} = 26\ \text{m}$$

4–2 حفظ الطاقة

صفحة 133–131

72. رُفع كيس حبوب وزنه 98.0 N إلى غرفة تخزين ارتفاعها 50.0 m فوق سطح الأرض باستخدام رافعة الحبوب.

a. ما مقدار الشغل المبذول؟

$$W = \Delta PE = mg\Delta h = F_g\Delta h$$
$$= (98.0\ \text{N})(50.0\ \text{m})$$
$$= 4.90\times10^{3}\ \text{J}$$

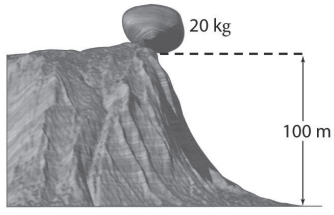
b. ما مقدار الزيادة في طاقة وضع كيس الحبوب عند هذا الارتفاع؟

$$\Delta PE = W = 4.90\times10^{3}\ \text{J}$$

c. إذا انقطع الحبل المستخدم لرفع كيس الحبوب بالضبط عندما وصل الكيس إلى ارتفاع غرفة التخزين، فما مقدار الطاقة الحركية للكيس قبل أن يصطدم بسطح الأرض مباشرة؟

$$KE = \Delta PE = 4.90\times10^{3}\ \text{J}$$

73. تستقر صخرة كتلتها 20 kg على حافة منحدر ارتفاعه 100 m كما في **الشكل 19–4**.



■ الشكل 19–4

a. ما مقدار طاقة وضعها بالنسبة لقاعدة الجرف؟

$$PE = mgh = (20\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(100\ \text{m})$$
$$= 2\times10^{4}\ \text{J}$$

b. إذا سقطت الصخرة فما مقدار الطاقة الحركية للصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟

$$KE = \Delta PE = 2\times10^{4}\ \text{J}$$

c. ما مقدار سرعة الصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(2\times10^{4}\ \text{J})}{20\ \text{kg}}}$$

$$= 45\ \text{m/s}$$

74. الرماية وضع أحد الرماة سهمًا كتلته 0.30 kg في القوس، وكان متوسط القوة المؤثرة عند سحب السهم، للخلف مسافة 1.3 m تساوي 201 N.

a. إذا اختزنت الطاقة كلها في السهم، فما سرعة انطلاق السهم من القوس؟

الشغل المبذول على الحبل يزيد طاقة الوضع المرونية للحبل.

$$W = \Delta PE = Fd$$

يتم تحويل طاقة الوضع المختزنة جميعها إلى طاقة حركية للسهم.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \Delta PE = Fd$$

$$v^2 = \frac{2Fd}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2Fd}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(201\ \text{N})(1.3\ \text{m})}{0.30\ \text{kg}}}$$

$$= 42\ \text{m/s}$$

b. إذا انطلق السهم رأسيًّا إلى أعلى، فما الارتفاع الذي يصل إليه؟

التغير في طاقة وضع السهم يساوي الشغل المبذول لسحب الحبل.

$$\Delta PE = mg\Delta h = Fd$$

$$\Delta h = \frac{Fd}{mg} = \frac{(201\ \text{N})\ (1.3\ \text{m})}{(0.30\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 89\ \text{m}$$

75. صخرة كتلتها 2.0 kg في حالة سكون، ثم سقطت إلى الأرض ففقدت 407 J من طاقة وضعها. احسب الطاقة الحركية التي اكتسبتها الصخرة بسبب سقوطها، وما مقدار سرعة الصخرة قبل ارتطامها بالأرض مباشرة؟

$$PE_i + KE_i = PE_f + KE_f$$

$$KE_i = 0$$

لذا فإن

$$KE_f = PE_i - PE_f = 407\ \text{J}$$

$$KE_f = \frac{1}{2}mv_f^2$$

$$v_f^2 = \frac{2KE_f}{m}$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2KE_f}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(407\ \text{J})}{(2.0\ \text{kg})}}$$

$$= 2.0 \times 10^1\ \text{m/s}$$

76. سقط كتاب فيزياء مجهول الكتلة من ارتفاع 4.50 m. ما مقدار سرعة الكتاب لحظة ارتطامه بالأرض؟

$$KE = PE$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

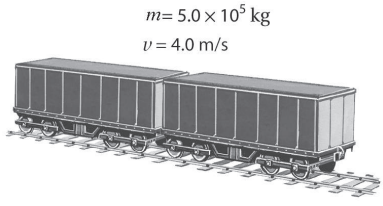
وبقسمة طرفي المعادلة السابقة على كتلة الكتاب نحصل على:

$$\frac{1}{2}v^2 = gh$$

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9.80\ \text{m/s}^2)(4.50\ \text{m})}$$

$$= 9.39\ \text{m/s}$$

77. عربة القطار اصطدمت عربة قطار كتلتها 5.0×10^5 kg بعربة أخرى ساكنة لها الكتلة نفسها، وتحركت العربتان معًا بعد التصادم كجسم واحد بسرعة 4.0 m/s كما في **الشكل 20–4**.



■ الشكل 20–4

a. فإذا كانت سرعة العربة الأولى قبل التصادم 8.0 m/s فاحسب زخمها.

$$mv = (5.0\times10^5\ \text{kg})(8.0\ \text{m/s})$$

$$= 4.0\times10^6\ \text{kg.m/s}$$

b. ما مقدار الزخم للعربتين معًا بعد التصادم؟

يجب أن يساوي 4.0×10^6 kg.m/s؛ وذلك لأن الزخم محفوظ.

c. ما مقدار الطاقة الحركية للعربتين قبل التصادم وبعده؟

قبل التصادم:

$$KE_i = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(5.0\times10^5\ \text{kg})(8.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.6 \times 10^7\ \text{J}$$

بعد التصادم:

$$KE_f = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(5.0\times10^5\ \text{kg} + 5.0\times10^5\ \text{kg})(4.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 8.0\times10^6\ \text{J}$$

d. أين ذهبت الطاقة الحركية التي خسرتها العربتان؟

يكون الزخم محفوظًا في أثناء التصادم، أما الطاقة الحركية فليست محفوظة في أثناء التصادم. وتتحوّل الكمية غير المحفوظة (الطاقة الحركية) إلى حرارة وصوت.

78. أي ارتفاع يجب أن تسقط منه سيارة صغيرة حتى يكون لها الطاقة الحركية نفسها عندما تسير بسرعة 1.00×10^2 km/h؟

$$v = \left(1.00\times 10^2 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)\left(\frac{1000\text{ m}}{1\text{ km}}\right)\left(\frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}}\right)$$

$$= 27.8\text{ m/s}$$

$$KE = PE$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$\frac{1}{2}v^2 = gh$$

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{(27.8\text{ m/s})^2}{2(9.80\text{ m/s}^2)}$$

$$= 39.4\text{ m}$$

79. تزن عبير 420 N وتجلس على أرجوحة ترتفع 0.40 m عن سطح الأرض. فإذا سحبت أمها الأرجوحة إلى الخلف حتى أصبحت على ارتفاع 1.0 m عن سطح الأرض ثم تركتها.

a. فما مقدار سرعة عبير عندما تمر بالنقطة الأقل ارتفاعًا عن سطح الأرض في مسارها؟

$$\Delta PE = mg\Delta h = mg(h_f - h_i)$$

$$KE = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) = \frac{1}{2}mv_f^2$$

ومن خلال مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية:

$$\Delta PE + \Delta KE = 0$$

$$mg(h_f - h_i) + \frac{1}{2}mv_f^2 = 0$$

$$v_f = \sqrt{2g(h_i - h_f)}$$

$$= \sqrt{(2)\ (9.80\text{ m/s}^2)\ (1.00\text{ m} - 0.40\text{ m})}$$

$$= 3.4\text{ m/s}$$

b. إذا مرت عبير بالنقطة الأقل ارتفاعًا عن سطح الأرض بسرعة 2.0 m/s، فما مقدار شغل الاحتكاك المبذول على الأرجوحة؟

الشغل المبذول من الاحتكاك يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية.

$$W = \Delta PE + \Delta KE$$

$$= mg(h_f - h_i) + \frac{1}{2}mv_f^2$$

$$= (420\text{ N})(0.40\text{ m} - 1.00\text{ m}) + \frac{1}{2}\left(\frac{420\text{ N}}{9.80\text{ m/s}^2}\right)(2.0\text{ m/s})^2$$

$$= -1.7\times10^2\text{ J}$$

80. أسقطت ليلى رأسيًّا كرة كتلتها 10.0 g من ارتفاع 2.0 m عن سطح الأرض. فإذا كانت سرعة الكرة عند ملامستها سطح الأرض 7.5 m/s، فما مقدار السرعة الابتدائية للكرة؟

$$KE_f = KE_i + PE_i$$

$$\frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}mv_i^2 + mgh$$

وبقسمة طرفي المعادلة السابقة على كتلة الكرة نحصل على:

$$v_i^2 = v_f^2 - 2gh,$$

$$v_i = \sqrt{v_f^2 - 2gh}$$

$$= \sqrt{(7.5\ \text{m/s})^2 - (2)\ (9.80\ \text{m/s}^2)(2.0\ \text{m})}$$

$$= 4.1\ \text{m/s}$$

81. الانزلاق تسلق منذر سُلّم منحدر تزلج ارتفاعه 4.8 m، ثم انزلق فكانت سرعته في أسفل منحدر التزلج 3.2 m/s. ما مقدار الشغل المبذول من قوة الاحتكاك على منذر إذا كانت كتلته 28 kg؟

الشغل المبذول من الاحتكاك على منذر يساوي التغير في طاقته الميكانيكية.

$$W = \Delta PE + \Delta KE$$

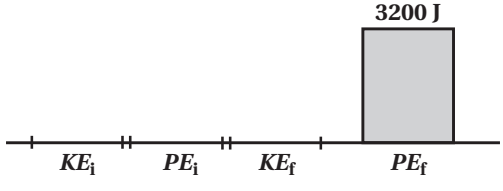
$$= mg(h_f - h_i) + \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)$$

$$= (28\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.0\ \text{m} - 4.8\ \text{m}) + \frac{1}{2}(28\ \text{kg})\left[(3.2\ \text{m/s})^2 - (0.0\ \text{m/s})^2\right]$$

$$= -1.2 \times 10^3\ \text{J}$$

82. يتسلق شخص وزنه 635 N سُلّمًا رأسيًّا ارتفاعه 5.0 m، أجب عما يأتي معتبرًا أن الشخص والأرض يشكلان نظامًا واحدًا.

a. مثّل بيانيًّا بالأعمدة الطاقة في النظام قبل بدء الشخص في التسلق، وبعد وصوله إلى أقصى ارتفاع. هل تتغير الطاقة الميكانيكية؟ وإذا كان كذلك فما مقدار التغير؟



نعم، لقد تغيرت الطاقة الميكانيكية؛ حيث زادت طاقة الوضع بمقدار

$$(635\ \text{N})(5.0\ \text{m}) = 3200\ \text{J}$$

b. من أين جاءت الطاقة؟

من الطاقة الداخلية للشخص.

تابع الفصل 4

83. يتأرجح شمبانزي من شجرة لأخرى في غابة. إذا تعلّق بغصن متدلٍّ طوله 13 m ثم بدأ تأرجحه بزاوية تميل عن الرأسي بمقدار 45°، فما سرعة الشمبانزي عندما يكون الغصن المتدلي رأسيًّا تمامًا؟

الارتفاع الابتدائي للشمبانزي يساوي

$$h = (13\ \text{m})(1 - \cos 45°) = 3.8\ \text{m}$$

ومن حفظ الطاقة الميكانيكية

$$\Delta PE + \Delta KE = 0$$

$$mg\,(h_f - h_i) + \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) = 0$$

$$-mgh_i + \frac{1}{2}mv_f^2 = 0$$

$$v_f = \sqrt{2gh_i} = \sqrt{2(9.80\ \text{m/s}^2)(3.8\ \text{m})}$$

$$= 8.6\ \text{m/s}$$

مراجعة عامة

صفحة 133

84. عربة صغيرة كتلتها 0.80 kg تهبط من فوق تل عديم الاحتكاك ارتفاعه 0.32 m عن سطح الأرض، وفي قاع التل سارت العربة على سطح أفقي خشن يؤثر في العربة بقوة احتكاك مقدارها 2.0 N، ما المسافة التي تتحركها العربة على السطح الأفقي الخشن قبل أن تتوقف؟

$$E = mgh = W = Fd$$

$$d = \frac{mgh}{F} = \frac{(0.80\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)\ (0.32\ \text{m})}{2.0\ \text{N}}$$

$$= 1.3\ \text{m}$$

85. القفز بالزانة السجل العالمي للقفز بالزانة (الوثب العالي) للرجال 2.45 m تقريبًا. فما أقل مقدار من الشغل يجب أن يُبذل لدفع لاعب كتلته 73.0 kg عن سطح الأرض حتى يصل إلى هذا الارتفاع؟

$$W = \Delta E = mgh$$

$$= (73.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(2.45\ \text{m})$$

$$= 1.75\ \text{kJ}$$

86. كرة القدم تصادم لاعب كتلته 110 kg بلاعب آخر كتلته 150 kg، وتوقف اللاعبان تمامًا بعد التصادم. فأي اللاعبين كان زخمه قبل التصادم أكبر؟ وأيهما كانت طاقته الحركية قبل التصادم أكبر؟

الزخم بعد التصادم يساوي صفرًا، لذا فإن للاعبين زخمين متساويين في المقدار ومتعاكسين في الاتجاه قبل التصادم.

$$m_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأكبر}} v_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأكبر}} = p_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأكبر}} = m_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأقل}} v_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأقل}} = p_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأقل}}$$

وبعد التصادم أصبح طاقة كل لاعب تساوي صفرًا.

الطاقة المفقودة من كل لاعب:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{m^2v^2}{m}\right) = \frac{p^2}{2m}$$

لأن الزخمين كانا متساويين، ولكن أحدهما كتلته أقل من الآخر، فاللاعب ذو الكتلة الأقل خسر طاقة أكثر.

87. عربتا مختبر كتلتاهما على الترتيب 1.0 kg، 2.0 kg رُبطتا معًا بنهايتي نابض مضغوط. وتحركتا معًا بسرعة 2.1 m/s في الاتجاه نفسه. وفجأة تحرر النابض ليصبح غير مضغوط فدفع العربتين بحيث توقفت العربة ذات الكتلة 2 kg، في حين تحركت العربة 1.0 kg إلى الأمام. ما مقدار الطاقة التي أعطاها النابض للعربتين؟

$$E_i = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(2.0\text{ kg} + 1.0\text{ kg})(2.1\text{ m/s})^2$$
$$= 6.6\text{ J}$$

$$p_i = mv = (2.0\text{ kg} + 1.0\text{ kg})\ (2.1\text{ m/s})$$
$$= 6.3\text{ kg.m/s} = p_f = (1.0\text{ kg})v_f$$

لذا فإن

$$v_f = 6.3\text{ m/s}$$
$$E_f = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}(1.0\text{ kg})(6.3\text{ m/s})^2 = 19.8\text{ J}$$
$$\Delta E = 19.8\text{ J} - 6.6\text{ J} = 13.2\text{ J}$$

13.2 J أضيفت بواسطة النابض

88. تأرجح لاعب سيرك كتلته 55 kg بحبل بادئًا من منصة ارتفاعها 12.0 m، وفي أثناء نزوله حمل قردًا كتلته 21.0 kg ليضعه على منصة أخرى، فما أقصى ارتفاع ممكن للمنصة؟

$$E_i = m_{\text{اللاعب}}gh$$

سرعة اللاعب عندما يصل إلى الأرض تساوي

$$E_i = \frac{1}{2}m_{\text{اللاعب}}v^2 = m_{\text{اللاعب}}gh$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_i}{m}} = \sqrt{\frac{2m_{\text{اللاعب}}gh}{m_{\text{اللاعب}}}} = \sqrt{2gh}$$

يكون الزخم محفوظًا عندما يمسك اللاعب بالقرد

$$m_{\text{اللاعب}}v = (m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}})v_f$$

لذا فإن

$$v_f = \frac{m_{\text{اللاعب}}v}{(m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}})} = \left(\frac{m_{\text{اللاعب}}}{m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}}\right)\sqrt{2gh}$$

الطاقة النهائية لكل منهما تساوي

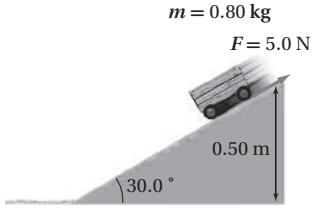
$$E_f = \frac{1}{2}(m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}})v_f^2$$

$$E_f = \frac{1}{2}(m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}})\left(\frac{m_{\text{اللاعب}}}{m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}}\right)^2(2gh)$$
$$= (m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}})\ gh_f$$

لذا فإن

$$h_f = \left(\frac{m_{\text{اللاعب}}}{m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}}\right)^2 h$$
$$= \left(\frac{55.0\text{ kg}}{55.0\text{ kg} + 21.0\text{ kg}}\right)^2 (12.0\text{ m})$$
$$= 6.28\text{ m}$$

89. سقطت عربة كتلتها 0.8 kg من أعلى مسار مائل يرتفع 0.50 m عن سطح الأرض، ويميل على الأفقي بزاوية 30° كما في **الشكل 21–4**، وكانت المسافة التي تتحركها العربة حتى أسفل المسار ($0.5\text{ m}/\sin 30^\circ = 1.0\text{ m}$). فإذا أثرت قوة احتكاك السطح في العربة بقوة 5.0 N، فهل تصل العربة إلى أسفل المسار؟



■ **الشكل 21–4**

$$E_i = mgh$$
$$= (0.80\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(0.50\text{ m})$$
$$= 3.9\text{ J}$$

الشغل المبذول من الاحتكاك خلال مسافة 1 m يساوي

$$W = Fd = (5.0\text{ N})(1.0\text{ m}) = 5.0\text{ J}$$

الشغل المبذول من الاحتكاك أكبر من طاقة العربة؛ لذا فإن العربة لن تصل إلى أسفل السطح المائل.

تابع الفصل 4

90. الهوكي تحرك لاعب هوكي كتلته 90.0 kg بسرعة 5.0 m /s، واصطدم بلاعب هوكي آخر كتلته 110 kg يتحرك بسرعة 3.0 m /s في الاتجاه المعاكس، وتحركا بعد التصادم كجسم واحد بسرعة 1.0 m /s. ما مقدار الطاقة المفقودة نتيجة التصادم؟

قبل:

$$E = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$= \frac{1}{2}(90.0\ \text{kg})\ (5.0\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(110\ \text{kg})(3.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.6 \times 10^3\ \text{J}$$

بعد:

$$E = \frac{1}{2}(m+m)v_f^2$$

$$= \frac{1}{2}\ (200.0\ \text{kg})\ (1.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.0 \times 10^2\ \text{J}$$

$$\text{الطاقة المفقودة} = 1.6 \times 10^3\ \text{J} - 1.0 \times 10^2\ \text{J}$$

$$= 1.5 \times 10^3\ \text{J}$$

التفكير الناقد

صفحة 134–133

91. تطبيق المفاهيم تستقر كرة جولف كتلتها 0.046 kg على الحامل الخاص بها. فإذا ضُربت بمضرب كتلته 0.220 kg فانطلقت الكرة بسرعة 44 m /s، فاحسب سرعة الكرة لحظة انطلاقها على افتراض أن التصادم مرن.

حفظ الزخم

$$m_{\text{المضرب}}v_{\text{المضرب}1} = m_{\text{المضرب}}v_{\text{المضرب}2} + m_{\text{الكرة}}v_{\text{الكرة}2}$$

وبحل المعادلة لإيجاد $v_{\text{المضرب}2}$

$$v_{\text{المضرب}2} = v_{\text{المضرب}1} - \frac{m_{\text{الكرة}}v_{\text{الكرة}2}}{m_{\text{المضرب}}}$$

ومن حفظ الطاقة

$$\frac{1}{2}m_{\text{المضرب}}v^2_{\text{المضرب}1} = \frac{1}{2}m_{\text{المضرب}}v^2_{\text{المضرب}2} + \frac{1}{2}m_{\text{الكرة}}v^2_{\text{الكرة}2}$$

من خلال الضرب في 2، والتعويض نحصل على

$$m_{\text{المضرب}}v^2_{\text{المضرب}1} = m_{\text{المضرب}}\left(v_{\text{المضرب}1} - \frac{m_{\text{الكرة}}v_{\text{الكرة}2}}{m_{\text{المضرب}}}\right)^2 + m_{\text{الكرة}}v^2_{\text{الكرة}2}$$

أو

$$m_{\text{المضرب}}v^2_{\text{المضرب}1} = m_{\text{المضرب}}v^2_{\text{المضرب}1} - 2m_{\text{الكرة}}v_{\text{المضرب}2}v_{\text{المضرب}1} + \frac{m^2_{\text{الكرة}}v^2_{\text{الكرة}2}}{m_{\text{المضرب}}} + m_{\text{الكرة}}v^2_{\text{الكرة}2}$$

وبالتبسيط

$$0 = (m_{\text{الكرة}}v_{\text{الكرة}2})\left(-2v_{\text{المضرب}1} + \frac{m_{\text{الكرة}2}v_{\text{الكرة}2}}{m_{\text{المضرب}}} + v_{\text{الكرة}2}\right)$$

فيكون

$$m_{\text{الكرة}} v_{\text{الكرة}\,2} = 0$$

أو

$$-2v_{\text{المضرب}\,1} + \left(\frac{m_{\text{الكرة}}}{m_{\text{المضرب}}} + 1\right) v_{\text{الكرة}\,2} = 0$$

بإهمال الحل الذي يعطي $v_{\text{الكرة}2} = 0$، نحصل على

$$v_{\text{الكرة}2} = \frac{2v_{\text{المضرب}\,1}}{\left(\frac{m_{\text{الكرة}}}{m_{\text{المضرب}}} + 1\right)}$$

$$= \frac{2(44\ \text{m/s})}{\left(\frac{0.046\ \text{kg}}{0.220\ \text{kg}} + 1\right)} = 73\ \text{m/s}$$

92. تطبيق المفاهيم يعد اصطدام طائر بالزجاج الأمامي لسيارة متحركة مثالاً على تصادم جسمين كتلة أحدهما عدة أضعاف كتلة الآخر، ومن ناحية أخرى يعد تصادم كرتي بلياردو مثالاً على تصادم جسمين متساويين في الكتلة، فكيف تتحول الطاقة في هذه التصادمات؟ ادرس تصادمًا مرنًا بين كرة بلياردو كتلتها m_1 وسرعتها v_1 وكرة أخرى ساكنة كتلتها m_2.

a. إذا كانت $m_1 = m_2$، فما النسبة بين الطاقة المنقولة إلى m_2 والطاقة الابتدائية؟

إذا كانت $m_1 = m_2$، فنحن نعلم أن m_1 ستصبح ساكنة بعد التصادم، وستتحرك الكتلة m_2 بسرعة v_1، وكل الطاقة ستنتقل إلى الكتلة m_2.

b. إذا كانت $m_1 >> m_2$، فما النسبة بين الطاقة المنقولة إلى m_2 والطاقة الابتدائية؟

إذا كانت $m_1 >> m_2$، فنحن نعلم أن حركة الكتلة m_1 لن تتأثر بالتصادم، وستكون الطاقة المنتقلة إلى الكتلة m_2 قليلة.

c. يتم تبطئة النيوترونات في المفاعل النووي عن طريق تصادمها بالذرات (كتلة النيوترون تساوي تقريبًا كتلة البروتون)، فأيّ الذرات الآتية مناسبة لتحقيق الهدف: الهيدروجين، أم الكربون، أم الأرجون؟

تتمثل أفضل وسيلة لوقف النيوترون بجعله يصطدم بذرة الهيدروجين؛ التي تكون كتلتها مساوية لكتلة النيوترون تقريبًا.

93. التحليل والاستنتاج يكون كل من الزخم والطاقة الميكانيكية محفوظًا في التصادم التام المرونة. فإذا تصادمت كرتان كتلتاهما على الترتيب m_A ،m_B، وسرعتاهما v_A ،v_B تتجهان إحداهما نحو الأخرى. فاستنتج المعادلات المناسبة لحساب سرعة كل منهما بعد التصادم؟

حفظ الزخم

$$(1)\quad m_A v_{A1} + m_B v_{B1} = m_A v_{A2} + m_B v_{B2}$$

$$m_A v_{A1} - m_A v_{A2} = -m_B v_{B1} + m_B v_{B2}$$

$$(2)\quad m_A(v_{A1}-v_{A2})=-m_B(v_{B1}-v_{B2})$$

حفظ الطاقة

$$\frac{1}{2}m_A{v_{A1}}^2+\frac{1}{2}m_B{v_{B1}}^2=\frac{1}{2}m_A{v_{A2}}^2+\frac{1}{2}m_B{v_{B2}}^2$$

$$m_A{v_{A1}}^2-m_A{v_{A2}}^2=-m_B{v_{B1}}^2+m_B{v_{B2}}^2$$

$$m_A({v_{A1}}^2-{v_{A2}}^2)=-m_B({v_{B1}}^2-{v_{B2}}^2)$$

$$(3)\ m_A(v_{A1}+v_{A2})(v_{A1}-v_{A2})=-m_B(v_{B1}+v_{B2})(v_{B1}-v_{B2})$$

إذا قسمت المعادلة 3 على المعادلة 2 تحصل على:

$$(4)\quad v_{A1}+v_{A2}=v_{B1}+v_{B2}$$

حل المعادلة 1 بالنسبة إلى v_{A2} و v_{B2}

$$v_{A2}=v_{A1}+\frac{m_B}{m_A}(v_{B1}-v_{B2})$$

$$v_{B2}=v_{B1}+\frac{m_A}{m_B}(v_{A1}-v_{A2})$$

عوّض في المعادلة 4، وحلّ بالنسبة إلى v_{B2} و v_{A2}

$$v_{A1}+v_{A1}+\frac{m_B}{m_A}(v_{B1}-v_{B2})=v_{B1}+v_{B2}$$

$$2m_Av_{A1}+m_Bv_{B1}-m_Bv_{B2}=m_Av_{B1}+m_Av_{B2}$$

$$v_{B2}=\left(\frac{2m_A}{m_A+m_B}\right)v_{A1}+\left(\frac{m_B-m_A}{m_A+m_B}\right)v_{B1}$$

$$v_{A1}+v_{A2}=v_{B1}+v_{B1}+\frac{m_A}{m_B}(v_{A1}-v_{A2})$$

$$m_Bv_{A1}+m_Bv_{A2}=2m_Bv_{B1}+m_Av_{A1}-m_Av_{A2}$$

$$v_{A2}=\left(\frac{m_A-m_B}{m_A+m_B}\right)v_{A1}+\left(\frac{2m_B}{m_A+m_B}\right)v_{B1}$$

94. التحليل والاستنتاج قذفت كرة كتلتها 25 g بسرعة v_1 نحو كرة أخرى ساكنة كتلتها 125 g ومعلقة بخيط رأسي طوله 1.25 m. فإذا كان التصادم بين الكرتين تام المرونة، وتحركت الكرة المعلقة بحيث صنع خيط التعليق زاوية 37.0° مع الرأسي، حيث توقفت لحظيًّا فاحسب v_1.

أفترض أن الكرة التي قذفت هي الجسم 1، وأن الكرة المعلقة بالخيط هي الجسم 2.

يكون الزخم في أثناء التصادم محفوظًا.

$$p_{1i}=p_{1f}+p_{2f}$$

أو

$$m_1 v_{1i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

وتكون الطاقة الحركية في التصادم محفوظة.

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$

$$m_1 v_{1i}^2 = m_1 v_{1i}^2 + m_2 v_{2f}^2$$

$$(m_1 v_{1i}^2)\left(\frac{m_1}{m_1}\right) = (m_1 v_{1f}^2)\left(\frac{m_1}{m_1}\right) + (m_2 v_{2f}^2)\left(\frac{m_2}{m_2}\right)$$

$$\frac{m_1^2 v_{1i}^2}{m_1} = \frac{m_1^2 v_{1f}^2}{m_1} + \frac{m_2^2 v_{2f}^2}{m_2}$$

$$\frac{p_{1i}^2}{m_1} = \frac{p_{1f}^2}{m_1} + \frac{p_{2f}^2}{m_2}$$

$$p_{1i}^2 = p_{1f}^2 + \left(\frac{m_1}{m_2}\right) p_{2f}^2$$

أهمل v_{1f}، لذا تخلص من p_{1f} باستخدام $p_{1f} = p_{1i} - p_{2f}$

$$p_{1i}^2 = (p_{1i} - p_{2f})^2 + \frac{m_1}{m_2} p_{2f}^2$$

$$p_{1i}^2 = p_{1i}^2 - 2p_{1i} p_{2f} + p_{2f}^2 + \frac{m_1}{m_2} p_{2f}^2$$

$$2p_{1i} p_{2f} = \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) p_{2f}^2$$

$$p_{1i} = \left(\frac{1}{2}\right)\left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) p_{2f}$$

$$m_1 v_{1i} = \left(\frac{1}{2}\right)(m_2 + m_1) v_{2f}$$

$$v_{1i} = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{m_2}{m_1} + 1\right) v_{2f}$$

والآن ننظر في أمر البندول.

$$\frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2 = m_2 gh$$

أو

$$v_{2f} = \sqrt{2gh}$$

ولما كانت

$$h = L(1 - \cos\theta)$$

فإن

$$v_{2f} = \sqrt{2gL(1 - \cos\theta)}$$

$$v_{2f} = \sqrt{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)(1.25\ \text{m})(1 - \cos 37.0°)}$$

$$= 2.22\ \text{m/s}$$

$$v_{1i} = \frac{1}{2}\left(\frac{125\ \text{g}}{25\ \text{g}} + 1\right)(2.22\ \text{m/s})$$

$$= 6.7\ \text{m/s}$$

الكتابة في الفيزياء

صفحة 134

95. **الشمس مصدر طاقة** في أي شكل من أشكال الطاقة تصل إلينا الطاقة الشمسية لتجعلنا نحيا وتجعل مجتمعنا يعمل؟ ابحث في الطرائق التي تتحول بها الطاقة الشمسية إلى أشكال يمكن لنا استخدامها. وأين تذهب الطاقة الشمسية بعد أن نستخدمها؟ وضح ذلك.

تُنتج الشمس الطاقة من خلال الاندماج النووي وتُشع تلك الطاقة على شكل إشعاع كهرومغناطيسي، وينتقل الإشعاع الكهرومغناطيسي في الفضاء عبر الفراغ ليصل إلى الأرض. وتمتص الأرض تلك الأشعة الكهرومغناطيسية من خلال غلافها الجوي واليابسة والمحيطات على شكل طاقة حرارية أو حرارة. وتحول النباتات جزءًا من الأشعة المرئية إلى طاقة كيميائية من خلال عملية البناء الضوئي. وهناك العديد من التفاعلات الكيميائية الأخرى التي تحدث بواسطة أشعة الشمس، مثل إنتاج الأوزون. ثم تتحول الطاقة إلى أشكال أخرى مختلفة، يتمثل بعضها في العمليات الكيميائية التي تسمح لنا بهضم الطعام وتحويله إلى طاقة كيميائية لبناء الأنسجة والحركة والتفكير. وفي النهاية، وبعد أن نكون قد استخدمنا الطاقة، يُشَع جزء من الطاقة عائدًا إلى الفضاء.

96. تصنف جميع أشكال الطاقة إلى طاقة حركية أو طاقة وضع. فكيف تصف كلاً من الطاقة النووية، والكهربائية، والكيميائية، والبيولوجية، والشمسية والضوئية؟ ولماذا؟ ابحث في الأجسام المتحركة في كل شكل من أشكال الطاقة هذه، وكيف تختزن الطاقة في هذه الأجسام؟

تكون طاقة الوضع مختزنة على شكل طاقة ربط بين البروتونات والنيوترونات في النواة. وتتحرر الطاقة عن طريق تحويل نواة ثقيلة إلى أجزاء أصغر (الانشطار)، أو عندما الجمع بين أنوية صغيرة جدًا لإنتاج أنوية أكبر (الاندماج). وبالطريقة نفسها يتم تخزين طاقة الوضع الكيميائية عندما ترتبط الذرات معًا لتكوين جزيئات، وتتحرّر تلك الطاقة عندما تتفكّك الجزيئات أو يتم إعادة ترتيبها. ويولّد فصل الشحنات الكهربائية طاقة وضع كهربائية، كما هو الحال في البطارية. وتتحوّل طاقة الوضع الكهربائية إلى طاقة حركية في أثناء حركة الشحنات الكهربائية في التيار الكهربائي عندما يتم توفير مسار موصل، أو دائرة كهربائية. والعمليات الحيوية جميعها عمليات كيميائية، لذا فالطاقة الحيوية ما هي إلا مجرد شكل من أشكال الطاقة الكيميائية. أما الطاقة الشمسية فهي طاقة اندماج تحولت إلى إشعاع كهرومغناطيسي. (انظر الإجابة عن السؤال السابق). والضوء شكل موجه للطاقة الكهرومغناطيسية التي ترددها في مدى تحسس العين البشرية.

مراجعة تراكمية

صفحة 134

97. تنطلق رصاصة كتلتها 5.00 g بسرعة 100.0 m/s في اتجاه جسم صلب كتلته 10.0 kg مستقر على سطح مستوٍ عديم الاحتكاك. (**الفصل 2**)

a. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا استقرت داخل الجسم الصلب؟

$$m_{\text{رصاصة}} v_{1\,\text{رصاصة}} = m_{\text{رصاصة}} v_2 - m_{\text{جسم صلب}} v_2$$

$$= (m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}) v_2$$

لذا فإن

$$v_2 = \frac{m_{\text{رصاصة}} v_{1\,\text{رصاصة}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}}$$

ومن ثم فإن

$$\Delta pv = m_{\text{رصاصة}} (v_2 - v_{1\,\text{رصاصة}})$$

$$= m_{\text{رصاصة}} \left(\frac{m_{\text{رصاصة}} v_{1\,\text{رصاصة}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}} - v_{1\,\text{رصاصة}} \right)$$

$$= m_{\text{رصاصة}} v_{1\,\text{رصاصة}} \left(\frac{m_{\text{رصاصة}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}} - 1 \right)$$

$$= -\left(\frac{m_{\text{رصاصة}} m_{\text{جسم صلب}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}} \right) v_{1\,\text{رصاصة}}$$

$$= -\frac{(5.00\times10^{-3}\ \text{kg})(10.00\ \text{kg})}{5.00\times10^{-3}\ \text{kg} + 1.000\ \text{kg}} \quad (100.0\ \text{m/s})$$

$$= -0.500\ \text{kg.m/s}$$

b. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا ارتدت في الاتجاه المعاكس بسرعة 99 m/s؟

$$\Delta p_{v} = m_{\text{رصاصة}}(v_2 - v_{1\text{رصاصة}})$$
$$= (5.00\times10^{-3}\ \text{kg})(-99.0\ \text{m/s} - 100.0\ \text{m/s})$$
$$= -0.995\ \text{kg.m/s}$$

c. في أي الحالتين السابقتين سيتحرك الجسم بسرعة أكبر؟

عندما ترتد الرصاصة، يكون التغير في زخمها أكبر في المقدار، وكذلك للجسم الصلب يكون التغير في زخمه أكبر في المقدار، ومن ثم فإن الجسم سيتحرك بسرعة أكبر.

98. يجب التأثير بقوة رفع مقدارها 15 kN على الأقل لرفع سيارة. (الفصل 3)

a. ما مقدار الفائدة الميكانيكية للرافعة القادرة على تقليص القوة (المسلّطة) إلى 0.10 kN؟

$$MA = \frac{15\ \text{kN}}{0.10\ \text{kN}} = 150$$

b. إذا كانت فاعلية الرافعة 75%، فما المسافة التي يجب أن تؤثر خلالها القوة لترفع السيارة مسافة 33 cm؟

$$IMA = \frac{MA}{\text{e}} = 2.0\times10^{2}$$

ولما كانت

$$\frac{d_{\text{e}}}{d_{\text{r}}} = IMA$$

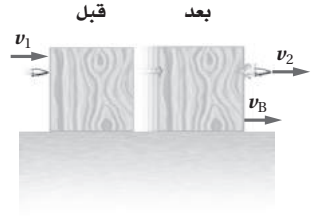
فإن

$$d_{\text{e}} = \frac{IMA}{d_{\text{r}}} = (2.0\times10^{2})(33\ \text{cm})$$
$$= 66\ \text{m}$$

مسألة تحفيز

صفحة 123

تحركت رصاصة كتلتها m بسرعة v_1 فاخترقت قطعة خشب ساكنة وخرجت منها بسرعة v_2، فإذا كانت كتلة القطعة الخشبية m_B وتحركت بعد التصادم بسرعة v_B، فما مقدار:



1. السرعة النهائية لقطعة الخشب v_B؟

باستخدام حفظ الزخم

$$mv_1 = mv_2 + m_B v_B$$

$$m_B v_B = m(v_1 - v_2)$$

$$v_B = \frac{m(v_1 - v_2)}{m_B}$$

2. الطاقة التي فقدتها للرصاصة؟

بالنسبة إلى الرصاصة وحدها

$$KE_1 = \frac{1}{2} mv_1^2$$

$$KE_2 = \frac{1}{2} mv_2^2$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_2^2)$$

3. الطاقة التي فقدت بسبب الاحتكاك داخل القطعة الخشبية؟

$$\text{الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك} = E_{\text{مفقودة}} = KE_1 - KE_2 - KE_{\text{خشب}}$$

$$E_{\text{مفقودة}} = \frac{1}{2} mv_1^2 - \frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} m_B v_B^2$$

مسائل تدريبية

5–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية (صفحة 149–137)

صفحة 142

1. حوّل درجات الحرارة الآتية من مقياس كلفن إلى مقياس سلسيوس.

a. 115 K

$$T_C = T_K - 273 = 115 - 273 = -158°C$$

b. 172 K

$$T_C = T_K - 273 = 172 - 273 = -101°C$$

c. 125 K

$$T_C = T_K - 273 = 125 - 273 = -148°C$$

d. 402 K

$$T_C = T_K - 273 = 402 - 273 = 129°C$$

e. 425 K

$$T_C = T_K - 273 = 425 - 273 = 152°C$$

f. 212 K

$$T_C = T_K - 273 = 212 - 273 = -61°C$$

2. احسب درجات الحرارة بالكلفن والسلسيوس لكل ممّا يأتي:

a. درجة حرارة الغرفة

إن درجة حرارة الغرفة نحو 72° F، أو 22° C.

$$T_K = T_C + 273 = 22 + 273 = 295\ K$$

b. ثلاجة نموذجية

تبلغ درجة حرارة الثلاجة نحو 4° C.

$$T_K = T_C + 273 = 4 + 273 = 277\ K$$

c. يوم صيفي حار في مدينة الرياض

تبلغ درجة الحرارة في يوم صيفي حار في مدينة الرياض نحو 48 °C، 118.4 °F.

$$T_K = T_C + 273 = 48 + 273 = 321\ K$$

d. إحدى ليالي الشتاء في مدينة تبوك

تبلغ درجة الحرارة في ليلة شتاء عادية في مدينة تبوك حوالي 8 °C، أو 46 °F.

$$T_K = T_C + 273 = 8 + 273 = 281\ K$$

صفحة 145

3. عندما تفتح صنبور الماء الساخن لغسل الأواني فإن أنابيب المياه تسخن. فما مقدار كمية الحرارة التي يمتصها أنبوب ماء نحاسي كتلته 2.3 kg عندما ترتفع درجة حرارته من 20.0°C إلى 80.0°C؟

$$Q = mC\Delta T$$
$$= (2.3\ kg)(385\ J/kg.K)(80.0°C - 20.0°C)$$
$$= 5.3\times10^4\ J$$

4. يحتوي نظام التبريد لسيارة على 20.0 L من الماء علمًا بأن كتلة لتر واحد من الماء تساوي 1 kg.

a. إذا اشتغل المحرك حتى حصل على 836.0 kJ من الحرارة، فما مقدار التغير في درجة حرارة الماء؟

$$Q = mC\Delta T$$
$$\Delta T = \frac{Q}{mC} = \frac{(8.36\times10^4\ J)}{(20.0\ kg)(4180\ J/kg.K)}$$
$$= 10.0\ K$$

b. إذا كان الفصل شتاءً، ونظام التبريد في السيارة مملوءًا بالميثانول ذي الكثافة 0.80 g/cm³ فما مقدار الزيادة في درجة حرارة الميثانول إذا امتص 836.0 kJ من الحرارة؟

كتلة الميثانول تساوي 0.80 مرة من كتلة 20.0 L من الماء، أي تساوي 16 kg.

$$Q = mC\Delta T$$
$$\Delta T = \frac{Q}{mC} = \frac{(8.36\times10^5\ J)}{(16\ kg)(2450\ J/kg.K)}$$
$$= 21\ K$$

c. أيهما يُعد مبردًا أفضل، الماء أم الميثانول؟ فسر إجابتك.

الماء هو المبرد الأفضل عند درجات حرارة أعلى من 0 °C؛ لأنه يستطيع أن يمتص الحرارة دون أن تتغير درجة حرارته كثيرًا كما يحدث عند استخدام الميثانول.

تابع الفصل 5

5. تبيع شركات الكهرباء الطاقة الكهربائية بوحدة kWh، حيث إن $1\ kWh = 3.6\times10^6\ J$. افترض أن ثمن كل 1 kWh يساوي 0.15 ريال. فما تكلفة تسخين 75 kg من الماء من درجة حرارة 15°C إلى 43°C؟

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (75\ kg)(4180\ J/kg.K)(43°C - 15°C)$$

$$= 8.8\times10^6\ J$$

$$\frac{8.8\times10^6\ J}{3.6\times10^6\ J/kWh} = 2.4\ kWh$$

$$(2.4\ kWh)(0.15\ SR/kWh) = 0.36 \text{ ريال}$$

صفحة 148

6. خلطت عينة ماء كتلتها $2.00\times10^2\ g$ ودرجة حرارتها 80.0°C مع عينة ماء أخرى كتلتها $2.00\times10^2\ g$ ودرجة حرارتها 10.0 °C. مفترضًا عدم فقدان حرارة إلى المحيط الخارجي، ما درجة الحرارة النهائية للخليط؟

$$m_A C_A(T_f - T_{Ai}) + m_B C_B(T_f - T_{Bi}) = 0$$

ولما كانت

$$m_A = m_B$$

و

$$C_A = C_B$$

فإنه يمكن إجراء اختصارات للحصول على ما يلي:

$$T_f = \frac{T_{Ai} + T_{Bi}}{2} = \frac{80.0°C + 10.0°C}{2} = 45.0°C$$

7. خلطت عينة ميثانول كتلتها $4.00\times10^2\ g$ ودرجة حرارتها 16.0°C مع عينة ماء كتلتها $4.00\times10^2\ g$ ودرجة حرارتها 85.0 °C. مفترضًا عدم فقدان حرارة إلى المحيط الخارجي، ما درجة الحرارة النهائية للخليط؟

$$m_{\text{عينة الميثانول}} C_{\text{عينة الميثانول}}(T_f - T_{i,\text{عينة الميثانول}}) + m_{\text{عينة الماء}} C_{\text{عينة الماء}}(T_f - T_{i,\text{عينة الماء}}) = 0$$

لما كانت في هذه الحالة

$$m_{\text{عينة الميثانول}} = m_{\text{عينة الماء}}$$

فإن الكتل ستلغى، لذا فإن

$$T_f = \frac{C_{\text{عينة الميثانول}} + T_{i,\text{عينة الميثانول}} + C_{\text{عينة الماء}} T_{i,\text{عينة الماء}}}{C_{\text{عينة الميثانول}} + C_{\text{عينة الماء}}}$$

$$= \frac{(2450\ J/kg.K)(16.0°C) + (4180\ J/kg.K)(85.0°C)}{2450\ J/kg.K + 4180\ J/kg.K}$$

$$= 59.5°C$$

تابع الفصل 5

8. وضعت ثلاثة أوزان فلزية لصيد السمك في ماء كتلته 1.00×10^2 g ودرجة حرارته 35.0 °C. فإذا كانت كتلة كل قطعة فلزية 1.00×10^2 g ودرجة حرارتها 100.0 °C، وكانت درجة حرارة الخليط النهائية 45.0 °C، فما السعة الحرارية النوعية للفلز في الأوزان؟

كمية الحرارة التي اكتسبها الماء

$$\begin{aligned} Q &= mC\Delta T \\ &= (0.100\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(10.0\text{°C}) \\ &= 4.18\ \text{kJ} \end{aligned}$$

لذا، فإن الحرارة المفقودة من الأوزان تساوي

$$-4.18\ \text{kJ} = m_{\text{الأوزان}} C_{\text{الأوزان}} \Delta T$$

لذا، فإن

$$\begin{aligned} C_{\text{الأوزان}} &= \frac{(-4.184\ \text{kJ})(1000\ \text{J/kJ})}{(0.100\ \text{kg})(-55.0\text{° C})} \\ &= 2.53\times10^2\ \text{J/kg.°C} \end{aligned}$$

9. وضع قالب فلزي في ماء كتلته 1.00×10^2 g ودرجة حرارته 10.0 °C، فإذا كانت كتلة القالب 1.00×10^2 g ودرجة حرارته 100.0 °C، وكانت درجة الحرارة النهائية للخليط 25.0 °C. فما السعة الحرارية النوعية لمادة القالب؟

كمية الحرارة التي يكتسبها الماء

$$\begin{aligned} Q &= mC\Delta T \\ &= (0.100\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(15.0\text{°C}) \\ &= 6.27\ \text{kJ} \end{aligned}$$

لذا فإن الحرارة المفقودة من القالب تساوي

$$-6.27\ \text{kJ} = m_{\text{القالب}} C_{\text{القالب}} \Delta T$$

لذا فإن

$$\begin{aligned} C_{\text{القالب}} &= \frac{Q}{m_{\text{القالب}} \Delta T} \\ &= \frac{-6.27\ \text{kJ}}{(0.100\ \text{kg})(-75.0\text{°C})} \\ &= 8.36\times10^2\ \text{J/kg.°C} \end{aligned}$$

مراجعة القسم

1–5 درجة الحرارة والطاقة الحرارية (صفحة 149–137)

صفحة 149

10. درجات الحرارة حوّل درجات الحرارة الآتية لأنظمة القياس المشار إليها:

a. 5 °C إلى كلفن.

278 K

b. 34 K إلى سلسيوس.

−239°C

c. 212 °C إلى كلفن.

485 K

d. 316 K إلى سلسيوس.

43°C

11. التحويلات حوّل درجات الحرارة الآتية إلى كلفن.

a. 28 °C

301 K

b. 154 °C

427 K

c. 568 °C

841 K

d. −55 °C

218 K

e. −184 °C

89 K

12. الطاقة الحرارية هل يمكن أن تكون الطاقة الحرارية لكمية من الماء الساخن مساوية للطاقة الحرارية لكمية أخرى من الماء البارد؟ فسّر إجابتك.

الطاقة الحرارية هي مقياس للطاقة الكلية لجزيئات الجسم جميعها. أما درجة الحرارة (ساخن أو بارد) فهي مقياس لكمية الطاقة لكل جزيء. إذا كانت كميتا الماء متماثلتين وتحويان العدد نفسه من الجزيئات فإن لكمية الماء الساخن طاقة حرارية أكبر. ومع ذلك، إذا كانت كتلة الماء البارد أكبر قليلا من كتلة الماء الساخن فعندئذٍ يمكن أن تكون كمية الطاقة في كل منهما متساوية.

13. انتقال الحرارة لماذا تبقى البطاطس المشويّة ساخنة مدة أطول من أيّ طعام آخر في الطبق نفسه؟

إن للبطاطس سعة حرارية نوعية كبيرة، ولا توصل الحرارة بصورة جيدة؛ لذا فإنها تفقد حرارتها ببطء.

تابع الفصل 5

14. الحرارة يكون بلاط أرضية الحمام في الشتاء باردًا عند لمسه بالقدم على الرغم من أن باقي غرفة الحمام دافئة، فهل تكون الأرضية أبرد من سائر غرفة الحمام؟

تكون درجة حرارة الأرضية عادة بنفس درجة حرارة سائر غرفة الحمام، إلا أن البلاط يوصل الحرارة بكفاءة عالية أكثر من معظم المواد الموجودة في الحمام؛ لذا فالبلاط يوصل الحرارة من قدم الشخص؛ مما يجعله يشعر بالبرد.

15. السعة الحرارية النوعية إذا تناولت ملعقة بلاستيكية من فنجان شاي حار ووضعتها في فمك، فلن تحرق لسانك، على الرغم من أنك قد تحرق لسانك بسهولة لو وضعت الشاي الحار في فمك مباشرة. فلماذا؟

للملعقة البلاستيكية سعة حرارية نوعية أقل؛ لذا لا تنقل الكثير من الحرارة إلى لسانك عندما تبرد.

16. الحرارة يستعمل كبار الطباخين في أغلب الأحيان مقالي طبخ مصنوعة من الألومنيوم السميك، فلماذا يعد الألومنيوم السميك أفضل من الرقيق للطبخ؟

يوصل الألومنيوم السميك الحرارة بصورة أفضل، ولا يكوّن بقعًا أسخن مما حولها.

17. الحرارة والطعام لماذا يتطلب شيّ حبة البطاطس كاملة مدة أطول من قليها على شكل شرائح صغيرة؟

لا توصل البطاطس الحرارة جيدًا. كما يؤدي تقسيمها إلى أجزاء صغيرة إلى زيادة المساحة السطحية، مما يزيد من تدفق الحرارة إليها. ويعد تدفق الحرارة من الزيت الحار إلى البطاطس (كما في القلي) أكثر كفاءة من تدفق الحرارة من الهواء الساخن إلى البطاطس (كما في الشيّ).

18. التفكير الناقد قد ينتج بعض الضباب فوق سطح الماء عندما يسخن، قبل بدء الغليان مباشرة. فما الذي يحدث؟ وأين يكون الجزء الأبرد من الماء في القدر؟

تتدفّق الحرارة من الموقد (الجزء الأسخن) إلى قمة سطح الماء (الأبرد). فينقل الماءُ أولاً الحرارة من قاعدة القدر إلى قمته بالتوصيل، ثم يبدأ الحمل بتحريك الماء الساخن في تيارات نحو القمة.

مسائل تدريبية

5–2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية (صفحة 161–150)

صفحة 154

19. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لتحويل كتلة من الجليد مقدارها $1.00\times10^{2}\ \text{g}$ ودرجة حرارتها $-20.0\ ^{\circ}\text{C}$ إلى ماءٍ درجة حرارته $0.0\ ^{\circ}\text{C}$؟

$$Q = mC\Delta T + mH_{\text{f}}$$

$$= (0.100\ \text{kg})(2060\ \text{J/kg.°C})(20.0°\text{C}) + (0.100\ \text{kg})(3.34\times10^{5}\ \text{J/kg})$$

$$= 3.75\times10^{4}\ \text{J}$$

20. إذا سخنت عينة ماء كتلتها $2.00\times10^{2}\ \text{g}$ ودرجة حرارتها $60.0\ ^{\circ}\text{C}$ فأصبحت بخارًا درجة حرارته $140.0\ ^{\circ}\text{C}$، فما مقدار كمية الحرارة الممتصة؟

$$Q = mC_{\text{الماء}}\Delta T + mH_{\text{v}} + mC_{\text{البخار}}\Delta T$$

$$= (0.200\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(100.0°\text{C} - 60.0°\text{C}) + (0.200\ \text{kg})(2.26\times10^{6}\ \text{J/kg}) +$$
$$(0.200\ \text{kg})(2020\ \text{J/kg.°C})(140.0°\text{C} - 100.0°\text{C})$$

$$= 502\ \text{kJ}$$

تابع الفصل 5

21. احسب كمية الحرارة اللازمة لتحويل 3.00×10^2 g من جليد درجة حرارته 30.0 °C− إلى بخار ماء درجة حرارته 130.0 °C؟

$$Q = mC_{\text{الجليد}}\Delta T + mH_f + mC_{\text{الماء}}\Delta T + mH_v + mC_{\text{البخار}}\Delta T$$

$$= (0.300\text{ kg})(2060\text{ J/kg.°C})(0.0°\text{C} - (-30.0°\text{C})) + (0.300\text{ kg})(3.34\times10^5\text{ J/kg}) + (0.300\text{ kg})(4180\text{ J/kg.°C})$$
$$(100.0°\text{C} - 0.0°\text{C}) + (0.300\text{ kg})(2.26\times10^6\text{ J/kg}) + (0.300\text{ kg})(2020\text{ J/kg.°C})(130.0°\text{C} - 100.0°\text{C})$$
$$= 9.40\times10^2\text{ kJ}$$

صفحة 157

22. يمتص بالون غاز 75 J من الحرارة. فإذا تمدّد هذا البالون وبقي عند درجة الحرارة نفسها، فما مقدار الشغل الذي بذله البالون في أثناء تمدده؟

$$\Delta U = Q - W$$

بما أن درجة حرارة البالون لم تتغير، فإن

$$\Delta U = 0$$

لذا فإن

$$Q = W$$

وهكذا يكون البالون قد بذل شغلاً مقداره 75 J في أثناء تمدُّده.

23. يثقب مثقب كهربائي فجوة صغيرة في قالب من الألومنيوم كتلته 0.40 kg فيسخن الألومنيوم بمقدار 5.0 °C، ما مقدار الشغل الذي بذله المثقب؟

$$\Delta U = Q - W_{\text{القالب}}$$

$$W_{\text{المثقب}} = -W_{\text{القالب}}$$

وأفترض أنه لم تضف حرارة إلى المثقب

$$\Delta U = 0 + W_{\text{المثقب}}$$
$$= mC\Delta T$$
$$= (0.40\text{ kg})(897\text{ J/kg.°C})(5.0°\text{C})$$
$$= 1.8\times10^3\text{ J}$$

24. كم مرة يتعين عليك إسقاط كيس من الرصاص كتلته 0.50 kg من ارتفاع 1.5 m؛ لتسخين الرصاص بمقدار 1.0 C°؟

$$\Delta U = mC\Delta T$$
$$= (0.50\text{ kg})(130\text{ J/kg.°C})(1.0\text{ °C})$$
$$= 65\text{ J}$$

طاقة وضع الكيس في كل مرة يتم فيها رفعه تساوي

$$PE = mgh$$
$$= (0.50\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(1.5\text{ m})$$
$$= 7.4\text{ J}$$

تابع الفصل 5

عندما يصطدم الكيس بسطح الأرض؛ تنتقل هذه الطاقة غالبًا على شكل شغل مبذول على الرصاص. وعدد مرات الإسقاط يساوي:

$$\frac{65\ \text{J}}{7.4\ \text{J}} = 9\ \text{مرة}$$

25. عندما تحرّك كوبًا من الشاي، تبذل شغلاً مقداره 0.05 J في كل مرة تحرك فيها الملعقة بصورة دائرية. كم مرة يجب أن تحرك الملعقة لترفع درجة حرارة كوب الشاي الذي كتلته 0.15 kg بمقدار 2.0 °C؟ (بإهمال زجاج الكوب)

$$\Delta U = mC\Delta T$$
$$= (0.15\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(2.0°\text{C})$$
$$= 1.3\times10^{3}\ \text{J}$$

عدد مرات التحريك تساوي

$$\frac{1.3\times10^{3}\ \text{J}}{0.05\ \text{J}} = 2.6\times10^{4}\ \text{مرة}$$

26. كيف يمكن استخدام القانون الأول في الديناميكا الحرارية لشرح كيفية تخفيض درجة حرارة جسم ما؟

من الممكن أن تكون ΔU سالبة؛ لأن $\Delta U = Q - W$؛ لذا يبرد الجسم إذا كانت $Q = 0$ ويبذل الجسم شغلا بفعل التمدد على سبيل المثال. أو تكون $W = 0$ و Q سالبة عن طريق نقل الجسم للحرارة إلى المحيط الخارجي. وتفي أي من هاتين الصيغتين بالغرض.

مراجعة القسم

2–5 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية (صفحة 161–150)

صفحة 161

27. الحرارة الكامنة للتبخر يرسل النظام القديم للتدفئة بخارًا داخل الأنابيب في كل غرفة من المنزل، ويتكثف هذا البخار في داخل المشعاع ليصبح ماءً. حلّل هذه العملية، واشرح كيف تعمل على تدفئة الغرفة؟

يحرّر البخار المتكثّف الحرارة الكامنة للتبخر في داخل الغرفة، ثم يكمل دورته راجعًا إلى المرجل لامتصاص الحرارة الكامنة للتبخر مرة أخرى.

28. الحرارة الكامنة للتبخر ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لتحويل 50.0 g من الماء عند درجة حرارة 80.0 °C إلى بخار عند درجة حرارة 110.0 °C؟

$$Q = mC_{\text{الماء}}\Delta T + mH_{\text{v}} + mC_{\text{البخار}}\Delta T$$
$$= (0.500\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(100.0°\text{C} - 80.0°\text{C}) + (0.500\ \text{kg})(2.26\times10^{6}\ \text{J/kg}) + (0.500\ \text{kg})(2020\ \text{J/kg.°C})$$
$$(110.0°\text{C} - 100.0°\text{C})$$
$$= 1.18\times10^{5}\ \text{J}$$

29. الحرارة الكامنة للتبخر ما مقدار الطاقة اللازمة لتسخين 1.0 kg من الزئبق عند درجة حرارة 10.0 °C إلى درجة الغليان وتبخره كاملاً؟ علمًا بأن السعة الحرارية النوعية للزئبق هي 140 J /kg.°C، والحرارة الكامنة لتبخره هي 3.06×10^{5} J /kg ، ودرجة غليان الزئبق هي 357 °C.

$$Q = mC_{\text{الزئبق}}\Delta T + mH_{\text{v}}$$
$$= (1.0\ \text{kg})(140\ \text{J/kg.°C})(357°\text{C} - 10.0°\text{C}) + (1.0\ \text{kg})(3.06\times10^{5}\ \text{J/kg})$$
$$= 3.5\times10^{5}\ \text{J}$$

تابع الفصل 5

30. الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية قاس جيمس جول الفرق في درجة حرارة الماء عند قمة شلال ماء وعند قاعه بدقة. فلماذا توقع وجود فرق؟

للماء عند قمة الشلال طاقة وضع جاذبية، وتتحول بعض هذه الطاقة إلى طاقة حرارية عندما يصطدم الماء بالأرض عند قاع الشلال. ويجب أن يكون الماء أكثر سخونة عند قاع الشلال، ولكن ليس إلى درجة كبيرة.

31. الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية يستخدم رجل مطرقة كتلتها 320 kg تتحرك بسرعة 5.0 m /s لتحطيم قالب رصاص كتلته 3.0 kg موضوع على صخرة كتلتها 450 kg. وعندما قاس درجة حرارة القالب وجد أنها زادت 5.0 °C. فسّر ذلك.

يمتص قالب الرصاص جزءًا من طاقة المطرقة الحركية. مقدار طاقة المطرقة يساوي

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(320\ \text{kg})(5.0\ \text{m/s})^2 = 4.0\ \text{kJ}$$

التغير في الطاقة الحرارية للقالب يساوي

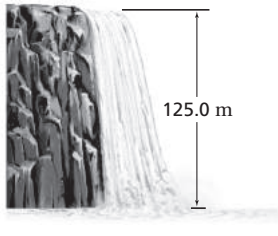
$$\Delta U = mC\Delta T$$

$$= (3.0\ \text{kg})(130\ \text{J/kg.K})(5.0°\text{C})$$

$$= 2.0\ \text{kJ}$$

أي أن نصف طاقة المطرقة انتقلت إلى قالب الرصاص.

32. الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية تتدفق مياه شلال يرتفع 125.0 m كما في **الشكل 17–5**. احسب الفرق في درجة حرارة الماء بين قمة الشلال وقاعه إذا تحولت كل طاقة وضع الماء إلى طاقة حرارية.



■ الشكل 17–5

$$PE_{\text{الجاذبية}} = Q_{\text{المتصة بواسطة الماء}}$$

$$mgh = mC\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{gh}{C}$$

$$= \frac{(9.80\ \text{m/s}^2)(125.0\ \text{m})}{4180\ \text{J/kg.}\ °\text{C}}$$

$$= 0.293°\text{C}$$ **مقدار الارتفاع في درجة الحرارة عند قاع الشلال**

تابع الفصل 5

33. الإنتروبي لماذا ينتج عن تدفئة المنزل عن طريق الغاز الطبيعي زيادة في كمية الفوضى أو العشوائية؟

يحرر الغاز حرارة Q عند درجة حرارة الاحتراق T. حيث تتحطم الروابط بين جزيئات الغاز، وتتحد بالأكسجين. وتتوزع الحرارة بطرائق جديدة عديدة، ولا تعيد جزيئات الغاز الطبيعي تجمُّعها بسهولة وسرعة.

34. التفكير الناقد إذا كان لديك أربع مجموعات من بطاقات فهرسة، لكل مجموعة لون محدّد. تحتوي كل مجموعة 20 ورقة مرقمة. فإذا خلطت بطاقات هذه المجموعات معًا عدة مرات فهل يحتمل أن تعود البطاقات إلى ترتيبها الأصلي؟ وضح ذلك. وما القانون الفيزيائي الذي ينطبق عليه هذا المثال؟

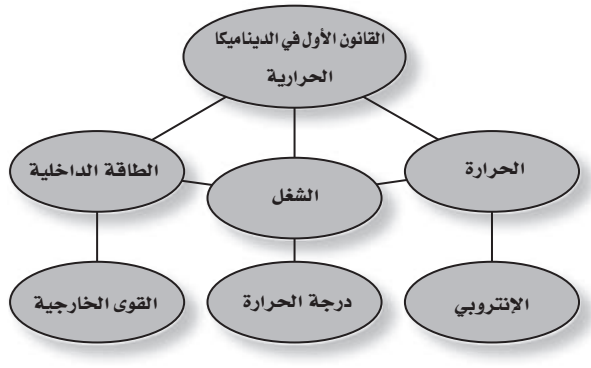
لا يحتمل أن تعود البطاقات إلى ترتيبها الأصلي. هذا مثال على القانون الثاني في الديناميكا الحرارية والذي تزيد فيه الفوضى.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 166

35. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الحرارة، الشغل، الطاقة الداخلية.



إتقان المفاهيم

صفحة 166

36. وضح الاختلافات بين الطاقة الميكانيكية لكرةٍ ما، وطاقتها الحرارية، ودرجة حرارتها. (1–5)

إن الطاقة الميكانيكية هي مجموع طاقتي الوضع والحركة للكرة على اعتبار أنها كتلة واحدة. والطاقة الحرارية هي مجموع طاقتي الوضع والحركة للجسيمات المفردة المكونة لكتلة الكرة. أما درجة الحرارة فهي قياس للطاقة الداخلية للكرة.

37. هل يمكن وجود درجة حرارة للفراغ؟ وضح ذلك. (1–5)

لا؛ لأنه لا يوجد في الفراغ جسيمات ليكون لها طاقة.

38. هل جميع الجزيئات أو الذرات في السائل لها السرعة نفسها؟ (1–5)

لا، يوجد توزيع لسرعات الذرات أو الجزيئات.

39. هل يُعد جسم الإنسان مقياسًا جيدًا لدرجة الحرارة؟ تشعر في يوم شتاء بارد، أن مقبض الباب المعدني أبرد من المقبض الخشبي. فسر ذلك. (1–5)

يقيس الجلد تدفق الحرارة منه أو إليه، ويمتص مقبض الباب الفلزي الحرارة من الجلد أسرع من الباب الخشبي؛ لذا يبدو أبرد.

40. عند تدفق الحرارة من جسم ساخن ملامس لجسم بارد، هل يحدث للجسمين التغير نفسه في درجات الحرارة؟ (1–5)

تتغير درجتا حرارة الجسمين اعتمادًا على كتلتيهما وعلى السعة الحرارية النوعية لهما. وليس بالضرورة أن يكون تغير درجة الحرارة هو نفسه لكل منهما.

41. هل تستطيع إضافة طاقة حرارية إلى جسم دون زيادة درجة حرارته؟ فسر ذلك. (2–5)

عندما تصهر مادة صلبة أو عندما تغلي سائلاً فإنك تضيف طاقة حرارية دون إحداث تغيير في درجة الحرارة.

42. عندما يتجمد الشمع، هل يمتص طاقة أم يبعث طاقة؟ (2–5)

عندما يتجمد الشمع تنبعث منه طاقة.

43. فسر لماذا يبقى الماء في القربة المحاطة بقماش رطب باردًا أكثر من حالة عدم وجود القماش؟ (2–5)

عندما يتبخر الماء الذي في القماش في الهواء الجاف فإنه يمتص كمية طاقة تتناسب مع الحرارة الكامنة لتبخره؛ لذا تبرد القربة. ويحدث هذا إذا كان الهواء جافًا فقط، أما إذا كان الهواء رطبًا فلن يتبخر الماء.

44. أي العمليات تحدث في ملفات مكيف الهواء الموجودة داخل المنزل: التبخر أم التكثف؟ وضح ذلك. (2–5)

يتبخر غاز التبريد داخل الملفات الموجودة داخل المنزل، ليمتص الطاقة من الغرف.

تابع الفصل 5

تطبيق المفاهيم
صفحة 166

45. الطبخ تطهو امرأة اللحم في قدر ماء يغلي. فهل ينضج اللحم أسرع عند غلي الماء بشدة أو غليه بهدوء (على نار هادئة)؟
ينبغي ألا يكون هناك اختلاف؛ فالماء في كلتا الحالتين له درجة الحرارة نفسها.

46. أي السائلين يبرِّده مكعب من الثلج أسرع: الماء أم الميثانول؟ وضح ذلك.
الميثانول؛ لأن له سعة حرارية نوعية أقل. يتولد ΔT أكبر لكتلة معينة وانتقال حرارة معينة، حيث إن:

$$Q = mC\Delta T$$

47. سُخنت كتلتان متساويتان من الألومنيوم والرصاص بحيث أصبحتا عند درجة الحرارة نفسها، ثم وضعت القطعتان على لوحين متماثلين من الجليد. أيهما يصهر جليدًا أكثر؟ وضح ذلك.
يصهر الألومنيوم جليدًا أكثر؛ لأن سعته الحرارية النوعية أكبر من السعة الحرارية النوعية للرصاص.

48. لماذا يشعر الشخص ببرودة السوائل السريعة التبخر على الجلد، ومنها الأسيتون والميثانول؟
لأنهما يمتصان الحرارة الكامنة لتبخر كل منهما من الجلد عند تبخرهما.

49. أُسقط قالبان من الرصاص لهما درجة الحرارة نفسها في كأسين متماثلتين من الماء متساويتين في درجة الحرارة. فإذا كانت كتلة القالب A ضعف كتلة القالب B، فهل يكون لكأسي الماء درجات الحرارة نفسها بعد الوصول إلى حالة الاتزان الحراري؟ وضح ذلك.
ستكون الكأس ذات القالب A أسخن، لأن القالب A يحتوي طاقة حرارية أكثر.

إتقان حل المسائل
صفحة 168–166

1–5 درجة الحرارة والطاقة الحرارية
صفحة 167–166

50. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 50.0 g من الماء من درجة حرارة 4.5 °C إلى درجة حرارة 83.0 °C؟

$$Q = mC\Delta T$$
$$= (0.0500\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(83.0°\text{C} - 4.5°\text{C})$$
$$= 1.64\times10^{4}\ \text{J}$$

51. يمتص قالب من المعدن كتلته 5.0×10^{2} g كمية من الحرارة مقدارها 5016 J عندما تتغير درجة حرارته من 20.0 °C إلى 30.0 °C. احسب السعة الحرارية النوعية للمعدن.

$$Q = mC\Delta T$$

لذا فإن

$$C = \frac{Q}{m\Delta T}$$
$$= \frac{5016\ \text{J}}{(5.0\times10^{-1}\ \text{kg})(30.0°\text{C} - 20.0°\text{C})}$$
$$= 1.0\times10^{3}\ \text{J/kg.°C}$$
$$= 1.0\times10^{3}\ \text{J/kg.K}$$

تابع الفصل 5

52. وضعت كتلة من التنجستن مقدارها 1.00×10^2 g ودرجة حرارتها 100.0 °C في 2.00×10^2 g من الماء عند درجة 20.0 °C. فوصل الخليط إلى الاتزان الحراري عند درجة 21.6 °C. احسب السعة الحرارية النوعية للتنجستن.

$$\Delta Q_{\text{التنجستن}} + \Delta Q_{\text{ماء}} = 0$$

أو

$$m_{\text{التنجستن}} C_{\text{التنجستن}} \Delta T_{\text{التنجستن}} = -m_{\text{ماء}} C_{\text{ماء}} \Delta T_{\text{ماء}}$$

$$C_{\text{التنجستن}} = \frac{-m_{\text{ماء}} C_{\text{ماء}} \Delta T_{\text{ماء}}}{m_{\text{التنجستن}} \Delta T_{\text{التنجستن}}} = \frac{-(0.200\text{ kg})(4180\text{ J/kg.K})(21.6°\text{C} - 20.0°\text{C})}{(0.100\text{ kg})(21.6°\text{C} - 100.00°\text{C})}$$

$$= 171\text{ J/kg.K}$$

53. خُلطت عينة كتلتها 6.0×10^2 g من الماء عند درجة 90.0 °C بعينة ماء كتلتها 4.0×10^2 g عند 22.0 °C. فإذا افترضت عدم فقدان أي حرارة للمحيط، فما درجة الحرارة النهائية للخليط؟

$$T_f = \frac{m_A C_A \Delta T_{Ai} + m_B C_B \Delta T_{Bi}}{m_A C_A + m_B C_B}$$

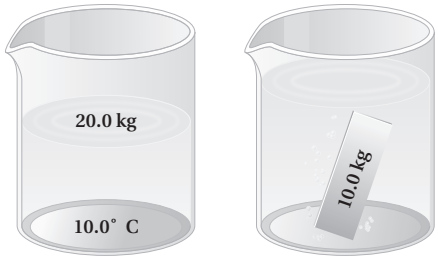
ولكن: $C_A = C_B$، وذلك لأن كلا السائلين عبارة عن ماء، لذا ستختصر C.

$$T_f = \frac{m_A T_{Ai} + m_B T_{Bi}}{m_A + m_B} =$$

$$= \frac{(6.0\times10^2\text{ g})(90.0°\text{C}) + (4.00\times10^2\text{ g})(22.0°\text{C})}{6.0\times10^2\text{ g} + 4.00\times10^2\text{ g}}$$

$$= 63°\text{C}$$

54. وضعت قطعة خارصين في وعاء ماء كما في **الشكل 18–5**. فإذا كانت كتلة القطعة 10.0 kg، ودرجة حرارتها 71.0 °C، وكتلة الماء 20.0 kg، ودرجة حرارته قبل إضافة القطعة 10.0 °C، فما درجة الحرارة النهائية للماء والخارصين؟



■ **الشكل 18–5**

$$T_f = \frac{m_A C_A \Delta T_{Ai} + m_B C_B \Delta T_{Bi}}{m_A C_A + m_B C_B}$$

$$= \frac{(10.0\text{ kg})(388\text{ J/kg.K})(71.0°\text{C}) + (20.0\text{ kg})(4180\text{ J/kg.K})(10.0°\text{C})}{(10.0\text{ kg})(388\text{ J/kg.K}) + (20.0\text{ kg})(4180\text{ J/kg.K})}$$

$$= 12.7°\text{C}$$

تابع الفصل 5

55. إن الطاقة الحركية لسيارة صغيرة تتحرك بسرعة 100 km/h هي 2.9×10^5 J. لتكوّن انطباعًا جيدًا عن مفهوم الطاقة، احسب حجم الماء (باللتر) الذي ترتفع حرارته من درجة حرارة الغرفة (20.0 °C) إلى درجة الغليان (100.0 °C) إذا اكتسب طاقة مقدارها 2.9×10^5 J.

$$Q = mC\Delta T = \rho VC\Delta T$$

حيث تمثل ρ كثافة المادة

لذا فإن:

$$V = \frac{Q}{\rho C\Delta T} = \frac{2.9\times10^5\ \text{J}}{(1.00\ \text{kg/L})(4180\ \text{J/kg.°C})(100.0°\text{C} - 20.0°\text{C})}$$

$$= 0.87\ \text{L}$$

56. سخان الماء يستخدم سخان ماء قدرته 3.0×10^2 W لتسخين قدح ماء كما في **الشكل 19–5**. ما مقدار الزمن اللازم لجعل الماء يغلي، إذا كان القدح مصنوعًا من الزجاج وكتلته 3.00×10^2 g ويحتوي 250 g من الماء عند 15 °C؟ افترض أن درجة حرارة القدح مساوية لدرجة حرارة الماء، وأنه لن يفقد الحرارة إلى الهواء.

■ **الشكل 19–5**

$$Q = m_{\text{الزجاج}}\, C_{\text{الزجاج}}\, \Delta T_{\text{الزجاج}} + m_{\text{الماء}}\, C_{\text{الماء}}\, \Delta T_{\text{الماء}}$$

ولكن

$$\Delta T_{\text{الزجاج}} = \Delta T_{\text{الماء}}$$

لذا فإن

$$Q = (m_{\text{الزجاج}}\, C_{\text{الزجاج}} + m_{\text{الماء}}\, C_{\text{الماء}})\, \Delta T$$

$$= ((0.300\ \text{kg})\ (840\ \text{J/kg.°C}) + (0.250\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C}))(100.0\ °\text{C} - 15\ °\text{C})$$

$$= 1.1\times10^5\ \text{J}$$

والآن

$$P = \frac{E}{t} = \frac{Q}{t}$$

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{1.1\times10^5\ \text{J}}{3.0\times10^2\ \text{J/s}}$$

$$= 370\ \text{s} = 6.1\ \text{min}$$

تابع الفصل 5

57. محرك السيارة يحتوي محرك سيارة حديد كتلته 2.50×10^2 kg كما يحتوي على ماء للتبريد. افترض أن درجة حرارة المحرك لحظة توقفه عن العمل 35.0 °C، ودرجة حرارة الهواء 10.0 °C. فما مقدار كتلة الماء المستخدمة لتبريد المحرك، إذا كانت كمية الحرارة الناتجة عن المحرك والماء داخله عندما يبردان ليصلا إلى درجة حرارة الهواء هي 4.40×10^6 J؟

$$Q = m_{\text{ماء}}\, C_{\text{ماء}}\, \Delta T + m_{\text{الحديد}}\, C_{\text{الحديد}}\, \Delta T$$

$$m_{\text{ماء}} = \frac{Q - m_{\text{الحديد}}\, C_{\text{الحديد}}\, \Delta T}{C_{\text{ماء}}\, \Delta T} = \frac{(4.40\times10^6\ \text{J}) - ((2.50\times10^2\ \text{kg})(450\ \text{J/kg.°C})(35.0°\text{C} - 10.0°\text{C}))}{(4180\ \text{J/kg.°C})(35.0°\text{C} - 10.0°\text{C})}$$

$$= 15\ \text{kg}$$

5–2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية

صفحة 168–167

58. كانت إحدى طرائق التبريد قديمًا تقتضي استخدام قالب من الجليد كتلته 20.0 kg يوميًّا في صندوق الجليد المنزلي. وكانت درجة حرارة الجليد 0.0 °C عند استلامه. فما مقدار كمية الحرارة التي يمتصها القالب في أثناء انصهاره؟

$$Q = mH_{\text{f}} = (20.0\ \text{kg})(3.34\times10^5\ \text{J/kg}) = 6.68\times10^6\ \text{J}$$

59. كُثفت عينة من الكلوروفورم كتلتها 40.0 g من بخار عند درجة 61.6 °C إلى سائل عند درجة 61.6 °C، فانبعثت كمية من الحرارة مقدارها 9870 J. ما الحرارة الكامنة لتبخر الكلوروفورم؟

$$Q = mH_{\text{v}}$$

$$H_{\text{v}} = \frac{Q}{m} = \frac{9870\ \text{J}}{0.0400\ \text{kg}} = 2.47\times10^5\ \text{J/kg}$$

60. تحركت سيارة كتلتها 750 kg بسرعة 23 m/s ثم توقفت بالضغط على المكابح. فإذا احتوت المكابح على 15 kg من الحديد الذي يمتص الحرارة. فما مقدار الزيادة في درجة حرارة المكابح؟

تحولت الطاقة الحركية للسيارة خلال توقفها إلى طاقة حرارية، لذا فإن:

$$\Delta KE_{\text{C}} + Q_{\text{B}} = 0.0$$

حيث ترمز C إلى السيارة، و B إلى المكابح

$$\Delta KE_{\text{C}} + m_{\text{B}}C_{\text{B}}\Delta T = 0.0$$

لذا فإن:

$$\Delta T = \frac{-\Delta \text{KE}_{\text{C}}}{m_{\text{B}}C_{\text{B}}} = \frac{-\frac{1}{2}\, m_{\text{C}}(v_{\text{f}}^2 - v_{\text{i}}^2)}{m_{\text{B}}\, C_{\text{B}}}$$

$$= \frac{-\frac{1}{2}(750\ \text{kg})(0.0^2 - (23\ \text{m/s})^2)}{(15\ \text{kg})(450\ \text{J/kg.°C})}$$

$$= 29°\text{C}$$

61. ما مقدار كمية الحرارة المضافة إلى كتلة 10.0 g من الجليد عند درجة 20.0 °C− لتحويلها إلى بخار ماء عند درجة 120.0 °C؟

كمية الحرارة التي تتطلبها كتلة الجليد لتصبح درجة حرارتها 0.0°C تساوي

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (0.0100\ \text{kg})(2060\ \text{J/kg.°C})(0.0°\text{C} - (-20.0°\text{C}))$$

$$= 412\ \text{J}$$

كمية الحرارة التي يتطلبها صهر الجليد تساوي

$$Q = mH_f$$

$$= (0.0100\ \text{kg})(3.34\times10^5\ \text{J/kg})$$

$$= 3.34\times10^3\ \text{J}$$

كمية الحرارة التي يتطلبها تسخين الماء إلى درجة 100.0°C تساوي

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (0.0100\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(100.0°\text{C} - 0.0°\text{C})$$

$$= 4.18\times10^3\ \text{J}$$

كمية الحرارة التي يتطلبها غلي الماء تساوي

$$Q = mH_v$$

$$= (0.0100\ \text{kg})(2.26\times10^6\ \text{J/kg})$$

$$= 2.26\times10^4\ \text{J}$$

كمية الحرارة التي يتطلبها تسخين البخار إلى درجة 120.0°C تساوي

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (0.0100\ \text{kg})(2060\ \text{J/kg.°C})(120.0°\text{C} - 100.0°\text{C})$$

$$= 404\ \text{J}$$

كمية الحرارة الكلية تساوي

$$412\ \text{J} + 3.34\times10^3\ \text{J} + 4.18\times10^3\ \text{J} + 2.26\times10^4\ \text{J} + 404\ \text{J} = 3.09\times10^4\ \text{J}$$

62. تتحرك قذيفة من الرصاص كتلتها 4.2 g بسرعة 275 m/s فتصطدم بصفيحة فولاذية وتتوقف، فإذا تحولت طاقتها الحركية كلها إلى طاقة حرارية دون فقدان أي شيء منها، فما مقدار التغير في درجة حرارتها؟ افترض أن الحرارة كلها بقيت في الرصاصة وأن مادتها هي الرصاص.

بما أن الطاقة الحركية قد تحولت إلى طاقة حرارية فإن $\Delta KE + Q = 0$، لذا فإن

$$\Delta KE = -m_{\text{القذيفة}}\, C_{\text{القذيفة}} \Delta T$$

و

$$\Delta T = \frac{-\Delta KE}{m_{\text{القذيفة}}\, C_{\text{القذيفة}}} = \frac{-\frac{1}{2} m_{\text{القذيفة}} (v_f^2 - v_i^2)}{m_{\text{القذيفة}}\, C_{\text{القذيفة}}}$$

ومن ثم تختصر كتلة القذيفة فنحصل على:

$$\Delta T = \frac{-\frac{1}{2}(v_f^2 - v_i^2)}{C_{\text{القذيفة}}}$$

$$= \frac{-\frac{1}{2}\left((0.0\ \text{m/s})^2 - (275\ \text{m/s})^2\right)}{130\ \text{J/kg.°C}}$$

$$= 290°\text{C}$$

63. ينتج كل 100 ml من مشروب خفيف طاقة مقدارها 1.7 kJ، فإذا كانت العلبة منه تحتوي على 375 ml، وشربت فتاة العلبة وأرادت أن تفقد مقدار ما شربته من الطاقة من خلال صعود درجات سلم، فما مقدار الارتفاع الذي ينبغي أن تصعد إليه الفتاة إذا كانت كتلتها 65.0 kg؟

اكتسبت الفتاة من المشروب الخفيف طاقة مقدارها

$$(3.75)(1.7\ \text{kJ}) = 6.4\times10^3\ \text{J}$$

ومن مبدأ حفظ الطاقة فإن

$$E + \Delta PE = 0$$

أو

$$6.4\times10^3\ \text{J} = -mg\Delta h$$

لذا فإن

$$\Delta h = \frac{6.4\times10^3\ \text{J}}{-mg} = \frac{6.4\times10^3\ \text{J}}{-(65.0\ \text{kg})(-9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 1.0\times10^1\ \text{m}$$

مراجعة عامة

صفحة 168

64. ما كفاءة المحرك الذي ينتج 2200 J/s عندما يحرق من البنزين ما يكفي لإنتاج 5300 J/s؟ وما مقدار كمية الحرارة الضائعة التي ينتجها المحرك كل ثانية؟

$$\text{الكفاءة} = \frac{W}{Q_H} \times 100$$

$$= \frac{2200\ \text{J}}{5300\ \text{J}} \times 100$$

$$= 42\%$$

الحرارة الضائعة تساوي

$$5300\ \text{J} - 2200\ \text{J} = 3100\ \text{J}$$

65. مكبس أختام تبذل آلة أختام معدنية في مصنع 2100 J من الشغل في كلّ مرة تختم فيها قطعة معدنية. ثم تغمس كل قطعة مختومة في حوض يحتوي 32.0 kg من الماء للتبريد. فما مقدار الزيادة في درجات حرارة الحوض في كل مرة تغمس فيها قطعة معدنية مختومة؟

لو افترضنا أن القطعة المعدنية المختومة قد امتصت من الآلة مقدارًا من الشغل يساوي 2100 J على شكل طاقة حرارية، فإن الحوض يجب أن يمتص 2100 J على شكل حرارة من كل قطعة. لم يُبذل أيّ شغل على الماء، ويحدث انتقال حرارة فقط. ويحسب التغير في درجة حرارة الماء بالمعادلة التالية:

$$\Delta U = mC\Delta T$$

لذا فإن

$$\Delta T = \frac{\Delta U}{mC}$$

$$= \frac{2100\ \text{J}}{(32.0\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})}$$

$$= 0.016°\text{C}$$

66. تحركت سيارة كتلتها 1500 kg بسرعة 25 m/s، ثم توقفت تمامًا عن الحركة بعد ضغط سائقها على المكابح. ما مقدار التغير في درجة حرارة المكابح إذا أودعت كامل طاقة السيارة في المكابح المصنوعة من الألومنيوم والتي كتلتها 45 kg؟

التغير في طاقة السيارة يساوي

$$\Delta KE = \frac{1}{2}(1500\ \text{kg})(25\ \text{m/s})^2 = 4.7\times10^5\ \text{J}$$

إذا تحولت هذه الطاقة جميعها إلى شغل في المكابح فإن

$$\Delta U = \Delta KE = mC\Delta T$$

لذا فإن

$$\Delta T = \frac{\Delta KE}{mC}$$

$$= \frac{4.7\times10^5\ \text{J}}{(45\ \text{kg})(897\ \text{J/kg.°C})}$$

$$= 12°\text{C}$$

67. الشاي المثلج لتصنع الشاي المثلج تمزجه بالماء الساخن، ثم تضيف إليه الجليد. فإذا بدأت بمقدار 1.0 L من الشاي عند درجة 90 °C، فما أقل كمية من الجليد يتطلبها تبريده إلى درجة 0 °C؟ وهل من الأفضل ترك الشاي يبرد إلى درجة حرارة الغرفة قبل إضافة الجليد إليه؟

الحرارة التي يفقدها الشاي

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (1.0\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.K})(90°\text{C})$$

$$= 376\ \text{kJ}$$

كمية الجليد المنصهر

$$m = \frac{Q}{H_f}$$

$$= \frac{376\ \text{kJ}}{334\ \text{kJ}} = 1.1\ \text{kg}$$

لذا تحتاج إلى جليد أكثر قليلاً من الشاي، ولكن هذه النسبة ستقلل من تركيز الشاي، لذا دع الشاي يبرد إلى درجة حرارة الغرفة قبل إضافة الجليد.

تابع الفصل 5

68. وضع قالب من النحاس عند 100.0 °C ملامسًا قالبًا من الألومنيوم عند 20.0°C، كما في **الشكل 20–5**. ما الكتل النسبية للقالبين إذا كانت درجة الحرارة النهائية لهما 60.0 °C؟

■ **الشكل 20– 5**

الحرارة التي يفقدها النحاس تساوي الحرارة التي يكتسبها الألومنيوم. ومقدار التغير في درجة حرارة النحاس تساوي 40.0°C–، في حين أن مقدار التغير في درجة حرارة الألومنيوم تساوي 40.0°C+ ؛ لذا فإن

$$m_{\text{النحاس}} C_{\text{النحاس}} = m_{\text{الألومنيوم}} C_{\text{الألومنيوم}}$$

$$\frac{m_{\text{النحاس}}}{m_{\text{الألومنيوم}}} = \frac{C_{\text{الألومنيوم}}}{C_{\text{النحاس}}}$$

$$= \frac{897\ \text{J/kg.K}}{385\ \text{J/kg.K}} = 2.3$$

لقالب النحاس كتلة أكبر 2.3 مرة من كتلة قالب الألومنيوم.

69. ينزلق قالب من النحاس كتلته 0.53 kg على سطح الأرض، ويصطدم بقالب مماثل يتحرك في الاتجاه المعاكس بمقدار السرعة نفسه. فإذا توقف القالبان بعد الاصطدام، وازدادت درجة حرارتهما بمقدار 0.20 °C نتيجة التصادم، فما مقدار سرعتيهما قبل الاصطدام؟

التغير في الطاقة الحرارية للقالبين تساوي

$$\Delta U = mC\Delta T$$

$$= (1.06\ \text{kg})(385\ \text{J/kg.°C})(0.20°\text{C})$$

$$= 82\ \text{J}$$

لذا فإن 82 J تساوي الطاقة الحركية للقالبين قبل التصادم.

$$82\ \text{J} = (2)\left(\frac{1}{2}\right)mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{82\ \text{J}}{0.53\ \text{kg}}}$$

$$= 12\ \text{m/s}$$

تابع الفصل 5

70. ينزلق قالب من الجليد كتلته 2.2 kg على سطح خشن. فإذا كانت سرعته الابتدائية 2.5 m/s وسرعته النهائية 0.5 m/s، فما مقدار ما ينصهر من قالب الجليد نتيجة للشغل المبذول بفعل الاحتكاك؟

الشغل المبذول بفعل الاحتكاك يساوي سالب التغير في الطاقة الحركية للقالب، وذلك مع افتراض عدم انصهار كمية كبيرة من القالب.

$$\Delta KE = \frac{1}{2}(2.2\text{ kg})(0.50\text{ m/s})^2 - \frac{1}{2}(2.2\text{ kg})(2.5\text{ m/s})^2 = -6.6\text{ J}$$

لذا فإن 6.6 J+ قد أضيفت إلى الجليد. وتحسب كمية الجليد المنصهر بالعلاقة التالية:

$$m = \frac{KE}{H_f}$$

$$= \frac{6.6\text{ J}}{3.34\times10^5\text{ J/kg}}$$

$$= 2.0\times10^{-5}\text{ kg}$$

التفكير الناقد

صفحة 169

71. حلّل ثم استنتج ينتزع محرك حراري معين 50.0 J من الطاقة الحرارية من مستودع حار عند درجة حرارة $T_H = 545\text{ K}$، ويبعث 40.0 J من الحرارة إلى مستودع بارد عند درجة حرارة $T_L = 325\text{ K}$. كما يعمل على نقل الإنتروبي من مستودع إلى آخر أيضًا خلال العملية.

a. كيف يعمل المحرك على تغيير الإنتروبي الكلي للمستودعين؟

ينتزع المحرك في أثناء عمله الطاقة من المستودع الحار، لذا فإن

$$\Delta S_H = \frac{Q_H}{T_H}$$

ومن ثم فإن الإنتروبي للمستودع الحار يقل.

أما الإنتروبي للمستودع البارد $\Delta S_L = \frac{Q_L}{T_L}$ **فيزداد.**

$$\Delta S_L = \frac{Q_L}{T_L}$$

ومحصلة الزيادة في الإنتروبي للمستودعين معًا تساوي

$$\Delta S_T = \Delta S_L - \Delta S_H$$

$$= \frac{Q_L}{T_L} - \frac{Q_H}{T_H}$$

$$\Delta S_T = \frac{40.0\text{ J}}{325\text{ K}} - \frac{50.0\text{ J}}{545\text{ K}}$$

$$= 0.0313\text{ J/K}$$

b. ماذا سيكون تغير الإنتروبي الكلي في المستودعين إذا كانت $T_L = 205\text{ K}$؟

$$\Delta S_T = \frac{40.0\text{ J}}{205\text{ K}} - \frac{50.0\text{ J}}{545\text{ K}} = 0.103\text{ J/K}$$

ازداد التغير الكلي في الإنتروبي في المستودعين وفي الكون بمعامل يساوي 3 تقريبًا.

تابع الفصل 5

72. حلّل ثم استنتج تزداد عمليات الأيض للاعبي كرة القدم خلال اللعبة بمقدار 30.0 W. ما مقدار العرق الذي يجب أن يتبخر من اللاعب كل ساعة ليبدد هذه الطاقة الحرارية الإضافية؟

كمية الطاقة الحرارية التي تبدّدت خلال 1.00 h تساوي

$$U = (30.0\ \text{J/s})(1\text{h})(3600\ \text{s/h}) = 1.08\times10^{5}\ \text{J}$$

كمية الماء (العرق) التي يجب أن تتبخّر تساوي

$$m = \frac{Q}{H_v}$$

$$= \frac{1.08\times10^{5}\ \text{J}}{2.26\times10^{6}\ \text{J/kg}}$$

$$= 0.0478\ \text{kg}$$

73. حلّل ثم استنتج يستخدم الكيميائيون المسعر لقياس كمية الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية. فعلى سبيل المثال، يذيب كيميائي 1.0×10^{22} جزيئًا من مسحوق مادة في مسعر يحتوي 0.5 kg من الماء، فتتحطم الجزيئات وتتحرّر طاقة ربطها ليمتصها الماء، فتزداد درجة حرارة الماء إلى 2.3 °C. ما مقدار طاقة الربط لكل جزيء في هذه المادة؟

كمية الطاقة المضافة إلى الماء تساوي

$$\Delta U = mC\Delta T$$

$$= (0.50\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(2.3°\text{C})$$

$$= 4.8\ \text{kJ}$$

مقدار الطاقة لكل جزيء يساوي

$$\frac{4.8\ \text{kJ}}{10^{22}\ \text{جزيء}} = 4.8\times10^{-19}\ \text{J/جزيء}$$

74. تطبيق المفاهيم تعد الشمس مصدر جميع أشكال الطاقة على الأرض. حيث تكون درجة حرارة سطح الشمس 10^{4} K تقريبًا. ماذا يحدث للعالم لو كانت درجة حرارة سطح الشمس 10^{3} K؟

ستتنوع الإجابات، ولكن ينبغي أن تدور حول تغير متوسط درجات الحرارة على الأرض، وأنماط الطقس المختلفة، وأصناف النباتات وأنواع الحيوانات المنقرضة... إلخ.

تابع الفصل 5

الكتابة في الفيزياء

صفحة 169

75. لقد تأثر فهمنا للعلاقة بين الحرارة والطاقة بأعمال بنجامين ثومسون، وكونت رمفورد، وجيمس جول. حيث اعتمدوا على النتائج التجريبية لتطوير أفكارهم. تحقق من التجارب التي قاموا بها، وقدِّر هل من الإنصاف تسمية وحدة الطاقة بالجول بدلاً من ثومسون.

كان الاعتقاد في عام 1799 م أن الحرارة سائل يتدفق من جسم إلى آخر. واعتقد كونت رمفورد أن الحرارة تحدث بسبب حركة الجزيئات في الفلز. ولم تلاقِ أفكاره قبولا واسعًا، إذ لم يجر أي قياسات كمية. في حين أجرى جول في عام 1843 م قياسات دقيقة، فقاس التغير في درجة الحرارة الذي يسببه إضافة حرارة أو بذل شغل على كمية من الماء. وأثبت أن الحرارة صفة مميزة للطاقة وأن الطاقة محفوظة. فاستحق جول أن يُنسب إليه الفضل وتسمّى الوحدة باسمه.

76. للماء سعة حرارية نوعية كبيرة غير عادية، كما أن كلاًّ من الحرارة الكامنة لانصهاره وتبخره عالية. ويعتمد الطقس على الماء في حالاته الثلاث. تُرى كيف يكون العالم إذا كانت خصائص الماء الحرارية مثل خصائص الموادّ الأخرى كالميثانول مثلاً؟

إن السعة الحرارية النوعية الكبيرة والحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر الكبيرتين تعني أن الماء في حالاته الثلاث: الماء والجليد والبخار يمكنه أن يخزن كمية كبيرة من الطاقة الحرارية دون أن يَحدث تغير كبير في درجات حرارته. وآثار ذلك كثيرة؛ فالمحيطات والبحيرات الكبيرة تلطف من تغيرات درجة الحرارة في المناطق المجاورة على نحو يومي وموسمي. ويكون التغير في درجة الحرارة بين النهار والليل بالقرب من البحيرة أقل كثيرًا من التغير في درجة الحرارة بين الليل والنهار في الصحراء. وتحدّ الحرارة الكامنة للانصهار الكبيرة للماء من تغير المواسم في القطبين الشمالي والجنوبي. ويبطئ امتصاص الماء للطاقة — عندما يتجمد الماء في الخريف وتحريرها في الربيع — من تغيرات درجة الحرارة في الغلاف الجوي. كما يمتص الماء ويخزن كمية كبيرة من الطاقة عند تبخره، وهذه الطاقة الحرارية هي التي تؤدي إلى تغيرات الطقس المتطرفة مثل العواصف الرعدية والأعاصير.

مراجعة تراكمية

صفحة 169

77. ترفع رافعة كتلة مقدارها 180 kg إلى ارتفاع 1.95 m. فما مقدار الشغل الذي تبذله الرافعة لرفع الكتلة؟ (الفصل 3)

$$W = mgh$$

$$= (180\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.95\ \text{m})$$

$$= 3.4\times10^3\ \text{J}$$

78. في عرض للقوة طُلب إلى مجموعة من الجنود الأشداء دحرجة صخور كتلة كل منها 215 kg إلى أعلى تل ارتفاعه 33 m، فإذا كان بإمكان أحد المشاركين توليد قدرة متوسطها 0.2 kW، فكم صخرة خلال 1 h يستطيع أن يدحرج إلى أعلى التل؟ (الفصل4)

مقدار الشغل اللازم لدحرجة صخرة واحدة إلى أعلى يساوي

$$W = mgh = (215\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(33\ \text{m})$$

$$= 70000\ \text{J}$$

ينجز هذا المشارك في ساعة واحدة شغلاً مقداره

$$= (0.2\times10^3\ \text{J})(3600\ \text{s}) = 720000\ \text{J}$$

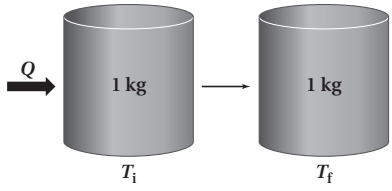
وقد دحرج إلى أعلى التل عددًا من الصخور يساوي

$$\frac{(720000)}{(70000)} = \text{عشر صخور في ساعة واحدة}$$

مسألة تحفيز

صفحة 158

للإنتروبي بعض الخصائص المدهشة. قارن بين الحالات الآتية، ووضح أوجه الاختلاف، بين هذه التغيرات للإنتروبي، معللاً ذلك.



1. تسخين 1 kg من الماء من 273 K إلى 274 K.

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{mC\Delta T}{T}$$

$$= \frac{(1.0\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.K})(274\ \text{K} - 273\ \text{K})}{273\ \text{K}}$$

$$= 15\ \text{J/K}$$

2. تسخين 1 kg من الماء من 353 K إلى 354 K.

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{mC\Delta T}{T}$$

$$= \frac{(1.0\ \text{kg})(4180\ \text{Jkg.K})(354\ \text{K} - 353\ \text{K})}{353\ \text{K}}$$

$$= 12\ \text{J/K}$$

3. صهْر 1 kg من الجليد بشكل كامل عند 273 K.

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{mH_f}{T}$$

$$= \frac{(1.0\ \text{kg})(3.34\times10^5\ \text{J/kg})}{273\ \text{K}}$$

$$= 1.2\times10^3\ \text{J/K}$$

4. تسخين 1 kg من الرصاص من 273 K إلى 274 K.

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{mC\Delta T}{T}$$

$$= \frac{(1.0\ \text{kg})(130\ \text{J/kg.K})(274\ \text{K} - 273\ \text{K})}{273\ \text{K}}$$

$$= 0.48\ \text{J/K}$$

مسائل تدريبية

6–1 خصائص الموائع (صفحة 173–183)

صفحة 177

1. إذا كان الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر يساوي 1.0×10^5 Pa تقريبًا، فما مقدار القوة التي يؤثر بها الهواء عند مستوى سطح البحر في سطح مكتب طوله 152 cm وعرضه 76 cm؟

$$F = PA$$
$$= Plw$$
$$= (1.0\times10^5\ \text{Pa})(1.52\ \text{m})(0.76\ \text{m})$$
$$= 1.2\times10^5\ \text{N}$$

2. يلامس إطار سيارة سطح الأرض بمساحة مستطيلة عرضها 12 cm وطولها 18 cm، فإذا كانت كتلة السيارة 925 kg، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به السيارة في سطح الأرض إذا استقرت ساكنة على إطاراتها الأربعة؟

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F_{g,\text{سيارة}}}{A} = \frac{m_{\text{سيارة}}g}{4\,lw}$$
$$= \frac{(925\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{(4)(0.12\ \text{m})(0.18\ \text{m})}$$
$$= 1.0\times10^2\ \text{kPa}$$

3. كتلة من الرصاص أبعادها $5.0\ \text{cm}\times10.0\ \text{cm}\times20.0\ \text{cm}$ تستقر على الأرض على أصغر وجه، فإذا علمت أن كثافة الرصاص $11.8\ \text{g/cm}^3$، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به كتلة الرصاص في سطح الأرض؟

$$m_{\text{الرصاص}} = \rho V = \rho lwh$$
$$= (11.8\ \text{g/cm}^3)(5.0\ \text{cm})(10.0\ \text{cm})(20.0\ \text{cm})$$
$$= 1.18\times10^4\ \text{g} = 11.8\ \text{kg}$$
$$P = \frac{F_{g,\text{الرصاص}}}{A} = \frac{m_{\text{الرصاص}}g}{lw}$$
$$= \frac{\rho Vg}{lw} = \frac{\rho lwhg}{lw} = \rho hg$$
$$= (11.8\ \text{g/cm}^3)(20.0\ \text{cm})(9.80\ \text{m/s}^2)\left(\frac{1\ \text{kg}}{1000\ \text{g}}\right)\left(\frac{(100\ \text{cm})^2}{(1\ \text{m})^2}\right)$$
$$= 23\ \text{kPa}$$

تابع الفصل 6

4. يمكن أن يصبح الضغط في أثناء الإعصار أقل 15% من الضغط الجوي المعياري، افترض أن الإعصار حدث خارج باب طوله 195 cm وعرضه 91 cm، فما مقدار القوة المحصلة التي تؤثر في الباب نتيجة هبوطٍ مقدارُه 15% من الضغط الجوي المعياري؟ وفي أي اتجاه تؤثر القوة؟

الفرق في الضغط على جانبي الباب يساوي

$$P_{\text{الفرق}} = (15\%)(P_{\text{الجوي المعياري}})$$

$$= (0.15)(1.0\times10^{5}\ \text{Pa}) = 1.5\times10^{4}\ \text{Pa}$$

$$F = P_{\text{الفرق}}A = P_{\text{الفرق}}lw$$

$$= (1.5\times10^{4}\ \text{Pa})(1.95\ \text{m})(0.91\ \text{m})$$

$$= 2.7\times10^{4}\ \text{N}$$ **تتجه من داخل المنزل إلى خارجه**

5. يلجأ المهندسون في المباني الصناعية إلى وضع المعدات والآلات الثقيلة على ألواح فولاذية عريضة، بحيث يتوزع وزن هذه الآلات على مساحات أكبر. فإذا خطط مهندس لتركيب جهاز كتلته 454 kg على أرضية صُمِّمت لتتحمل ضغطًا إضافيًّا مقداره 5.0×10^{4} Pa، فما مساحة صفيحة الفولاذ الداعمة؟

أقصى مقدار للضغط يساوي

$$P = \frac{F_g}{A} = \frac{mg}{A}$$

لذا فإن

$$A = \frac{mg}{P}$$

$$= \frac{(454\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{5.0\times10^{4}\ \text{Pa}}$$

$$= 8.9\times10^{-2}\ \text{m}^2$$

صفحة 181

6. يُستخدم خزان من غاز الهيليوم ضغطه 15.5×10^{6} Pa، ودرجة حرارته 293 K، لنفخ بالون على صورة دمية، فإذا كان حجم الخزان $0.020\ \text{m}^3$، فما حجم البالون إذا امتلأ عند 1.00 ضغط جوي، ودرجة حرارة 323 K؟

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

لذا فإن

$$V_2 = \frac{T_2P_1V_1}{P_2T_1}$$

1.00 ضغط جوي $= 1.013\times10^{5}\ \text{Pa} = 1\ \text{atm}$

$$V_2 = \frac{(323\ \text{K})(15.5\times10^{6}\ \text{Pa})(0.020\ \text{m}^3)}{(1.013\times10^{5}\ \text{Pa})(293\ \text{K})}$$

$$= 3.4\ \text{m}^3$$

7. ما مقدار كتلة غاز الهيليوم في المسألة السابقة إذا علمت أن الكتلة المولية لغاز الهيليوم 4.00 g/mol؟

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{(15.5\times10^{6}\ \text{Pa})(0.020\ \text{m}^3)}{(8.31\ \text{Pa.m}^3/\text{mol.K})(293\ \text{K})}$$

$$= 127.3\ \text{mol}$$

$$m = (127.3\ \text{mol})(4.00\ \text{g/mol})$$

$$= 5.1\times10^{2}\ \text{g}$$

8. يحتوي خزان على 200.0 L من غاز الهيدروجين درجة حرارته 0.0 °C ومحفوظ عند ضغط مقداره 156 kPa، فإذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 95 °C، وانخفض الحجم ليصبح 175 L، فما الضغط الجديد للغاز؟

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$T_1 = 273\ \text{K}$$

$$T_2 = 95°\text{C} + 273°\text{C}$$

$$= 368\ \text{K}$$

$$P_2 = \frac{T_2 P_1 V_1}{V_2 T_1}$$

$$= \frac{(368\ \text{K})(156\ \text{kPa})(200.0\ \text{L})}{(175\ \text{L})(273\ \text{K})}$$

$$= 2.4\times10^{2}\ \text{kPa}$$

9. إن معدل الكتلة المولية لمكونات الهواء (ذرات الأكسجين الثنائية وذرات غاز النتروجين الثنائية بشكل رئيس) 29 g/mol تقريبًا. ما حجم 1.0 kg من الهواء عند ضغط يساوي الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 20.0 °C؟

$$PV = nRT$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

حيث إن

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1.0\times10^{3}\ \text{g}}{29\ \text{g/mol}}$$

و

$$T = 20.0°\text{C} + 273 = 293\ \text{K}$$

$$V = \frac{\left(\frac{1.0\times10^{3}\ \text{g}}{29\ \text{g/mol}}\right)(8.31\ \text{Pa.m}^3/\text{mol.K})(293\ \text{K})}{(1.013\times10^{5}\ \text{Pa})}$$

$$= 0.83\ \text{m}^3$$

مراجعة القسم

1–6 خصائص الموائع (صفحة 183–173)

صفحة 183

10. الضغط والقوة افترض أن لديك صندوقين، أبعاد الأول 20 cm × 20 cm × 20 cm، وأبعاد الثاني 20 cm × 20 cm × 40 cm. قارن بين:

a. ضغطي الهواء في المحيط الخارجي لكل من الصندوقين.

ضغطا الهواء متساويان على الصندوقين.

b. مقداري القوة الكلية للهواء المؤثرة في كل من الصندوقين.

لما كان $F = PA$؛ لذا فإن القوة الكلية للهواء أكبر على الصندوق ذي المساحة الكبرى. ولما كانت المساحة السطحية للصندوق الثاني ضعف المساحة السطحية للصندوق الأول، فإن القوة الكلية عليه تكون ضعف القوة الكلية على الصندوق الأول.

11. علم الأرصاد الجوية يتكون منطاد الطقس الذي يستخدمه الراصد الجوي من كيس مرن يسمح للغاز في داخله بالتمدد بحرية. إذا كان المنطاد يحتوي على $25.0\ m^3$ من غاز الهيليوم وأطلق من منطقة عند مستوى سطح البحر، فما حجم الغاز عندما يصل المنطاد ارتفاع 2100 m، حيث الضغط عند ذلك الارتفاع $0.82\times10^5\ Pa$؟ افترض أن درجة الحرارة ثابتة لا تتغير.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$= \frac{(1.013\times10^5\ Pa)(25.0\ m^3)}{0.82\times10^5\ Pa}$$

$$= 3.1\times10^1\ m^3$$

12. انضغاط الغاز تحصر آلة احتراق داخلي في محرك كمية من الهواء حجمها $0.0021\ m^3$ عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة 303 K، ثم تضغط الهواء بسرعة ليصل إلى ضغط مقداره $20.1\times10^5\ Pa$ وحجم $0.0003\ m^3$، ما درجة الحرارة النهائية للهواء المضغوط؟

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{T_1 P_2 V_2}{P_1 V_1}$$

$$= \frac{(303\ K)(20.1\times10^5\ Pa)(0.0003\ m^3)}{(1.013\times10^5\ Pa)(0.0021\ m^3)}$$

$$= 9\times10^2\ K$$

13. الكثافة ودرجة الحرارة إذا كانت درجة الحرارة الابتدائية للماء 0°C، فكيف تتغير كثافة الماء إذا سُخّن إلى 4°C، وإلى 8°C؟

عندما يسخن الماء من 0 °C تزداد كثافته حتى تصل إلى قيمتها العظمى عند 4 °C. وتتناقص كثافة الماء عند الاستمرار في التسخين حتى 8 °C.

14. الكتلة المولية المعيارية ما حجم 1.00 mol من الغاز عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 273 K؟

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$= \frac{(1.00\ mol)(8.31\ Pa.m^3/mol.K)(273\ K)}{1.013\times10^5\ Pa}$$

$$= 0.0224\ m^3$$

15. الهواء في الثلاجة ما عدد مولات الهواء الموجودة في ثلاجة سعتها $0.635\ m^3$ عند 2.00°C؟ وما مقدار كتلة الهواء في ثلاجة إذا كان متوسط الكتلة المولية للهواء 29 g /mol؟

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{(1.013\times10^5\ Pa)(0.635\ m^3)}{(8.31\ Pa.m^3/mol.K)(275\ K)}$$

$$= 28.1\ mol$$

$$m = nM$$

$$= (28.1\ mol)(29\ g/mol)$$

$$= 0.81\ kg$$

تابع الفصل 6

16. التفكير الناقد الجزيئات المكونة لغاز الهيليوم صغيرة جدًّا مقارنة بالجزيئات المكونة لغاز ثاني أكسيد الكربون. ماذا يمكن أن تستنتج حول عدد الجزيئات في عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون حجمها 2.0 L مقارنة بعدد الجزيئات في عينة من غاز الهيليوم حجمها 2.0 L إذا تساوت العينتان في درجة الحرارة والضغط؟

هناك عددان متساويان من الجسيمات في العينتين. وفي الغاز المثالي لا يؤثر حجم الجسيمات في حجم الغاز أو ضغطه.

مراجعة القسم

2–6 القوى داخل السوائل (صفحة 187–184)

صفحة 187

17. التبخر والتبريد في الماضي، عندما يصاب طفل بالحمى كان الطبيب يقترح أن يُمسح الطفل بقطعة إسفنج مبللة بالكحول. كيف يمكن أن يُساعد هذا الإجراء؟

لما كان الكحول يتبخر بسهولة فإنه يوجد تأثير تبريد بالتبخر يمكن ملاحظته بسهولة.

18. التوتر السطحي لمشبك الورق كثافته أكبر من كثافة الماء، ومع ذلك يمكن أن يطفو على سطح الماء. فما الخطوات التي يجب أن تتبعها لتحقيق ذلك؟ وضح إجابتك.

ينبغي أن يوضع مشبك الورق بحذر وبشكل مستو على سطح الماء؛ فهذا من شأنه تقليل الوزن لكل وحدة مساحة على سطح الماء الذي سيستقر عليه مشبك الورق، ومن ثم سيكون التوتر السطحي للماء كافيًا لدعم الوزن القليل لكل وحدة مساحة لمشبك الورق.

19. اللغة والفيزياء نستخدم في لغتنا العربية مصطلحات، منها «الشريط اللاصق» و «العمل مجموعة متماسكة»، فهل استخدام المفردتين (التلاصق والتماسك) في سياق كلامنا مطابقٌ لمعانيهما في الفيزياء؟

نعم، يلتصق الشريط اللاصق بأشياء أخرى تختلف عنه؛ ليست من النوع نفسه. المجموعة المتماسكة مجموعة من الأشخاص الذين يعملون معًا.

20. التلاصق والتماسك وضح لماذا يلتصق الكحول بسطح الأنبوب الزجاجي في حين لا يلتصق الزئبق.

قوة تلاصق الكحول بالزجاج أكبر كثيرًا من قوة تلاصق الزئبق بالزجاج. كما أن قوى التماسك للزئبق أقوى من قوة التصاقه بالزجاج.

21. الطفو كيف يمكن لمشبك الورق في المسألة 18 ألا يطفو؟

إذا اخترق مشبك الورق سطح الماء فإنه يغطس. فالجسم الطافي هو الجسم الذي يمكن أن يخرج ويظهر بسهولة مرة أخرى على السطح.

22. التفكير الناقد تجلس فاطمة في يوم حار ورطب في باحة منزلها، وتحمل كأسًا من الماء البارد، وكان السطح الخارجي للكأس مغطى بطبقة من الماء، فاعتقدت أختها أن الماء يتسرب من خلال الزجاج من الداخل إلى الخارج. اقترح تجربة يمكن لفاطمة أن تجريها لتوضح لأختها من أين يأتي الماء.

قد تزن فاطمة الكأس قبل تبريدها في الثلاجة، ثم تخرجها من الثلاجة وتدع الرطوبة تتجمّع على سطحها الخارجي، ثم تزنها مرة أخرى. فإذا كان الماء يتسرب بسهولة من الداخل إلى الخارج فإن مجموع كتلة الماء والكأس لن يتغير. أما إذا تكثفت الرطوبة على الكأس من الخارج فسيكون هناك زيادة في الكتلة.

مسائل تدريبية

6–3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة (صفحة 197–188)

صفحة 189

23. تُعد كراسي أطباء الأسنان أمثلة على أنظمة الرفع الهيدروليكية. فإذا كان الكرسي يزن 1600 N ويرتكز على مكبس مساحة مقطعه العرضي $1440\ cm^2$، فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير الذي مساحة مقطعه العرضي $72\ cm^2$ لرفع الكرسي؟

$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1} = \frac{(1600\ N)(72\ cm^2)}{1440\ cm^2}$$

$$= 8.0 \times 10^1\ N$$

24. تؤثر آلة بقوة مقدارها 55 N في مكبس هيدروليكي مساحة مقطعه العرضي $0.015\ cm^2$، فترفع سيارة صغيرة. فإذا كانت مساحة المقطع العرضي للمكبس الذي ترتكز عليه السيارة $2.4\ m^2$، فما وزن السيارة؟

$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1} = \frac{(55\ N)(2.4\ m^2)}{(0.015\ m^2)} = 8.8 \times 10^3\ N$$

25. يحقق النظام الهيدروليكي الهدف نفسه تقريبًا الذي تحققه الرافعة ولعبة الميزان، وهو مضاعفة القوة. فإذا وقف طفل وزنه 400 N على أحد المكبسين بحيث يتزن مع شخص بالغ وزنه 1100 N يقف على المكبس الثاني، فما النسبة بين مساحتي مقطعي المكبسين العرضيين؟

$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{400\ N}{1100\ N} = 0.4$$

يقف الشخص البالغ على المكبس ذي مساحة المقطع الكبير.

26. تستخدم في محل صيانة للآلات رافعة هيدروليكية لرفع آلات ثقيلة لصيانتها. ويحتوي نظام الرافعة مكبسًا صغيرًا مساحة مقطعه العرضي $7.0 \times 10^{-2}\ m^2$، ومكبسًا كبيرًا مساحة مقطعه العرضي $2.1 \times 10^{-1}\ m^2$، وقد وضع على المكبس الكبير محرك يزن $2.7 \times 10^3\ N$.

a. ما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير لرفع المحرك؟

$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$$

$$= \frac{(2.7 \times 10^3\ N)(7.0 \times 10^{-2}\ m^2)}{2.1 \times 10^{-1}\ m^2}$$

$$= 9.0 \times 10^2\ N$$

b. إذا ارتفع المحرك 0.20 m، فما المسافة التي تحركها المكبس الصغير؟

$$V_1 = V_2$$

و

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

$$h_2 = \frac{A_1 h_1}{A_2} = \frac{(2.1 \times 10^{-1}\ m^2)(0.20\ m)}{7.0 \times 10^{-2}\ m^2}$$

$$= 0.60\ m$$

تابع الفصل 6

صفحة 194

27. إن كثافة القرميد الشائع الاستخدام أكبر 1.8 مرة من كثافة الماء. ما الوزن الظاهري لقالب من القرميد حجمه $0.20\ m^3$ مغمور تحت الماء؟

$$\begin{aligned} F_{\text{الظاهري}} &= F_g - F_{\text{الطفو}} \\ &= \rho_{\text{القرميد}} Vg - \rho_{\text{الماء}} Vg \\ &= (\rho_{\text{القرميد}} - \rho_{\text{الماء}}) Vg \\ &= (1.8\times10^3\ kg/m^3 - 1.00\times10^3\ kg/m^3)(0.20\ m^3)(9.80\ m/s^2) \\ &= 1.6\times10^3\ N \end{aligned}$$

28. يطفو سباح في بركة ماء، بحيث يعلو رأسه قليلاً فوق سطح الماء. فإذا كان وزنه 610 N فما حجم الجزء المغمور من جسمه؟

لما كان السباح طافيًا، فإنه يزيح كمية من الماء وزنها يساوي وزن السباح.

$$\begin{aligned} F_g = F_{\text{الطفو}} &= \rho_{\text{الماء}} Vg \\ V &= \frac{F_g}{\rho_{\text{الماء}} g} \\ &= \frac{610\ N}{(1.00\times10^3\ kg/m^3)(9.80\ m/s^2)} \\ &= 6.2\times10^{-2}\ m^3 \end{aligned}$$

29. ما مقدار قوة الشد في حبل يحمل كاميرا وزنها 1250 N مغمورة في الماء، إذا علمت أن حجم الكاميرا $16.5\times10^{-3}\ m^3$ ؟

لحمل الكاميرا وهي مغمورة في الماء فإن قوة الشد في الحبل يجب أن تساوي الوزن الظاهري للكاميرا.

$$\begin{aligned} T &= F_{\text{الظاهري}} \\ &= F_g - F_{\text{الطفو}} \\ &= F_g - \rho_{\text{الماء}} Vg \\ &= 1250\ N - (1.00\times10^3\ kg/m^3)(16.5\times10^{-3}\ m^3)(9.80\ m/s^2) \\ &= 1.09\times10^3\ N \end{aligned}$$

30. لوح من الفلين الصناعي كثافته تساوي 0.10 مرة من كثافة الماء تقريبًا. ما أكبر وزن من قوالب القرميد تستطيع وضعها على لوح الفلين الصناعي الذي أبعاده $1.0\ m \times 1.0\ m \times 0.10\ m$، بحيث يطفو اللوح على سطح الماء، وتبقى قوالب القرميد جافة؟

سيزيح لوح الفلين حجمًا مقداره

$$V = (1.0\ m)(1.0\ m)(0.10\ m) = 0.10\ m^3 \text{ من الماء}$$

وزن لوح الفلين يساوي

$$\begin{aligned} F_{g,\text{لوح الفلين}} &= \rho_{\text{لوح الفلين}} Vg \\ &= (1.0\times10^2\ kg/m^3)(0.10\ m^3)(9.80\ m/s^2) \\ &= 98\ N \end{aligned}$$

قوة الطفو تساوي

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} Vg$$

$$F_{\text{الطفو}} = (1.00\times10^{3}\ \text{kg/m}^3)(0.10\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 980\ \text{N}$$

وزن قوالب القرميد التي تستطيع وضعها على لوح الفلين

$$F_{\text{g, قوالب القرميد}} = F_{\text{الطفو}} - F_{\text{g لوح الفلين}}$$
$$= 980\ \text{N} - 98\ \text{N}$$
$$= 8.8\times10^{2}\ \text{N}$$

31. يوجد عادة في الزوارق الصغيرة قوالب من الفلين الصناعي تحت المقاعد؛ لتساعدها على الطفو في حال امتلأ الزورق بالماء. ما أقل حجم تقريبي من قوالب الفلين اللازمة ليطفو قارب وزنه 480 N؟

قوة الطفو على قوالب الفلين يجب أن تساوي 480 N. ونحن نفترض أن الزورق مصنوع من مادة كثيفة.

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} V g$$
$$V = \frac{F_{\text{الطفو}}}{\rho_{\text{الماء}} g}$$
$$= \frac{480\ \text{N}}{(1.00\times10^{3}\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$
$$= 4.9\times10^{-2}\ \text{m}^3$$

مراجعة القسم

6–3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة (صفحة 197–188)

صفحة 197

32. الطفو والغطس هل تطفو علبة شراب الصودا في الماء أم تغوص فيه؟ جرّب ذلك. وهل يتأثر ذلك بكون الشراب خاليًا من السكر أم لا؟ تحتوي جميع علب شراب الصودا على الحجم نفسه من السائل 354 ml، وتزيح الحجم نفسه من الماء، فما الفرق بين العلبة التي تغوص والأخرى التي تطفو؟

يذوب $\frac{1}{4}$ كأس من السكر تقريبًا في كأس من شراب الصودا العادي، مما يجعله أكثر كثافة من الماء. أما شراب الصودا الخالي من السكر فيحتوي على كمية قليلة من المُحلِّيات الصناعية؛ لذا يكون شراب الصودا الخالي من السكر أقل كثافة من شراب الصودا العادي (المحلى).

33. الطفو والكثافة تُزوَّد صنارة الصيد بقطعة فلين تطفو بحيث يكون عشر حجمها تحت سطح الماء. ما كثافة الفلين؟

وزن الماء المزاح يساوي وزن قطعة الفلين.

$$F_g = \rho_{\text{الماء}} V_{\text{الماء}} g = \rho_{\text{الفلين}} V_{\text{الفلين}} g$$

لذا فإن

$$\frac{\rho_{\text{الفلين}}}{\rho_{\text{الماء}}} = \frac{V_{\text{الماء}}}{V_{\text{الفلين}}}$$
$$= \frac{1}{10}$$

كثافة الفلين عُشر كثافة الماء تقريبًا.

34. الطفو في الهواء يرتفع منطاد الهيليوم؛ لأن قوة طفو الهواء تحمله، فإذا كانت كثافة غاز الهيليوم $0.18\ kg/m^3$ وكثافة الهواء $1.3\ kg/m^3$، فما حجم منطاد الهيليوم اللازم لرفع قالب من الرصاص وزنه 10 N؟

القوة الظاهرية؛ $F_{الظاهرية}$ يجب أن تساوي 10 N− حتى تعاكس وزن قالب الرصاص

$$F_{الظاهري} = F_g - F_{الطفو}$$
$$= \rho_{الهيليوم} V_{المنطاد} g - \rho_{الهواء} V_{المنطاد} g$$
$$= (\rho_{الهيليوم} - \rho_{الهواء}) V_{المنطاد} g$$

لذا فإن:

$$V_{المنطاد} = \frac{F_{الظاهري}}{(\rho_{الهيليوم} - \rho_{الهواء})g}$$
$$= \frac{-10\ N}{(0.18\ kg/m^3 - 1.3\ kg/m^3)(9.80\ m/s^2)}$$
$$= 0.9\ m^3$$

35. انتقال الضغط صُمّمت لعبة قاذفة للصواريخ بحيث يدوس الطفل على أسطوانة من المطاط، مما يزيد من ضغط الهواء في أنبوب القاذف فيدفع صاروخًا خفيفًا من الرغاوي الصناعية في السماء، فإذا داس الطفل بقوة 150 N على مكبس مساحته $2.5\times10^{-3}\ m^2$، فما القوة المنتقلة إلى أنبوب القذف الذي مساحة مقطعه $4.0\times10^{-4}\ m^2$؟

$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$$
$$= \frac{(150\ N)(4.0\times10^{-4}\ m^2)}{2.5\times10^{-3}\ m^2}$$
$$= 24\ N$$

36. الضغط والقوة رُفعت سيارة تزن $2.3\times10^4\ N$ عن طريق أسطوانة هيدروليكية مساحتها $0.15\ m^2$.

a. ما مقدار الضغط في الأسطوانة الهيدروليكية؟

$$P = \frac{F}{A}$$
$$= \frac{2.3\times10^4\ N}{0.15\ m^2}$$
$$= 1.5\times10^5\ Pa$$

b. ينتج الضغط في أسطوانة الرفع عن طريق التأثير بقوة في أسطوانة مساحتها $0.0082\ m^2$، ما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في هذه الأسطوانة الصغيرة لرفع السيارة؟

$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$$
$$= \frac{(2.3\times10^4)(0.0082\ m^2)}{0.15\ m^2}$$
$$= 1.3\times10^3\ N$$

تابع الفصل 6

37. الإزاحة أيّ مما يلي يزيح ماءً أكثر عندما يوضع في حوض مائي؟

a. قالب ألومنيوم كتلته 1.0 kg، أم قالب رصاص كتلته 1.0 kg؟

سيغطس كل من قالب الألومنيوم وقالب الرصاص إلى قاع الحوض المائي. ولما كانت كثافة الألومنيوم أقل من كثافة الرصاص فإن قالب الألومنيوم الذي كتلته 1kg له حجم أكبر من حجم قالب الرصاص الذي كتلته 1kg. وعليه سيزيح قالب الألومنيوم كمية أكبر من الماء.

b. قالب ألومنيوم حجمه $10\ cm^3$، أم قالب رصاص حجمه $10\ cm^3$؟

سيغطس كلا القالبين، وسيزيح كل منهما الحجم نفسه من الماء، $10\ cm^3$.

38. التفكير الناقد اكتشفت في المسألة التدريبية رقم 4، أنه عندما يمر إعصار فوق منزل فإنّ المنزل ينهار أحيانًا من الداخل إلى الخارج. فكيف يفسر مبدأ برنولي هذه الظاهرة؟ وماذا يمكن أن نفعل لتقليل خطر اندفاع الباب أو الشباك إلى الخارج وتحطمه؟

يكون ضغط هواء الإعصار السريع أقل من ضغط الهواء الساكن نسبيًا داخل المنزل؛ مما يولّد قوة هائلة على النوافذ والأبواب وجدران المنزل. ويمكن تقليل هذا الفرق في الضغط عن طريق فتح الأبواب والنوافذ؛ وذلك للسماح للهواء بالتدفُّق بحرية خارج المنزل.

مسائل تدريبية

6–4 المواد الصلبة (صفحة 205–198)

صفحة 203

39. قطعة من الألومنيوم طولها 3.66 m عند درجة حرارة $-28°C$. كم يزداد طول القطعة عندما تصبح درجة حرارتها $39°C$؟

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1(T_2 - T_1)$$

لذا فإن:

$$\Delta L = \alpha L_1(T_2 - T_1)$$
$$= (25\times10^{-6}\ °C^{-1})(3.66\ m)(39°C - (-28°C))$$
$$= 6.1\times10^{-3}\ m = 6.1\ mm$$

40. قطعة من الفولاذ طولها 11.5 cm عند 22°C، فإذا سُخّنت حتى أصبحت درجة حرارتها 1221°C، وهي قريبة من درجة حرارة انصهارها، فكم يبلغ طولها بعد التسخين؟ (معامل التمدد الطولي للفولاذ $12\times10^{-6}\ °C^{-1}$).

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1(T_2 - T_1)$$
$$= (0.115\ m) + (12\times10^{-6}\ °C^{-1})(0.115\ m)(1221°C - 22°C)$$
$$= 1.2\times10^{-1}\ m = 12\ cm$$

41. مُلئ وعاء زجاجي سعته 400 ml عند درجة حرارة الغرفة بماء بارد درجة حرارته 4.4°C، ما مقدار الماء المسكوب من الوعاء عندما يسخن الماء إلى 30.0°C؟

في البداية كان الوعاء الزجاجي يحوي ماءً حجمه 400 ml ودرجة حرارته 4.4°C. أوجد التغير في الحجم عند 30.0°C.

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$
$$= (210\times10^{-6}\ °C^{-1})(400\times10^{-6}\ m^3)(30.0°C - 4.4°C)$$
$$= 2\times10^{-6}\ m^3 = 2\ ml$$

تابع الفصل 6

42. مُلئ خزان شاحنة لنقل البنزين سعته 45725 L بالبنزين لنقله من مدينة الدمام نهارًا حيث كانت درجة الحرارة 38.0 °C، إلى مدينة تبوك ليلا حيث درجة الحرارة 2.0 °C−.

a. كم لترًا من البنزين سيكون في خزان الشاحنة في تبوك؟

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T} = \frac{V_2 - V_1}{V_1 \Delta T}$$

$$V_2 = \beta V_1 \Delta T + V_1$$

$$= (950\times10^{-6}\ °C^{-1})(45725\ L)(-2.0°C - 38.0°C) + 45725\ L$$

$$= 4.4\times10^{4}\ L$$

b. ماذا حدث للبنزين؟

يتناقص حجم البنزين؛ لأن درجة الحرارة انخفضت، في حين تبقى كتلة البنزين كما هي.

43. حُفر ثقب قطره 0.85 cm في صفيحة من الفولاذ عند 30.0°C فكان الثقب يتسع بالضبط لقضيب من الألومنيوم له القطر نفسه. فما مقدار الفراغ بين الصفيحة والقضيب عندما يبردان لدرجة حرارة 0.0°C؟

يتقلص الألومنيوم بدرجة أكبر من الفولاذ. افترض أن L تمثل قطر القضيب.

$$\Delta L_{\text{الألومنيوم}} = \alpha L \Delta T$$

$$= (25\times10^{-6}\ °C^{-1})(0.85\ cm)(0.0°C - 30.0°C)$$

$$= -6.38\times10^{-4}\ cm$$

بالنسبة إلى الفولاذ: يتقلص قطر الثقب في صفيحة الفولاذ وفق المعادلة التالية

$$\Delta L_{\text{الفولاذ}} = \alpha L \Delta T$$

$$= (12\times10^{-6}\ °C^{-1})(0.85\ cm)(0.0°C - 30.0°C)$$

$$= -3.06\times10^{-4}\ cm$$

مقدار الفراغ بين القضيب والصفيحة يساوي:

$$\frac{1}{2}(6.4\times10^{-4}\ cm - 3.1\times10^{-4}\ cm) = 1.6\times10^{-4}\ cm$$

44. دُرِّجت مسطرة من الفولاذ بوحدة الملمترات، بحيث تكون دقيقة بصورة مطلقة عند 30.0°C. فما النسبة المئوية التي تمثل عدم دقة المسطرة عند 30.0°C−؟

ستقل المسافات الفاصلة بين تدريجات الملمترات على المسطرة الفولاذية؛ بسبب أن الفولاذ يتقلّص عند التبريد.

$$\%\text{عدم الدقة} = (100)\left(\frac{\Delta L}{L}\right)$$

$$= (100)\alpha(T_f - T_i)$$

$$= (100)(12\times10^{-6}\ °C^{-1})(-30.0°C - 30.0\ °C)$$

$$= -0.072\%$$

مراجعة القسم

4–6 المواد الصلبة (صفحة 205–198)

صفحة 205

45. التقلص الحراري النسبي إذا ركَّبت بابًا من الألومنيوم في يوم حار على إطار باب من الأسمنت، وأردت أن يكون الباب محكم الإغلاق تمامًا في أيام الشتاء الباردة، فهل ينبغي أن تجعل الباب محكمًا في الإطار أم تترك فراغًا إضافيًّا؟

أحكم إغلاق الباب؛ لأن الألومنيوم عند التبريد يتقلص أكثر من تقلص الأسمنت.

46. حالات المادة لماذا يعد الشمع مادة صلبة؟ ولماذا يُعد أيضًا سائلاً لزجًا؟

يمكن أن يُعد الشمع مادة صلبة لأن حجمه وشكله محددان. ويمكن اعتباره مائعًا لزجًا لأن جسيماته لا تشكّل نمطًا بلوريًّا ثابتًا.

47. التمدد الحراري هل يمكنك تسخين قطعة من النحاس بحيث يتضاعف طولها؟

معامل التمدد الطولي للنحاس يساوي $16\times10^{-6}/°C$. وعند مضاعفة طول قطعة النحاس تكون: $\Delta L = L = \alpha L \Delta T$، أيْ أن:

$$\alpha \Delta T = 1$$

$$\Delta T = \frac{1}{\alpha}$$

$$= \frac{1}{16\times10^{-6}\,°C^{-1}}$$

$$= 63000°C$$

لمضاعفة طول قطعة النحاس يجب أن تزداد درجة حرارتها بمقدار $6.3\times10^{4}\,°C$. وعند تلك الدرجة يتبخر النحاس.

48. حالات المادة هل يزودنا **الجدول 2–6** بطريقة للتمييز بين الموادّ الصلبة والسوائل؟

معاملات التمدد الحجمي للسوائل أكبر كثيرًا من معاملات التمدد الحجمي للمواد الصلبة.

49. المواد الصلبة والسوائل يمكن تعريف المادة الصلبة على أنها تلك المادة التي يمكن ثنيها على الرغم من أنها تقاوم الانحناء. فسر كيف ترتبط هذه الخصائص مع ترابط الذرات في المواد الصلبة لكنها لا تنطبق على السوائل؟

تكون جسيمات المادة الصلبة متقاربة ولذلك تكون أكثر ارتباطًا، كما تهتزّ تلك الجسيمات حول موضع ثابت، مما يسمح للمادة الصلبة بالانثناء على الرغم من أنها تقاوم الانحناء. وتكون جسيمات المادة السائلة متباعدة وأقل ارتباطًا. ولما كانت الجسيمات حرة التدفق بعضها فوق بعض فإن السوائل لا تنثني.

50. التفكير الناقد قُطع من الحلقة الحديدية الصلبة في **الشكل 23–6** قطعة صغيرة. فإذا سُخِّنت الحلقة التي في الشكل، فهل تصبح الفجوة أكبر أم أصغر؟ وضح إجابتك.

■ الشكل 23 – 6

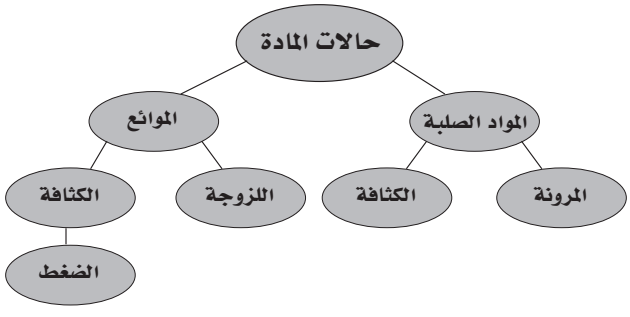
ستصبح الفجوة أكثر اتساعًا. وستزيد أبعاد الحلقة جميعها عند تسخينها.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 210

51. أكمل خريطة المفاهيم أدناه مستخدمًا المصطلحات التالية: الكثافة، اللزوجة، المرونة، الضغط. ويمكن استخدام المفهوم الواحد أكثر من مرة.



تابع الفصل 6

إتقان المفاهيم
صفحة 210

52. كيف تختلف القوة عن الضغط؟ (1–6)

تعتمد القوة فقط على دفع الجسم أو سحبه، في حين يعتمد الضغط على القوة، كما يعتمد على المساحة التي تؤثر فيها القوة.

53. حُصر غاز في وعاء مغلق بإحكام، ووضع سائل في وعاء له الحجم نفسه وكان لكل من الغاز والسائل حجم محدد، فكيف يختلف أحدهما عن الآخر؟ (1–6)

لن يتغير حجم السائل، وسيتمدد الغاز بحسب حجم الوعاء الذي يحويه.

54. ما أوجه التشابه والاختلاف بين الغازات والبلازما؟ (1–6)

كلاهما ليس له حجم أو شكل محدد. يتكوّن الغاز من ذرات، أما البلازما فتتكوّن من أيونات موجبة الشحنة وإلكترونات سالبة الشحنة. وجسيمات البلازما ذات طاقة عالية جدًّا مقارنة بجسيمات الغاز. وتوصل البلازما الكهرباء، أما الغازات فلا توصل الكهرباء.

55. تتكون الشمس من البلازما، فكيف تختلف بلازما الشمس عن تلك التي على الأرض؟ (1–6)

بلازما الشمس حارة جدًّا، والأكثر أهمية من ذلك أن كثافتها عالية جدًّا لدرجة أن كثافتها أكبر من كثافة أغلب المواد الصلبة على الأرض.

56. تنصهر البحيرات المتجمدة خلال فصل الربيع، فما تأثير ذلك في درجة حرارة الهواء فوق البحيرة؟ (2–6)

لكي ينصهر الجليد يجب أن يمتصّ كمية من الطاقة مساوية للحرارة اللازمة لانصهاره من الهواء والماء، مما يؤدي إلى تبريد الهواء فوقه.

57. **الكشافة** تُغطى المطرات التي يستخدمها الكشافة أحيانًا بكيس من قماش الكتّان. إذا رطّبت الكيس الذي يغطي المطرة فإن الماء في المطرة سيبرد. فسر ذلك. (2–6)

يتبخّر الماء الموجود في كيس القماش ممتصًّا الطاقة من المطرة (القِرْبة) ومن الماء داخلها.

58. ماذا يحدث للضغط عند قمة الإناء إذا ازداد الضغط عند قاعه اعتمادًا على مبدأ باسكال؟ (3–6)

تنتقل التغيرات في الضغط بالتساوي إلى جميع أجزاء الإناء؛ حيث يزداد الضغط عند قمته.

59. ينتقل تيار مائي خلال خرطوم ويخرج من فوهته. فماذا يحدث لضغط الماء عندما تزداد سرعته؟ (3–6)

يقل ضغط الماء حسب مبدأ برنولي.

60. بم تخبرك الأواني المستطرقة الموضحة في **الشكل 24–6** عن الضغط المؤثر بواسطة السائل؟ (3–6)

■ الشكل 24 – 6

توضح الأواني المستطرقة أن الضغط لا يعتمد على شكل الوعاء.

61. قارن بين ضغط الماء على عمق 1 m تحت سطح بركة صغيرة وضغط الماء عند العمق نفسه تحت سطح بحيرة؟ (3–6)

حجم الماء أو شكله غير مهمّين، بل المهم هو العمق فقط؛ لذا يكون الضغط متساويًا في كلتا الحالتين.

62. كيف يختلف ترتيب الذرات في المادة البلورية عن ترتيبها في المادة غير البلورية؟ (4–6)

تترتّب الذرات في المادة البلورية في نمط مرتب، أمّا في المادة غير البلورية فتكون الذرات عشوائيّة، أيْ ليس لها نمط مرتب.

63. هل يعتمد معامل التمدد الطولي على وحدة الطول المستخدمة؟ فسر ذلك. (4–6)

لا؛ فمعامل التمدّد مقياس لتمدّد الجسم بالنسبة إلى طوله الكلي. أما الوحدات والطول الكلي فلا يغيران من قيمة α.

تطبيق المفاهيم

صفحة 211–210

64. يستقر صندوق على شكل متوازي مستطيلات على وجهه الأكبر على طاولة. فإذا أدير الصندوق بحيث أصبح يستقر على وجهه الأصغر، فهل يزداد الضغط على الطاولة، أم ينقص أم يبقى دون تغيير؟

يزداد الضغط، ويبقى الوزن كما هو، فالضغط هو الوزن المؤثر في وحدة المساحة.

65. بيّن أن وحدة الباسكال تكافئ وحدة $kg/m.s^2$.

$$\mathbf{Pa = N/m^2}$$
$$\mathbf{= (kg.m/s^2)/m^2}$$
$$\mathbf{= kg/m.s^2}$$

66. شحن البضائع أيهما تغطس لمسافة أعمق في الماء: باخرة مملوءة بكرات تنس الطاولة أم باخرة فارغة مماثلة لها؟ فسر إجابتك.

سوف تغطس الباخرة المملوءة بكرات التنس إلى عمق أكبر داخل الماء؛ لأن لها وزنًا أكبر.

67. ما عمق وعاء من الماء الضغط عند قاعه يساوي قيمة الضغط في قاع وعاء مملوء بالزئبق، وعمقه 10.0 cm، علمًا بأن كثافة الزئبق تزيد 13.55 مرة على كثافة الماء؟

$$P_{\text{ماء}} = P_{\text{زئبق}}$$
$$\rho_{\text{ماء}} h_{\text{ماء}} g = \rho_{\text{زئبق}} h_{\text{زئبق}} g$$
$$h_{\text{ماء}} = \left(\frac{\rho_{\text{زئبق}}}{\rho_{\text{ماء}}}\right) h_{\text{زئبق}}$$
$$= (13.55)(10.0\ \text{cm})$$
$$= 136\ \text{cm}$$

68. وضعت قطرات من الزئبق، والماء، والإيثانول والأسيتون على سطح مستو أملس، كما في **الشكل 25–6**. ماذا تستنتج عن قوى التماسك في هذه السوائل من خلال هذا الشكل؟

■ **الشكل 25–6**

تكون قوى التماسك الأقوى في الزئبق، في حين تكون الأضعف في الأسيتون، وكلما كانت قوة التماسك أكبر اتخذت القطرة شكلا كرويًّا أكثر.

69. يتبخر الكحول بمعدل أسرع من تبخر الماء عند درجة الحرارة نفسها، ماذا تستنتج من هذه الملاحظة عن خصائص الجزيئات في كلا السائلين؟

أن قوى التماسك للماء أكبر من قوى التماسك للكحول.

70. افترض أنك استخدمت مثقبًا لإحداث ثقب دائري في صفيحة من الألومنيوم. إذا سخنت الصفيحة، فهل يزداد حجم الثقب أم يقل؟ فسر ذلك.

كلما سُخّنت الصفيحة أكثر ازداد حجم الثقب؛ فالتسخين ينقل المزيد من الطاقة لجسيمات الألومنيوم مما يسبّب زيادة حجم الألومنيوم.

71. وضعت خمسة أجسام في خزان من الماء كثافاتها على النحو الآتي:

a. $0.85\ g/cm^3$

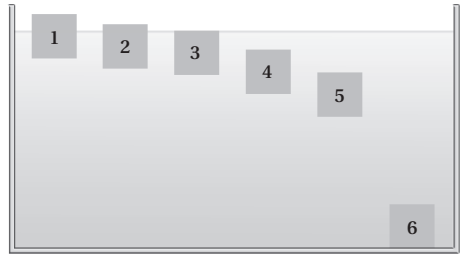
b. $0.95\ g/cm^3$

c. $1.05\ g/cm^3$

d. $1.15\ g/cm^3$

e. $1.25\ g/cm^3$

وكثافة الماء $1.00\ g/cm^3$، ويوضح **الشكل 26–6** ستة مواقع محتملة لهذه الأجسام، اختر الموقع من 1 إلى 6 لكل من الأجسام الخمسة. (ليس من الضروري اختيار المواقع كلها).



■ **الشكل 26–6**

يجب أن تكون مواقع الأجسام على النحو الآتي:

a–1, b–2, c–6, d–6, e–6

72. تم تسخين حجمين متساويين من الماء في أنبوبين ضيقين ومتماثلين، إلا أن الأنبوب A مصنوع من الزجاج العادي، والأنبوب B مصنوع من الزجاج القابل للتسخين في الأفران. وعندما ارتفعت درجة الحرارة، ارتفع مستوى الماء في الأنبوب B أكثر من الأنبوب A. فسر ذلك.

يتمدّد الزجاج المستخدم في الأفران بمقدار أقل من الزجاج العادي عند التسخين. فلا يرتفع الماء في الأنبوب (A) كثيرًا؛ لأن أنبوب الزجاج العادي قد تمدّد وازداد حجمه.

إتقان حلّ المسائل

صفحة 215–211

6–1 خصائص الموائع

صفحة 212–211

73. الكتاب المقرر كتاب فيزياء كتلته 0.85 kg، وأبعاد سطحه $24.0\ cm \times 20.0\ cm$، يستقر على سطح طاولة.

a. ما القوة التي يؤثر بها الكتاب في الطاولة؟

القوة التي يؤثر بها الكتاب في الطاولة تساوي وزن الكتاب.

$$W = mg = (0.85\ kg)(9.80\ m/s^2)$$
$$= 8.3\ N$$

b. ما الضغط الذي يؤثر به الكتاب؟

الضغط الذي يؤثر به الكتاب يساوي:

$$P = \frac{F}{A}$$
$$= \frac{mg}{lW}$$
$$= \frac{(0.85\ kg)(9.80\ m/s^2)}{(2.40\times10^{-1}\ m)(2.00\times10^{-1}\ m)}$$
$$= 1.7\times10^{2}\ Pa$$

74. أسطوانة مصمتة كتلتها 75 kg وطولها 2.5 m ونصف قطر قاعدتها 7.0 cm تستقر على إحدى قاعدتيها. ما مقدار الضغط الذي تؤثر به؟

$$P = \frac{F}{A}$$
$$= \frac{mg}{\pi r^2}$$
$$= \frac{(75\ kg)(9.80\ m/s^2)}{\pi(0.070\ m)^2}$$
$$= 4.8\times10^{4}\ Pa$$

75. ما مقدار القوة الرأسية الكلية أسفل الغلاف الجوي التي تؤثر في قمة رأسك الآن؟ افترض أن مساحة قمة رأسك $0.025\ m^2$ تقريبًا.

$$F = PA$$
$$= (1.01\times10^{5}\ Pa)(0.025\ m^2)$$
$$= 2.5\times10^{3}\ N$$

76. المشروبات الغازية إن غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المذاب في شراب الصودا يجعله يفور، وتتم عادة إذابة كمية من غاز ثاني أكسيد الكربون تساوي 8.0 L تقريبًا عند ضغط يساوي الضغط الجوي ودرجة حرارة 300.0 K في زجاجة مشروبات غازية سعتها 2 L. إذا كانت الكتلة المولية للغاز CO_2 تساوي 44 g/mol.

a. فما عدد المولات من غاز ثاني أكسيد الكربون في زجاجة سعتها 2 L؟

وفق قانون الغاز المثالي فإن

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{(1.01\times10^5\ \text{Pa})(0.0080\ \text{m}^3)}{(8.31\ \text{Pa.m}^3/\text{mol.K})(300.0\ \text{K})}$$

$$= 0.33\ \text{moles}$$

b. وما كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون الموجودة في زجاجة صودا سعتها 2 L؟

الكتلة المولية لغاز ثاني أكسيد الكربون تساوي

$$M = 12 + 2(16)$$

$$= 44\ \text{g/mol}$$

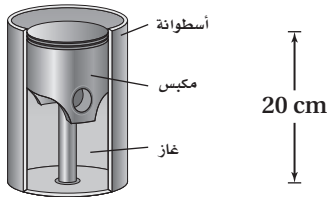
لذا فإن الكتلة تساوي

$$m = nM$$

$$= (0.32\ \text{mol})(44\ \text{g/mol})$$

$$= 14\ \text{g}$$

77. كما هو موضّح في **الشكل 27–6**، يتكون مقياس الحرارة ذو الضغط الثابت من أسطوانة تحتوي على مكبس يتحرك بحرية داخل الأسطوانة، ويبقى كل من الضغط وكمية الغاز داخل الأسطوانة ثابتين. وعندما ترتفع درجة الحرارة أو تنخفض يتحرك المكبس إلى أعلى الأسطوانة أو إلى أسفلها. إذا كان ارتفاع المكبس في الأسطوانة 20 cm عند 0 °C، فما ارتفاع المكبس عندما تكون درجة الحرارة 100 °C؟



■ الشكل 27–6

لما كان الضغط ثابتًا فإن، $V_1/T_1 = V_2/T_2$. ويتناسب ارتفاع المكبس طرديًّا مع حجم الأسطوانة؛ لذا فإن

$$\frac{h_1}{T_1} = \frac{h_2}{T_2}$$

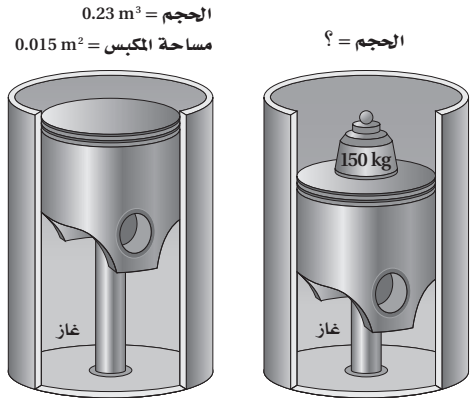
$$h_2 = \frac{h_1 T_2}{T_1}$$

$$= \frac{(20\ \text{cm})(373\ \text{K})}{273\ \text{K}}$$

$$= 3\times10^1\ \text{cm}$$

تابع الفصل 6

78. يَحصر مكبس مساحته $0.015\ m^2$ كمية ثابتة من الغاز في أسطوانة حجمها $0.23\ m^3$. فإذا كان الضغط الابتدائي للغاز $1.5\times10^5\ Pa$، ووضع جسم كتلته 150 kg على المكبس، فتحرك المكبس في اتجاه الأسفل إلى موقع جديد كما موضّح في **الشكل 28–6**، فما الحجم الجديد للغاز داخل الأسطوانة؟ علمًا بأن درجة الحرارة ثابتة.



■ **الشكل 28–6**

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$= \frac{P_1 V_1}{\left(P_1 + \frac{mg}{A}\right)}$$

$$= \frac{(1.5\times10^5\ \text{Pa})(0.23\ \text{m}^3)}{1.5\times10^5\ \text{Pa} + \frac{(150\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{0.015\ \text{m}^2}}$$

$$= 0.14\ \text{m}^3$$

79. المركبات يصمم إطار سيارة معينة ليستخدم عند ضغط معاير مقداره 30.0 psi، أو30.0 باوندًا لكل إنش مربع (واحد باوند لكل إنش مربع يساوي $6.90\times10^3\ Pa$) ومصطلح ضغط معاير يعني الضغط الأعلى من الضغط الجوي. إن الضغط الحقيقي داخل الإطار يساوي $3.08\times10^5\ Pa = (30.0\ psi)(6.90\times10^3\ Pa/psi) + 1.01\times10^5\ Pa$، وعندما تتحرك السيارة تزداد درجة حرارة الإطار ويزداد الضغط والحجم كذلك. افترض أنك ملأت إطار السيارة للحجم $0.55\ m^3$ عند درجة حرارة 280 K وكان الضغط الابتدائي 30.0 psi، ولكن ازدادت درجة حرارة الإطار في أثناء القيادة إلى 310 K وازداد الحجم ليصبح $0.58\ m^3$.

a. ما مقدار الضغط الجديد في الإطار؟

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$P_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{T_1 V_2}$$

$$= \frac{(3.08\times10^5\ \text{Pa})(0.55\ \text{m}^3)(310\ \text{K})}{(280\ \text{K})(0.58\ \text{m}^3)}$$

$$= 3.2\times10^5\ \text{Pa}$$

b. ما الضغط المعاير الجديد؟

$$P_{\text{المعاير}} = \frac{(30.0\ \text{psi})(0.55\ \text{m}^3)(310\ \text{K})}{(280\ \text{K})(0.58\ \text{m}^3)}$$
$$= 32\ \text{psi}$$

6–3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة

صفحة 213–212

80. الخزان إذا كان عمق الماء خلف سد 17 m، فما ضغط الماء عند المواقع المختلفة الآتية؟

a. عند قاعدة السد.

$$P = \rho hg$$
$$= (1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(17\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 1.7\times10^5\ \text{Pa}$$

b. على عمق 4.0 m من سطح الماء.

$$P = \rho hg$$
$$= (1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(4.0\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 3.9\times10^4\ \text{Pa}$$

81. يستقر أنبوب اختبار رأسيًّا على حامل أنابيب اختبار، ويحتوي على زيت ارتفاعه 2.5 cm وكثافته $0.81\ \text{g/cm}^3$، وماء ارتفاعه 6.5 cm. ما مقدار الضغط المؤثر للسائلين عند قاع أنبوب الاختبار؟

$$P = P_{\text{الزيت}} + P_{\text{الماء}}$$
$$= \rho_{\text{الزيت}} h_{\text{الزيت}} g + \rho_{\text{الماء}} h_{\text{الماء}} g$$
$$= (810\ \text{kg/m}^3)(0.025\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2) + (1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(0.065\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 8.4\times10^2\ \text{Pa}$$

82. الأثريات تمثال طائر أثري مصنوع من معدن أصفر مُعلق بميزان نابضي، تشير قراءة الميزان النابضي إلى 11.81 N عندما يُعلق التمثال في الهواء، وتشير إلى 11.19 N عندما يُغمر التمثال كليًّا في الماء.

a. أوجد حجم التمثال.

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} Vg = F_g - F_{\text{الظاهري}}$$

لذا فإن

$$V = \frac{F_g - F_{\text{الظاهري}}}{\rho_{\text{الماء}} g}$$
$$= \frac{11.81\ \text{N} - 11.19\ \text{N}}{(1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$
$$= 6.33\times10^{-5}\ \text{m}^3$$

b. هل تمثال الطائر مصنوع من الذهب ($\rho = 19.3\times10^3\ kg/m^3$) أم مصنوع من الألومنيوم المطلي بالذهب ($\rho = 2.7\times10^3\ kg/m^3$)؟

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$= \frac{F_g}{Vg}$$

$$= \frac{11.81\ N}{(6.33\times10^{-5}\ m^3)(9.80\ m/s^2)}$$

$$= 19.0\times10^3\ kg/m^3$$

تمثال الطائر مصنوع من الذهب

83. خلال تجربة في علم البيئة وضع حوض لتربية الأسماك مملوء حتى منتصفه بالماء على ميزان، فكانت قراءة الميزان 195 N.

a. أُضيف حجر وزنه 8 N إلى الحوض، فإذا غطس الحجر إلى قاع الحوض، فما قراءة الميزان؟

$$F_g = 195\ N + 8\ N$$

$$= 203\ N$$

b. أُزيل الحجر من الحوض، وعدّلت كمية الماء حتى عادت قراءة الميزان ثانية 195 N، فإذا أضيفت سمكة تزن 2 N إلى الحوض، فما قراءة الميزان في حالة وجود السمكة في الحوض؟

$$F_g = 195\ N + 2\ N$$

$$= 197\ N$$

قوة الطفو، في كلتا الحالتين، تساوي وزن الماء المزاح.

84. ما مقدار قوة الطفو المؤثرة في كرة وزنها 26.0 N إذا كانت تطفو على سطح ماء عذب؟

إذا كانت الكرة طافية

$$F_{\text{الطفو}} = F_g = 26.0\ N$$

85. ما مقدار أقصى وزن يستطيع أن يرفعه في الهواء بالون مملوء بحجم $1.00\ m^3$ من غاز الهيليوم؟ افترض أن كثافة الهواء $1.20\ kg/m^3$ وكثافة غاز الهيليوم $0.177\ kg/m^3$، وأهمل كتلة البالون.

$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

$$= \rho_{\text{الهيليوم}} Vg - \rho_{\text{الهواء}} Vg$$

$$= (\rho_{\text{الهيليوم}} - \rho_{\text{الهواء}}) Vg$$

$$= (0.177\ kg/m^3 - 1.20\ kg/m^3)(1.00\ m^3)(9.80\ m/s^2)$$

$$= -10.0\ N$$

أقصى وزن يستطيع أن يرفع البالون في الهواء يساوي 10.0 N.

86. تزن صخرة N 54 في الهواء، وعندما غمرت في سائل كثافته ضعف كثافة الماء أصبح وزنها الظاهري N 46، ما وزنها الظاهري عندما تُغمر في الماء؟

$$F_{\text{الظاهري، الماء}} = F_g - \rho_{\text{الماء}} Vg$$

و

$$F_{\text{الظاهري، السائل}} = F_g - 2\rho_{\text{الماء}} V\text{g}$$

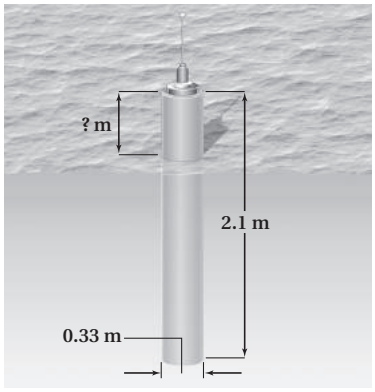
أو

$$V = \frac{F_{\text{g}} - F_{\text{الظاهري، السائل}}}{2\rho_{\text{الماء}}\, g}$$

عوض مقدار V من المعادلة السابقة في المعادلة الأولى

$$\begin{aligned} F_{\text{الظاهري، الماء}} &= F_{\text{g}} - \rho_{\text{الماء}}\text{g}\left(\frac{F_g - F_{\text{الظاهري، السائل}}}{2\rho_{\text{الماء}}\,\text{g}}\right) \\ &= F_{\text{g}} - \left(\frac{1}{2}\right)(F_{\text{g}} - F_{\text{الظاهري، السائل}}) \\ &= \left(\frac{1}{2}\right)(F_{\text{g}} - F_{\text{الظاهري، السائل}}) \\ &= \left(\frac{1}{2}\right)(54\text{ N} + 46\text{ N}) \\ &= 5.0\times10^{1}\text{ N} \end{aligned}$$

87. جغرافية المحيطات انظر إلى **الشكل 29–6**، تستخدم عوّامة كبيرة لحمل جهاز يستخدم في دراسة جغرافية المحيطات، وكانت العوّامة مصنوعة من خزان أسطواني مجوف. فإذا كان ارتفاع الخزان 2.1 m، ونصف قطره 0.33 m، والكتلة الكلية للعوّامة وجهاز البحث 120 kg تقريبًا. ويجب على العوّامة أن تطفو بحيث يكون أحد طرفيها فوق سطح الماء؛ وذلك لحمل جهاز بث راديوي. افترض أن العوّامة تحوي الجهاز، وأن كتلتها موزعة بانتظام، فكم يكون ارتفاع العوّامه فوق سطح الماء عندما تطفو؟



■ **الشكل 29–6**

ارتفاع العوّامة فوق سطح الماء يساوي

$$\begin{aligned} L_{\text{فوق سطح الماء}} &= \left(1 - \frac{V_{\text{الماء}}}{V_{\text{العوّامة}}}\right) L_{\text{الكلي}} \\ &= \left(1 - \frac{\left(\frac{m}{\rho_{\text{الماء}}}\right)}{\pi r^2 h}\right) L_{\text{الكلي}} \\ &= \left(1 - \frac{m}{\pi r^2 h\,\rho_{\text{الماء}}}\right) \text{L}_{\text{الكلي}} \\ &= \left(1 - \frac{120\text{ kg}}{\pi\left(\left(\frac{1}{2}\right)(0.33\text{ m})\right)^2 (2.1\text{ m})(1.00\times10^3\text{ kg/m}^3)}\right)(2.1\text{ m}) \\ &= 0.70\text{ m} \end{aligned}$$

تابع الفصل 6

6–4 المواد الصلبة

صفحة 213–215

88. إذا كان طول قضيب مصنوع من معدن مجهول 0.975 m عند 45°C، وتناقص طوله ليصبح 0.972 m عند 23°C، فما معامل تمدده الطولي؟

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1(T_2 - T_1)}$$

$$= \frac{0.972\ \text{m} - 0.975\ \text{m}}{(0.975\ \text{m})(23°\text{C} - 45°\text{C})}$$

$$= 1.4\times10^{-4}\ °\text{C}^{-1}$$

89. صمّم مخترع مقياس حرارة من قضيب ألومنيوم طوله 0.500 m عند درجة حرارة 273 K. واعتمد المخترع قياس طول قضيب الألومنيوم لتحديد درجة الحرارة. فإذا أراد المخترع أن يقيس تغيرًا في درجة الحرارة مقداره 1.0 K، فكم يجب أن تكون دقة قياس طول القضيب؟

$$\Delta T = 1.0\ \text{K} = 1.0°\text{C}$$

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

$$= (25\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(0.500\ \text{m})(1.0°\text{C})$$

$$= 1.3\times10^{-5}\ \text{m}$$

90. الجسور جسر أسمنتي طوله 300 m في شهر أغسطس عندما كانت درجة الحرارة 50 °C، فكم يكون مقدار الفرق في الطول في إحدى ليالي شهر يناير إذا كانت درجة الحرارة 10 °C؟

$$\Delta L = \alpha\, L_1\, \Delta T$$

$$= \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$= (12\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(300\ \text{m})(50°\text{C} - 10°\text{C})$$

$$= 0.1\ \text{m}$$

91. أنبوب من النحاس طوله 2.00 m عند 23 °C. ما مقدار التغير في طوله إذا ارتفعت درجة حرارته إلى 978 °C؟

$$\Delta L = \alpha L_1\, \Delta T$$

$$= \alpha L_1\, (T_2 - T_1)$$

$$= (16\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(2.00\ \text{m})(978°\text{C} - 23°\text{C})$$

$$= 3.1\times10^{-2}\ \text{m}$$

92. ما التغير في حجم قالب من الأسمنت حجمه 1.0 m^3 إذا ارتفعت درجة حرارته بمقدار 45 °C؟

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

$$= (36\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(1.0\ \text{m}^3)(45°\text{C})$$

$$= 1.6\times10^{-3}\ \text{m}^3$$

93. الجسور يستخدم عمال بناء الجسور عادة مسامير فولاذية بحيث تكون أكبر من ثقب المسمار؛ وذلك لجعل الوصلة مشدودة أكثر. ويُبرّد المسمار قبل وضعه في الثقب. افترض أن العامل حفر ثقبًا نصف قطره 1.2230 cm لمسمار نصف قطره 1.2250 cm، فلأي درجة حرارة يجب أن يُبرّد المسمار ليدخل في الثقب بشكل محكم إذا كانت درجة حرارته الابتدائية 20.0 °C؟

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$T_2 = T_1 + \frac{(L_2 - L_1)}{\alpha L_1}$$

$$= 20.0°\text{C} + \frac{1.2230\ \text{cm} - 1.2250\ \text{cm}}{(12\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(1.2250\ \text{cm})}$$

$$= -1.2\times10^{2}\ °\text{C}$$

94. خزان مصنوع من الفولاذ نصف قطره 2.000 m وارتفاعه 5.000 m مُلئ بالميثانول عند درجة حرارة 10 °C. فإذا ارتفعت درجة الحرارة حتى 40.0 °C، فما مقدار الميثانول الذي سيتدفق خارج الخزان إذا تمدّد كل من الخزان والميثانول؟

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

$$= (\beta_{\text{الميثانول}} - \beta_{\text{الفولاذ}})(\pi r^2 h)(T_2 - T_1)$$

$$= (1200\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1} - 35\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(\pi)(2.000\ \text{m})^2\ (5.000\ \text{m})(40.0°\text{C} - 10.0°\text{C})$$

$$= 2.3\ \text{m}^3$$

95. سُخّنت كرة من الألومنيوم حتى أصبحت درجة حرارتها 580 °C، فإذا كان حجم الكرة $1.78\ \text{cm}^3$ عند درجة حرارة 11 °C، فما مقدار الزيادة في حجم الكرة عند 580 °C؟

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

$$= (75\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(1.78\ \text{cm}^3)(580°\text{C} - 11°\text{C})$$

$$= 7.6\times10^{-2}\ \text{cm}^3$$

96. إذا أصبح حجم كرة من النحاس $2.56\ \text{cm}^3$ بعد تسخينها من 12 °C إلى 984 °C، فما حجم الكرة عند 12 °C؟

$$V_2 = V_1 + V_1\beta\Delta T = V_1(1 + \beta\Delta T)$$

$$V_1 = \frac{V_2}{1 + \beta\Delta T}$$

$$= \frac{2.56\ \text{cm}^3}{(1 + (48\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(984°\text{C} - 12°\text{C}))}$$

$$= 2.4\ \text{cm}^3$$

97. صفيحة من الفولاذ مربعة الشكل طول ضلعها 0.330 m، سُخّنت من 0 °C حتى أصبحت درجة حرارتها 95 °C.

a. ما مقدار تغير طول جوانب المربع؟

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$= (12\times10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(0.330\ \text{m})(95°\text{C} - 0°\text{C})$$

$$= 3.8\times10^{-4}\ \text{m}$$

b. ما نسبة التغير في مساحة المربع؟

$$\text{نسبة التغير} = \frac{\Delta A}{A_1}$$

$$= \frac{A_2 - A_1}{A_1}$$

$$= \frac{L_2^{\,2} - L_1^{\,2}}{L_1^{\,2}}$$

$$= \frac{(L_1 + \Delta L)^2 - L_1^{\,2}}{L_1^{\,2}}$$

$$= \frac{(0.330\ \text{m} + 3.8\times10^{-4}\ \text{m})^2 - (0.330\ \text{m})^2}{(0.330\ \text{m})^2}$$

$$= 2.3\times10^{-3}$$

98. مكعب من الألومنيوم حجمه $0.350\ \text{cm}^3$ عند درجة حرارة 350.0 K، فإذا بُرّد إلى 270.0 K فما مقدار:

a. حجمه عند درجة 270.0 K؟

$$V_2 = V_1 + V_1\beta\Delta T$$

$$= V_1\,(1 + \beta\Delta T)$$

$$= V_1(1 + \beta(T_2 - T_1))$$

$$= (0.350\ \text{m}^3)(1 + (75\times10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1})(270.0\ \text{K} - 350.0\ \text{K}))$$

$$= 0.348\ \text{m}^3$$

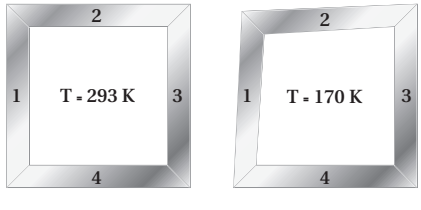
b. طول ضلع المكعب عند درجة 270.0 K؟

$$L = (V_2)^{\frac{1}{3}}$$

$$= (0.348\ \text{m}^3)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0.703\ \text{m}$$

99. الصناعة صمّم مهندس قطعة ميكانيكية مربعة الشكل لنظام تبريد خاص. تتألف القطعة الميكانيكية من قطعتين مستطيلتين من الألومنيوم، وقطعتين مستطيلتين من الفولاذ، وكانت القطعة المصممة مربعة تمامًا عند درجة 293 K، ولكن عند درجة 170 K أصبحت القطعة مفتولة كما في **الشكل 30–6**. حدد أي القطع المبينة في الشكل مصنوعة من الفولاذ، وأيها مصنوعة من الألومنيوم؟



■ الشكل 30–6

يعاني الجزءان 1 و 2 انكماشًا أكبر في الطول من الجزأين 3 و 4 ؛ لذا فإن الجزأين 1 و 2 يجب أن يكونا مصنوعين من الألومنيوم الذي معامل تمدده أكبر من معامل تمدد الفولاذ.

تابع الفصل 6

مراجعة عامة

100. ما مقدار الضغط المؤثر في جسم الغواصة عند عمق 65 m؟

$$P = P_{\text{الجوي}} + \rho_{\text{ماء}} gh$$
$$= (1.01\times10^{5}\ \text{Pa}) + (1.00\times10^{-3}\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)(65\ \text{m})$$
$$= 7.4\times10^{5}\ \text{Pa}$$

101. جهاز الغطس يسبح غطّاس مستخدمًا جهاز الغطس على عمق 5.0 m تحت الماء مطلقًا $4.2\times10^{-6}\ \text{m}^3$ من فقاقيع الهواء. ما حجم تلك الفقاقيع قبل وصولها إلى سطح الماء تمامًا؟

$$P_1V_1 = P_2V_2$$
$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2}$$
$$= \frac{(P_{\text{الجوي}} + \rho_{\text{ماء}} gh)V_1}{P_{\text{الجوي}}}$$
$$= \frac{(1.01\times10^{5}\ \text{Pa} + (1.00\times10^{3}\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)(5.0\ \text{m}))(4.2\times10^{-6}\ \text{m}^3)}{1.01\times10^{5}\ \text{Pa}}$$
$$= 6.2\times10^{-6}\ \text{m}^3$$

102. تطفو كرة بولنج وزنها 18 N بحيث ينغمر نصفها فقط في الماء.

a. ما مقدار قطر كرة البولنج؟

$$F_g = \rho V_{\text{ماء}}\, g = \rho\left(\frac{V_{\text{الكرة}}}{2}\right) g$$

حيث إن

$$V_{\text{الكرة}} = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{\pi d^3}{6}$$

ومن ثم فإن

$$F_g = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{\pi d^3}{6}\right) g$$

لذا فإن

$$d = \sqrt[3]{\frac{12F_g}{\pi\rho g}}$$
$$= \sqrt[3]{\frac{(12)(18\ \text{N})}{\pi(1.00\times10^{3}\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}}$$
$$= 0.19\ \text{m}$$

b. ما الوزن الظاهري تقريبًا لكرة بولنج تزن 36 N؟

غَطَس نصف كرة البولنج عندما كان وزنها 18 N؛ لذا يجب أن يكون الوزن الظاهري لكرة وزنها 36 N قريبًا من الصفر.

103. يطفو قضيب من الألومنيوم في حوض زئبق. فهل يطفو القضيب إلى أعلى أكثر أم أن جزءًا أكبر منه سينغمر عند تسخين الزئبق والألومنيوم معًا؟

لما كان معامل التمدد الحجمي للزئبق أكبر من معامل التمدد الحجمي للألومنيوم. فإن الألومنيوم يصبح أكثر كثافة من الزئبق عند تسخينهما، وسوف يغطس إلى عمق أكبر في الزئبق.

104. وضع 100.0 ml من الماء في وعاء من الزجاج العادي سعته 800.0 ml عند 15.0 °C. كم سيرتفع مستوى الماء أو ينخفض عندما يُسخن كل من الإناء والماء إلى 50.0 °C؟

يتمدد الماء:

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$
$$= (210\times10^{-6}\ °C^{-1})(100.0\ ml)(35.0°C)$$
$$= 0.735\ ml$$

يتمدد الوعاء:

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$
$$= (27\times10^{-6}\ °C^{-1})(800.0\ ml)(35.0°C)$$
$$= 0.756\ ml$$

سوف ينخفض مستوى الماء قليلًا، ولكن ليس إلى المستوى الذي يمكن ملاحظته.

105. صيانة السيارات تُستخدم رافعة هيدروليكية لرفع السيارات لصيانتها، وتسمى رافعة الأطنان الثلاثة. فإذا كان قطر المكبس الكبير 22 mm، وقطر المكبس الصغير 6.3 mm. افترض أن قوة ثلاثة أطنان تعادل 3.0×10^4 N.

a. فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير لرفع وزن مقداره ثلاثة أطنان؟

$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$$
$$= \frac{F_1 \pi {r_2}^2}{\pi {r_1}^2}$$
$$= F_1\left(\frac{{d_2}^2}{{d_1}^2}\right)$$
$$= (3.0\times10^4\ N)\left(\frac{6.3\ mm}{22\ mm}\right)^2$$
$$= 2.5\times10^3\ N$$

b. تستخدم معظم رافعات السيارات رافعة لتقليل القوة اللازمة للتأثير فيها في المكبس الصغير. فإذا كان طول ذراع المقاومة 3.0 cm، فكم يجب أن يكون طول ذراع القوة لرافعة مثالية لتقليل القوة إلى 100.0 N؟

$$F_r L_r = F_e L_e$$
$$L_e = \frac{F_r L_r}{F_e}$$
$$= \frac{(2.5\times10^3\ N)(3.0\ cm)}{100.0\ N}$$
$$= 75\ cm$$

106. المناطد يحتوي منطاد الهواء الساخن على حجم ثابت من الغاز. وعندما يُسخَّن الغاز يتمدد ويطرد بعض الغاز خارجًا من النهاية السفلى المفتوحة، لذلك تنخفض كتلة الغاز في المنطاد. فلماذا ينبغي أن يكون الغاز في المنطاد أكثر سخونة لرفع حمولة من الأشخاص إلى قمة ارتفاعها 2400 m عن سطح البحر، مقارنة بمنطاد مهمته رفع الحمولة ذاتها من الأشخاص إلى ارتفاع 6 m عن مستوى سطح البحر؟

يكون الضغط الجوي منخفضًا عند الارتفاعات العالية؛ لذا فإن كتلة حجم المائع المزاح بمنطاد له الحجم نفسه تكون أقل عند الارتفاعات الكبيرة. وللحصول على قوة الطفو نفسها عند الارتفاعات الكبيرة ينبغي للمنطاد أن ينفث غازًا أكثر، وهذا يتطلب درجة حرارة أكبر.

107. عالم الأحياء تستطيع بعض النباتات والحيوانات العيش تحت ضغط مرتفع جدًّا.

a. ما مقدار الضغط المؤثر بوساطة الماء في جسم سمكة أو دودة تعيش بالقرب من قاع أخدود مائي في منطقة بورتوريكو الذي يبلغ عمقه 8600 m تحت سطح المحيط الأطلنطي؟ افترض أن كثافة مياه البحر $1030\ kg/m^3$.

الضغط يساوي

$$P = \rho g h$$
$$= (1030\ kg/m^3)(9.80\ m/s^2)(8600\ m)$$
$$= 8.7\times10^7\ Pa$$

b. ما كثافة الهواء عند ذلك الضغط بالنسبة لكثافته فوق سطح المحيط؟

$$(8.7\times10^{7}\ \text{Pa})/(1.01\times10^{5}\ \text{Pa}) = 860$$

الضغط داخل الماء أكبر 860 مرة من الضغط الجوي المعياري؛ لذا سوف تكون كثافة الهواء أكبر 860 مرة من كثافة الهواء عند سطح المحيط.

التفكير الناقد

صفحة 216–215

108. تطبيق المفاهيم إن إذا كنت تغسل الأواني في حوض، فطفا أحد الأواني في الحوض، فقمت بملئه بماء الحوض فغطس إلى القاع، فهل ارتفع مستوى الماء في الحوض أم انخفض عندما انغمر الإناء؟

عندما يكون الإناء طافيًا، يكون قد أزاح كمية من الماء؛ ووزن هذه الكمية المزاحة يساوي وزن الإناء. أما عندما يغطس الإناء فيكون قد أزاح كمية من الماء، ووزن هذه الكمية المزاحة أقل من وزن الإناء، وذلك لأن قوة الطفو تساوي وزن الماء المزاح. وفي الحالة الثانية أزاح الإناء كمية أقل من الماء وسينخفض مستوى الماء في الحوض.

109. تطبيق المفاهيم إن الأشخاص الملازمين للسرير أقل احتمالا للإصابة بمرض تَقَرُّح الفراش إذا استخدموا فرشة الماء بدلاً من الفرشات العادية. فسّر ذلك.

يتوافق سطح فرشة الماء ويتكيف مع تضاريس الجسم أكثر من الفرشة العادية. كما يهبط الجسم في فرشة الماء بسهولة أكبر. ولأن $\rho_{\text{الفرشة}} < \rho_{H_2O}$ فإن قوة الطفو من فرشة الماء تكون أقل.

110. حلّل تعتمد إحدى طرائق قياس النسبة المئوية لمحتوى الدهون في الجسم على حقيقة أن الأنسجة الدهنية أقل كثافة من الأنسجة العضلية. كيف يمكن تقدير معدل كثافة شخص باستخدام ميزان وبركة سباحة؟ وما القياسات التي يحتاج الطبيب إلى تدوينها لإيجاد معدل النسبة المئوية للدهون في جسم شخص ما؟

يزن الطبيب الشخص بشكل طبيعي، ثم يزنه وهو مغمور تمامًا في الماء. وللتأكد من الانغمار التام لا بد من إضافة أثقال إلى الشخص؛ لأن كثافة الإنسان عادة أقل من كثافة الماء. كما يجب أن يقاس حجم الماء الذي يزيحه الشخص. أما متوسط كثافة الشخص فيمكن حسابه من توازن القوى التي تبقي الشخص في حالة اتزان تحت الماء.

111. حلّل واستنتج يلزم قوة رأسية إلى أسفل مقدارها 700 N لغمر كرة من البلاستيك كليًّا كما في **الشكل 31–6**. إذا علمت أن كثافة البلاستيك $95\ \text{kg/m}^3$، فما مقدار:

■ الشكل 31–6

a. النسبة المئوية للجزء المغمور من الكرة إذا تُركت تطفو بحرية؟

كثافة الكرة البلاستيكية بالنسبة إلى كثافة الماء تساوي

$$\frac{95\ \text{kg/m}^3}{1.00\times10^{3}\ \text{kg/m}^3} = 0.095$$

لذا ينغمر 9.5% من الكرة الطافية.

b. وزن الكرة في الهواء؟

وزن الماء المزاح بـ 9.5% من الكرة الطافية يساوي وزن الكرة كاملة وهي في الهواء، F_g. وتلزم قوة رأسية إضافية مقدارها 700 N لغمر النسبة المتبقية من حجم الكرة؛ 90.5%، لذا فإن

$$\frac{F_g}{0.095} = \frac{700\ \text{N}}{0.905}$$

$$F_g = 7\times10^{1}\ \text{N}$$

c. حجم الكرة؟

$$F_{\text{الطفو}} = F_g + F_{\text{رأسية إلى أسفل}}$$

$$\rho_{\text{الماء}}\, Vg = \rho_{\text{الكرة}}\, Vg + F_{\text{رأسية إلى أسفل}}$$

$$V = \frac{F_{\text{رأسية إلى أسفل}}}{(\rho_{\text{الماء}} - \rho_{\text{الكرة}})g}$$

$$= \frac{700\ \text{N}}{(1.00\times10^{3}\ \text{kg/m}^3 - 95\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 8\times10^{-2}\ \text{m}^3$$

112. تطبيق المفاهيم تُوضع الأسماك الاستوائية التي تُربى في أحواض السمك المنزلية عند شرائها في أكياس بلاستيكية شفافة مملوءة جزئيًّا بالماء. إذا وضعت سمكة في كيس مغلق داخل الحوض، فأي الحالات المبينة في **الشكل 32–6** تمثل أفضل ما يمكن أن يحدث؟ فسر استدلالك.

■ **الشكل 32–6**

إن كثافة الماء في الكيس بالإضافة إلى كثافة السمك والبلاستيك مجتمعةً قريبةٌ من كثافة الماء في حوض الماء. لذا يجب أن يطفو الكيس على مستوى الماء في الكيس وعلى ارتفاع مستوى الماء نفسه في حوض الماء.

الكتابة في الفيزياء

صفحة 216

113. تتمدد بعض المواد الصلبة عندما تبرد، ومن أكثر الأمثلة شيوعًا تمدد الماء عند انخفاض درجة حرارته بين 4 °C و 0 °C، ولكن تتمدد الأربطة المطاطية أيضًا عند تبريدها، ابحث عن سبب هذا التمدد.

تُصنع الأربطة المطاطية من جزيئات المطاط الطويلة التي تسمى البوليمرات، والتي تتخذ هيئة سلاسل مزوّدة ببعض الوصلات الطويلة. وتنشأ خصائص المطاط من قدرة هذه الوصلات على الالتواء والدوران. وعندما يُبرّد المطاط تستطيل هذه الوصلات بخط مستقيم تمامًا كوصلات سلسلة الحديد التي تمسكها بأحد طرفيها وتسمح لها بأن تتدلى بحرية. ولما كانت الوصلات مرتبة بتلك الطريقة فإن للبوليمرات فوضى (إنتروبي) صغيرة نسبيًّا. إن إضافة الحرارة إلى هذه البوليمرات تزيد من حركتها الحرارية، وتبدأ عندها الوصلات في الاهتزاز ويتزايد عدم ترتيبها. وإذا جُعلت هذه الوصلات تهتز بهذه الطريقة فإنك سترى أن متوسط طولها يصبح أقل مقارنة بحالة بقاء السلسلة معلقة دون حركة.

114. بحث العالم جاي – لوساك في قوانين الغاز، فكيف أسهم إنجاز جاي – لوساك في اكتشاف صيغة الماء؟

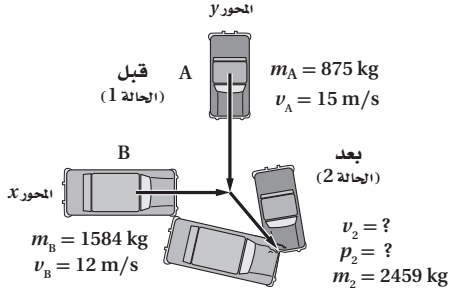
كان العالم الفرنسي جاي – لوساك مهتمًا أيضًا بصعود المنطاد إلى ارتفاعات عالية. وقد اكتشف أنه عندما يكون للغازات درجة الحرارة نفسها والضغط نفسه فإن أحجامها تتفاعل بنسب ذات أعداد صغيرة وصحيحة. وقد أسهم إنجاز جاي – لوساك في اكتشاف صيغة الماء، وذلك بإثباته أن حجمين من غاز الهيدروجين يتفاعلان مع حجم واحد من غاز الأكسجين. وبنى أفوجادرو نتائجه على ما توصل إليه جاي – لوساك، وذلك عند صياغة العلاقة بين مولات الغاز والحجم.

مراجعة تراكمية

صفحة 216

115. تتحرك سيارة كتلتها 875 kg في اتجاه الجنوب بسرعة 15 m/s فتصطدم بسيارة أخرى كبيرة كتلتها 1584 kg وتتحرك في اتجاه الشرق بسرعة 12 m/s، فتلتصقان معًا بعد التصادم، بحيث يكون الزخم الخطي محفوظًا. (الفصل 2)

a. مثّل الحالة بالرسم، معينًا محاور الإحداثيات ومحددًا الحالة قبل التصادم وبعده.



b. أوجد سرعة حطام السيارتين مقدارًا واتجاهًا بعد التصادم مباشرة، وتذكّر أن الزخم كمية متجهة.

$$p_{A1} = m_A v_A = (875\ \text{kg})(15\ \text{m/s})$$

$$= 1.31\times10^4\ \text{kg. m/s}\ \text{جنوبًا}$$

$$p_{B1} = m_B v_B = (1584\ \text{kg})(12\ \text{m/s})$$

$$= 1.90\times10^4\ \text{kg. m/s}\ \text{شرقًا}$$

$$p_2 = \sqrt{{p_{A1}}^2 + {p_{B1}}^2}$$

$$= \sqrt{(1.31\times10^4\ \text{kg.m/s})^2 + (1.90\times10^4\ \text{kg. m/s})^2}$$

$$= 2.3\times10^4\ \text{kg.m/s}$$

$$\tan\theta = \frac{p_{B1}}{p_{A1}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_{B1}}{p_{A1}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{1.90\times10^4\ \text{kg.m/s}}{1.31\times10^4\ \text{kg.m/s}}\right)$$

$$= 55^\circ\ \text{شرق الجنوب}$$

$$v_2 = \frac{p_2}{m_2} = \frac{2.3\times10^4\ \text{kg.m/s}}{2459\ \text{kg}}$$

$$= 9.4\ \text{m/s}$$

c. ينزلق الحطام على سطح الأرض ثم يتوقف، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي عندما كان الحطام ينزلق 0.55. ومع افتراض أن التسارع ثابت، فما مقدار مسافة الانزلاق بعد التصادم؟

لحساب المسافة، استخدم معادلة الحركة:

$$v^2 = v_i^2 + 2a(d - d_i)$$

ولما كانت السرعة المتجهة النهائية تساوي صفرًا، و أن $d_i = 0$، فحل المعادلة بالنسبة إلى d

$$d = \frac{-v_i^2}{2a}$$

لحساب التسارع، لاحظ أن القوة التي تقلّل من سرعة السيارات تساوي قوة الاحتكاك

$$(m_A + m_B)a = -\mu_k(m_A + m_B)g$$

$$a = -\mu_k g$$

لذا فإن المسافة تساوي

$$d = \frac{{v_0}^2}{2\mu_k g}$$

$$= \frac{(9.4\ \text{m/s})^2}{(2)(0.55)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 8.2\ \text{m}$$

تابع الفصل 6

116. يرفع محرك قدرته 188 W حملاً بمعدل (سرعة)6.50 cm/s. ما مقدار أكبر حمل يمكن للمحرك أن يرفعه عند هذا المعدل؟ (الفصل 3)

$$v = 6.50\ \text{cm/s} = 0.0650\ \text{m/s}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = F\left(\frac{d}{t}\right) = Fv$$

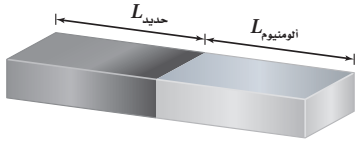
$$P = F_g v$$

$$F_g = \frac{P}{v} = \frac{188\ \text{W}}{0.0650\ \text{m/s}} = 2.89 \times 10^3\ \text{N}$$

مسألة تحفيز

صفحة 203

تحتاج إلى صنع قضيب طوله 1.00 m يتمدّد بازدياد الحرارة بالطريقة نفسها التي يتمدد بها قضيب من النحاس طوله 1.00 m. ويشترط في القضيب المطلوب أن يكون مصنوعًا من جزأين، أحدهما من الفولاذ والآخر من الألومنيوم موصولين معًا، كما يبين الشكل. فكم يجب أن يكون طول كل منهما؟



$$L_{\text{نحاس}} = L_{\text{ألومنيوم}} + L_{\text{فولاذ}}$$

$$\alpha_{\text{نحاس}} L_{\text{نحاس}} \Delta T = (\alpha_{\text{ألومنيوم}} L_{\text{ألومنيوم}} + \alpha_{\text{فولاذ}} L_{\text{فولاذ}}) \Delta T$$

عوض مستخدمًا

$$L_{\text{ألومنيوم}} = L_{\text{نحاس}} - L_{\text{فولاذ}}$$

فينتج

$$L_{\text{فولاذ}} = \frac{(\alpha_{\text{نحاس}} - \alpha_{\text{ألومنيوم}}) L_{\text{نحاس}}}{\alpha_{\text{فولاذ}} - \alpha_{\text{ألومنيوم}}}$$

$$= \frac{(16 \times 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1} - 25 \times 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1})(1.00\ \text{m})}{12 \times 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1} - 25 \times 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1}}$$

$$= 0.69\ \text{m}$$

$$L_{\text{ألومنيوم}} = L_{\text{نحاس}} - L_{\text{فولاذ}}$$

$$= 1.00\ \text{m} - 0.69\ \text{m} = 0.31\ \text{m}$$

مسائل تدريبية

7–1 الحركة الدورية (صفحة 9–14)

صفحة 12

1. ما مقدار استطالة نابض عند تعليق جسم وزنه 18 N في نهايته إذا كان ثابت النابض له يساوي 56 N/m؟

$$F = kx$$

$$x = \frac{F}{k} = \frac{18\ \text{N}}{56\ \text{N/m}} = 0.32\ \text{m}$$

2. ما مقدار طاقة الوضع المرونية المخزَّنة في نابض عند ضغطه مسافة 16.5 cm، إذا كان ثابت النابض له يساوي 144 N/m؟

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$= \frac{1}{2}(144\ \text{N/m})(0.165\ \text{m})^2 = 1.96\ \text{J}$$

3. ما المسافة التي يستطيلها نابض حتى يخزّن طاقة وضع مرونية مقدارها 48 J، إذا كان ثابت النابض له يساوي 256 N/m؟

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$x = \sqrt{\frac{2PE_{sp}}{k}} = \sqrt{\frac{(2)(48\ \text{J})}{256\ \text{N/m}}} = 0.61\ \text{m}$$

صفحة 13

4. ما طول بندول موجود على سطح القمر، حيث $g = 1.6\ \text{m/s}^2$ حتى يكون الزمن الدوري له 2.0 s؟

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$l = g\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 = (1.6\ \text{m/s}^2)\left(\frac{2.0\ \text{s}}{2\pi}\right)^2 = 0.16\ \text{m}$$

5. إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 0.75 m يساوي 1.8 s على سطح أحد الكواكب، فما مقدار g على هذا الكوكب؟

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$g = l\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = (0.75\ \text{m})\left(\frac{2\pi}{1.8\ \text{s}}\right)^2 = 9.1\ \text{m/s}^2$$

مراجعة القسم

7–1 الحركة الدورية (صفحة 9–14)

صفحة 14

6. **قانون هوك** علّقت أجسام مختلفة الوزن بنهاية شريط مطاطي مثبت بخطاف، ثم رسمت العلاقة البيانية بين وزن الأجسام المختلفة واستطالة الشريط المطاطي. كيف تستطيع الحكم – اعتمادًا على الرسم البياني – ما إذا كان الشريط المطاطي يحقق قانون هوك أم لا؟

إذا كانت العلاقة البيانية خطيّة فإن الشريط المطاطي يحقق قانون هوك، أما إذا كانت العلاقة البيانية على شكل منحنى فإنه لا يحقق قانون هوك.

7. **البندول** ما مقدار التغير اللازم في طول بندول حتى يتضاعف زمنه الدوري إلى الضعف؟ وما مقدار التغير اللازم في طوله حتى يقل زمنه الدوري إلى نصف زمنه الدوري الأصلي؟

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

لذا فإن

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}}$$

لمضاعفة الزمن الدوري

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}} = 2$$

لذا فإن

$$\frac{l_2}{l_1} = 4$$

يجب مضاعفة طول البندول أربع مرات.

ولتقليل الزمن الدوري للبندول إلى النصف

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}} = \frac{1}{2}$$

لذا فإن

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{1}{4}$$

يجب تقليل طول البندول ليساوي طوله ربع طوله الأصلي.

8. طاقة النابض ما الفرق بين الطاقة المختزنة في نابض استطال 0.40 m والطاقة المختزنة في النابض نفسه عندما يستطيل 0.20 m؟

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$\frac{PE_1}{PE_2} = \frac{x_1^{\,2}}{x_2^{\,2}}$$

$$= \frac{(0.40\ \text{m})^2}{(0.20\ \text{m})^2} = 4.0$$

تكون الطاقة المختزنة أكبر أربع مرات عندما يستطيل النابض إلى 0.40 m.

9. الرنين إذا كانت عجلات سيارة غير متوازِنة فسوف تهتز السيارة بقوة عند سرعة محدّدة، ولا يحدث ذلك عند سرعات أقل أو أكبر من هذه السرعة. فسّر ذلك.

عند تلك السرعة يقترب تردد دوران الإطار من التردد الطبيعي للسيارة؛ مما يؤدي إلى حدوث الرنين.

10. التفكير الناقد ما أوجه الشبه بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة؟ وما أوجه الاختلاف بينهما؟

الحركتان دوريتان إلا أنه في الحركة الدائرية المنتظمة لا تتناسب القوة التي تُحدث التسارع مع الإزاحة. بالإضافة إلى أن الحركة التوافقية البسيطة تحدث في بعد واحد، أما الحركة الدائرية المنتظمة فتحدث في بعدين.

مسائل تدريبية

7–2 خصائص الموجات (صفحة 20–15)

صفحة 20

11. أطلق فادي صوتًا عاليًا في اتجاه جرف رأسي يبعد 465 m عنه، وسمع الصدى بعد 2.75 s. احسب مقدار:

a. سرعة صوت فادي في الهواء.

$$v = \frac{d}{t} = \frac{(2)(465\ \text{m})}{2.75\ \text{s}} = 338\ \text{m/s}$$

b. تردّد موجة الصوت إذا كان طولها الموجي يساوي 0.750 m.

$$v = \lambda f$$

لذا فإن

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{338\ \text{m/s}}{0.750\ \text{m}} = 451\ \text{Hz}$$

c. الزمن الدوري للموجة.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{451\ \text{Hz}} = 2.22\times10^{-3}\ \text{s}$$

12. إذا أردت زيادة الطول الموجي لموجات في حبل فهل تهز الحبل بتردد كبير أم بتردد صغير؟

تهز الحبل بتردد صغير؛ وذلك لأن الطول الموجي يتناسب عكسيًا مع التردد.

13. ولّد مصدرٌ في حبل اضطرابًا تردّده 6.00 Hz، فإذا كانت سرعة الموجة المستعرضة في الحبل 15.0 m/s، فما طولها الموجي؟

$$v = \lambda f$$

لذا فإن

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{15.0\ \text{m/s}}{6.00\ \text{Hz}} = 2.50\ \text{m}$$

14. تتولّد خمس نبضات في خزان ماء كل 0.100 s، فإذا كان الطول الموجي للموجات السطحية 1.20 cm، فما مقدار سرعة انتشار الموجة؟

$$\frac{0.100\ \text{s}}{5\ \text{نبضات}} = 0.0200\ \text{s/نبضة}$$

لذا فإن

$$T = 0.0200\ \text{s}$$

$$\lambda = vT$$

لذا فإن

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

$$v = \frac{1.20\ \text{cm}}{0.0200\ \text{s}}$$

$$= 60.0\ \text{cm/s}$$

$$= 0.600\ \text{m/s}$$

مراجعة القسم

2–7 خصائص الموجات (صفحة 20–15)

صفحة 20

15. **السرعة في أوساط مختلفة** إذا سحبت أحد طرفي نابض، هل تصل النبضة إلى طرفه الآخر في اللحظة نفسها؟ ماذا يحدث لو سحبت حبلاً؟ ماذا يحدث عند ضرب طرف قضيب حديدي؟ قارن بين سرعة انتقال النبضات في المواد الثلاث.

تحتاج النبضة إلى فترة زمنية حتى تصل إلى الطرف الآخر في كل حالة، ويكون انتقالها في الحبل أسرع منه في النابض، والنبضة الأسرع تكون في قضيب الحديد.

16. **خصائص الموجة** إذا ولّدت موجة مستعرضة في حبل عن طريق هزّ يدك وتحريكها من جانب إلى آخر، ثم بدأت تهزّ الحبل أسرع من دون تغيير المسافة التي تتحركها يدك، فماذا يحدث لكل من: السعة، والطول الموجي، والتردد، والزمن الدوري، وسرعة الموجة؟

لا يتغير كل من السعة والسرعة، إلا أن التردد يزداد، في حين يقل كل من الزمن الدوري والطول الموجي.

17. **الموجات تنقل الطاقة** افترض أنه طُلب إليك أنت وزميلك في المختبر توضيح أن الموجة المستعرضة تنقل الطاقة دون انتقال مادة الوسط، فكيف توضح ذلك؟

اربط قطعة من الصوف في مكانٍ ما بالقرب من منتصف الحبل، ثم اطلب إلى زميلك أن يثبت أحد طرفي الحبل، ثم حرّك الحبل إلى أعلى وإلى أسفل لتوليد موجة مستعرضة. لاحظ أنه عندما تتحرّك الموجة خلال الحبل فإن قطعة الصوف تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل، ولكنها تبقى في المكان نفسه على الحبل.

18. **الموجات الطولية** صف الموجات الطولية. وما أنواع الأوساط التي تنقل الموجات الطولية؟

تهتزّ دقائق الوسط، في الموجات الطولية، في اتجاه موازٍ لاتجاه حركة الموجة. وتسمح الأوساط جميعها تقريبًا للموجات الطولية بالانتقال خلالها سواءً أكانت أوساطًا صلبة أم سائلة أم غازية.

19. **التفكير الناقد** إذا سقطت قطرة مطر في بركة فستولّد موجات ذات سعات صغيرة. أما إذا قفز سبّاح في البركة فسيولّد موجات ذات سعات كبيرة. فلماذا لا تولّد الأمطار الغزيرة في أثناء العواصف الرعدية موجات ذات سعات كبيرة؟

تنتقل طاقة السبّاح إلى الموجة عبر مساحة صغيرة وخلال فترة زمنية قصيرة، في حين تنتشر طاقة حبات المطر على مساحة أوسع خلال فترة زمنية أكبر.

مراجعة القسم

3–7 سلوك الموجات (صفحة 25–21)

صفحة 25

20. **الموجات عند الحدود الفاصلة** أيّ خصائص الموجة الآتية لا تتغير عندما تمر الموجة خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين: التردد، السعة، الطول الموجي، السرعة، الاتجاه؟

لا يتغير التردد، في حين يتغير كل من السعة والطول الموجي والسرعة عندما تعبر الموجة وسطًا جديدًا. أما الاتجاه فقد يتغير أو لا يتغير، وذلك اعتمادًا على الاتجاه الأصلي للموجة.

21. **انكسار الموجات** لاحظ **الشكل 7–17a**، وبين كيف يتغير اتجاه الموجة عندما تمر من وسط إلى آخر. وهل يمكن أن تعبر موجة في بعدين حدًّا فاصلاً بين وسطين دون أن يتغير اتجاهها؟ وضح ذلك.

نعم، إذا سقطت الموجة عموديًّا على الحد الفاصل، أو إذا كان لها السرعة نفسها في الوسطين.

22. **الموجات الموقوفة** العلاقة بين عدد العقد وعدد البطون في موجة موقوفة في نابض مثبت الطرفين؟

يزيد عدد العقد دائمًا واحدة على عدد البطون.

23. **التفكير الناقد** هناك طريقة أخرى لفهم انعكاس الموجات، وهي أن تغطي الطرف الأيمن لكل رسم في **الشكل 7–13a** بقطعة ورق، على أن يكون طرف الورقة موجودًا عند النقطة N (العقدة)، ثم تركز على الموجة الناتجة التي تظهر باللون الأزرق الغامق، وتلاحظ أنها تبدو مثل موجة منعكسة عن حد فاصل. فهل هذا الحد الفاصل حائط صلب أم ذو نهاية مفتوحة؟ كرّر هذا التمرين مع **الشكل 7–13b**.

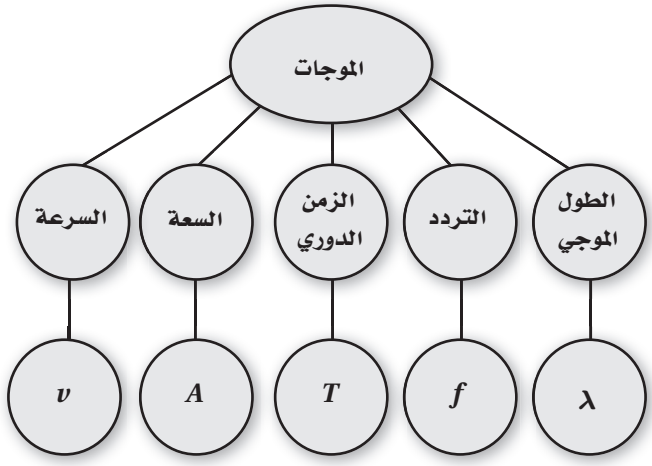
الشكل 7–13a يسلك سلوك جدار صلب؛ لأن الموجة المنعكسة منقلبة. أما الشكل 7–13b فيسلك سلوك النهاية المفتوحة؛ لأن الحد الفاصل بطن، والموجة المنعكسة غير منقلبة.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 30

24. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز التالية: السعة، التردد، v, λ, T.



إتقان المفاهيم

صفحة 31–30

25. ما الحركة الدورية؟ أعط ثلاثة أمثلة عليها. (1–7)

الحركة الدورية حركة تعيد نفسها في دورة منتظمة. ومن الأمثلة عليها: اهتزاز نابض، وتأرجح بندول بسيط، والحركة الدائرية المنتظمة.

26. ما الفرق بين الزمن الدوري والتردد؟ وكيف يرتبطان؟ (1–7)

التردد هو عدد الدورات أو التكرارات في الثانية، والزمن الدوري هو الزمن الذي يتطلبه إكمال دورة واحدة. ويمثّل التردد مقلوب الزمن الدوري.

27. إذا حقق نابض قانون هوك؛ فكيف يكون سلوكه؟ (1–7)

ينضغط النابض مسافة تتناسب طرديًا مع القوة المؤثرة فيه.

28. كيف يمكن أن نستخلص من رسم بياني للقوة والإزاحة لنابضٍ ما قيمة ثابت النابض؟ (1–7)

ثابت النابض يساوي ميل العلاقة البيانية بين F و x.

29. كيف يمكن أن نستخلص من الرسم البياني للقوة والإزاحة طاقة الوضع في نابضٍ ما؟ (1–7)

طاقة الوضع تساوي المساحة تحت منحنى العلاقة بين F و x.

30. هل يعتمد الزمن الدوري لبندول على كتلة ثقله؟ وهل يعتمد على طول خيطه؟ وعلامَ يعتمد الزمن الدوري للبندول أيضًا؟ (1–7)

لا يعتمد على كتلة ثقله، ويعتمد على طول خيطه، وتسارع الجاذبية الأرضية g.

31. ما الطرائق العامة لانتقال الطاقة؟ أعط مثالين على كل منها. (2–7)

طريقتان. تُنقل الطاقة بانتقال الجسيمات والموجات. وهناك أكثر من مثال على كل منهما: البيسبول والرصاصة لانتقال الجسيمات، وموجات الصوت والضوء لانتقال الموجات.

32. ما الفرق الرئيس بين الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية؟ (2–7)

الاختلاف الرئيس هو أن الموجات الميكانيكية تحتاج إلى وسط ناقل لتنتقل خلاله، أما الموجات الكهرومغناطيسية فلا تحتاج إلى وسط ناقل.

33. ما الفروق بين كلٍّ من: الموجة المستعرضة، والموجة الطولية والموجة السطحية؟ (2–7)

تسبّب الموجات المستعرضة اهتزاز جسيمات الوسط في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة. أما الموجات الطولية فتسبّب اهتزاز جسيمات الوسط في اتجاه موازٍ لاتجاه انتشار الموجة. أما الموجات السطحية فلها صفات الموجتين الطولية والمستعرضة.

34. ما الفرق بين النبضة الموجية والموجة الدورية؟ (2–7)

النبضة عبارة عن اضطراب مفرد في الوسط، أما الموجة الدورية فتتكوّن من عدة اضطرابات متجاورة.

35. انتقلت موجات خلال نابض طوله ثابت. أجب عن السؤالين التاليين: (2–7)

a. هل تتغير سرعة الموجات في النابض؟ وضح ذلك.

لا تتغير سرعة الموجات؛ لأنها تعتمد فقط على الوسط الناقل.

b. هل يتغير تردد الموجة في النابض؟ وضح ذلك.

يمكن تغيير التردد عن طريق تغيير تردد توليد الموجات.

36. افترض أنك ولّدت نبضة خلال حبل، فكيف تقارن موضع نقطة على الحبل قبل وصول النبضة بموضعها بعد مرور النبضة؟ (2–7)

بمجرد مرور النبضة فإن هذه النقطة تعود تمامًا كما كانت قبل وصول النبضة.

تابع الفصل 7

37. افترض أنك ولّدت موجة مستعرضة بهزّ أحد طرفي نابض جانبيًّا، فكيف يكون تردد يدك مقارنة بتردد الموجة؟ (2–7)

يكونان متساويين .

38. متى تكون النقاط في موجة في الطور نفسه؟ ومتى تكون في حالة اختلاف في الطور؟ أعط مثالاً على كل حالة. (2–7)

تكون النقاط في الطور نفسه إذا كان لها الإزاحة نفسها والسرعة المتجهة نفسها. وخلاف ذلك تكون النقاط في حالة اختلاف في الطور. فمثلا تكون قمتان في الموجة في الطور نفسه إحداهما بالنسبة إلى الأخرى. أما القمة والقاع فلا يكونان في الطور نفسه أحدهما بالنسبة إلى الآخر.

39. صف العلاقة بين سعة موجة والطاقة التي تحملها. (2–7)

تتناسب الطاقة التي تحملها الموجة طرديًّا مع مربع سعتها.

40. عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين حبل رفيع وآخر سميك، كما في **الشكل 18–7**، ستتغير سرعتها وطولها الموجي، ولن يتغير ترددها. فسر لماذا يبقى التردد ثابتًا. (3–7)

■ **الشكل 18–7**

يعتمد التردد فقط على معدل اهتزاز الحبل الرفيع، الذي بدوره يؤدّي إلى اهتزاز الحبل السميك بالتردد نفسه.

41. ثُبتت شريحة فلزية رقيقة من مركزها، ونُثر عليها سكر. فإذا نقر على قوس بالقرب منها فإن أحد طرفيها يبدأ في الاهتزاز، ويبدأ السكر في التجمع في مساحات محدّدة، ويتحرك مبتعدًا عن مساحات أخرى. صف هذه المناطق بدلالة الموجات الموقوفة. (3–7)

المساحات الخالية هي مناطق البطون؛ حيث يكون فيها أكبر اهتزاز. أما المساحات التي يتجمّع فيها السكر فهي مناطق العُقد التي لا يكون عندها اهتزاز.

42. إذا اهتز حبل مشكِّلاً أربعة أجزاء أو أقسام فإنك تستطيع أن تلمس عددًا من النقاط عليه دون أن تحدث اضطرابًا في حركته. بيّن عدد هذه النقاط. (3–7)

تتكوّن موجة موقوفة، ويمكن أن تلمس الحبل عند أي نقطة من العُقد الخمس.

43. مرّت مقدمات موجات بزاوية من وسط إلى آخر، وتحركت فيه بسرعة مختلفة. صف تغيرين في هذه المقدمات، وما الذي لم يتغير؟ (3–7)

يتغير كل من الطول الموجي واتجاه مقدمات الموجة، أما التردد فلا يتغير.

تطبيق المفاهيم

صفحة 31

44. تهتز كرة إلى أعلى وإلى أسفل عند طرف نابض مثبت رأسيًّا. صِف تغيرات الطاقة التي تحدث خلال دورة كاملة. وهل تغيرت الطاقة الميكانيكية الكلية؟

تكون طاقة الوضع المرونية عند أسفل الحركة عند قيمتها العظمى، وطاقة الوضع الجاذبية عند قيمتها الصغرى، والطاقة الحركية صفرًا. أما عند وضع الاتزان فتكون الطاقة الحركية (*KE*) عند قيمتها العظمى، وطاقة الوضع المرونية صفرًا. أما عند أعلى نقطة في مسار الحركة – لحظة الارتداد إلى أسفل –فتكون الطاقة الحركية (*KE*) صفرًا، وتكون كل من طاقة الوضع الجاذبية وطاقة الوضع المرونية عند قيمتها العظمى، وتكون الطاقة الميكانيكية الكلية محفوظة.

45. هل يمكن استخدام ساعة بندول في محطة فضائية دولية تتحرك في مدارها؟ وضح ذلك.

لا، تكون المحطة الفضائية في حالة سقوط حر، لذا تكون القيمة الظاهرية لثابت الجاذبية g صفرًا، ولا يتأرجح البندول.

46. افترض أنك أمسكت قضيبًا فلزيًّا طوله 1 m، وضربت أحد طرفيه بمطرقة، في اتجاه موازٍ لطوله أولاً، ثم في اتجاه يصنع زاوية قائمة مع طوله ثانيًا. صف الموجات المتولّدة في الحالتين.

تتولّد في الحالة الأولى موجات طولية؛ أما في الحالة الثانية فتتولّد موجات مستعرضة.

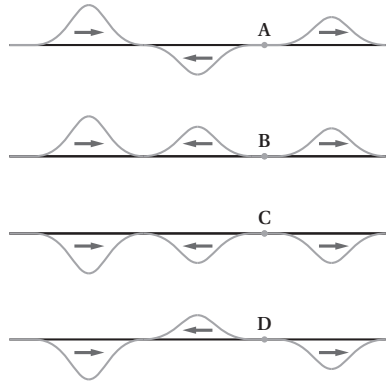
47. افترض أنك غمست إصبعك بشكل متكرّر في حوض مملوء بالماء لتوليد موجات دائرية، فماذا يحدث لطول الموجة إذا حركت إصبعك بسرعة؟

يزداد تردد الموجات؛ وتبقى السرعة نفسها؛ ويقل الطول الموجي.

48. افترض أنك أحدثت نبضة واحدة في نابض مشدود، فما الطاقة التي يتطلبها إحداث نبضة لها ضعف السعة؟

أربعة أضعاف الطاقة تقريبًا.

49. تكون النبضة اليسرى في كل واحدة من الموجات الموضحة في **الشكل 19–7** أدناه هي النبضة الأصلية، وتتحرك إلى اليمين، وتكون النبضة التي في المركز هي النبضة المنعكسة، بينما تكون النبضة اليمنى هي النبضة النافذة. صف صلابة الحد الفاصل عند النقاط A، B، C، D.



■ **الشكل 19–7**

يكون كل من الحدين الفاصلين A وD أكثر صلابة؛ أما الحدان الفاصلان، B و C فيكونان أقل صلابة.

إتقان حل المسائل

صفحة 32–31

1–7 الحركة الدورية

صفحة 32–31

50. ماصّات الصدمات إذا كان ثابت كل نابض من نوابض سيارة وزنها 1200 N يساوي 25000 N/m. فكم ينضغط كل نابض إذا حُمّلت السيارة بربع وزنها؟

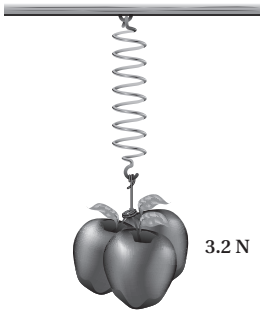
$$F = kx$$

لذا فإن

$$x = \frac{F}{k}$$

$$x = \frac{\left(\frac{1}{4}\right)(1200\ \text{N})}{25000\ \text{N/m}} = 0.012\ \text{m}$$

51. إذا استطال نابض مسافة 0.12 m عندما علّق في أسفله عدد من التفاحات وزنها 3.2 N كما في **الشكل 20–7**، فما مقدار ثابت النابض؟



■ **الشكل 20–7**

$$F = kx$$

لذا فإن

$$k = \frac{F}{x} = \frac{3.2\ \text{N}}{0.12\ \text{m}}$$

$$= 27\ \text{N/m}$$

52. قاذفة الصواريخ تحتوي لعبة قاذفة الصواريخ على نابض ثابته يساوي 35 N/m. ما المسافة التي يجب أن ينضغطها النابض حتى يخزّن طاقة مقدارها 1.5 J؟

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

لذا فإن

$$x = \sqrt{\frac{2PE_{sp}}{k}} = \sqrt{\frac{(2)(1.5\ \text{J})}{35\ \text{N/m}}}$$

$$= 0.29\ \text{m}$$

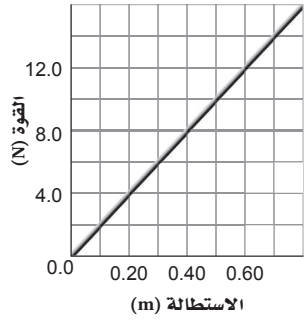
53. ما مقدار طاقة الوضع المختزنة في نابض عندما يستطيل مسافة 16 cm علمًا بأن مقدار ثابته يساوي 27 N/m؟

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}(27\ \text{N/m})(0.16)^2$$

$$= 0.35\ \text{J}$$

54. يبين **الشكل 21–7** العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة في نابض ومقدار استطالته. احسب مقدار:



■ **الشكل 21–7**

a. ثابت النابض.

$$k = \text{الميل} = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{12.0\text{ N} - 4.0\text{ N}}{0.6\text{ m} - 0.2\text{ m}} = 20\text{ N/m}$$

b. الطاقة المختزنة في النابض عندما يستطيل ويصبح طوله 0.50 m.

$$PE_{sp} = \text{المساحة} = \frac{1}{2}bh = \left(\frac{1}{2}\right)(0.50\text{ m})(10.0\text{ N}) = 2.50\text{ J}$$

7–2 خصائص الموجات

صفحة 32

55. موجات المحيط إذا كان طول موجة محيطية 12.0 m، وتمر بموقع ثابت كل 3.0 s، فما سرعة الموجة؟

$$v = \lambda f = \lambda\left(\frac{1}{T}\right) = (12.0\text{ m})\left(\frac{1}{3.0\text{ s}}\right) = 4.0\text{ m/s}$$

56. تنتقل موجة ماء في بركة مسافة 3.4 m في 1.8 s. فإذا كان الزمن الدوري للاهتزازة الواحدة يساوي 1.1 s، فاحسب مقدار:

a. سرعة موجات الماء.

$$v = \frac{d}{t} = \frac{3.4\text{ m}}{1.8\text{ s}} = 1.9\text{ m/s}$$

b. الطول الموجي لهذه الموجات.

$$\lambda = \frac{v}{f} = vT = (1.9\text{ m/s})(1.1\text{ s}) = 2.1\text{ m}$$

57. السونار يرسل سونار (جهاز يكشف المواقع تحت سطح الماء عن طريق الصدى) في الماء إشارة ترددها 1.00×10^6 Hz وطولها الموجي يساوي 1.50 mm. احسب مقدار:

a. سرعة الإشارة في الماء.

$$v = \lambda f = (1.50\times10^{-3}\text{ m})(1.00\times10^6\text{ Hz}) = 1.50\times10^3\text{ m/s}$$

b. الزمن الدوري للإشارة في الماء.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1.00\times10^6\text{ Hz}} = 1.00\times10^{-6}\text{ s}$$

c. الزمن الدوري للإشارة في الهواء.

1.00×10^{-6} s

الزمن الدوري والتردد لا يتغيرا.

58. جلس عمر وطارق بعد السباحة على شاطئ بركة، وقدّرا المسافة الفاصلة بين قاع الموجة السطحية وقمتها بمقدار 3.0 m، فإذا عدّا 12 قمة مرت بالشاطئ خلال 20.0 s، فاحسب سرعة انتشار الموجات.

$$\lambda = (2)(3.0\text{ m}) = 6.0\text{ m}$$

$$f = \frac{(\text{موجة } 12)}{20.0\text{ s}} = 0.60\text{ Hz}$$

$$v = \lambda f = (6.0\text{ m})(0.60\text{ Hz}) = 3.6\text{ m/s}$$

59. الزلازل إذا كانت سرعة الموجات المستعرضة الناتجة عن زلزال 8.9 km/s وسرعة الموجات الطولية 5.1 km/s، وسجّل جهاز السيزموجراف زمن وصول الموجات المستعرضة قبل وصول الموجات الطولية بـ 68 s، فكم يبعد مركز الزلزال؟

نبدأ بالمعادلة: $d = vt$، ونحن لا نعلم مقدار الزمن t، ولكننا نعلم مقدار الفرق في الزمن: Δt فقط. المسافة التي قطعتها الموجات المستعرضة $d_T = v_T t$ تساوي المسافة التي قطعتها الموجات الطولية $d_L = v_L(t + \Delta t)$. استخدم المعادلة الآتية وحلها بالنسبة إلى t:

$$v_T t = v_L(t + \Delta t)$$

$$t = \frac{v_L \Delta t}{v_T - v_L}$$

$$t = \frac{(5.1\ \text{km/s})(68\ \text{s})}{8.9\ \text{km/s} - 5.1\ \text{km/s}} = 91\ \text{s}$$

ثم عوض قيمة t في المعادلة الآتية:

$$d_T = v_T t = (8.9\ \text{km/s})(91\ \text{s})$$

$$= 8.1 \times 10^2\ \text{km}$$

7–3 سلوك الموجات

صفحة 32

60. إذا كانت سرعة الموجة في وتر طوله 63 cm تساوي 265 m/s، وقد حرّكته من مركزه بسحبه إلى أعلى ثم تركته، فتحرّكت نبضة في الاتجاهين، ثم انعكست النبضتان عند نهايتي الوتر:

a. فما الزمن الذي تحتاج إليه النبضة حتى تصل طرف الوتر ثم تعود إلى مركزه؟

$$d = \frac{(2)(63\ \text{cm})}{2} = 63\ \text{cm}$$

لذا فإن

$$t = \frac{d}{v} = \frac{0.63\ \text{m}}{265\ \text{m/s}} = 2.4 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

b. هل يكون الوتر أعلى موضع سكونه أم أسفله عندما تعود النبضتان؟

تنقلب النبضات عندما تنعكس عن وسط أكثر كثافة، لذا يكون اتجاه النبضة المنعكسة إلى أسفل.

c. إذا حرّكت الوتر من نقطة تبعد 15 cm عن أحد طرفيه فأين تلتقي النبضتان؟

15 cm من الطرف الآخر، حيث المسافات المقطوعة هي نفسها.

مراجعة عامة

صفحة 33–32

61. ما الزمن الدوري لبندول طوله 1.4 m؟

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{1.4\ \text{m}}{9.80\ \text{m/s}^2}}$$

$$= 2.4\ \text{s}$$

62. موجات الراديو تبث إشارات راديو Am بترددات بين 550 kHz و 1600 kHz وتنتقل بسرعة 3.00×10^8 m/s، أجب عما يلي:

a. ما مدى الطول الموجي لهذه الإشارات؟

$$v = \lambda f$$

$$\lambda_1 = \frac{v}{f_1} = \frac{3.00 \times 10^8\ \text{m/s}}{5.5 \times 10^5\ \text{Hz}}$$

$$= 550\ \text{m}$$

$$\lambda_2 = \frac{v}{f_2} = \frac{3.00 \times 10^8\ \text{m/s}}{1.6 \times 10^6\ \text{Hz}}$$

$$= 190\ \text{m}$$

المدى من 190 m إلى 550 m.

b. إذا كان مدى ترددات FM بين 88 MHz (ميجا Hz) و108 MHz وتنتقل بالسرعة نفسها، فما مدى الطول الموجي لموجات FM؟

$$v = \lambda f$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3.00 \times 10^8\ \text{m/s}}{8.8 \times 10^7\ \text{Hz}}$$

$$= 3.4\ \text{m}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3.00 \times 10^8\ \text{m/s}}{1.08 \times 10^8\ \text{Hz}}$$

$$= 2.78\ \text{m}$$

المدى من 2.78 m إلى 3.4 m.

63. القفز بالحبل المطاطي قفز لاعب من منطاد على ارتفاع عالٍ بواسطة حبل نجاة قابل للاستطالة طوله 540 m، وعند اكتمال القفزة كان اللاعب معلقًا بالحبل الذي أصبح طوله 1710 m. ما مقدار ثابت النابض لحبل النجاة إذا كانت كتلة اللاعب 68 kg؟

$$k = \frac{F}{x} = \frac{mg}{x} = \frac{(68\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{1710\ \text{m} - 540\ \text{m}} = 0.57\ \text{N/m}$$

64. تأرجح جسر يتأرجح طارق وحسن على جسر بالحبال فوق أحد الأنهار، حيث يربطان حبالهما عند إحدى نهايتي الجسر، ويتأرجحان عدة دورات جيئة وذهابًا، ثم يسقطان في النهر. أجب عن الأسئلة التالية:

a. إذا استخدم طارق حبلا طوله 10.0 m، فما الزمن الذي يحتاج إليه حتى يصل قمة الدورة في الجانب الآخر من الجسر؟

التأرجح إلى قمة الدورة $= \frac{1}{2}T$

$$= \pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \pi\sqrt{\frac{10.0\ \text{m}}{9.80\ \text{m/s}^2}} = 3.17\ \text{s}$$

b. إذا كانت كتلة حسن تزيد 20 kg على كتلة طارق، فكم تتوقع أن يختلف الزمن الدوري لحسن عما هو لطارق؟

لن يكون هناك اختلاف، فالزمن الدوري T لا يتأثر بالكتلة.

c. أي نقطة في الدورة تكون عندها KE أكبر ما يمكن؟

عند أسفل التأرجح.

d. أي نقطة في الدورة تكون عندها PE أكبر ما يمكن؟

عند قمة التأرجح.

e. أي نقطة في الدورة تكون عندها KE أقل ما يمكن؟

عند قمة التأرجح.

f. أي نقطة في الدورة تكون عندها PE أقل ما يمكن؟

عند أسفل التأرجح.

65. نوابض السيارات إذا أُضيفت حمولة مقدارها 45 kg إلى صندوق سيارة صغيرة جديدة، ينضغط النابضان الخلفيان مسافة إضافية مقدارها 1.0 cm، احسب مقدار:

a. ثابت النابض لكل من النابضين الخلفيين.

$$F = mg = (45\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2) = 440\ \text{N}$$

لذا تساوي القوة المؤثرة في كل نابض 220 N.

$$F = kx$$

لذا فإن

$$k = \frac{F}{x}$$

$$k = \frac{220\ \text{N}}{0.010\ \text{m}} = 22000\ \text{N/m}$$

b. طاقة الوضع الإضافية المختزنة في كل من النابضين الخلفيين بعد تحميل صندوق السيارة.

$$PE = \frac{1}{2}kx^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(22000\ \text{N/m})(0.010\ \text{m})^2 = 1.1\ \text{J}$$

التفكير الناقد

صفحة 34–33

66. حلّل واستنتج إذا لزمت قوة مقدارها 20 N لإحداث استطالة في نابض مقدارها 0.5 m، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار ثابت النابض؟

$$F = kx$$

لذا فإن

$$k = \frac{F}{x} = \frac{20\ \text{N}}{0.5\ \text{m}} = 40\ \text{N/m}$$

b. ما مقدار الطاقة المختزنة في النابض؟

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$= \frac{1}{2}(40\ \text{N/m})(0.5\ \text{m})^2 = 5\ \text{J}$$

c. لماذا لا يكون الشغل المبذول لإطالة النابض مساويًا لحاصل ضرب القوة في المسافة، أو 10 J؟

القوة غير ثابتة في أثناء انضغاط النابض. ويُعطي حاصل ضرب متوسط القوة 10 N في المسافة الشغل الصحيح.

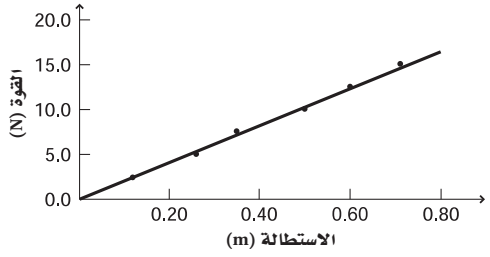
67. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها عُلّقت عدة كتل في نهاية نابض، وقيست الزيادة في طول النابض. ويبين **الجدول 1–7** المعلومات التي تم الحصول عليها.

الجدول 1 – 7

الأوزان المعلقة في النابض

القوة F(N)	الاستطالة x(m)
2.5	0.12
5.0	0.26
7.5	0.35
10.0	0.50
12.5	0.60
15.0	0.71

a. مثّل بيانيًّا القوة المؤثرة في النابض مقابل الاستطالة فيه، على أن ترسم القوة على المحور y.



b. احسب ثابت النابض من الرسم البياني.

ثابت النابض يساوي الميل.

$$k = \text{الميل} = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{15.0\ \text{N} - 2.5\ \text{N}}{0.71\ \text{m} - 0.12\ \text{m}} = 21\ \text{N/m}$$

c. استخدم الرسم البياني في إيجاد طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض عندما يستطيل مسافة 0.50 m

طاقة الوضع المرونية تساوي المساحة تحت المنحنى.

$$PE_{sp} = \text{المساحة} = \frac{1}{2}\text{bh}$$

$$= \frac{1}{2}(0.50\ \text{m})(10.0\ \text{N}) = 2.5\ \text{J}$$

68. تطبيق المفاهيم تتكون تموجات ترابية في الغالب على الطرق الترابية، ويكون بعضها متباعدًا عن بعض بصورة منتظمة، كما تكون هذه التموجات عمودية على الطريق كما في **الشكل 22–7**. وينتج هذا التموج بسبب حركة معظم السيارات بالسرعة نفسها واهتزاز النوابض المتصلة بعجلات السيارة بالتردد نفسه. فإذا كان بعد التموجات بعضها عن بعض 1.5 m، وتتحرك السيارات على هذا الطريق بسرعة 5 m/s، فما تردد اهتزاز نوابض السيارة؟

■ **الشكل 22–7**

$$v = \lambda f$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{5\ \text{m/s}}{1.5\ \text{m}} = 3\ \text{Hz}$$

الكتابة في الفيزياء

صفحة 34

69. بحث درس العالم كرستيان هيجنز في الموجات، وحدث خلاف بينه وبين نيوتن حول طبيعة الضوء. قارن بين تفسير كل منهما لظواهر الانعكاس والانكسار. أيّ النموذجين تؤيد؟ ولماذا؟

وضَع هيجنز النظرية الموجية للضوء. أما نيوتن فقد وضع النظرية الجسيمية للضوء. ويمكن تفسير قانون الانعكاس باستخدام النظريتين، أما في تفسير قانون الانكسار فهما متناقضتان.

مراجعة تراكمية

صفحة 34

70. تقطع سيارة سباق كتلتها 1400 kg مسافة 402 m خلال 9.8 s. فإذا كانت سرعتها النهائية 112 m/s، فأجب عما يلي: (الفصل 4)

a. ما مقدار الطاقة الحركية النهائية للسيارة؟

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$KE = \left(\frac{1}{2}\right)(1400\ \text{kg})(112\ \text{m/s})^2$$

$$= 8.8\times10^6\ \text{J}$$

b. ما أقل مقدار من الشغل بذله محرك السيارة؟ ولماذا لا يمكنك حساب مقدار الشغل الكلي المبذول؟

أقل مقدار من الشغل يجب أن يساوي الطاقة الحركية (*KE*)؛ أيْ 8.8×10^6 J. ويبذل المحرك شغلا أكبر للتعويض عن الشغل الضائع ضد قوة الاحتكاك.

c. ما مقدار التسارع المتوسط للسيارة؟

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\bar{a} = \frac{112\ \text{m/s}}{9.8\ \text{s}} = 11\ \text{m/s}^2$$

مسألة تحفيز

صفحة 14

سيارة كتلتها m(kg) تستقر على قمة تل ارتفاعه h(m) قبل أن تهبط على طريق عديم الاحتكاك في اتجاه حاجز تصادم عند أسفل التل. فإذا احتوى حاجز التصادم على نابض مقدار ثابته يساوي k(N/m) مصمَّم على أن يوقف السيارة بأقل الأضرار.

1. بيّن أقصى مسافة x ينضغطها النابض عندما تصطدم به السيارة بدلالة m و h و k و g.

يشير مبدأ حفظ الطاقة إلى أن طاقة الوضع الجاذبية للسيارة عند أعلى التل تساوي طاقة الوضع المرونية في النابض عندما يتسبّب النابض في توقف السيارة. وبمساواة معادلتي هاتين الطاقتين وحلّهما بالنسبة إلى المتغير x ينتج:

$$PE_g = PE_{\text{نابض}}$$

لذا فإن

$$mgh = \frac{1}{2}kx^2$$

$$x = \sqrt{\frac{2mgh}{k}}$$

2. كم ينضغط النابض إذا هبطت السيارة من قمة تل ارتفاعه ضعف ارتفاع التل السابق؟

تضاعف الارتفاع، ولما كانت x تتناسب مع الجذر التربيعي للارتفاع، لذا؛ ستزداد قيمة x بمقدار $\sqrt{2}$.

3. ماذا يحدث بعد أن تتوقف السيارة؟

في حالة النابض المثالي، سيدفع النابض السيارة إلى أعلى التل.

مسائل تدريبية

8–1 خصائص الصوت والكشف عنه (صفحة 44–37)

صفحة 39

1. ما الطول الموجي لموجة صوتية ترددها 18 Hz تتحرك في هواء درجة حرارته (20 °C)؟ (يُعد هذا التردد من أقل الترددات التي يمكن للأذن البشرية سماعها).

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343\ \text{m/s}}{18\ \text{Hz}} = 19\ \text{m}$$

2. إذا وقفت عند طرف وادٍ وصرخت، وسمعت الصدى بعد مرور 0.80 s، فما عرض هذا الوادي؟

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

لذا فإن

$$d = vt = (343\ \text{m/s})(0.40\ \text{s}) = 140\ \text{m}$$

3. تنتقل موجة صوتية ترددها 2280 Hz وطولها الموجي 0.655 m، في وسط غير معروف. حدّد نوع الوسط.

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

لذا فإن

$$v = \lambda f = (0.655\ \text{m})(2280\ \text{Hz})$$
$$= 1490\ \text{m/s}$$

وتقابل هذه السرعة سرعة الصوت في الماء عند 25°C.

صفحة 43

4. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 25.0 m/s في اتجاه صفارة إنذار. إذا كان تردد صوت الصفارة 365 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s.

$$v = 343\ \text{m/s}, f_s = 365\ \text{Hz}, v_s = 0,$$

$$v_d = -25.0\ \text{m/s}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$
$$= (365\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s} + 25.0\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}\right)$$
$$= 392\ \text{Hz}$$

5. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 24.6 m/s، وتتحرك سيارة أخرى في اتجاهك بالسرعة نفسها. فإذا انطلق المنبه فيها بتردد 475 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s.

$$v = 343\ \text{m/s}, f_s = 475\ \text{Hz}, v_s = +24.6\ \text{m/s}$$

$$v_d = -24.6\ \text{m/s}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$
$$= (475\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s} + 24.6\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s} - 24.6\ \text{m/s}}\right)$$
$$= 548\ \text{Hz}$$

6. تتحرك غوّاصة في اتجاه غوّاصة أخرى بسرعة 9.20 m/s، وتصدر موجات فوق صوتية بتردد 3.50 MHz. ما التردد الذي تلتقطه الغوّاصة الأخرى وهي ساكنة؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الماء 1482 m/s.

$$v = 1482\ \text{m/s}, f_s = 3.50\ \text{MHz}$$

$$v_s = 9.20\ \text{m/s}, v_d = 0\ \text{m/s}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$
$$= (3.50\ \text{MHz})\left(\frac{1482\ \text{m/s}}{1482\ \text{m/s} - 9.20\ \text{m/s}}\right)$$
$$= 3.52\ \text{MHz}$$

7. يرسل مصدر صوت موجات بتردد 262 Hz. ما السرعة التي يجب أن يتحرك بها المصدر لتزيد حدّة الصوت إلى 271 Hz؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s.

$$v = 343\ \text{m/s}, f_s = 262\ \text{Hz}, f_d = 271\ \text{Hz}$$

$$v_d = 0\ \text{m/s}$$

أما v_s فهي كمية غير معروفة القيمة.

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

حل المعادلة السابقة بالنسبة إلى v_s.

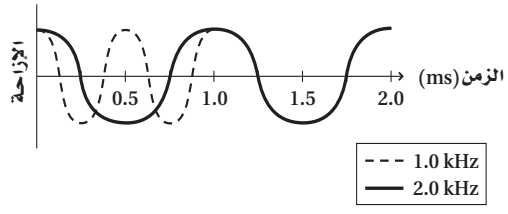
$$v_s = v - \frac{f_s}{f_d}(v - v_d)$$
$$= 343\ \text{m/s} - \left(\frac{262\ \text{Hz}}{271\ \text{Hz}}\right)(343\ \text{m/s} - 0\ \text{m/s})$$
$$= 11.4\ \text{m/s}$$

مراجعة القسم

1–8 خصائص الصوت والكشف عنه (صفحة 44–37)

صفحة 44

8. رسم بياني تتحرك طبلة الأذن إلى الخلف وإلى الأمام استجابة لتغيرات ضغط موجات الصوت. مثّل بيانيًّا العلاقة بين إزاحة طبلة الأذن والزمن لدورتين لنغمة ترددها 1.0 kHz، ولدورتين لنغمة ترددها 2.0 kHz.



9. تأثير الوسط اذكر خصيصتين من خصائص الصوت تتأثران بالوسط الذي تتحرك فيه موجة الصوت، وخصيصتين من الخصائص التي لا تتأثر بالوسط.

الخصيصتان اللتان تتأثران: السرعة والطول الموجي، أما الخصيصتان اللتان لا تتأثران فهما الزمن الدوري والتردد.

10. خصائص الصوت ما الخصيصة الفيزيائية التي يجب تغييرها لموجة صوت حتى تتغير حدّة الصوت؟ وما الخصيصة التي يجب تغييرها حتى يتغير علوّ الصوت؟

التردد، السعة

11. مقياس الديسبل ما نسبة مستوى ضغط صوت جزازة العشب (110 dB) إلى مستوى ضغط صوت محادثة عادية (50 dB)؟

يزداد مستوى ضغط الصوت 10 مرات مقابل كل زيادة مقدارها 20 dB في مستوى الصوت؛ لذا فإن 60 dB تقابل زيادة مقدارها 1000 ضعف في مستوى ضغط الصوت.

12. الكشف المبكر كان الناس في القرن التاسع عشر يضعون آذانهم على مسار سكة الحديد ليترقّبوا وصول القطار. لماذا تُعد هذه الطريقة نافعة؟

إن سرعة الصوت في المواد الصلبة أكبر من سرعته في الغازات. لذا تنتقل موجات الصوت بسرعة أكبر في القضبان الفولاذية مقارنة بسرعة انتقالها في الهواء. وتساعد القضبان على عدم انتشار طاقة الموجات الصوتية على مساحة أكبر؛ لذا لا يتلاشى الصوت بسرعة كما يحدث له في الهواء.

13. الخفافيش يرسل الخفاش نبضات صوت قصيرة بتردد عالٍ ويستقبل الصدى. ما الطريقة التي يميز بها الخفاش بين:

a. الصدى المرتد عن الحشرات الكبيرة والصدى المرتد عن الحشرات الصغيرة إذا كانت على البعد نفسه منه؟

سيختلفان في الشدة، حيث تعكس الحشرات الأكبر طاقةً صوتية أكبر في اتجاه الخفاش.

b. الصدى المرتد عن حشرة طائرة مقتربة منه والصدى المرتد عن حشرة طائرة مبتعدة عنه؟

إن الحشرة التي تطير نحو الخفاش تعيد الصدى بتردد أكبر (انزياح دوبلر)، أما الحشرة التي تطير مبتعدة عن الخفاش فستعيد الصدى بتردد أقل.

14. التفكير الناقد هل يستطيع شرطي يقف على جانب الطريق استخدام الرادار لتحديد سرعة سيارة في اللحظة التي تمر فيها أمامه؟ وضح ذلك.

لا، يجب أن تتحرك السيارة مقتربة أو مبتعدة عن المراقب لملاحظة تأثير دوبلر؛ حيث لا تنتج الحركة المستعرضة أي أثر لتأثير دوبلر.

مسائل تدريبية

8–2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار (صفحة 53–45)

صفحة 51

15. إذا وضعت شوكة رنانة تهتز بتردّد 440 Hz فوق أنبوب مغلق، فأوجد الفواصل بين أوضاع الرنين عندما تكون درجة حرارة الهواء 20 °C.

الفواصل بين أوضاع الرنين تساوي $\frac{\lambda}{2}$. وعند استخدام العلاقة التالية: $\lambda = \frac{v}{f}$ فإن الفواصل بين أوضاع الرنين تساوي:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f} = \frac{343\ \text{m/s}}{(2)(440\ \text{Hz})} = 0.39\ \text{m}$$

16. استخدمت شوكة رنانة تهتز بتردد 440 Hz مع عمود رنين لتحديد سرعة الصوت في غاز الهيليوم. فإذا كانت الفواصل بين أوضاع الرنين 110 cm، فما سرعة الصوت في غاز الهيليوم؟

الفواصل بين أوضاع الرنين $= 1.1\ \text{m} = \frac{\lambda}{2}$

لذا فإن

$$\lambda = 2.2\ \text{m}$$

$$v = \lambda f = (2.2\ \text{m})(440\ \text{Hz}) = 970\ \text{m/s}$$

17. استخدم طالب عمود هواء عند درجة حرارة 27 °C، ووجد فواصل بين أوضاع الرنين بمقدار 20.2 cm. ما تردّد الشوكة الرنانة؟ استخدم سرعة الصوت في الهواء المحسوبة في المثال 2 عند درجة الحرارة 27 °C .

$$v = 347\ \text{m/s}$$

وذلك عند 27 °C

ومن خلال الفواصل بين أوضاع الرنين نحصل على

$$\frac{\lambda}{2} = 0.202\ \text{m}$$

أو

$$\lambda = 0.404\ \text{m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{347\ \text{m/s}}{0.404\ \text{m}} = 859\ \text{Hz}$$

مراجعة القسم

8–2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار (صفحة 53–45)

صفحة 53

18. مصادر الصوت ما الشيء المهتز الذي ينتج الأصوات في كل ممّا يلي؟

a. الصوت البشري

الحبال الصوتية

b. صوت المذياع

غشاء رقيق (غشاء السماعة)

19. الرنين في الأنابيب المفتوحة ما النسبة بين طول الأنبوب المفتوح والطول الموجي للصوت لإنتاج الرنين الأول؟

طول الأنبوب يساوي نصف الطول الموجي.

20. الرنين في الأوتار يصدر وتر نغمة حادة ترددها 370 Hz. ما ترددات الإيقاعات الثلاثة اللاحقة الناتجة بهذه النغمة؟

إيقاعات الوتر تساوي أعدادًا صحيحة مضروبة في التردد الأساسي، وعليه فإن ترددات الإيقاعات هي:

$$f_2 = 2f_1$$
$$= (2)(370\ \text{Hz})$$
$$= 740\ \text{Hz}$$

$$f_3 = 3f_1$$
$$= (3)(370\ \text{Hz})$$
$$= 1110\ \text{Hz}$$
$$= 1100\ \text{Hz}$$

$$f_4 = 4f_1$$
$$= (4)(370\ \text{Hz})$$
$$= 1480\ \text{Hz}$$
$$= 1500\ \text{Hz}$$

21. الرنين في الأنابيب المغلقة يبلغ طول أنبوب مغلق 2.40 m. ما تردد النغمة التي يصدرها هذا الأنبوب؟

$$\lambda = 4L$$
$$= (4)(2.40\ \text{m})$$
$$= 9.60\ \text{m}$$
$$\lambda = \frac{v}{f}$$
$$f = \frac{v}{\lambda}$$
$$= \frac{343\ \text{m/s}}{9.60\ \text{m}}$$
$$= 35.7\ \text{Hz}$$

22. التفكير الناقد اضرب شوكة رنانة بمطرقة مطاطية واحملها بحيث تكون ذراعك ممدودة، ثم اضغط بمقبضها على طاولة، وباب، وخزانة، وأجسام أخرى. فما الذي تسمعه؟ ولماذا؟

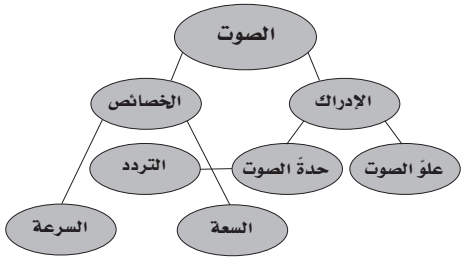
يتضخم صوت الشوكة الرنانة كثيرًا عندما تضغط بمقبضها على أجسام أخرى؛ لأن هذه الأجسام تولّد رنينًا كاللوحات الصوتية. وتختلف الأصوات الناتجة من جسم إلى آخر؛ لأن كلاً منها يولّد رنينًا مع ترددات وإيقاعات مختلفة؛ لذا يكون لها طابع صوت مختلف.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 58

23. أكمل الخريطة المفاهيمية أدناه باستخدام المصطلحات التالية: السعة، الإدراك، حدّة الصوت، السرعة.



إتقان المفاهيم

صفحة 58

24. ما الخصائص الفيزيائية لموجات الصوت؟ (1–8)

يمكن وصف الموجات الصوتية بواسطة التردد، والطول الموجي، والسعة، والسرعة.

25. عند قياس زمن الركض لمسافة 100 m يبدأ المراقبون عند خط النهاية تشغيل ساعات الإيقاف لديهم عند رؤيتهم دخانًا يتصاعد من المسدس الذي يشير إلى بدء السباق، وليس عند سماعهم صوت الإطلاق. فسِّر ذلك. وما الذي يحدث لقياس زمن الركض إذا ابتدأ التوقيت عند سماع الصوت؟ (1–8)

ينتقل الضوء بسرعة 3.00×10^8 m/s، في حين ينتقل الصوت في الهواء بسرعة 343 m/s. لذا سيرى المراقبون الدخان قبل سماع صوت إطلاق المسدس. وسيكون الزمن أقل من الزمن الفعلي لو اعتمد على سماع الصوت.

26. اذكر نوعين من أنواع إدراك الصوت والخصائص الفيزيائية المرتبطة معهما. (1–8)

الحدّة – التردد؛ العلوّ – السعة.

27. هل يحدث انزياح دوبلر لبعض أنواع الموجات فقط أم لجميع أنواع الموجات؟ (1–8)

لجميع أنواع الموجات.

تابع الفصل 8

28. الموجات فوق الصوتية موجات صوتية تردداتها أعلى من تلك التي تسمع بالأذن البشرية، وتنتقل هذه الموجات خلال الجسم البشري. كيف يمكن استخدام الموجات فوق الصوتية لقياس سرعة الدم في الأوردة أو الشرايين؟ وضح كيف تتغير الموجات لتجعل هذا القياس ممكنًا. (1–8)

يستطيع الأطباء قياس انزياح دوبلر من الصوت المنعكس عن خلايا الدم المتحركة. ولأن الدم يتحرك، لذا يحدث انزياح دوبلر لهذا الصوت، وتتقارب الانضغاطات أو تتباعد، مما يؤدي إلى تغيير تردد الموجة.

29. ما الضروري لتوليد الصوت وانتقاله؟ (2–8)

توافر جسم يهتز ووسط مادي.

30. **المشاة** عند وصول جنود المشاة في الجيش إلى جسر فإنهم يسيرون على الجسر بخطوات غير منتظمة. فسّر ذلك. (2–8)

عندما يسير الجنود بخطوات منتظمة ينشأ تردد معين يؤدي إلى اهتزاز الجسر بالتردد نفسه؛ أي يحدث رنين مع الجسر؛ مما يؤدي إلى زيادة سعة اهتزازه ومن ثم انهياره. ولا يكون هناك تضخيم لتردد معين عندما يسيرون بخطوات غير منتظمة.

تطبيق المفاهيم

صفحة 59–58

31. **التقدير** لتقدير المسافة بينك وبين وميض برق بالكيلومترات، عُدّ الثواني بين رؤية الوميض وسماع صوت الرعد، واقسم على 3. وضح كيف تعمل هذه القاعدة.

إن سرعة الصوت تساوي:

$$343\ m/s = 0.343\ km/s = (1/2.92)\ km/s$$

، أو ينتقل الصوت تقريبًا 1 km خلال 3 s؛ لذا قسّم عدد الثواني على 3. أما بالنسبة إلى وحدة الميل فإن الصوت ينتقل تقريبًا 1 mile خلال زمن مقداره 5 s؛ لذا قسّم عدد الثواني على 5.

32. تزداد سرعة الصوت بمقدار 0.6 m/s لكل درجة سلسيوس عند ارتفاع درجة حرارة الهواء بمقدار درجة واحدة. ماذا يحدث لكل مما يلي بالنسبة لصوتٍ ما عند ارتفاع درجة الحرارة؟

a. التردد

لا يوجد تغير في التردد.

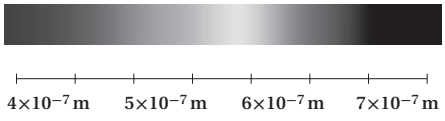
b. الطول الموجي

يزداد الطول الموجي.

33. **الأفلام** انفجر قمر اصطناعي في فيلم خيال علمي؛ حيث سمع الطاقم في مركبة فضائية قريبة من الانفجار صوته وشاهدوه فورًا. إذا اخترت مستشارًا فما الخطآن الفيزيائيان اللذان تلاحظهما ويتعين عليك تصحيحهما؟

أولاً: إذا سمعت صوتًا فإنك ستسمعه بعد رؤيتك للانفجار؛ فموجات الصوت تنتقل أبطأ كثيرًا من الموجات الكهرومغناطيسية. ثانيًا: كثافة المادة في الفضاء قليلة جدًّا، إلى الحد الذي لا تنتشر معه موجات الصوت لذا لن يسمع أي صوت.

34. **الانزياح نحو الأحمر** لاحظ الفلكيون أن الضوء القادم من المجرات البعيدة يبدو مزاحًا نحو الأحمر أكثر من الضوء القادم من المجرات القريبة. فسّر لماذا استنتج الفلكيون أن المجرات البعيدة تتحرك مبتعدة عن الأرض، اعتمادًا على **الشكل 17–8** للطيف المرئي.



■ **الشكل 17–8**

للضوء الأحمر طول موجي أكبر، لذا فإن تردده أقل من تردد الألوان الأخرى. أما بالنسبة إلى انزياح دوبلر للضوء القادم من المجرات البعيدة نحو الترددات المنخفضة (اللون الأحمر) فيشير ذلك إلى أن تلك المجرات تتحرّك مبتعدة عنا.

35. يبلغ مستوى صوت 40 dB. فهل تغيُّر ضغطه أكبر 100 مرة من عتبة السمع، أم 40 مرة؟

للصوت 40 dB ضغط صوت أكبر 100 مرة.

36. إذا ازدادت حدّة الصوت، فما التغير الذي يحدث لكل مما يلي؟

a. التردد

يزداد التردد.

b. الطول الموجي

يقل الطول الموجي.

c. سرعة الموجة

تبقى سرعة الموجة نفسها.

d. سعة الموجة

تبقى السعة نفسها.

37. تزداد سرعة الصوت بازدياد درجة الحرارة. هل تزداد حدّة صوت أنبوب مغلق عند ارتفاع درجة حرارة الهواء أم تقل؟ افترض أن طول الأنبوب لا يتغير.

$\lambda = 4L$ و $v = \lambda f$، لذا فإن $v = 4fL$. إذا ازدادت v وبقيت L ثابتة فإن f تزداد، وتزداد حدّة الصوت أيضًا.

38. يولّد أنبوب مغلق نغمة معينة، فإذا أُزيلت السدادة من نهايته المغلقة ليصبح أنبوبًا مفتوحًا فهل تزداد حدّة الصوت أم تقل؟

تزداد حدّة الصوت؛ حيث يكون التردد أكبر بمقدار الضعف للأنبوب المفتوح مقارنة بالأنبوب المغلق.

إتقان حل المسائل

صفحة 61–59

8–1 خصائص الصوت والكشف عنه

صفحة 60–59

39. إذا سمعت صوت إطلاق قذيفة من مدفع بعيد بعد 5.0 s من رؤيتك للوميض فما بُعد المدفع عنك؟

$$d = vt = (343\ \text{m/s})(5.0\ \text{s}) = 1.7\ \text{km}$$

40. إذا صِحت في وادٍ وسمعت الصدى بعد 3.0 s، فما مقدار عرض الوادي؟

المسافة الكلية المقطوعة تساوي

$$d = vt = (343\ \text{m/s})(3.0\ \text{s})$$

أما المسافة بينك وبين الجانب الآخر للوادي فتساوي:

$$\frac{1}{2}(343\ \text{m/s})(3.0\ \text{s}) = 5.1\times10^{2}\ \text{m}$$

41. إذا انتقلت موجة صوت تردُّدها 4700 Hz في قضيب فولاذي، وكانت المسافة بين التضاغطات المتتالية هي 1.1 m، فما سرعة الموجة؟

$$v = \lambda f = (1.1\ \text{m})(4700\ \text{Hz}) = 5200\ \text{m/s}$$

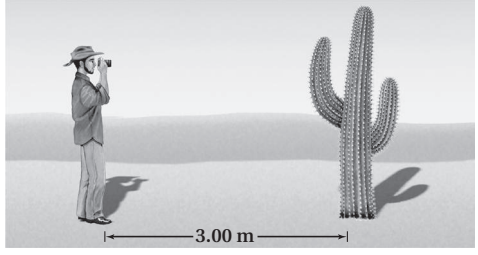
42. الخفافيش يرسل الخفاش موجات صوتية طولها الموجي 3.5 mm. ما تردد الصوت في الهواء؟

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343\ \text{m/s}}{0.0035\ \text{m}} = 9.8\times10^{4}\ \text{Hz}$$

43. ينتقل صوت تردده 261.6 Hz خلال ماء درجة حرارته 25 °C. أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الماء. (لا تخلط بين الموجات الصوتية المتحركة خلال الماء والموجات السطحية المتحركة فيه).

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1493\ \text{m/s}}{261.6\ \text{Hz}} = 5.707\ \text{m}$$

44. التصوير الفوتوجرافي تحدّد بعض الكاميرات بُعد الجسم عن طريق إرسال موجة صوت وقياس الزمن الذي يحتاج إليه الصدى للعودة إلى الكاميرا، كما يبين **الشكل 18–8**. ما الزمن الذي تحتاج إليه موجة الصوت حتى تعود إلى الكاميرا إذا كان بعد الجسم عنها يساوي 3.00 m؟



■ الشكل 18–8

المسافة الكلية التي يجب أن يقطعها الصوت تساوي

$$6.00\ \text{m}$$

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

لذا فإن

$$t = \frac{d}{v} = \frac{6.00\ \text{m}}{343\ \text{m/s}} = 0.0175\ \text{s}$$

45. إذا كان الطول الموجي لموجات صوت ترددها 2.40×10^{2} Hz في ماء نقي هو 3.30 m فما سرعة الصوت في هذا الماء؟

$$v = \lambda f = (3.30\ \text{m})(2.40\times10^{2}\ \text{Hz})$$
$$= 7.92\times10^{2}\ \text{m/s}$$

46. ينتقل صوت تردّده 442 Hz خلال قضيب حديد. أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الحديد.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{5130\ \text{m/s}}{442\ \text{Hz}} = 11.6\ \text{m}$$

47. الطائرة النفاثة يعمل موظف في المطار بالقرب من طائرة نفاثة على وشك الإقلاع، فتأثر بصوت مستواه 150 dB.

a. إذا وضع الموظف أداة حماية للأذن تخفض مستوى الصوت إلى حد صوت النشيد الوطني المدرسي فما مقدار الانخفاض في المستوى؟

إن مستوى صوت النشيد 110 dB، لذا يتطلب تخفيضًا بمقدار 40 dB.

b. إذا سمع الموظف صوتًا مثل الهمس لا يكاد يُسمع إلا بصعوبة فما الذي يسمعه شخص لا يضع أداة الحماية على أذنيه؟

إن الهمس الذي يكاد يكون مسموعًا له مستوى صوت 10 dB، لذا فإن المستوى الفعلي سيكون 50 dB، أو مماثلا لمستوى متوسط صوت طلاب صف دراسي.

48. النشيد تُنشد فرقة نشيد بصوت مستواه 80 dB. ما مقدار الزيادة في ضغط الصوت لفرقة أخرى تُنشد بالمستويات التالية؟

a. 100 dB

كل زيادة مقدارها 20 dB تؤدي إلى زيادة في الضغط مقدارها 10 مرات؛ لذا ينتج ضغط أكبر 10 مرات.

b. 120 dB

$10 \times 10 = 100$ ؛ أي 100 مرة ضغط أكبر

49. يهتز ملف نابضي للعبة بتردد 4.0 Hz بحيث تظهر موجات موقوفة بطول موجي 0.50 m. ما سرعة انتشار الموجة؟

$$v = \lambda f = (0.50\ \text{m})(4.0\ \text{s}^{-1}) = 2.0\ \text{m/s}$$

50. يجلس مشجع في مباراة كرة قدم على بُعد 152 m من حارس المرمى في يوم دافئ درجة حرارته 30 °C. احسب مقدار:

a. سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة 30 °C.

تزداد السرعة بمعدل 0.6 m/s لكل 1°C، لذا فإنه عند ارتفاع درجة الحرارة من 20°C حتى 30°C، تكون الزيادة في السرعة 6 m/s. لذا تصبح السرعة تساوي

$$343 + 6 = 349\ \text{m/s}$$

b. الزمن الذي يحتاج إليه المشجع ليسمع صوت ضرب الكرة بعد مشاهدته لضرب الحارس لها.

$$t = \frac{d}{v} = \frac{152\ \text{m}}{349\ \text{m}} = 0.436\ \text{s}$$

51. وقف شخص على بُعد d من جرف صخري، كما يبين **الشكل 19–8** فإذا كانت درجة الحرارة 15 °C، وصفّق الشخص بيديه فسمع صدى الصوت بعد 2.0 s، فما بُعد الجرف الصخري؟

■ **الشكل 19–8**

عند درجة حرارة 15°C تكون سرعة الصوت أبطأ بمقدار 3 m/s، مقارنة بسرعة الصوت عند درجة حرارة 20°C؛ لذا فإن سرعة الصوت تصبح 340 m/s عند درجة الحرارة تلك.

$$v = 340\ \text{m/s}$$

و

$$2t = 2.0\ \text{s}$$

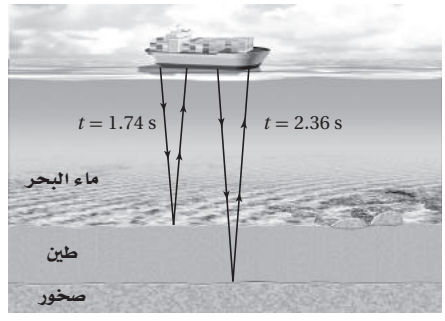
$$d = vt = (340\ \text{m/s})(1.0\ \text{s}) = 3.4 \times 10^2\ \text{m}$$

52. التصوير الطبي تستخدم موجات فوق صوتية بتردّد 4.25 MHz للحصول على صور للجسم البشري. فإذا كانت سرعة الصوت في الجسم مماثلة لسرعته في الماء المالح وهي 1.50 km/s، فما الطول الموجي لموجة ضغط تردُّدها 4.25 MHz في الجسم؟

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1.50 \times 10^3\ \text{m/s}}{4.25 \times 10^6\ \text{Hz}}$$

$$= 0.353\ \text{mm}$$

53. السونار تمسح سفينة قاع المحيط بإرسال موجات سونار مباشرة من السطح إلى أسفل سطح الماء، كما يبين **الشكل 20–8**. وتستقبل السفينة الانعكاس الأول عن الطين عند القاع بعد زمن مقداره 1.74 s من إرسال الموجات. ويصل الانعكاس الثاني عن الصخور تحت الطين بعد 2.36 s. فإذا كانت درجة حرارة ماء المحيط 25 °C، وسرعة الصوت في الطين 1875 m /s، فاحسب ما يلي:



■ **الشكل 20–8**

a. عمق الماء.

سرعة الصوت في ماء البحر تساوي 1533 m/s، وزمن رحلة الصوت خلال الذهاب أو الإياب فقط يساوي 0.87 s، لذا فإن:

$$d_{\text{ماء}} = vt_{\text{ماء}}$$
$$= (1533\ \text{m/s})(0.87\ \text{s})$$
$$= 1300\ \text{m}$$

b. سمك طبقة الطين.

مقدار زمن رحلة الصوت ذهابًا وإيابًا خلال طبقة الطين يساوي

$$2.36\ \text{s} - 1.74\ \text{s} = 0.62\ \text{s}$$

مقدار زمن رحلة الصوت ذهابًا أو إيابًا فقط خلال طبقة الطين يساوي 0.31 s، لذا فإن

$$d_{\text{الطين}} = vt_{\text{الطين}}$$
$$= (1875\ \text{m/s})(0.31\ \text{s})$$
$$= 580\ \text{m}$$

54. تتحرك سيارة إطفاء بسرعة 35 m/s، وتتحرك حافلة أمام سيارة الإطفاء في الاتجاه نفسه بسرعة 15 m/s. فإذا انطلقت صفارة إنذار سيارة الإطفاء بتردد 327 Hz فما التردّد الذي يسمعه سائق الحافلة؟

$$v_s = 35\ \text{m/s},\ v = 343\ \text{m/s},\ v_d = 15\ \text{m/s},$$

$$f_s = 327\ \text{Hz}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$
$$= (327\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s} - 15\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s} - 35\ \text{m/s}}\right) = 350\ \text{Hz}$$

55. يتحرك قطار في اتجاه مراقب صوت، وعندما كانت سرعته 31 m/s انطلقت صفارته بتردد 305 Hz. ما التردد الذي يستقبله المراقب في كل حالة مما يلي:

a. المراقب ثابت.

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$
$$= \frac{(305\ \text{Hz})(343\ \text{m/s} - 0)}{343\ \text{m/s} - 31.0\ \text{m/s}}$$
$$= 335\ \text{Hz}$$

b. المراقب يتحرك في اتجاه القطار بسرعة 21.0 m/s.

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$
$$= \frac{(305\ \text{Hz})(343\ \text{m/s} - (-21.0\ \text{m/s}))}{343\ \text{m/s} - 31.0\ \text{m/s}}$$
$$= 356\ \text{Hz}$$

56. إذا تحرك القطار في المسألة السابقة مبتعدًا عن المراقب فما التردد الذي يستقبله الكاشف في كل حالة مما يلي:

a. المراقب ثابت.

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$
$$= \frac{(305\ \text{Hz})(343\ \text{m/s} - 0)}{343\ \text{m/s} - (-31.0\ \text{m/s})}$$
$$= 2.80 \times 10^2\ \text{Hz}$$

b. المراقب يتحرك مبتعدًا عن القطار بسرعة 21.0 m/s.

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= \frac{(305\ \text{Hz})(343\ \text{m/s} - 21.0\ \text{m/s})}{343\ \text{m/s} - (-31.0\ \text{m/s})}$$

$$= 2.63\times10^2\ \text{Hz}$$

8–2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار

صفحة 61–60

57. أنبوب في وضع رأسي مملوء بالماء وله صنبور عند قاعدته، وتهتز شوكة رنانة فوق طرفه العلوي. فإذا سُمع رنين عند تخفيض مستوى الماء في الأنبوب بمقدار 17 cm، وسُمع رنين مرة أخرى عند تخفيض مستوى الماء عن فوهة الأنبوب بمقدار 49 cm، فما تردّد الشوكة الرنانة؟

$$49\ \text{cm} - 17\ \text{cm} = 32\ \text{cm}$$

أو

$$0.32\ \text{m}$$

يوجد $\frac{1}{2}\lambda$ بين نقطتي الرنين

$$\frac{1}{2}\lambda = 0.32\ \text{m}$$

$$\lambda = 0.64\ \text{m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343\ \text{m/s}}{0.64\ \text{m}}$$

$$= 540\ \text{Hz}$$

58. **السمع البشري** القناة السمعية التي تؤدي إلى طبلة الأذن عبارة عن أنبوب مغلق طوله 3.0 cm. أوجد القيمة التقريبية لأقل تردّد رنين. أهمل تصحيح النهاية.

$$L = \frac{\lambda}{4}$$

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

$$f = \frac{v}{4L}$$

$$= \frac{343\ \text{m/s}}{(4)(0.030\ \text{m})}$$

$$= 2.9\ \text{kHz}$$

59. إذا أمسكت قضيب ألومنيوم طوله 1.2 m من منتصفه وضربت أحد طرفيه بمطرقة فسيهتز كأنه أنبوب مفتوح، ويكون هناك بطن ضغط عند مركز القضيب؛ بسبب توافق بطون الضغط لعُقَد الحركة الجزيئية. فإذا كانت سرعة الصوت في الألومنيوم 5150 m/s فما أقل تردّد اهتزاز للقضيب؟

طول القضيب يساوي $\frac{1}{2}\lambda$، لذا فإن

$$\lambda = 2.4\ \text{m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{5150\ \text{m/s}}{2.4\ \text{m}} = 2.1\ \text{kHz}$$

60. إذا أنتج أنبوب مفتوح نغمة تردّدها 370 Hz فما ترددات الإيقاعات الثاني، والثالث، والرابع المصاحبة لهذا التردد؟

$$f_2 = 2f_1 = (2)(370\ \text{Hz})$$

$$= 740\ \text{Hz}$$

$$f_3 = 3f_1 = (3)(370\ \text{Hz}) = 1110\ \text{Hz}$$

$$= 1100\ \text{Hz}$$

$$f_4 = 4f_1 = (4)(370\ \text{Hz}) = 1480\ \text{Hz}$$

$$= 1500\ \text{Hz}$$

61. إذا أنتج أنبوب مغلق نغمة تردّدها 370 Hz فما تردّد أقل ثلاثة إيقاعات يُنتجها هذا الأنبوب؟

$$3f_1 = (3)(370\ \text{Hz}) = 1110\ \text{Hz} = 1100\ \text{Hz}$$

$$5f_1 = (5)(370\ \text{Hz}) = 1850\ \text{Hz} = 1800\ \text{Hz}$$

$$7f_1 = (7)(370\ \text{Hz}) = 2590\ \text{Hz} = 2600\ \text{Hz}$$

62. ضبط وتر طوله 65.0 cm لينتج أقل تردّد، ومقداره 196 Hz. احسب مقدار:

a. سرعة الموجة في الوتر.

$$\lambda_1 = 2L = (2)(0.650\ \text{m})$$

$$= 1.30\ \text{m}$$

$$v = \lambda f = (1.30\ \text{m})(196\ \text{Hz})$$

$$= 255\ \text{m/s}$$

b. الترددين التاليين لرنين هذا الوتر.

$$f_2 = 2f_1 = (2)(196\ \text{Hz}) = 392\ \text{Hz}$$

$$f_3 = 3f_1 = (3)(196\ \text{Hz}) = 588\ \text{Hz}$$

63. يمثّل **الشكل 21–8** أنبوبًا بلاستيكيًّا مموَّجًا مرنًا طوله 0.85 m. وعندما يتأرجح ينتج نغمة ترددها يماثل أقل تردّد ينتجه أنبوب مفتوح له الطول نفسه. فما تردُّد النغمة؟

■ **الشكل 21–8**

$$L = 0.85\ \text{m} = \frac{\lambda}{2},$$

لذا فإن

$$\lambda = 1.7\ \text{m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343\ \text{m/s}}{1.7\ \text{m}} = 2.0\times10^2\ \text{Hz}$$

64. إذا تأرجح الأنبوب في المسألة السابقة بسرعة أكبر منتجًا نغمة حدّتها أعلى، فما التردد الجديد؟

$$f_2 = 2f_1 = (2)(2.0\times10^2\ \text{Hz}) = 4.0\times10^2\ \text{Hz}$$

65. إذا كانت سعة موجة ضغط خلال محادثة عادية 0.020 Pa،

a. فما القوة المؤثرة في طبلة أذن مساحتها $0.52\ \text{cm}^2$؟

$$F = PA$$

$$= (0.020\ \text{N/m}^2)(0.52\times10^{-4}\ \text{m}^2)$$

$$= 1.0\times10^{-6}\ \text{N}$$

b. إذا انتقلت القوة نفسها التي في الفرع a كاملة إلى العظام الثلاثة في الأذن الوسطى، فما مقدار القوة التي تؤثر بها هذه العظام في الفتحة البيضية؛ أي الغشاء المرتبط مع العظمة الثالثة؟ علمًا بأن الفائدة الميكانيكية لهذه العظام 1.5.

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

لذا فإن

$$F_r = (MA)(F_e)$$

$$F_r = (1.5)(1.0\times10^{-6}\ \text{N}) = 1.5\times10^{-6}\ \text{N}$$

c. ما مقدار الضغط الإضافي الذي انتقل إلى السائل الموجود في القوقعة نتيجة تأثير هذه القوة، إذا كانت مساحة الفتحة البيضية $0.026\ \text{cm}^2$؟

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1.5\times10^{-6}\ \text{N}}{0.026\times10^{-4}\ \text{m}^2} = 0.58\ \text{Pa}$$

مراجعة عامة

صفحة 62–61

66. أنبوب مفتوح طوله 1.65 m. ما نغمة التردّد الأساسي التي ينتجها في الهيليوم عند درجة حرارة 0 °C؟

طول الأنبوب المفتوح يساوي نصف الطول الموجي للتردد الأساسي، وعليه، فإن $\lambda = 3.30\ \text{m}$.

إن سرعة الصوت في الهيليوم تساوي 972 m/s، لذا فإن

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{972\ \text{m/s}}{3.30\ \text{m}} = 295\ \text{Hz}$$

67. يطير طائر نحو رائد فضاء على كوكب مكتشف حديثًا بسرعة 19.5 m/s، ويُغرِّد بحدّة مقدارها 954 Hz. فإذا سمع الرائد النغمة بتردّد 985 Hz فما سرعة الصوت في الغلاف الجوي لهذا الكوكب؟

$$f_d = 985\ \text{Hz}, f_s = 945\ \text{Hz}, v_s = 19.5\ \text{m/s}$$

$$v = ?$$

$$\frac{f_d}{f_s} = \frac{v}{v - v_s} = \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

لذا فإن

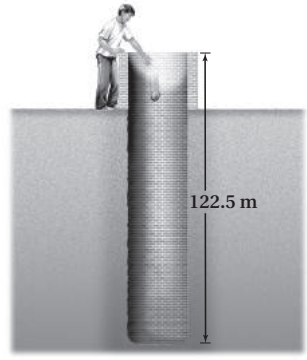
$$\frac{v_s}{v} = 1 - \frac{f_s}{f_d}$$

أو

$$v = \frac{v_s}{1 - \frac{f_s}{f_d}} = \frac{19.5\ \text{m/s}}{1 - \left(\frac{945\ \text{Hz}}{985\ \text{Hz}}\right)}$$

$$= 4.80\times10^2\ \text{m/s}$$

68. إذا أُلقيت حجرًا في بئر عمقها 122.5 m كما في **الشكل 22–8**، فبعد كم ثانية تسمع صوت ارتطام الحجر بقاع البئر؟



■ **الشكل 22–8**

احسب أولا الزمن الذي يحتاج إليه الحجر عند سقوطه ليصل إلى قعر البئر بالمعادلة التالية:

$$d = \frac{1}{2}gt^2$$

لذا فإن

$$t = \sqrt{\frac{d}{\frac{1}{2}g}} = \sqrt{\frac{122.5\ \text{m}}{\left(\frac{1}{2}\right)(9.80\ \text{m/s}^2)}}$$

$$= 5.00\ \text{s}$$

يحسب الزمن الذي يستغرقه الصوت عند عودته إلى أعلى بالمعادلة التالية:

$$d = v_s t$$

لذا فإن

$$t = \frac{d}{v_s} = \frac{122.5\ \text{m}}{343\ \text{m/s}}$$

$$= 0.357\ \text{s}$$

الزمن الكلي يساوي

$$5.00\ \text{s} + 0.357\ \text{s} = 5.36\ \text{s}$$

69. تستخدم سفينة موجات السونار بتردّد 22.5 kHz. فإذا كانت سرعة الصوت في ماء البحر 1533 m/s فما مقدار التردّد الذي يصل السفينة بعد انعكاسه عن حوت يتحرك بسرعة 4.15 m/s مبتعدًا عن السفينة؟ افترض أن السفينة ساكنة.

الجزء الأول: من السفينة حتى الحوت

$$v_d = +4.15\ \text{m/s},\ v = 1533\ \text{m/s},$$

$$f_s = 22.5\ \text{kHz},\ v_s = 0$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= (22.5\ \text{kHz})\left(\frac{1533\ \text{m/s} - 4.15\ \text{m/s}}{1533\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 22.4\ \text{kHz}$$

الجزء الثاني: من الحوت حتى السفينة

$$v_s = -4.15\ \text{m/s},\ v = 1533\ \text{m/s},$$

$$f_s = 22.4\ \text{kHz},\ v_d = 0$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right) = (22.4\ \text{kHz})\left(\frac{1533\ \text{m/s}}{1533\ \text{m/s} + 4.15\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 22.3\ \text{kHz}$$

70. يتحرك قطار نحو نفق بسرعة **37.5 m/s**، ويصدر صوتًا بتردّد **327 Hz**، فيرتد الصوت من فتحة النفق. ما تردّد الصوت المنعكس الذي يُسمع في القطار، علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء كانت **343 m/s**؟ تلميح: *حل المسألة في جزأين، افترض في الجزء الأول أن النفق مراقب ثابت، واحسب التردّد. ثم افترض في الجزء الثاني أن النفق مصدر ثابت، واحسب التردّد المقيس في القطار.*

الجزء الأول:

$$v_s = +37.5\ \text{m/s},\ v = 343\ \text{m/s},$$

$$f_s = 327\ \text{Hz}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right) = (327\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s} - 37.5\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 367\ \text{Hz}$$

الجزء الثاني:

$$v_d = -37.5\ \text{m/s},\ v = 343\ \text{m/s},$$

$$f_s = 367\ \text{Hz}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right) = (367\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s} - (-37.5\ \text{m/s})}{343\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 407\ \text{Hz}$$

التفكير الناقد

صفحة 62

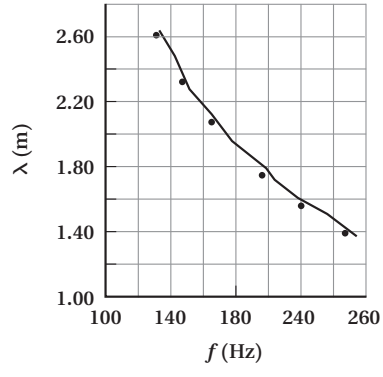
71. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبين **الجدول 2–8** الأطوال الموجية لموجات صوتية ناتجة عن مجموعة من الشوكات الرنانة عند تردّدات معيّنة.

الجدول 2–8

الشوكات الرنانة	
الطول الموجي (m)	التردد (Hz)
2.62	131
2.33	147
2.08	165
1.75	196
1.56	220
1.39	247

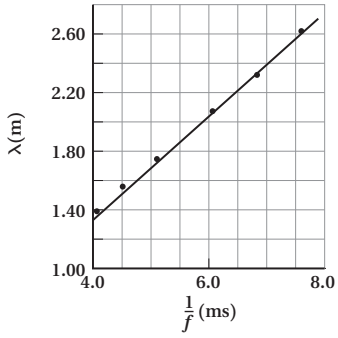
a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين الطول الموجي والتردّد (المتغير المضبوط). ما نوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟

يبين الرسم البياني وجود علاقة عكسية بين التردد والطول الموجي.



b. مثّل بيانيًّا العلاقة بين الطول الموجي ومقلوب التردّد $\left(\frac{1}{f}\right)$. ما نوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟ حدّد سرعة الصوت من الرسم البياني.

يبين الرسم البياني وجود علاقة طردية بين الزمن الدوري $\left(\frac{1}{f}\right)$ والطول الموجي. ويمكن حساب سرعة الصوت من خلال حساب ميل الخيط الموضح في الرسم البياني، والذي يساوي تقريبًا 343 m/s.



72. إعداد الرسوم البيانية افترض أن تردّد بوق سيارة يساوي 300 Hz عندما كانت السيارة ثابتة، فكيف يكون الرسم البياني للعلاقة بين التردّد والزمن عندما تقترب السيارة منك ثم تتحرك مبتعدة عنك؟ صمّم مخطّطًا تقريبيًّا للمسألة.

يجب أن يوضح الرسم البياني ترددًا ثابتًا نوعًا ما أعلى من 300 Hz عندما تقترب السيارة، ويوضح ترددًا ثابتًا نوعًا ما أقل من 300 Hz عندما تبتعد.

73. حلّل واستنتج صف كيف تستخدم ساعة إيقاف لتقدر سرعة الصوت إذا كنت على بعد 200 m من حفرة ملعب جولف، وكان مجموعة من اللاعبين يضربون كراتهم. هل يكون تقديرك لسرعة الصوت كبيرًا جدًّا أم صغيرًا جدًّا؟

تبدأ تشغيل الساعة لقياس الزمن لحظة رؤيتك اللاعب يضرب الكرة، وتوقفها لحظة سماعك صوت الضربة. ويمكن حساب السرعة من خلال قسمة المسافة 200 m على الزمن المقيس. سيكون الزمن المقيس كبيرًا؛ وذلك لأنك تستطيع تحديد لحظة ضرب الكرة بالنظر بدقة، ولكنك لا تستطيع تحديد لحظة وصول الصوت بدقة، ومن ثم تكون السرعة المحسوبة قليلة جدًّا.

تابع الفصل 8

74. تطبيق المفاهيم وجد أن تردد موجة ضوء قادمة من نقطة على الحافة اليسرى للشمس أكبر قليلاً من تردّد الضوء القادم من الجهة اليمنى. علام يدل هذا بالنسبة لحركة الشمس اعتمادًا على هذا القياس؟

يجب أن تدور الشمس حول محورها بنفس نمط دوران الأرض. ويشير انزياح دوبلر إلى أن الجانب الأيسر من الشمس يقترب نحونا، في حين يبتعد الجانب الأيمن عنا.

الكتابة في الفيزياء

صفحة 62

75. ابحث في استخدام تأثير دوبلر في دراسة الفلك. ما دوره في نظرية الانفجار الكبير؟ وكيف يستخدم في الكشف عن الكواكب حول النجوم، ودراسة حركة المجرّات؟

يجب أن يناقش الطلاب عمل إدوين هابل، والانزياح نحو الأحمر، وتمدد الكون، والتحليل الطيفي، واكتشاف التذبذبات في حركة أنظمة الكوكب– النجم.

مراجعة تراكمية

صفحة 62

76. ما سرعة الموجات المتولّدة في وتر طوله 60.0 cm، إذا نُقر في منطقة الوسط فأنتج نغمة ترددها 440 Hz؟ (الفصل 7)

$$\lambda = 2L = 2(0.600\ \text{m}) = 1.20\ \text{m}$$

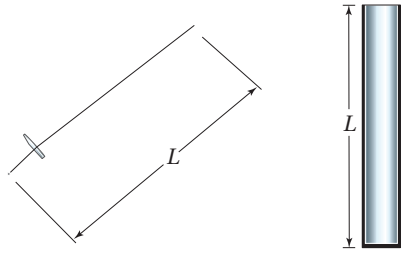
$$v = \lambda f = (1.20\ \text{m})(440\ \text{Hz}) = 530\ \text{m/s}$$

مسألة تحفيز

صفحة 52

1. حدّد قوة الشد، F_T، في وتر كتلته m وطوله L، عندما يهتز بالتردد الأساسي، والذي يساوي التردد نفسه لأنبوب مغلق طوله L. عبّر عن إجابتك بدلالة m وL وسرعة الصوت في الهواء v. استخدم معادلة سرعة الموجة في

$u = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$، حيث تمثل F_T قوة الشد في الوتر، و μ الكتلة لكل وحدة طول من الوتر.



يساوي الطول الموجي الأساسي في الأنبوب المغلق 4L، لذا فإن التردد $f = \frac{v}{4L}$. والطول الموجي الأساسي في الوتر يساوي 2L، لذا فإن تردد الوتر $f = \frac{u}{2L}$، حيث u هي سرعة الموجة في الوتر

$$u = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

والكتلة لكل وحدة طول للوتر هي $\mu = m/L$، وبتربيع الترددين وترتيبهما بعلاقة مساواة ينتج

$$\frac{v^2}{16L^2} = \frac{u^2}{4L^2}$$

$$= \frac{F_T}{4L^2\mu}$$

$$= \frac{F_T L}{4L^2 m}$$

$$= \frac{F_T}{4Lm}$$

أخيرًا، بإعادة الترتيب بالنسبة إلى قوة الشد ينتج

$$F_T = \frac{mv^2}{4L}$$

2. ما مقدار قوة الشد في وتر كتلته 1.0 g وطوله 40.0 cm يهتز بالتردد نفسه لأنبوب مغلق له الطول نفسه؟

بالنسبة إلى وتر كتلته 1.0 g وطوله 0.40 m، فإن قوة الشد تساوي

$$F_T = \frac{mv^2}{4L} = \frac{(0.0010\ \text{kg})(343\ \text{m/s})^2}{4(0.400\ \text{m})} = 74\ \text{N}$$

مسائل تدريبية

9–1 الاستضاءة (صفحة 73–65)

صفحة 70

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

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

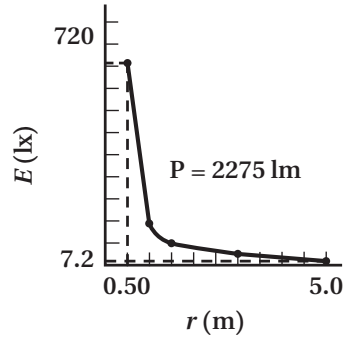
لذا فإنه بعد تحرّك المصباح الكهربائي فإن الاستضاءة تعادل $\frac{1}{9}$ الاستضاءة الأصلية.

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؟

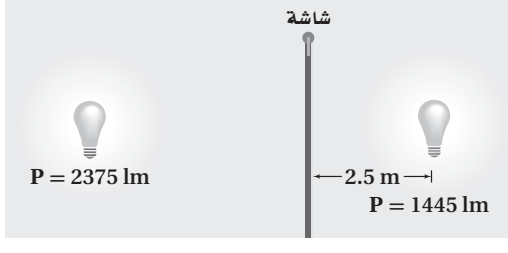
$$E = \frac{\mathrm{P}}{4\pi d^2}$$

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

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

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

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 (صفحة 73–65)

صفحة 73

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

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

تابع الفصل 9

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

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

صفحة 85

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؟

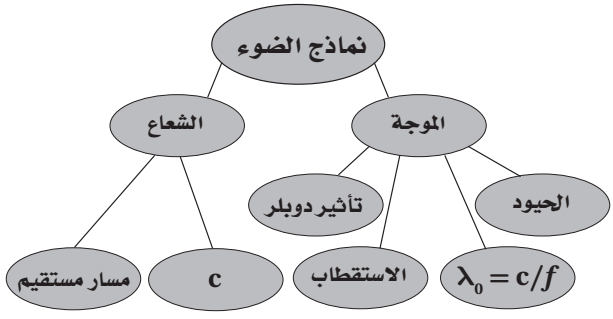
خطوط طيف الانبعاث للذرات المعروفة مزاحة نحو الأزرق في الضوء الذي نراه قادمًا من مجرّة الأندروميدا؛ لذا فإن مجرّة الأندروميدا تتحرك في اتجاه مجرتنا؛ وذلك بسبب قوة الجاذبية. وقد تكون المجرتان متحركتين في مدار متذبذب إحداهما حول الأخرى.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 90

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.

تابع الفصل 9

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.

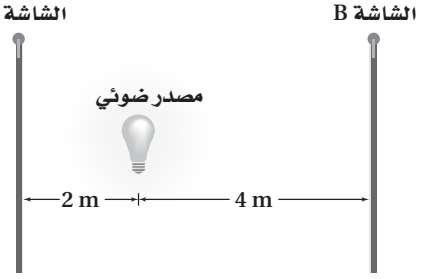
35. ماذا يحدث للطول الموجي للضوء عندما يزداد تردده؟ (2–9)

كلما ازداد التردد قلّ الطول الموجي.

تطبيق المفاهيم

صفحة 91–90

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؟

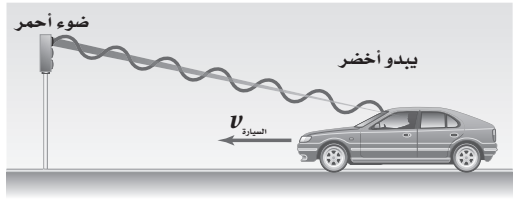
تم امتصاص الضوء الأزرق والضوء الأخضر.

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.

تابع الفصل 9

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

صفحة 93–92

9–1 الاستضاءة

صفحة 92

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؟

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

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.

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

لما كانت الاستضاءة متساوية

$$E_1=E_2$$

فإن

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

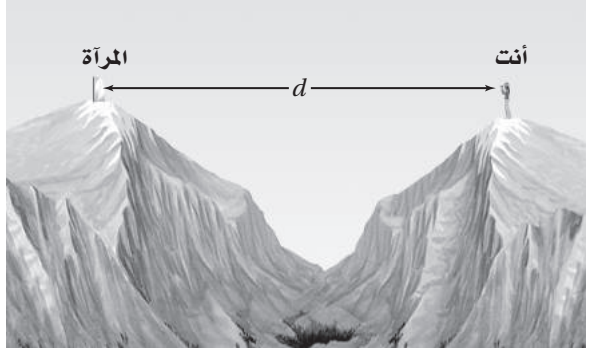
أو

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

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

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

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

صفحة 93–92

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.

تابع الفصل 9

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

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

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

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

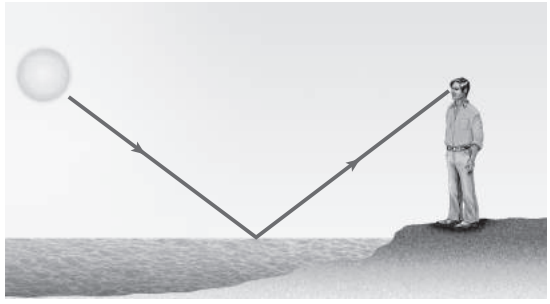
ونستنتج من ذلك أن الافتراض الأصلي صحيح.

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

تابع الفصل 9

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

صفحة 93

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

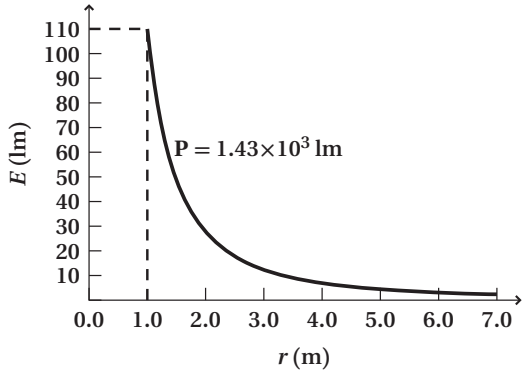
التفكير الناقد

صفحة 93

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.

تابع الفصل 9

الكتابة في الفيزياء

صفحة 94

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)

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

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

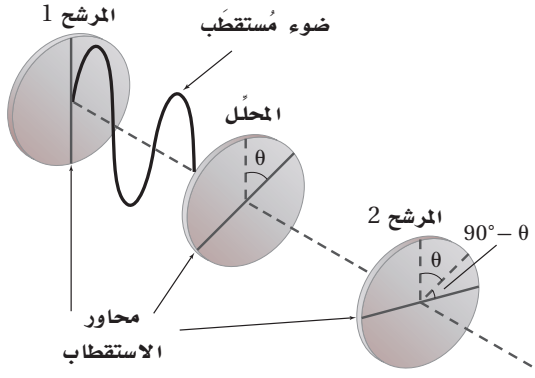
$$= 0.0878\ \text{m}$$

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

مسألة تحفيز

صفحة 81

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 (صفحة 103–97)

صفحة 100

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 (صفحة 103–97)

صفحة 103

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.

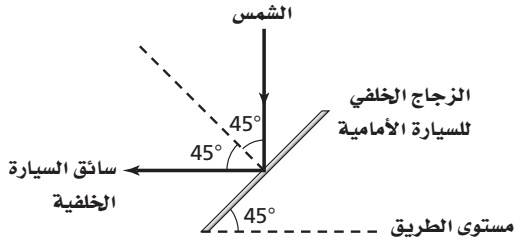
سطح عاكس غير منتظم: ورقة، معدن خشن، زجاج خشن، إبريق حليب بلاستيكي.

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 (صفحة 113–104)

صفحة 109

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.

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

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

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

$$= 26.7\text{ cm}$$

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

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

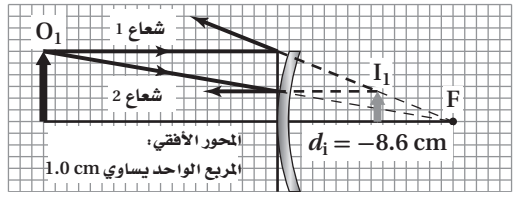
$$= \frac{-(26.7\text{ cm})(-3.0\text{ cm})}{16.0\text{ cm}}$$

$$= 5.0\text{ cm}$$

تابع الفصل 10

صفحة 112

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.

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

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

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

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

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

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

$$= +0.178$$

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

$$= 1.1\text{ cm}$$

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 (صفحة 113–104)

صفحة 113

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؟

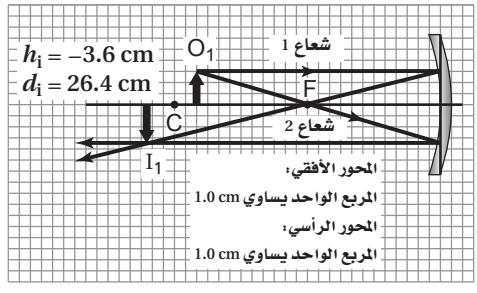
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

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

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

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

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.



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

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

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

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

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

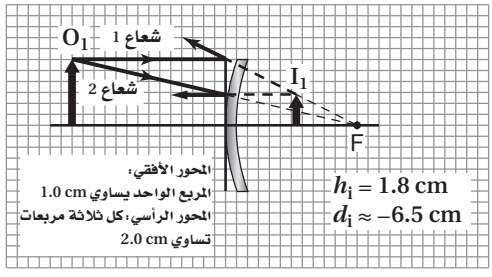
$$= \frac{-d_i}{d_o}$$

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

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

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

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.

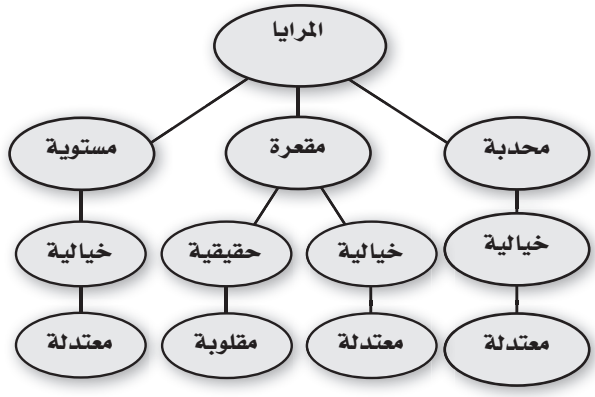
سيكون أقل بالنسبة إلى مرآة ارتفاعها أصغر نسبيًّا مقارنة بنصف قطر تكورها. تكون الأشعة المتشتتة والقادمة من الجسم التي تسقط على المرآة قريبة أكثر من المحور الرئيس عندما يكون ارتفاع المرآة قليلًا، لذا ستتجمع تلك الأشعة في مكان قريب من المرآة فتتكوّن صورة واضحة باهتة.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 118

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؟ (10–1)

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"؟ (10–1)

أي خط متعامد مع السطح عند أي نقطة.

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

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

30. صف خصائص المرآة المستوية؟ (10–1)

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. (10–1)

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؟ (10–1)

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؟ (10–2)

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؟ (10–2)

$$C = 2f$$

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

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

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

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.

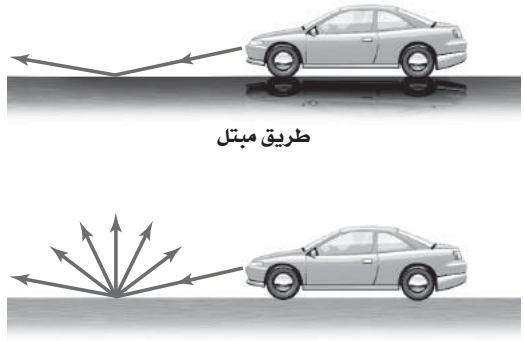
37. لماذا يستحيل تكوين صور حقيقية بالمرآة المحدبة؟ (10–2)

لأنها تشتت الأشعة الضوئية دائمًا.

تطبيق المفاهيم

صفحة 119–118

38. الطريق المبتلّة تعكس الطريق الجافة الضوء بتشتّت أكبر من الطريق المبتلّة. بالاعتماد على **الشكل 16–10**، اشرح لماذا تبدو الطريق المبتلّة أكثر سوادًا من الطريق الجافة بالنسبة للسائق؟



■ **الشكل 16–10**

تنعكس كمية أقل من الضوء عن الطريق المبتلة نحو السيارة.

39. صفحات الكتاب لماذا يُفضل 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 جسم خلف مركز تكور مرآة 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.

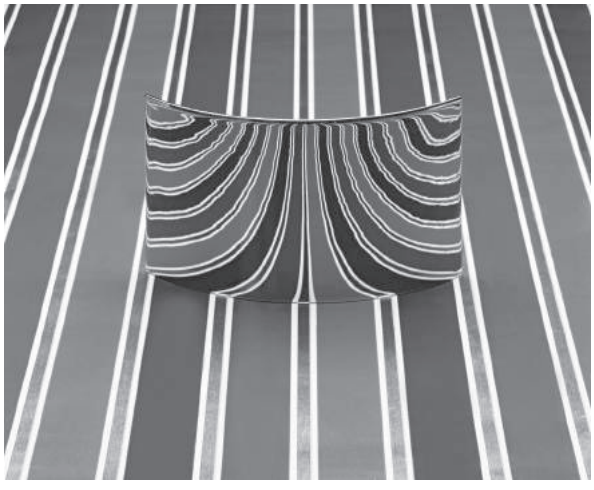
43. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة حقيقية باستخدام مرآة كروية مقعرة؟

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 المستخدمة في النظر إلى الخلف التحذير التالي: "الأجسام في المرآة أقرب مما تبدو عليه". ما نوع هذه المرايا؟ وبمَ تمتاز عن غيرها؟

مرايا محدبة، وتمتاز بأنها توفر مدى أوسع للرؤية.

إتقان حل المسائل

صفحة 121–119

10–1 الانعكاس عن المرايا المستوية

صفحة 120–119

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

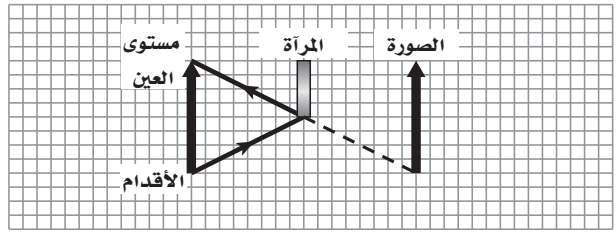
a. زاوية الانعكاس.

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

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 نفسك من قدميك حتى قمة رأسك فيجب أن يكون طول المرآة المستخدمة على الأقل يساوي نصف طولك.



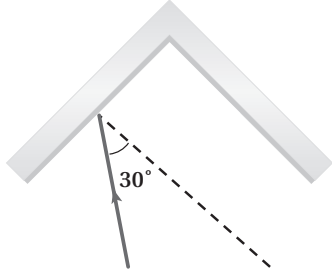
يسقط الشعاع القادم من قمة الرأس على سطح المرآة عند نقطة تساوي منتصف المسافة بين قمة الرأس والعينين. ويسقط الشعاع القادم من القدمين على المرآة عند نقطة تساوي منتصف المسافة بين القدمين والعينين، وتمثّل المسافة بين النقطتين على المرآة نصف الطول الكلي.

50. الصورة في المرآة أراد طالب أن يلتقط صورة لصورته في مرآة مستوية كما في **الشكل 18–10**. فإذا كانت الكاميرا على بعد 1.2 m أمام المرآة، فعلى 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. يبين **الشكل 19–10** مرآتين مستويتين متجاورتين بينهما زاوية 90°، فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30°، فأجب عما يلي:



■ **الشكل 19–10**

a. ما زاوية انعكاس الشعاع عن المرآة الأخرى؟

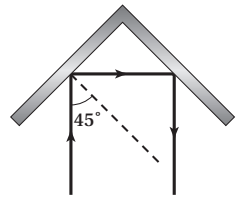
الانعكاس عن المرآة الأولى:

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

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

$$180° - 60° - 45° = 75°$$

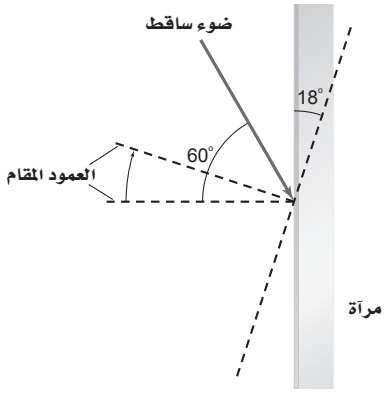
لذا تكون زاوية سقوط الأشعة على المرآة الثانية تساوي

$$\theta_{i,2} = 90° - 75° = 15°$$

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**

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

10–2 المرايا الكروية

صفحة 121–120

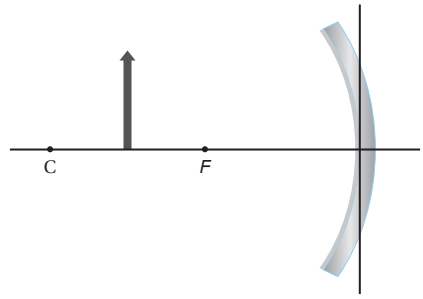
54. بيت الألعاب يقف طالب بالقرب من مرآة محدبة في بيت الألعاب، فلاحظ أن صورته تظهر بطول 0.60 m. فإذا كان تكبير المرآة $\frac{1}{3}$ فما طول الطالب؟

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

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

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

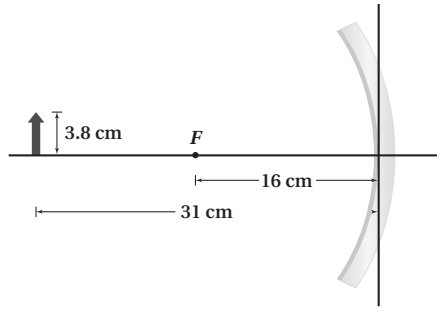
55. صف الصورة المتكونة للجسم في **الشكل 21–10**، مبينًا هل هي حقيقية أم خيالية، مقلوبة أم معتدلة، وهل هي أقصر من الجسم أم أطول منه؟



■ 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؟

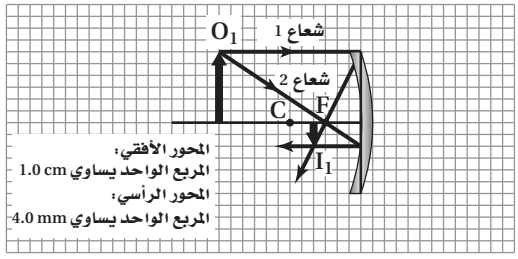
$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

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

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

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

صفحة 121

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

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

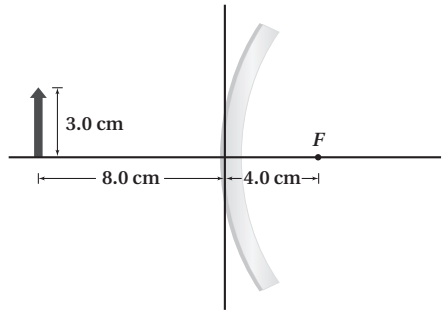
$$= 28° + 34°$$

$$= 62°$$

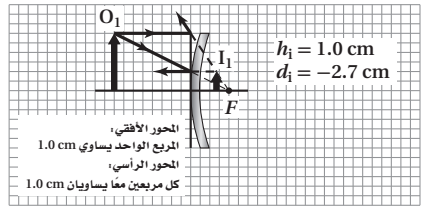
$$\theta_r = \theta_i$$

$$= 62°$$

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

a. ما نوع المرآة التي يحتاج إليها المراقب لعمله؟

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

b. ما نصف قطر تكوّر المرآة؟

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

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

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

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

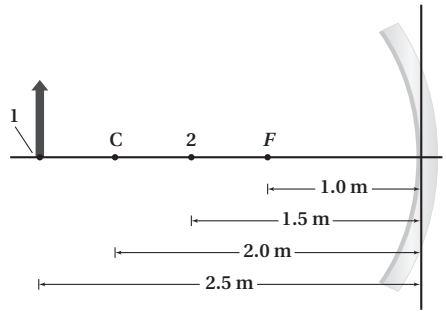
$$f = \frac{d_o d_i}{d_i + d_o} = \frac{(14.0\ \text{mm})(-105\ \text{mm})}{14.0\ \text{mm} + (-105\ \text{mm})}$$

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

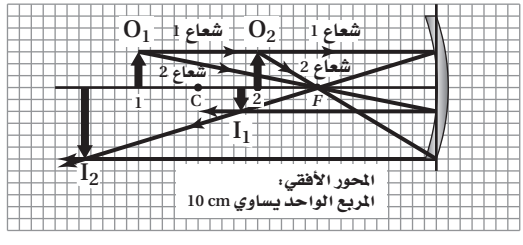
$$r = 2f = (2)(16\ \text{mm})$$

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

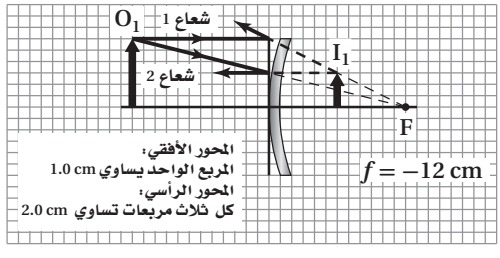
71. تحرّك الجسم في **الشكل 24–10** من الموقع 1 إلى الموقع 2. انقل الشكل إلى دفترك، ثم ارسم أشعة تبين كيف تتغير الصورة.



■ **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.



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

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

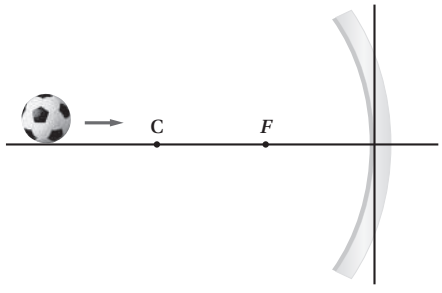
$$= \frac{(12.0\text{ cm})(-6.0\text{ cm})}{12.0\text{ cm} + (-6.0\text{ cm})}$$

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

التفكير الناقد

صفحة 122

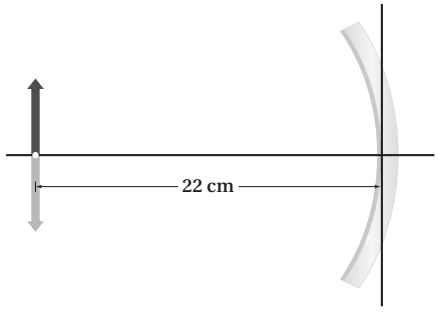
73. تطبيق المفاهيم تتدحرج الكرة في **الشكل 25–10** ببطء إلى اليمين نحو مرآة مقعرة. صف كيف يتغيّر حجم صورة الكرة في أثناء تدحرجها نحو المرآة.



■ **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**

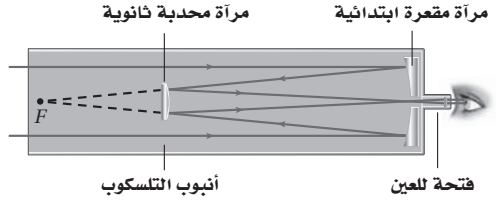
$$f = \frac{r}{2}$$

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

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

$$= 11\text{ cm}$$

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

صفحة 122

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

صفحة 122

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)

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

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

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

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

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

تابع الفصل 10

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)

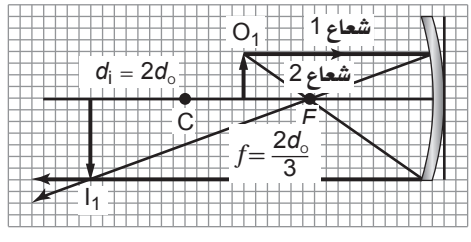
قد تتداخل الموجات، وتُجمع ثم يقطع بعضها بعضًا دون أن تتأثر. وفي هذه الحالة تحتفظ الموجات بالمعلومات الخاصة بألوانها عندما يعبر بعضها بعضًا.

مسألة تحفيز

صفحة 110

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.



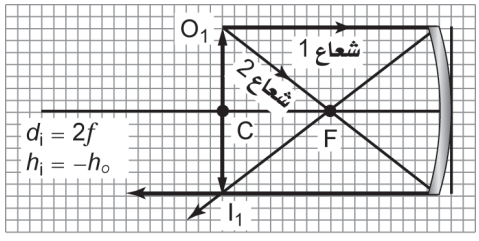
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

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

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

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

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 (صفحة 133–125)

صفحة 127

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 (صفحة 133–125)

صفحة 133

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.

تابع الفصل 11

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 (صفحة 141–134)

صفحة 138

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؟

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

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

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

$$= 2.0\times10^1\text{ cm}$$

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

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

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

$$= 3.4\text{ cm}$$

تابع الفصل 11

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

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

$$d_i=2f$$

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

$$=5.0\times10^{1}\text{ mm}$$

$$d_o=d_i$$

$$=5.0\times10^{1}\text{ mm}$$

صفحة 139

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

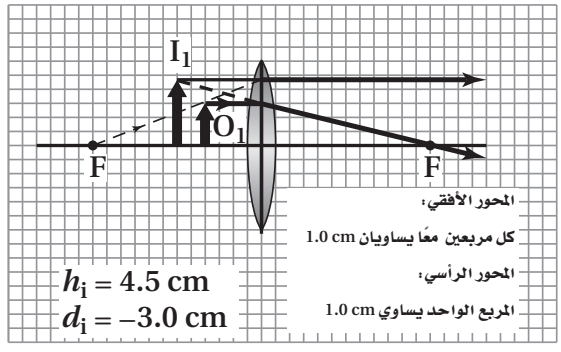
2–11 العدسات المحدّبة والمقعّرة (صفحة 141–134)

صفحة 141

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.



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

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

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

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

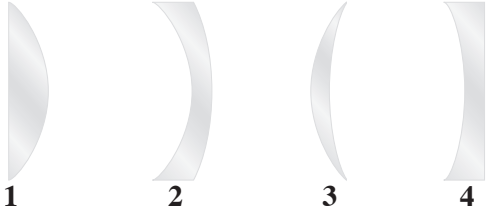
$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

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

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

$$= 4.5\text{ cm}$$

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

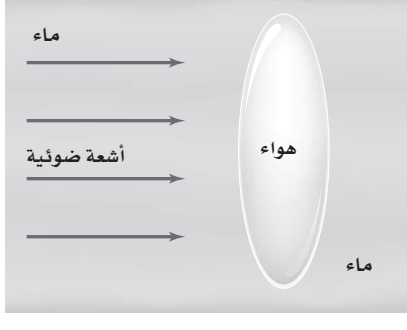
21. الزوغان اللوني للعدسات البسيطة كلها زوغان لوني. فسر ذلك. لماذا لا ترى هذا الأثر عندما تنظر خلال الميكروسكوب (المجهر)؟

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؟

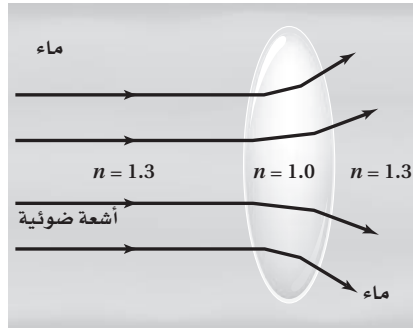
أقرب إلى العدسة.

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 (صفحة 145–142)

صفحة 145

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؟

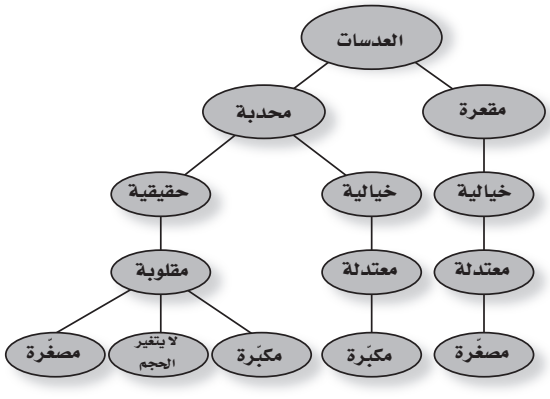
لأنك تستفيد من الضوء الذي يسقط على مساحة صغيرة من الجسم، ويمكن استخدام مصباح أكثر سطوعًا.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 150

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



تابع الفصل 11

إتقان المفاهيم
صفحة 150

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)

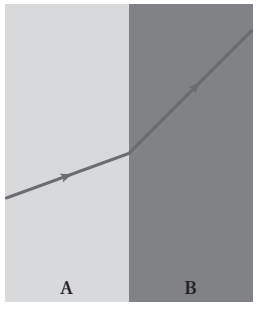
يعمل ذلك على تحسين المشاهدة الثلاثية الأبعاد.

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
صفحة 151–150

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



■ الشكل 24–11

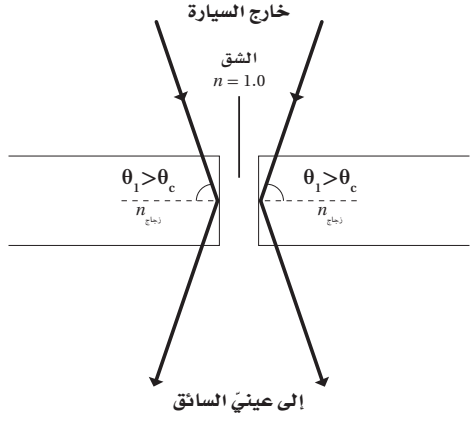
الزاوية في المادة A أقل، لذا يكون معامل انكسارها أكبر.

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

كلما زاد معامل انكسار المادة قلّت الزاوية الحرجة.

43. الزجاج الأمامي 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.

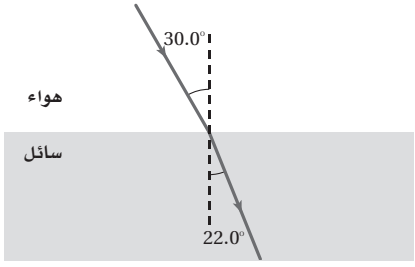
إتقان حل المسائل

صفحة 152–151

1–11 انكسار الضوء

صفحة 152–151

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؟

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

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

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

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

$$= 30.57^\circ$$

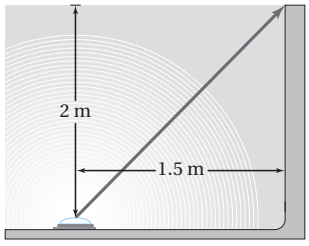
$$n_{\text{البلاستيك}} \sin\theta_{\text{البلاستيك}} = n_{\text{الهواء}} \sin\theta_{\text{الهواء}}$$

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

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

$$= 49.7^\circ$$

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

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

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

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

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

$$= 13.7^\circ$$

تابع الفصل 11

11–2 العدسات المحدبة والمقعرة

صفحة 152

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.

11–3 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 mm أسفل العدسة العينية

d. ما التكبير النهائي لهذا النظام المركّب؟

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

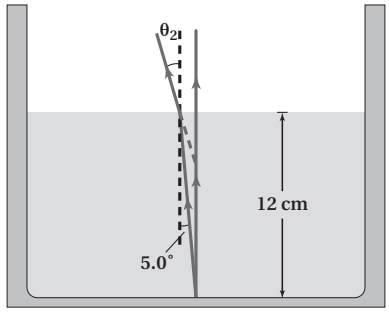
$$m_{\text{النهائي}} = m_o m_e = (-5.0)(2.00)$$

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

مراجعة عامة

صفحة 153–152

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:

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

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

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

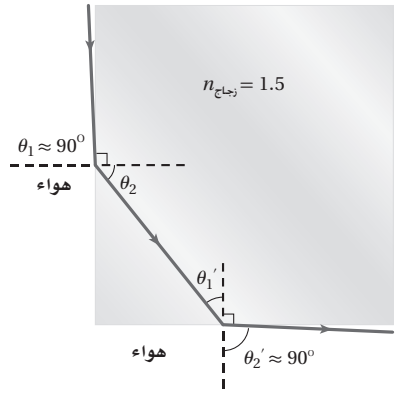
$$\Delta t = 660\ \text{s} - 500\ \text{s}$$

$$= 160\ \text{s}$$

$$= (160\ \text{s})(1\ \text{min}/60\ \text{s})$$

$$= 2.7\ \text{min}$$

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

صفحة 154–153

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

صفحة 154

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

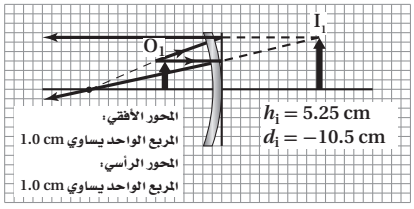
صفحة 154

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.

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

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

$$= \frac{(6.00\text{ cm})(14.0\text{ cm})}{6.00\text{ cm} - 14.0\text{ cm}}$$

$$= -10.5\text{ cm}$$

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

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

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

$$= \frac{-(-10.5\text{ cm})(3.00\text{ cm})}{6.00\text{ cm}}$$

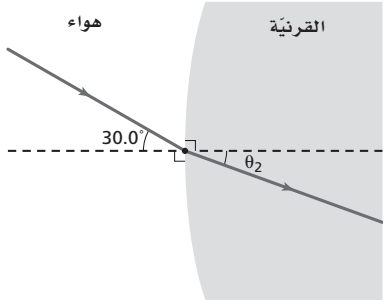
$$= 5.25\text{ cm}$$

تابع الفصل 11

مسألة تحفيز

صفحة 143

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 (صفحة 166–157)

صفحة 161

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؟

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

$$d = \frac{\lambda L}{x}$$

$$= \frac{(632.8\times10^{-9}\ \text{m})(1.00\ \text{m})}{65.5\times10^{-3}\ \text{m}}$$

$$= 9.66\times10^{-6}\ \text{m} = 9.66\ \mu\text{m}$$

صفحة 165

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 (صفحة 161–153)

صفحة 166

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

$$m = 1$$

$$d = \left(\frac{3}{4}\right)\frac{\lambda}{n_{\text{الغشاء}}}$$

$$= \frac{(3)\ (575\ \text{nm})}{(4)\ (1.33)}$$

$$= 324\ \text{nm}$$

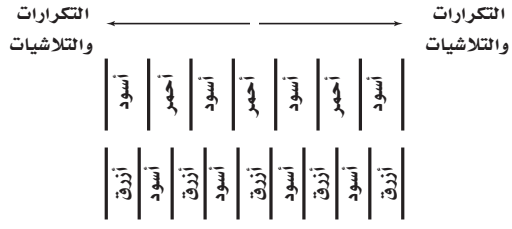
7. الأنماط المضيئة والمعتمة تم تكوين شقّين متقاربين جدًّا في قطعة كبيرة من الكرتون، وأُضيء الشقّان بضوء أحمر أحادي اللون. وعند وضع ورقة بيضاء بعيدًا عن الشقّين شوهد نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على الورقة. صف كيف تسلك الموجة عندما تقابل شقًّا؟ وفسّر لماذا تظهر أهداب مضيئة وأخرى معتمة؟

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 $n_{\text{الزجاج}} < n_{\text{الغشاء}}$ 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 (صفحة 175–167)

صفحة 169

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:

$$2x_1 = \frac{2(6.22\times10^{-7}\ \text{m})(1.00\ \text{m})}{5.0\times10^{-5}\ \text{m}}$$

$$= 25\ \text{mm}$$

صفحة 172

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 (صفحة 175–167)

صفحة 175

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؟

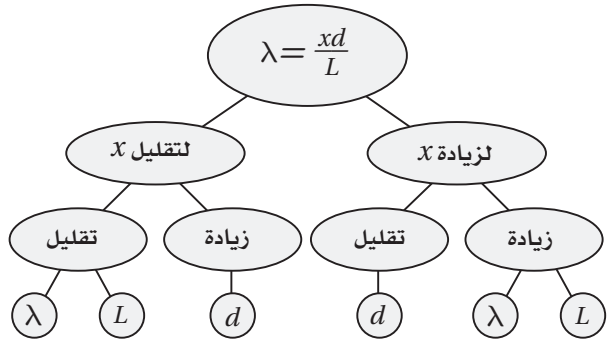
حدّد ما إذا كان اللون البنفسجي أم الأحمر في نهاية الطيف يصنع زاوية أكبر مع اتجاه حزمة الضوء الأبيض الساقط. يكسر المنشور اللون البنفسجي الذي يقع في نهاية الطيف بدرجة أكبر، في حين يحيد المحزوز الأطوال الموجية للضوء الأحمر بمقدار أكبر.

تقويم الفصل

خريطة المفاهيم

صفحة 180

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

صفحة 180

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

صفحة 181–180

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).

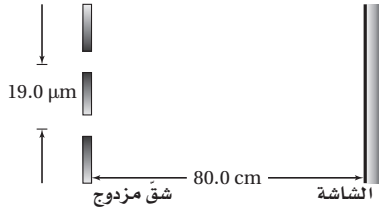
إتقان حل المسائل

صفحة 181

12–1 التداخل

صفحة 181

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:

$$= \frac{0.80\ \text{m}}{1.50\times10^{-4}\ \text{m}}$$

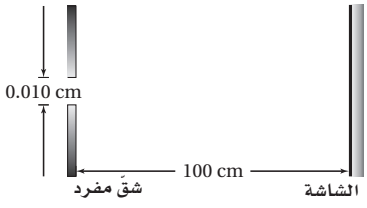
$$= 5.3\times10^{3}$$

$$x_C > x_B > x_A$$

12–2 الحيود

صفحة 181

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

صفحة 182

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

صفحة 182

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

صفحة 182

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

صفحة 182

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)

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

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

$$= \frac{(7.50\ \text{cm})(21.0\ \text{cm})}{7.50\ \text{cm} - 21.0\ \text{cm}}$$

$$= -11.7\ \text{cm}$$

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

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

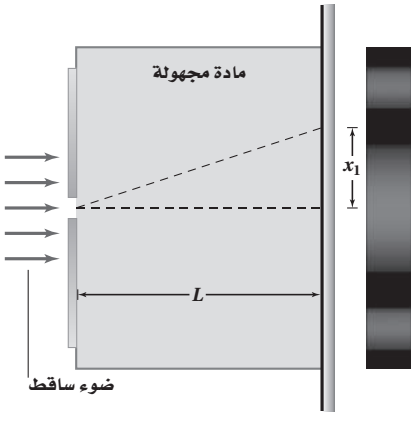
$$= \frac{-(-11.7\ \text{cm})(2.00\ \text{cm})}{7.50\ \text{cm}}$$

$$= 3.11\ \text{cm}$$

مسألة تحفيز

صفحة 169

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) $\lambda = \frac{x_{\text{الأقل}}\, w}{L}$

(2) $v_{\text{المادة}} = \lambda_{\text{المادة}} f$ **وكذلك**

(3) $n_{\text{المادة}} = \frac{c}{v}$

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.

$$\lambda_{\text{المادة}} = \frac{(x_{\text{الأقل}}\, w)}{L} \quad (5)$$

بناءً على دمج (4) و (5) وحل المعادلة الناتجة بالنسبة إلى المتغير (x) نحصل على

$$n_{\text{المادة}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{\frac{x_{\text{الأقل}}\, w}{L}}$$

$$x_{\text{أقل}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}} L}{n_{\text{المادة}}\, w}$$

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؟

$$x = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}} L}{n_{\text{المادة}}\, w}$$

$$= \frac{(634\times10^{-9}\,\text{m})(1.15\,\text{m})}{(1.33)(0.10\times10^{-3}\,\text{m})}$$

$$= 5.5\times10^{-3}\,\text{m}$$

الفصل الأول

1. إذا ازدادت السرعة المتجهة الدورانية للعبة الحصان الدوّار في مدينة الألعاب بمعدل ثابت من 1.5 rad /s إلى 3.5 rad /s خلال زمن مقداره 9.5 s، فما التسارع الدوراني للعبة الحصان الدوّار؟

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{(3.5\ \text{rad/s}) - (1.5\ \text{rad/s})}{(9.5\ \text{s})}$$

$$= 0.21\ \text{rad/s}^2$$

2. إذا كانت إبرة رأس الكتابة والقراءة في مسجل أسطوانات تبعد 6.5 cm عن مركز الأسطوانة الدوّارة، وكانت أسطوانة التسجيل تدور بسرعة 45 دورة في الدقيقة، فما السرعة المتجهة للإبرة؟

في البداية حوّل وحدة السرعة من دورة في الدقيقة إلى rad/s

$$\left(\frac{45\ \text{rev}}{1\ \text{min}}\right)\left(\frac{2\pi\ \text{rad}}{1\ \text{rev}}\right)\left(\frac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}}\right) = 4.71\ \text{rad/s}$$

$$v = r\omega = (6.5\ \text{cm})\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}\right)(4.71\ \text{rad/s})$$

$$= 0.31\ \text{m/s}$$

3. افترض أن كرة بيسبول تدحرجت على الأرض 3.2 m، فإذا كانت الإزاحة الزاويّة للكرة 82 rad، فما محيط الكرة؟

$$d = r\theta$$

$$r = \frac{d}{\theta} = \frac{3.2\ \text{m}}{82\ \text{rad}} = 0.039\ \text{m}$$

$$c = 2\pi r = 2\pi\ (0.039\ \text{m}) = 0.25\ \text{m}$$

4. يستخدم عامل طلاء مفكًّا طوله 25.8 cm لفتح غطاء علبة الطلاء. إذا أثر العامل في نهاية المفك بقوة مقدارها 85 N وتميل بزاوية مقدارها 60° على الرأسي، فاحسب العزم.

$$\tau = Fr\sin\theta = (85\ \text{N})(0.258\ \text{m})(\sin 60.0°)$$

$$= 19\ \text{N.m}$$

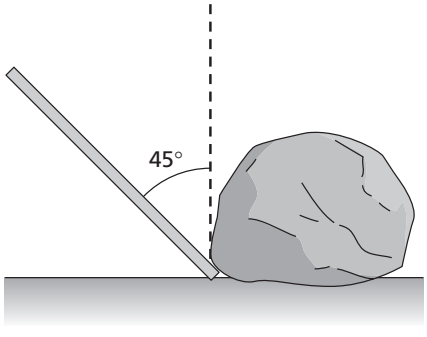
5. أثرت قوة مقدارها 25 N رأسيًّا في نهاية مقبض مفتاح شد طوله 45 cm لشد برغي مع اتجاه حركة عقارب الساعة. ما العزم اللازم من البرغي ليحافظ على المفك ثابتًا دون دوران؟

للمحافظة على ثبات المفك دون دوران، يتعين أن يكون العزم المؤثر من البرغي مساويًا في المقدار ومعاكسًا في الاتجاه للعزم المطبّق بالمفك.

$$\tau = Fr\sin\theta = (25\ \text{N})(0.45\ \text{m})(\sin 90.0°)$$

$$= 11\ \text{N.m}$$ **في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة**

6. استخدم رجل كتلته 92 kg لوحًا طوله 3.05 m في محاولة منه لتحريك صخرة، كما هو موضح في الشكل أدناه. وسحب الرجل طرف اللوح بقوة مساوية لوزنه فاستطاع أن يحرّكه بزاوية مقدارها 45° عن الرأسي. احسب العزم المطبّق.



$$\tau = Fr\sin\theta$$

$$= mgr\sin\theta$$

$$= (92\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(3.05\ \text{m})\sin 45°)$$

$$= 1.9 \times 10^2\ \text{N.m}$$

7. إذا حاول طفل كتلته 25 kg أن يؤثر بالعزم نفسه كما في السؤال السابق، مستخدمًا وزنه فقط للقوة المطبّقة، فكم يجب أن يكون طول ذراع القوة التي يستخدمها؟

$$L = r\sin\theta$$

$$= \frac{\tau}{F} = \frac{\tau}{mg} = \frac{1.9 \times 10^3\ \text{N.m}}{(25\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 7.8\ \text{m}$$

8. جلس أحمد على بعد 1.20 m من مركز لعبة الميزان. إذا تعيّـن على سـامي أن يجلس على بعد 0.80 m من مركز اللعبة لموازنة أحمد، فما كتلة سـامي، إذا كانت كتلة أحمد 18 kg؟

$$F_A r_A = F_s r_s$$

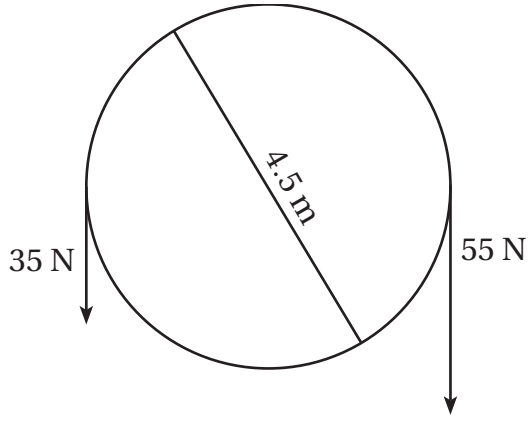
$$m_A g r_A = m_s g r_s$$

$$m_s = \frac{m_A\ r_A}{r_s}$$

$$= \frac{(18\ \text{kg})(1.20\ \text{m})}{0.80\ \text{m}}$$

$$= 27\ \text{kg}$$

9. أثّـرت قوتان في لعبة الحصـان الدوّار والتي قطرها 4.5 m. إذا كانت إحدى القوتين 55 N تؤثر في اتجاه حركة عقارب الساعة، وتؤثر الأخرى 35 N في عكس اتجـاه حركة عقارب السـاعة، فمـا محصلة العزم؟



محصلة العزم تساوي مجموع العزوم المفردة

$$\tau_{\text{محصلة}} = \tau_{ccw} + \tau_{cw}$$

$$= F_{ccw} r \sin\theta + F_{cw} r \sin\theta$$

$$= (F_{ccw} + F_{cw}) r \sin\theta$$

$$= (35\ \text{N} - 55\ \text{N})\ (\tfrac{4.5\ \text{m}}{2})(\sin 90.0°)$$

$$= -45\ \text{N.m}$$

45 N.m في اتجاه حركة عقارب الساعة

10. أُسند لوح طوله 1.5 m على دعامتين. إذا كان مقدار القوة المؤثرة في اللوح بواسطة الدعامة الأولى 25 N وكان مقدار القوة المؤثرة في اللوح بواسطة الدعامة الثانية 62 N، فما كتلة اللوح؟

$$F_{\text{محصلة}} = F_1 + F_2 + (-F_g)$$

لما كان النظام في حالة اتزان، فإن:

$$F_{\text{محصلة}} = 0$$

$$0 = F_1 + F_2 + F_g$$

$$F_g = F_1 + F_2$$

$$mg = F_1 + F_2$$

$$m = \frac{F_1 + F_2}{g}$$

$$= \frac{25\ \text{N} + 62\ \text{N}}{9.80\ \text{m/s}^2}$$

$$= 8.9\ \text{kg}$$

11. بدأ طفل بناء بيت مستعملاً بطاقات كرتونية متماثلة طـول كل منهـا 8.5 cm، وكتلتهـا 0.75 g، وذلك بوضع البطاقة A موازية للبطاقة B في وضع رأسي، ثم وضع البطاقة الثالثة فوقهما. فإذا كانت البطاقة A على بعد 2.0 cm من الطرف الأول للبطاقة العلوية وأثرت فيها بقوة مقدارها 1.5×10^{-3} N، فكم يجب أن تبعد البطاقة B عن الطرف الثاني للبطاقة العلوية؟ افترض أنّ محور الدوران عند نقطة تلامس البطاقة A مع البطاقة العلوية.

$$F_{\text{محصلة}} = F_A + F_B + F_g$$

لما كان النظام في حالة اتزان، فإن:

$$F_{\text{محصلة}} = 0$$

$$0 = F_A + F_B - F_g$$

$$F_B = F_g + F_A$$

$$= mg - F_A$$

لما كان محور الدوران حول البطاقة الداعمة A فإن:

$$\tau_A = 0$$

لذا فإن

$$\tau_{\text{محصلة}} = \tau_B + \tau_g$$

ولما كان النظام في حالة اتزان، فإن

$$\tau_{\text{محصلة}} = 0$$

$$0 = \tau_B + \tau_g$$

$$\tau_B = -\tau_g$$

$$\tau_B = r_B F_B \text{ و } \tau_g = -r_g F_g$$

$$r_B F_B = r_g F_g$$

$$r_B = \frac{(r_g F_g)}{F_B}$$

$$= \frac{(r_g mg)}{(mg - F_A)}$$

$$= \frac{\left(\left(\frac{1}{2}\right)(0.085\text{ m}) - 0.020\text{ m}\right)(7.5\times10^{-4}\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)}{(7.5\times10^{-4}\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2) - (1.5\times10^{-3}\text{ N})}$$

$$= 2.8\times10^{-2}\text{ m}$$

$$= 28\text{ cm}$$

12. إذا تحركت البطاقة A في المسألة السابقة فأصبحت على بعد 2.5 cm من طرف البطاقة العلوية، فكم يجب أن تبعد البطاقة B عن الطرف الثاني للبطاقة العلوية عند إعادة البناء ليبقى البناء متزنًا؟

$$r_B = \frac{r_g mg}{mg - F_A}$$

$$= \frac{\left(\left(\frac{1}{2}\right)(0.085\text{ m}) - 0.025\text{ m}\right)(7.5\times10^{-4}\text{ kg})(9.80\text{ m s}^2)}{(7.5\times10^{-4}\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2) - (1.5\times10^{-3}\text{ N})}$$

$$= 2.2\times10^{-2}\text{ m}$$

$$= 22\text{ cm}$$

الفصل الثاني

1. إذا ارتدت كرة مقدار زخمها الابتدائي 6.00 kg.m /s عن حائط في الاتجاه المعاكس بزخم مقداره 4.00 kg.m /s فما مقدار الدفع المؤثر في الكرة؟

$$p_f = +4.00\text{ kg.m./s}$$

$$p_i = -6.00\text{ kg.m/s}$$

$$\text{الدفع} = p_f - p_i$$

$$= (4.00\text{ kg.m/s}) - (-6.00\text{ kg.m/s})$$

$$= 10.0\text{ kg.m/s}$$

2. إذا تلامست الكرة مع الحائط في السؤال السابق فترة زمنية مقدارها 0.22 s، فما متوسط القوة المؤثرة في الحائط؟

$$\text{الدفع} = F\Delta t$$

$$F = \frac{\text{الدفع}}{\Delta t}$$

$$= \frac{10.0\text{ kg.m/s}}{0.22\text{ s}} = 45\text{ N}$$

3. تحرك متزلج كتلته 42.0 kg بسرعة 1.50 m /s فاصطدم بحائط وارتد عنه. إذا كان مقدار الدفع 150.0 kg.m /s، فاحسب السرعة المتجهة النهائية للمتزلج.

اعتبر الاتجاه المبتعد عن الحائط هو الاتجاه الموجب

$$\text{الدفع} = p_f - p_i = mv_f - (-mv_i)$$

$$= m(v_f + v_i)$$

$$v_f = \frac{\text{الدفع}}{m} - v_i$$

$$= \frac{150.0\text{ kg.m/s}}{42.0\text{ kg}} - 1.50\text{ m/s}$$

$$= 2.07\text{ m/s}$$

4. إذا تحركت سيارة ألعاب كتلتها 50.0 g، بسرعة 3.00 m /s في اتجاه الشمال، ثم اصطدمت بلعبة سيارة إطفاء كتلتها 180.0 g تتحرك بسرعة 0.50 m /s

جنوبًا، فالتحمتا معًا بعد التصادم، فما مقدار واتجاه سرعتهما بعد التصادم؟

باعتبار c ترمز إلى السيارة، و t ترمز إلى سيارة الإطفاء.

اعتبر الاتجاه شمالًا هو الاتجاه الموجب

$$p_i = p_f$$

$$p_{ci} + p_{ti} = p_f$$

$$m_c v_{ci} + m_t v_{ti} = (m_c + m_t)\, v_t$$

$$v_f = \frac{m_c\, v_{ci} + m_t\, v_{ti}}{m_c + m_t}$$

$$= \frac{(50.0\text{ g})(3.00\text{ m/s}) + (180.0\text{ g})(-0.50\text{ m/s})}{(50.0\text{ g} + 180.0\text{ g})}$$

$$= 0.26\text{ m/s, نحو الشمال}$$

5. أُطلقت رصاصة كتلتها 0.040 kg نحو قالب خشبي ساكن كتلته 3.50 kg. فاستقرت الرصاصة داخل القالب بعد التصادم. وتحرك القالب والرصاصة معًا بسرعة متجهة مقدارها 7.40 m/s. كم كانت السرعة المتجهة للرصاصة قبل التصادم؟

$$p_i = p_f$$

$$p_{bi} + p_{wi} = p_f$$

$$m_b v_{bi} + m_w v_{wi} = (m_b + m_w)\, v_f$$

حيث إن $v_{wi} = 0$

فإن

$$v_{bi} = \frac{(0.040\text{ kg} + 3.50\text{ kg})(7.40\text{ m/s})}{(0.040\text{ kg})}$$

$$= 6.5 \times 10^2\text{ m/s}$$

6. اصطدمت الكرة A، والتي كتلتها 0.20 kg، بالكرة B التي كتلتها 0.30 kg. إذا كانت السرعة المتجهة الابتدائية للكرة A 0.95 m/s وكانت الكرة B في وضع السكون، فما مقدار واتجاه سرعة الكرتين A و B بعد التصادم إذا التحمتا ببعض بعد التصادم؟

$$p_i = p_f$$

$$m_A v_{Ai} = (m_A + m_B) v_f$$

$$v_f = \frac{m_A\, v_{Ai}}{m_A + m_B}$$

$$= \frac{(0.20\text{ kg})(0.95\text{ m/s})}{0.20\text{ kg} + 0.30\text{ kg}}$$

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

في اتجاه السرعة المتجهة الابتدائية للكرة A نفسه

7. دفع متزلج كتلته 75.0 kg متزلجًا آخر كتلته 42.0 kg، حيث كان المتزلجان ساكنين بدايةً. وبعد الدفع تحرك المتزلج ذو الكتلة الأكبر بسرعة 0.75 m/s شرقًا. ما مقدار واتجاه سرعة المتزلج ذي الكتلة الأصغر بعد الدفع؟

$$p_i = p_f$$

$$= m_1\, v_{f1} + m_2 v_{f2}$$

$$v_{f2} = \frac{(-m_1\, v_{f1})}{m_2}$$

$$= \frac{-(75.0\text{ kg})(0.75\text{ m/s})}{42.0\text{ kg}}$$

$$= -1.3\text{ m/s}$$

تحرك المتزلج الثاني بسرعة متجهة 1.3 m/s غربًا.

8. متزلج كتلته 55.0 kg في وضع السكون. إذا أطلق المتزلج رصاصة كتلتها 0.045 kg من مسدس كتلته 2.5 kg فتحركت الرصاصة بسرعة متجهة 565.0 m/s، فما السرعة المتجهة للمتزلج بعد إطلاق الرصاصة؟

باعتبار s ترمز إلى المتزلج، و b إلى الرصاصة، و g إلى المسدس

$$p_i = p_f$$

$$0 = p_{fs} + p_{fb}$$

$$= (m_s + m_g)\, v_{fs} + m_b v_{fb}$$

لأن الكتلة النهائية للمتزلج تتضمن كتلة المسدس الذي يحمله المتزلج.

$$v_{fs} = \frac{-m_b\, v_{fb}}{m_s + m_g}$$

$$v_{fs} = \frac{-(0.045\ \text{kg})(565.0\ \text{m/s})}{55.0\ \text{kg} + 2.50\ \text{kg}}$$
$$= -0.44\ \text{m/s}$$

9. وُضِع مدفع كتلته 1200 kg على حلبة تزلج جليدية في وضع السكون. إذا أطلقت منه قذيفة كتلتها 95.0 kg، فارتد المدفع بسرعة 6.80 m/s، فما سرعة القذيفة؟

باعتبار c ترمز إلى المدفع، وb إلى القذيفة.

$$p_i = p_f$$

لما كان المدفع وقذيفته في البداية في وضع السكون وذلك قبل الإطلاق فإن: $p_i = 0.00\ \text{kg.m/s}$، لذا فإن

$$p_{fc} = -p_{fb}$$
$$m_c v_{fc} = -m_b v_{fb}$$
$$v_{fb} = \frac{(-m_c v_{fc})}{m_b}$$
$$= \frac{-(1200\ \text{kg})(6.80\ \text{m/s})}{(95.0\ \text{kg})}$$
$$= -86\ \text{m/s}$$

10. تحرك لاعب كرة قدم كتلته 82 kg بسرعة 0.75 m/s شمالاً، فأوقفه لاعب آخر كتلته 110.0 kg كان يتحرك بسرعة مقدارها 0.15 m/s شرقًا، فسقطا على الأرض معًا. احسب السرعة المتجهة النهائية لهما (مقدارًا واتجاهًا).

باعتبار r ترمز إلى اللاعب الأول، وd إلى اللاعب الثاني.

$$p_{ri} = m_r v_{ri,y} = (82\ \text{kg})(0.75\ \text{m/s})$$
$$= 62\ \text{kg.m/s}\ \text{شمالاً}$$
$$p_{di} = m_d v_{di,x} = (110.0\ \text{kg})(0.15\ \text{m/s})$$
$$= 16\ \text{kg.m/s}, \text{شرقًا}$$

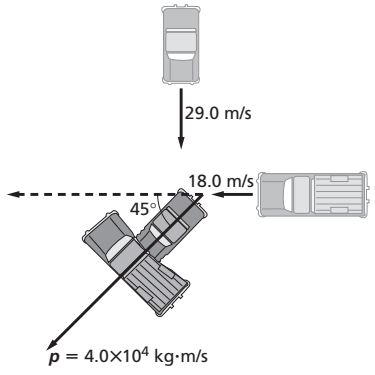
ينص قانون حفظ الزخم على أن

$$p_i = p_f$$
$$p_{f,x} = p_{i,x} = 16\ \text{kg.m/s}$$
$$p_{f,y} = p_{i,y} = 62\ \text{kg.m/s}$$
$$p_f = (p_{f,x}^2 + p_{f,y}^2)^{\frac{1}{2}}$$
$$= ((16\ \text{kg.m/s})^2 + (62\ \text{kg.m/s})^2)^{\frac{1}{2}}$$
$$= 64\ \text{kg.m/s}$$

$$v_f = \frac{p_f}{m_r + m_d} = \frac{64\ \text{kg.m/s}}{82\ \text{kg} + 110.0\ \text{kg}}$$
$$= 0.33\ \text{m/s}$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_{f,y}}{p_{f,x}}\right)$$
$$= \tan^{-1}\left(\frac{m_r v_{ri,y}}{m_d v_{di,x}}\right)$$
$$= \tan^{-1}\left(\frac{(82\ \text{kg})(0.75\ \text{m/s})}{(110.0\ \text{kg})(0.15\ \text{m/s})}\right)$$
$$= 75°$$

11. تحركت سيارة كتلتها 985 kg بسرعة 29.0 m/s جنوبًا، فاصطدمت بشاحنة متحركة بسرعة 18 m/s غربًا، كما هو موضّح في الشكل أدناه. إذا التحمت المركبتان وتحركتا بزخم نهائي مقداره 4.0×10^4 kg.m/s وبزاوية مقدارها 45° بعد الاصطدام، فما مقدار كتلة الشاحنة؟

باعتبار c ترمز إلى السيارة، وt إلى الشاحنة.



$$p_f^2 = p_{fx}^2 + p_{fy}^2$$
$$p_f^2 = p_{ix}^2 + p_{iy}^2$$
$$p_f^2 = m_c^2 v_{ci}^2 + m_t^2 v_{ti}^2$$
$$m_t = \left(\frac{(p_f^2 - m_c^2 v_{ci}^2)}{v_{ti}^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$
$$= \left(\frac{(4.0\times10^4\ \text{kg.m/s})^2 - (985\ \text{kg})^2\ (29.0\ \text{m/s})^2}{(18.0\ \text{m/s})^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$
$$= 1.6\times10^3\ \text{kg}$$

12. يمشي رجل كتلته 77.0 kg بسرعة مقدارها 0.10 m/s شرقًا في أثناء ممارسته الرياضة في النادي. فرمى لاعب كرة كتلتها 15.0 kg جنوبًا فأصابت الرجل بالصدفة، فتحركت الكرة والرجل معًا بسرعة متجهة

مقدارها 0.085 m/s. أوجد اتجاه حركة الرجل والكرة.

باعتبار M ترمز إلى الرجل، وb إلى الكرة.

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{p_{fx}}{p_f}\right)$$

$$= \cos^{-1}\left(\frac{p_{ix}}{p_f}\right)$$

$$= \cos^{-1}\left(\frac{(m_M v_{iM})}{(m_M + m_b) v_f}\right)$$

$$= \cos^{-1}\left(\frac{(77.0\text{ kg})(0.10\text{ m/s})}{(77.0\text{ kg}+15.0\text{ kg})(0.085\text{ m/s})}\right)$$

$$= 1.0^\circ \times 10^1$$ **جنوب الشرق**

الفصل الثالث

1. دُفعت لعبة شاحنة فوق طاولة مسافة 0.80 m شمالاً، ثم سُحبت إلى الخلف مسافة 0.80 m جنوبًا. إذا طُبقت قوة أفقية ثابتة مقدارها 15 N في كلا الاتجاهين، فما محصلة الشغل؟

اعتبر الاتجاه شمالًا هو الاتجاه الموجب.

$$W_{\text{محصلة}} = W_{\text{شمالا}} + W_{\text{جنوبًا}}$$

$$= (Fd) + (-Fd)$$

$$= (15\text{ N})(0.80\text{ m}) + (-15\text{ N})(0.80\text{ m})$$

$$= 0.0\text{ J}$$

2. تسارعت طفلة كتلتها 15 kg بتسارع مقداره 0.25 m/s²، عندما سحبتها أختها مسافة 1.7 m أفقيًّا على الأرض. احسب مقدار التغير في الطاقة الحركية للطفلة.

$$\Delta KE = W = Fd$$

$$= mad$$

$$= (15\text{ kg})\ (0.25\text{ m/s}^2)\ (17.\text{m})$$

$$= 6.4\text{ J}$$

3. دفع رجل سريرًا مسافة 0.75 m، فإذا كان الشغل المبذول 113 J، فما مقدار القوة الأفقية المؤثرة؟

$$W = Fd$$

$$F = \frac{W}{d}$$

$$= \frac{(113\text{ J})}{(0.75\text{ m})}$$

$$= 1.5 \times 10^2\text{ N}$$

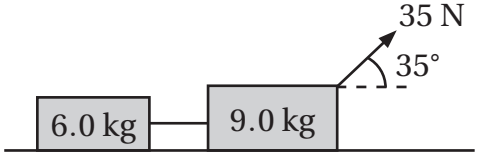
4. ربطت طوبتان معًا بخيط أفقي، وسحبتا معًا مسافة 2.7 m فوق طاولة هوكي هوائية، بقوة ثابتة مقدارها 35 N تؤثر بزاوية 35° إلى أعلى من جهة الطوبة التي كتلتها 9.0 kg، كما هو مبين في الشكل التالي. ما مقدار التغير في الطاقة الحركية في نظام الطوبتين؟

$$W = \Delta KE$$

$$= Fd\cos\theta$$

$$= (35\text{ N})\ (2.7\text{ m})\ (\cos 35^\circ)$$

$$= 77\text{ J}$$



5. إذا كان نظام الطوبتين الموصوف في السؤال السابق في وضع السكون بدايةً، فما سرعته المتجهة النهائية؟

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m\Delta v^2$$

$$= \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$$

ولما كانت الطوبتان في وضع السكون بدايةً فإن

$$v_i = 0$$

لذا فإن

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m v_f^2$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2\Delta KE}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{(2)(77\text{ J})}{15\text{ kg}}}$$

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

6. سُحبت سيارة ألعاب كتلتها 0.75 kg مسافة 3.2 m فوق الأرض بقوة ثابتة مقدارها 110 N وبزاوية

فـوق الأفقـي. إذا كان مقدار الشـغل المبذول 67 J فما الزاوية بين القوة المؤثرة والأفقي؟

$$W = Fd\cos\theta$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{W}{Fd}\right)$$

$$= \cos^{-1}\left(\frac{67\text{ J}}{(110\text{ N})(3.2\text{ m})}\right)$$

$$= 79°$$

7. شُـغّل مصبـاح كهربائي قدرتـه 75 W مدة 2 h فما مقدار الشغل الذي يبذله المصباح؟

$$(2.0\text{ h})\left(\frac{3600\text{ s}}{1.0\text{ h}}\right) = 7.2\times10^3\text{ s}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$W = Pt = (75\text{ W})\ (7.2\times10^3\text{ s})$$

$$= 5.4\times10^5\text{ J}$$

8. تستطيع جزازة عشب ذاتية الحركة قدرتها 6.5 حصان ميكانيكي (hp) أن تنطلق من سرعة 0.0 m /s إلى 0.56 m /s خلال فترة زمنية مقدارها 0.050 s. فإذا كانـت كتلتهـا 48.0 kg، فما المسـافة التي تقطعها الجزازة خلال هذه الفترة؟ (ملاحظة: استعمل معامل التحويل الآتي: 1 hp = 746 W).

$$(6.50\text{ hp})\left(\frac{746\text{ W}}{1\text{ hp}}\right) = 4.85\times10^3\text{ W}$$

$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$= \frac{Fd}{t} = \frac{mad}{t}$$

$$= \frac{m\left(\frac{\Delta v}{t}\right)d}{t} = \frac{m\,(v_f - v_i)d}{t^2}$$

$$d = \frac{Pt^2}{m\,(v_f - v_i)}$$

$$= \frac{(4.85\times10^3\text{ W})\ (0.050\text{ s})^2}{(48.0\text{ kg})(0.36\text{ m/s} - 1.00\text{ m/s})}$$

$$= 0.45\text{ m}$$

9. إذا قامـت رافعة مزودة بمحرك قدرته 156 W برفع صنـدوق مسـافة 9.8 m خـلال 11 s، فمـا كتلـة الصندوق؟

$$v_{avg} = \frac{d}{t} = \frac{9.8\text{ m}}{11\text{ s}} = 0.89\text{ m/s}$$

إذا كان الصندوق ساكنًا في البداية:

$$v_{avg} = \frac{v_i + v_f}{2} = \frac{v_f}{2}$$

$$v_f = 2v_{avg} = (2)(0.89\text{ m/s}) = 1.8\text{ m/s}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{(\Delta\text{KE})}{t} = \frac{(m\Delta v^2)}{2t}$$

$$m = \frac{2Pt}{\Delta v^2} = \frac{(2Pt)}{(v_f^2 - v_i^2)}$$

$$= \frac{(2)(156\text{ W})(11\text{ s})}{(1.8\text{ m/s})^2}$$

$$= 1.1\times10^3\text{ kg}$$

10. يؤثـر رجـل بقوة مقدارهـا 310 N فـي رافعة ليرفع صندوق كتلته 910 kg. إذا كانت كفاءة الرافعة 78% فما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية IMA للرافعة؟

$$\left(\frac{\frac{F_r}{F_e}}{e}\right)(100) = \left(\frac{\frac{mg}{F_e}}{e}\right)(100)$$

$$= \left(\frac{\frac{(910\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)}{310\text{ N}}}{78}\right)(100)$$

$$= 37$$

11. اسـتخدم عامل بكرة لرفع جسـم كتلته 45 kg، فإذا كانت الفائدة الميكانيكية للبكرة 5.2 فما مقدار القوة المسلّطة التي يؤثر بها العامل؟

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

$$F_e = \frac{F_r}{MA}$$

$$= \frac{mg}{MA} = \frac{(45\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)}{(5.2)}$$

$$= 85\text{ N}$$

12. عندما تُسحب سلسلة الدراجة الهوائية مسافة 0.95 m، فإنّ الإطار الخلفي يتحرك مسـافة 14 cm. إذا كان نصف قطر ناقل الحركة 3.5 cm، فما مقدار نصف قطر الإطار الخلفي؟

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} = \frac{r_e}{r_r}$$

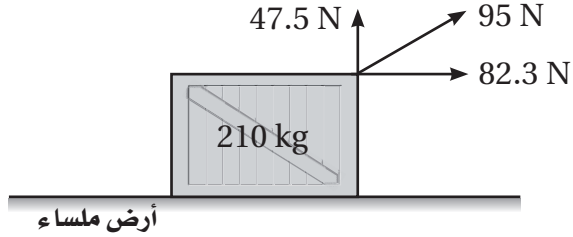
$$r_r = \frac{(r_e\, d_r)}{d_e}$$

$$= \frac{(3.50\text{ cm})(14.0\text{ cm})}{0.95\text{ cm}}$$

$$= 52\text{ cm}$$

الفصل الرابع

1. يتسارع صندوق كتلته 210 kg أفقيًّا بفعل قوة مقدارها 95 N تؤثر بزاوية إلى أعلى مع الأفقي، بحيث تكون مركّبة القوة الرأسية 47.5 N ومركّبتها الأفقية 82.3 N (انظر الشكل أدناه). إذا سُحب الصندوق مسافة 5.5 m على أرض ملساء، فما مقدار التغير في الطاقة الحركية للصندوق؟



$$W = \Delta KE = Fd$$
$$= (82.3\ \text{N})\ (5.5\ \text{m})$$
$$= 4.5 \times 10^2\ \text{J}$$

2. افترض أنّ الصندوق الموصوف في السؤال السابق كان ساكنًا في البداية، فما السرعة المتجهة النهائية للصندوق؟

$$\Delta KE = KE_f - KE_i$$
$$KE_f = \frac{1}{2} m v_f^2$$
$$KE_i = \frac{1}{2} m v_i^2$$

ولما كان الصندوق ساكنًا في البداية، فإن $KE_i = 0$

لذا فإن

$$\Delta KE = KE_f = \frac{1}{2} m v_f^2$$
$$v_f = \sqrt{\frac{2\Delta KE}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(4.5 \times 10^2\ \text{J})}{210\ \text{kg}}}$$
$$= 2.1\ \text{m/s}$$

3. إذا أثر في الصندوق الموضح في المسألة 1 قوة احتكاك مقدارها 15 N، فما الطاقة الحركية النهائية للصندوق؟

افترض أن اتجاه حركة الصندوق موجبًا.

$$W = \Delta KE = Fd$$
$$F = F_{\text{الأفقية}} + f_k = 82.0\ \text{N} + (-15\ \text{N})$$
$$= 67\ \text{N}$$
$$\Delta KE = W = Fd = (67\ \text{N})(5.5\ \text{m})$$
$$= 3.7 \times 10^2\ \text{J}$$

ولما كان الصندوق ساكنًا في البداية، فإن

$$\Delta KE = KE_f$$
$$KE_f = 3.7 \times 10^2\ \text{J}$$

4. تصعد عربة أفعوانية كتلتها 150 kg على سكة الحديد إلى قمة تل ارتفاعه 91 m. ما مقدار الشغل المبذول ضد الجاذبية عندما تصبح العربة عند قمة هذا التل؟

$$W = Fd$$
$$F = mg$$
$$W = mgd$$
$$= (150\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(91\ \text{m})$$
$$= 1.3 \times 10^5\ \text{J}$$

5. يتأرجح بندول كتلته 0.50 kg إلى أقصى ارتفاع مقداره 1.0 m. ما مقدار طاقته الحركية عند ارتفاع 0.40 m؟

$$E_{\text{الكليّة}} = KE + PE$$

لما كانت الطاقة محفوظة، فإن الطاقة الكليّة ثابتة.

عندما تكون كتلة البندول عند أقصى ارتفاع، تكون: $E_{\text{الكليّة}} = PE$.

$$PE = mgh$$
$$= (0.50\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.0\ \text{m})$$
$$= 4.9\ \text{J}$$

وعندما تكون كتلة البندول على ارتفاع 0.40 m، فإن:

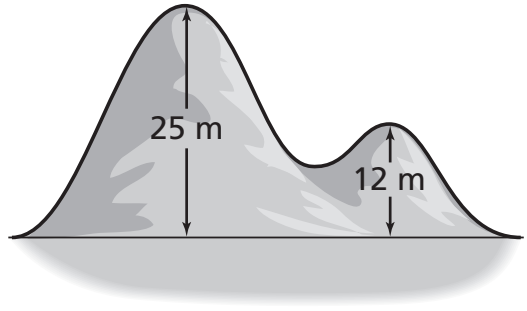
$$PE = mgh = (0.50\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.40\ \text{m})$$
$$= 2.0\ \text{J}$$

$$KE = E_{\text{الكليّة}} - PE$$

$$= 4.9\ \text{J} - 2.0\ \text{J}$$

$$= 2.9\ \text{J}$$

6. يقف شخص على زلاجته على قمة تل ارتفاعه 25 m بجانبه تل آخر ارتفاعه 12 m (انظر الشكل أدناه). أُعطي المتزلج دفعة ابتدائية أكسبته طاقة حركية مقدارها 3674 J. أوجد السرعة المتجهة للشخص عند قمة التل الثاني الذي ارتفاعه 12 m، علمًا بأنّ كتلة الزلاجة والشخص معًا 95 kg، وذلك مع إهمال الاحتكاك.



$$E = KE + PE$$

عند قمة التل الذي ارتفاعه 25 m:

$$KE = 3674\ \text{J}$$

$$PE = mgh = (95\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(25\ \text{m})$$

$$= 2.3\times10^4\ \text{J}$$

$$E = KE + PE = 3674\ \text{J} + 2.3\times10^4\ \text{J}$$

$$= 2.7\times10^4\ \text{J}$$

عند قمة التل الذي ارتفاعه 12 m:

$$PE = mgh = (95\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)(12\ \text{m})$$

$$= 1.1\times10^4\ \text{J}$$

$$KE = E - PE = 2.7\times10^4\ \text{J} - 1.1\times10^4\ \text{J}$$

$$= 1.6\times10^4\ \text{J}$$

$$v = \sqrt{\left(\frac{2\text{KE}}{m}\right)} = \sqrt{\frac{(2)(1.6\times10^4\ \text{J})}{95\ \text{kg}}}$$

$$= 18\ \text{m/s}$$

7. يركب طفل كتلته 35 kg أرجوحة، ويصل إلى أقصى ارتفاع مقداره 0.80 m. احسب طاقة الوضع الجاذبية لدى الطفل عند أقصى ارتفاع يصله، مهملاً الاحتكاك. وما الطاقة الحركية لدى الطفل عند هذا الارتفاع؟

$$PE = mgh = (35\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.80\ \text{m})$$

$$= 2.7\times10^2\ \text{J}$$

عندما يصل الطفل إلى أقصى ارتفاع تكون سرعته المتجهة صفرًا.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = 0\ \text{J}$$

8. يركب شخص زلاجته عند قمة تل ارتفاعه 35 m. إذا كانت طاقة وضعه الجاذبية هو وزلاجته معًا 3.0×10^4 J، فما وزن الزلاجة وراكبها؟

$$PE = mgh$$

$$F_g = mg$$

$$PE = F_g h$$

$$F_g = \frac{PE}{h} = \frac{3.0\times10^4\ \text{J}}{35\ \text{m}} = 8.6\times10^4\ \text{N}$$

9. إذا كان ارتفاع التل الكبير في لعبة الأفعوانية 91 m، وكانت كتلة العربة وراكِبَيها 314 kg، وكانت السرعة المتجهة القصوى التي وصلتها العربة 28 m/s، فما مقدار الطاقة المفقودة بفعل الاحتكاك؟

عند قمة التل الذي ارتفاعه 91 m:

$$E = PE = mgh$$

$$= (314\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(91\ \text{m})$$

$$= 2.8\times10^5\ \text{J}$$

وعند أسفل التل:

$$E = KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(2.8\times10^5\ \text{J})}{314\ \text{kg}}}$$

$$= 42\ \text{m/s}$$

إذا لم تفقد طاقة بفعل الاحتكاك تكون السرعة 42 m/s، تكون الطاقة الحركية الفعلية عند أسفل التل:

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= (\tfrac{1}{2})(314\ \text{kg})(28\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.2\times10^5\ \text{J}$$

$$E = KE + E_{\text{الاحتكاك}}$$

$$E_{\text{الاحتكاك}} = E - KE$$

$$= 2.8\times10^5\ \text{J} - 1.2\times10^5\ \text{J}$$

$$= 1.6\times10^5\ \text{J}$$

10. عُلِّق قرص تصويب سهام كتلته 2.20 kg من السقف بحيث كان ساكنًا في البداية. رمي نحوه سهم كتلته 0.030 kg بسرعة متجهة مقدارها 1.3 m/s، وبعد أن أصاب السهم القرص تحركا معًا بسرعة متجهة مقدارها 0.025 m/s. ما مقدار الطاقة الحركية المفقودة في النظام؟

باعتبار d ترمز إلى السهم، وb إلى قرص التصويب.

$$KE_i = \frac{1}{2}m_d v_d^2$$

$$= (\tfrac{1}{2})(0.030\ \text{kg})\ (1.3\ \text{m/s})^2$$

$$= 2.5\times10^{-2}\ \text{J}$$

$$KE_f = (\tfrac{1}{2})\ (m_d + m_b)\ v_f^2$$

$$= (\tfrac{1}{2})\ (0.030\ \text{kg} + 2.20\ \text{kg})(0.025\ \text{m/s})^2$$

$$= 6.97\times10^{-4}\ \text{J}$$

$$E_{\text{مفقودة}} = KE_i - KE_f$$

$$= (2.5\times10^{-2}\ \text{J}) - (6.97\times10^{-4}\ \text{J})$$

$$= 2.4\times10^{-2}\ \text{J}$$

11. أحدث طلاب تصادمًا بين عربتين على مسار عديم الاحتكاك في مختبر الفيزياء. بيّن ما إذا كانت الطاقة الحركية محفوظة أم لا، وذلك استنادًا إلى البيانات الواردة في الجدول أدناه.

	الكتلة (kg)	v_i (m/s)	v_f (m/s)
العربة A	0.25	0.18	−0.21
العربة B	0.36	−0.20	0.11

$$KE_{iA} = \frac{1}{2}m_A v_{iA}^2$$

$$= (\tfrac{1}{2})\ (0.25\ \text{kg})(0.18\ \text{m/s})^2$$

$$= 4.0\times10^{-3}\ \text{J}$$

$$KE_{iB} = \frac{1}{2}m_B v_{iB}^2$$

$$= (\tfrac{1}{2})\ (0.36\ \text{kg})\ (-0.20\ \text{m/s})^2$$

$$= 7.2\times10^{-3}\ \text{J}$$

$$KE_{fA} = \frac{1}{2}m_A v_{fA}^2$$

$$= (\tfrac{1}{2})\ (0.25\ \text{kg})\ (-0.21\ \text{m/s})^2$$

$$= 5.5\times10^{-3}\ \text{J}$$

$$KE_{fB} = \frac{1}{2}m_B v_{fB}^2$$

$$= (\tfrac{1}{2})(0.36\ \text{kg})\ (0.11\ \text{m/s})^2$$

$$= 2.2\times10^{-3}\ \text{J}$$

إذا كانت الطاقة الحركية محفوظة فإن:

$$KE_i = KE_f$$

$$KE_i = KE_{iA} + KE_{iB}$$

$$= 4.0\times10^{-3}\ \text{J} + 7.2\times10^{-3}\ \text{J}$$

$KE_i = 11.2\times10^{-3}\ \text{J}$

$KE_f = KE_{fA} + KE_{fB}$

$= 5.5\times10^{-3}\ \text{J} + 2.2\times10^{-3}\ \text{J}$

$= 7.7\times10^{-3}\ \text{J}$

KE ليست محفوظة

12. رميت كرة كتلتها 0.150 kg بسرعة متجهة مقدارها 30.0 m /s فضربت حائطًا، وارتدت عنه في الاتجاه المعاكس بسرعة مقدارها 25.0 m /s، ما مقدار الشغل التي بذلته الكرة؟

حفظ الطاقة:

$W_{\text{الكرة}} - \Delta KE = 0$

$W_{\text{الكرة}} = \Delta KE = KE_f - KE_i$

$KE_i = \frac{1}{2}mv_i^2 = (\frac{1}{2})\ (0.150\ \text{kg})(30.0\ \text{m/s})^2$

$= 67.5\ \text{J}$

$KE_f = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}\ (0.150\ \text{kg})(-25.0\ \text{m/s})^2$

$= 46.9\ \text{J}$

$W_{\text{الكرة}} = KE_f - KE_i$

$= 46.9\ \text{J} - 67.5\ \text{J}$

$= -20.6\ \text{J}$

الفصل الخامس

1. حـوّل درجات الحـرارة التالية من السلسـيوس إلى الكلفن.

a. −196°C

$T_K = T_C + 273 = -196°\text{C} + 273 = 77\ \text{K}$

b. 32°C

$T_K = T_C + 273 = 32°\text{C} + 273 = 305\ \text{K}$

c. 212°C

$T_K = T_C + 273 = 212°\text{C} + 273 = 485\ \text{K}$

d. −273°C

$T_K = T_C + 273 = -273°\text{C} + 273 = 0\ \text{K}$

e. 273°C

$T_K = T_C + 273 = 273°\text{C} + 273 = 546\ \text{K}$

f. 27°C

$T_K = T_C + 273 = 27°\text{C} + 273 = 300\ \text{K}$

2. أوجـد درجة حـرارة الأجسـام التالية بالسلسـيوس والكلفن.

a. متوسط درجة حرارة جسم الإنسان.

37°C, 310 K وتساوي تقريبًا 98.6°F

b. القهوة الساخنة.

70°C, 343 K تقريبًا

c. الشاي المثلج.

0°C, 273 K تقريبًا

d. الماء المغلي.

100°C, 373 K

3. حوّل درجات الحرارة التالية من الكلفن إلى السلسيوس.

a. 4K

$$T_C = T_K - 273 = 4\ K - 273 = -269°C$$

b. 25 K

$$T_C = T_K - 273 = 25\ K - 273 = -248°C$$

c. 272 K

$$T_C = T_K - 273 = 272\ K - 273 = -1°C$$

d. 373 K

$$T_C = T_K - 273 = 373 - 273 = 100°C$$

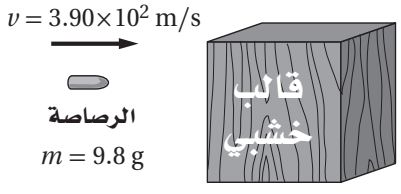
e. 298 K

$$T_C = T_K - 273 = 298\ K - 273 = 25°C$$

f. 316 K

$$T_C = T_K - 273 = 316\ K - 273 = 43°C$$

4. أطقت رصاصة كتلتها 9.8 g بسرعة 3.9×10^2 m /s، فأوقفها قالب خشبي. ما مقدار التغير في درجة حرارة الرصاصة إذا ذهب ربع طاقتها الحركية الأصلية في تسخين الرصاصة؟



$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\frac{1}{4}KE = Q = mC\Delta T$$

$$(\frac{1}{4})(\frac{1}{2})\ mv^2 = mC\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{(\frac{1}{8}v^2)}{C}$$

$$= \frac{(\frac{1}{8})(3.90\times10^2\ m/s^2)^2}{130\ J/kg.K}$$

$$= 1.5\times10^2\ K$$

5. مـا مقدار التغير في درجة حرارة 2.2 kg من المواد الواردة أدناه، إذا أضيفت إلى كل منها طاقة حرارية مقدارها 8.5×10^3 J ؟

a. جليد

$$\Delta T = \frac{Q}{mC}$$

$$= \frac{(8.5\times10^3\ J)}{(2.2\ kg)(2060\ J/kg.K)}$$

$$= 1.9\ K$$

b. ماء

$$\Delta T = \frac{Q}{mC}$$

$$= \frac{(8.5\times10^3\ J)}{(2.2\ kg)(4180\ J/kg.K)}$$

$$= 0.92\ K$$

c. بخار

$$\Delta T = \frac{Q}{mC}$$

$$= \frac{(8.5\times10^3\ J)}{(2.2\ kg)(2020\ J/kg.K)}$$

$$= 1.9\ K$$

d. ألومنيوم

$$\Delta T = \frac{Q}{mC}$$

$$= \frac{8.5\times10^3\ J}{(2.2\ kg)(897\ J/kg.K)}$$

$$= 4.3\ K$$

e. فضة

$$\Delta T = \frac{Q}{mC}$$

$$= \frac{8.5\times10^3\ J}{(2.2\ kg)(235\ J/kg.K)}$$

$$= 16\ K$$

f. نحاس

$$\Delta T = \frac{Q}{mC}$$

$$= \frac{8.5\times10^3\ J}{(2.2\ kg)(300\ J/kg.K)}$$

$$= 1.0\times10^1\ K$$

6. يمتص تمثال مصنوع من الجرانيت كتلته 2350 kg طاقة مقدارها 2.8×10^7 J من الشمس؛ لتتغير درجة

حرارته من 5.0 °C ليلاً إلى 20.0 °C نهارًا. حدد السعة الحرارية النوعية للجرانيت من خلال المعطيات السابقة.

$$Q = mCT$$

$$C = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{2.8 \times 10^7\ J}{(2350\ kg)(20.0°C - 5.0°C)}$$

$$= 7.9 \times 10^2\ J/kg.K$$

7. مزجت عينة ماء كتلتها 2.00×10^3 g عند درجة حرارة 100.0 °C مع عينة ماء أخرى كتلتها 4.00×10^3 g عند درجة حرارة 0.0 °C في مسعر حراري، ما درجة حرارة المزيج عند اتزانه؟

$$m_A C_A (T_f - T_{Ai}) + m_B C_B (T_f - T_{Bi}) = 0$$

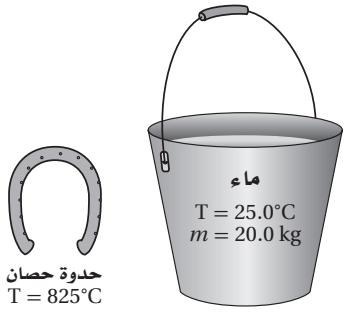
ولما كانت $C_A = C_B$ فإن السعة الحرارة النوعية يلغي بعضها بعضًا.

$$T_f = \frac{(m_A T_{Ai} + m_B T_{Bi})}{(m_A + m_B)}$$

$$= \frac{(2.00\ kg)(100.0°C) + (4.00\ kg)(0.0°C)}{(2.00\ kg + 4.00\ kg)}$$

$$= 33°C$$

8. سُخّنت حدوة حصان كتلتها 220 g إلى 825 °C ثم غمست في دلو مملوء بـ 20.0 kg من الماء عند درجة حرارة 25.0 °C. ما درجة حرارة الماء النهائية عند الاتزان؟ مع افتراض أنّه ليس هناك طاقة قد انتقلت إلى المحيط الخارجي.



$$m_A C_A (T_f - T_{Ai}) + m_B C_B (T_f - T_{Bi}) = 0$$

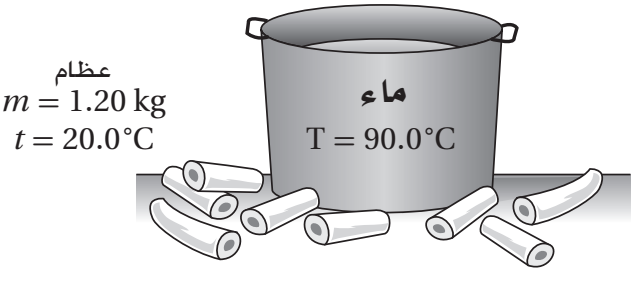
$$T_f = \frac{(m_A C_A T_{Ai} + m_B C_B T_{Bi})}{(m_A C_A + m_B C_B)}$$

$$= \frac{(0.22\ kg)(450\ J/kg.K)(825°C) + (20.0\ kg)(4180\ J/kg.K)(25.0°C)}{(0.22\ kg)(450\ J/kg.K) + (20.0\ kg)(4180\ J/kg.K)}$$

$$= 26°C$$

9. أراد طالب إيجاد السعة الحرارية النوعية للعظام، فأحضر 1.20 kg من عظام خروف وأضافها إلى 12.5 kg من الماء الساخن، وكانت درجة حرارة العظام 20 °C، أما درجة حرارة الماء الساخن فكانت 90. °C. إذا كانت السعة الحرارية النوعية للماء 4180 J /kg. K، ومع افتراض أنّه لا توجد حرارة مفقودة إلى المحيط الخارجي، فما السعة الحرارية النوعية للعظام إذا كانت درجة حرارة الاتزان هي 87.2 °C؟

باعتبار A ترمز إلى العظام، وB إلى الماء.



$$m_A C_A (T_f - T_{Ai}) + m_B C_B (T_f - T_{Bi}) = 0$$

$$C_A = -\frac{m_B C_B (T_f - T_{Bi})}{m_A (T_f - T_{Ai})}$$

$$= -\frac{(12.5\text{ kg})(4180\text{ J/kg.K})(87.2°\text{C}-90.0°\text{C})}{(1.20\text{ kg})(87.2°\text{C}-20.0°\text{C})}$$

$$= 1.81\times10^3\text{ J/kg.K}$$

10. وضعت أسطوانة نحاسية كتلتها 150.0 g ودرجة حرارتها 425 °C في قالب ثلج كبير درجة حرارته 0.00 °C. فما كتلة الجليد التي ستنصهر، مع افتراض أنّه ليس هناك فقدان في الطاقة إلى المحيط الخارجي.

تأتي الحرارة التي ستصهر الجليد من تبريد النحاس

$$Q = mC\Delta T$$

وتعمل هذه الكمية من الطاقة على صهر الجليد، لذا فإن

$$Q = m_{\text{جليد}}\, H_f$$

$$m_{\text{جليد}} = \frac{Q}{H_f} = \frac{mC\Delta T}{H_f}$$

$$= \frac{(0.1500\text{ kg})(385\text{ J/kg.°C})(425°\text{C}-0.00°\text{C})}{(3.34\times10^5\text{ J/kg})}$$

كتلة الجليد التي ستنصهر $= 0.0735\text{ kg}$

11. ما مقدار الطاقة اللازمة لصهر أونصة واحدة من الذهب (31.1 g) عند درجة انصهاره؟

$$Q = mH_f$$

$$= (0.0311\text{ kg})(6.30\times10^4\text{ J/kg})$$

$$= 1.96\times10^3\text{ J}$$

12. سكب فنان 1.00 cm^3 من الذهب السائل والذي درجة حرارته 1064 °C ببطء في قالب جليد كبير درجة حرارته 0.00 °C محاولاً صنع شكل مدهش بالذهب الذي كثافته 19.3 g/cm^3، وسعته الحرارية النوعية 128 J/kg.K. ما كتلة الجليد الذي سينصهر بعد أن يبرد الذهب جميعه وتصبح درجة حرارته 0.00 °C؟

تأتي الحرارة التي ستصهر الجليد من الطاقة المنطلقة عند تجمد الذهب، ومن الطاقة المنطلقة عندما يبرد الذهب من درجة انصهاره إلى أن تصبح درجة حرارته تساوي 0.00°C.

$$Q_{\text{كلية}} = Q_{\text{تجمد}} + Q_{\text{تبريد}}$$

$$Q_{\text{تجمد}} = mH_f$$

$$= (0.0193\text{ kg/cm}^3)(1.00\text{ cm}^3)$$

$$(6.30\times10^4\text{ J/kg})$$

$$= 1216\text{ J}$$

$$Q_{\text{تبريد}} = mC\Delta T$$

$$= (0.0193\text{ kg/cm}^3)(1.00\text{ cm}^3)$$

$$(128\text{ J/kg.°C})$$

$$(1064°\text{C} - 0.00°\text{C})$$

$$= 2628\text{ J}$$

$$Q_{\text{كلية}} = 1216\text{ J} + 2628\text{ J} = 3844\text{ J}$$

$$Q_{\text{تجمد}} = mH_f$$

$$m = \frac{Q_{\text{تجمد}}}{H_f}$$

$$= \frac{3844\text{ J}}{3.34\times10^5\text{ J/kg}} = 1.15\times10^{-2}\text{ kg}$$

13. تحتوي أسطوانة على 1.00 g من الماء بدرجة الغليان. سُخن الماء إلى أن تحوّل كله إلى بخار، ودفع البخار المتمدد مكبسًا مسافة 0.365 m. إذا كان هناك قوة احتكاك مقدارها 215 N تؤثر في عكس اتجاه حركة المكبس فما مقدار التغير في الطاقة الحرارية للماء؟

$$\Delta U = Q - W$$

$$Q = mH_v$$

$$= (1.00\times10^{-3}\text{ kg})(2.26\times10^6\text{ J/kg})$$

$$= 2.26\times10^3\text{ J}$$

$$W = Fd = (215\text{ N})(0.365\text{ m}) = 78.5\text{ J}$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$= 2.25\times10^3\text{ J} - 78.5\text{ J}$$

$$= 2.18\times10^3\text{ J}$$

14. ما مقدار التغير في درجة حرارة ماء بعد سقوطه من شلال ارتفاعه 50.0 m؟ افترض أنّ الماء كان ساكنًا قبل سقوطه وبعد وصوله قاع الشلال مباشرة.

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 0$$

و

$$W = \Delta KE = PE = mgh$$

$$Q = mC\Delta T$$

لذا فإن

$$mC\Delta T = mgh$$

$$\Delta T = \frac{gh}{C} = \frac{(9.80\ \text{m/s}^2)(50.0\ \text{m})}{(4180\ \text{J/kg.K})}$$

$$= 0.117\ \text{K}$$

15. احتكـت طوبتان مصنوعتـان من الرصاص كتلة كل واحدة منهما 6.35 kg ، إذا استمر احتكاكهما إلى أن ارتفعت درجتا حرارتهما 1.50 K فما مقدار الشغل المبذول على الطوبتين؟

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 0$$

و

$$W = Q = mC\Delta T$$

$$= (12.70\ \text{kg})(130\ \text{J/kg})(1.50\ \text{K})$$

$$= 2500\ \text{J}$$

الفصل السادس

1. استخدم **الجدول 1–6** لتقدير مقدار الضغط بوحدة (atm) الواقع على متسلق يقف على قمة جبل إفرست. وهـل هـذا الضغط أكبـر أم أقل من نصـف الضغط الجوي المعياري (1.0 atm)؟

$$(3\times10^4\ \text{Pa})\left(\frac{1.0\ \text{atm}}{1.0\times10^5\ \text{Pa}}\right) = 0.3\ \text{atm}$$

وهذا أقل من نصف الضغط الجوي المعياري.

2. ترتدي امرأة كتلتها 45 kg حذاءً له كعب عال بحيث يستند كل وزنها على الكعبين. إذا كانت مساحة كل كعـب $1.2\ \text{cm}^2$ فمـا مقـدار الضغط الـذي تؤثر به المرأة في الأرض؟

$$P = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{mg}{A}$$

$$= \left(\frac{(45\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{(2)\ (1.2\ \text{cm}^2)}\right)\left(\frac{100\ \text{cm}}{1\ \text{m}}\right)^2$$

$$= 1.8\times10^3\ \text{kPa}$$

3. طوبة أبعادها: $20.0\ \text{cm} \times 10.0\ \text{cm} \times 5.0\ \text{cm}$، ووزنها يساوي 20.0 N. ما مقدار الضغط الذي تؤثر به الطوبة عندمـا توضع على جانبها الأصغر مقارنةً بالضغط الذي تؤثر به عندما توضع على جانبها الأكبر؟

$$P_{\text{الأصغر}} = \frac{F}{A_{\text{الأصغر}}}$$

$$= \left(\frac{20.0\ \text{N}}{(10.0\ \text{cm})(5.0\ \text{cm})}\right)\left(\frac{100\ \text{cm}}{1\ \text{m}}\right)^2$$

$$= 4.0\times10^3\ \text{Pa}$$

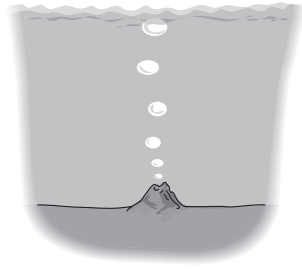
$$P_{\text{الأكبر}} = \frac{F}{A_{\text{الأكبر}}}$$

$$= \left(\frac{20.0\ \text{N}}{(20.0\ \text{cm})(10.0\ \text{cm})}\right)\left(\frac{100\ \text{cm}}{1\ \text{m}}\right)^2$$

$$= 1.00\times10^3\ \text{Pa}$$

يكون الضغط أكبر أربع مرات عندما توضع الطوبة على جانبها الأصغر.

4. ترتفع فقاعة غاز حجمها $1.20\ cm^3$ من تحت الماء كما هو موضح في الشكل أدناه، وفي أثناء ارتفاعها إلى السطح ازدادت درجة حرارتها من $27\ ^\circ C$ إلى $54\ ^\circ C$، وانخفض الضغط إلى ثلث قيمته الابتدائية. فما حجم الفقاعة عندما تصل إلى سطح الماء؟



$$T_1 = 27^\circ C + 273 = 300\ K$$

$$T_2 = 54^\circ C + 273 = 327\ K$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{T_1 P_2}$$

$$= \frac{P_1\,(1.20\ cm^3)(327\ K)}{(300\ K)\left(\frac{1}{3}\right)P_1}$$

$$= 3.9\ cm^3$$

5. تُشغل عينة من غاز الإيثان حيزًا حجمه $1.2\times10^{-2}\ m^3$ عند $46^\circ C$ و$2.4\times10^5\ Pa$. ما عدد مولات الإيثان الموجودة في العينة؟ وما مقدار كتلة العينة؟ علمًا بأن الكتلة المولية لغاز الإيثان $= 30.1\ g/mol$.

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{(2.4\times10^5\ Pa)(1.2\times10^{-2}\ m^3)}{(8.31\ Pa.m^3/mol.K)(319\ K)}$$

$$= 1.1 \text{ مول من الإيثان}$$

$$m = Mn$$

$$= (30.1\ g/mol)(1.1\ mol)$$

$$= 33\ g$$

6. الثابت R يساوي $8.31\ Pa.m^3/mol.K$ كما تم تعرُّفه في قانون الغاز المثالي في هذا الفصل. ويشغل مول واحد من الغاز المثالي حيزًا حجمه $22.4\ L$ عند درجة الحرارة والضغط المعياريين، والمعرّفين عند $0.00\ ^\circ C$ و $1.00\ atm$. أوجد قيمة الثابت R بوحدة $L.atm/mol.K$، من خلال المعطيات السابقة.

$$R = \frac{PV}{nT}$$

$$= \frac{(1.00\ atm)(22.4\ L)}{(1\ mol)(273\ K)}$$

$$= 0.0821\ L.atm/mol.K$$

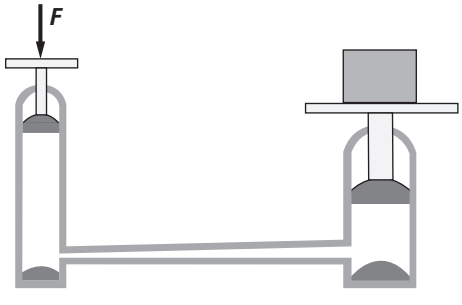
7. افترض أنّ لديك مكبسين أسطوانيين متصلين معًا، فأثبت أنّ النسبة بين القوتين المؤثرتين تتناسب طرديًّا مع مربع نصفي قطر المقطعين العرضيين لسطحيهما الدائريين.

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$\frac{F_1}{\pi r_1^2} = \frac{F_2}{\pi r_2^2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$ **تناسب طردي**

8. إذا كانت نسبة مساحة المقطع العرضي للمكبسين في النظام الموضح أدناه هي 25 إلى 1، وكانت القوة القصوى التي يمكن تطبيقها على المكبس الصغير 12 N، فما أكبر وزن يمكن أن يرفعه هذا المكبس؟



$$F_1 = \frac{(F_2 A_1)}{A_2}$$

$$= \frac{(12\ N)(25)}{1}$$

$$= 3.0\times10^2\ N$$

9. تستقرّ سيارة كتلتها $1.35\times10^3\ \text{kg}$، على مكبس هيدروليكي كبير مساحة سطحه $1.23\ \text{m}^2$ ومتصل بمكبس صغير مساحة سطحه $144\ \text{cm}^2$. ما وزن السيارة؟ وكم يجب أن تكون القوة التي يؤثر بها الميكانيكي في المكبس الصغير حتى يرفع السيارة؟

$$F_g = mg = (1.35\times10^3\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 1.32\times10^4\ \text{N}$$

$$F_2 = \frac{(F_1 A_2)}{A_1}$$

$$= \frac{(mgA_2)}{A_1}$$

$$= \frac{(1.35\times10^3\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.44\times10^{-2}\ \text{m}^2)}{(1.23\ \text{m}^2)}$$

$$= 155\ \text{N}$$

10. على أيّ عمق في الماء العذب يؤثر الماء في غواص بضغط مقداره $1.00\ \text{atm}$، حيث $1\ \text{atm} = 1.013\times10^5\ \text{Pa}$؟

$$P = \rho g h$$

$$h = \frac{P}{(\rho g)}$$

$$= \frac{1.013\times10^5\ \text{N/m}^2}{(1.00\times10^3\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 10.3\ \text{m}$$

11. يطفو جبل جليدي على سطح البحر، حيث يكون جزء منه تحت مستوى سطح الماء والآخر مكشوفًا (فوق سطح الماء). أثبت أنَّ قيمة $\frac{V_{\text{المغمور}}}{V_{\text{الكلي}}}$ تساوي $\frac{\rho_{\text{الجليد}}}{\rho_{\text{ماء البحر}}}$. ما نسبة الجزء المكشوف من الجبل الجليدي، علمًا بأن كثافة ماء البحر $1.03\times10^3\ \text{kg/m}^3$، وكثافة الجليد $0.92\times10^3\ \text{kg/m}^3$؟

لما كان الجليد يطفو فإن

$$F_{\text{الطفو}} = F_g$$

$$\rho_{\text{ماء البحر}} V_{\text{المغمور}} g = \rho_{\text{جليد}} V_{\text{الكلي}} g$$

$$\frac{V_{\text{المغمور}}}{V_{\text{الكلي}}} = \frac{\rho_{\text{الجليد}}}{\rho_{\text{ماء البحر}}}$$

وهذه نتيجه عامة للأجسام الطافية

$$\frac{\rho_{\text{الجليد}}}{\rho_{\text{ماء البحر}}} = \frac{(0.92\times10^3\ \text{kg/m}^3)}{(1.03\times10^3\ \text{kg/m}^3)}$$

$$= 0.89$$

لذا فإن 89 % من الجبل الجليدي مغمور و 11 % منه مكشوف أو طافٍ.

12. طوبة أسمنتية معامل تمددها الحجمي $\beta = 36\times10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1}$ وحجمها $0.035\ \text{m}^3$ ودرجة حرارتها $30.0\ ^\circ\text{C}$. تمّ تبريدها لتصبح درجة حرارتها $-10.0\ ^\circ\text{C}$. ما مقدار التغير في حجمها؟

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

$$= (36\times10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1})(0.035\ \text{m}^3)(-10.0\ ^\circ\text{C} - 30.0^\circ\text{C})$$

$$= -5.0\times10^{-5}\ \text{m}^3$$

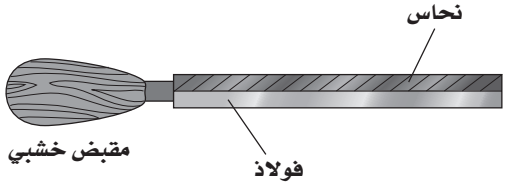
13. استخدمت مرآة زجاجية في تلسكوب موضوع على قمة جبل، وكانت تلك المرآة تتعرض لدرجات حرارة تتراوح بين $-15\ ^\circ\text{C}$ و$45\ ^\circ\text{C}$. إذا كان قطر المرآة عند درجة الحرارة الدنيا $5.1\ \text{m}$ وكان معامل التمدد الطولي لزجاجها $3.0\times10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1}$ فما أكبر تغير في قطر المرآة عندما تخضع للتمدد الحراري؟

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

$$= (3.0\times10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1})(5.1\ \text{m})\big(45\ ^\circ\text{C} - (-15\ ^\circ\text{C})\big)$$

$$= 9.2\times10^{-4}\ \text{m}$$

14. يتكوّن شريط ثنائي الفلز من قطعة نحاس معامل تمددها الطولي $\alpha = 16\times10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1}$ وقطعة فولاذ معامل تمددها الطولي $\alpha = 8\times10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1}$ وكانت القطعتان بالطول نفسه عند درجة حرارة الغرفة.



a. عندما يسخن الشريط فما نسبة التغير في طول النحاس إلى طول الفولاذ؟

$$\frac{\Delta L_{\text{نحاس}}}{\Delta L_{\text{فولاذ}}} = \frac{\alpha_{\text{نحاس}} L_1 \Delta T}{\alpha_{\text{فولاذ}} L_1 \Delta T}$$

$$= \frac{\alpha_{\text{نحاس}}}{\alpha_{\text{فولاذ}}}$$

$$= \frac{(16\times 10^{-6}\ °C^{-1})}{(8\times 10^{-6}\ °C^{-1})} = \frac{2}{1}$$

b. كيف ينحني الشريط عندما يسخن إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة، وعندما يُبرّد إلى أقل من درجة حرارة الغرفة؟

عندما يسخن الشريط الثنائي الفلز ينحني بحيث يكون النحاس على السطح الخارجي للمنحنى، وعندما يبرد ينحني في الاتجاه العكسي، حيث يكون النحاس في الجزء الداخلي للمنحنى.

15. حجم كرة رصاص مربوطة كثقل بصنارة صيد $1.40\times10^{-5}\ m^3$. إذا كانت كثافة الرصاص $1.2\times10^4\ kg/m^3$ فما الوزن الظاهري للثقل (كرة الرصاص) عندما يغطس في الماء العذب؟ وهل الوزن الظاهري للثقل عندما يغطس في ماء البحر أكبر من وزنه الظاهري عندما يغطس في الماء العذب أم أقل منه؟ وضّح إجابتك، علمًا بأن كثافة ماء البحر أكبر قليلاً من كثافة الماء العذب.

$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

$$= \rho_{\text{الرصاص}} gV - \rho_{\text{الماء}} gV$$

$$= gV(\rho_{\text{الرصاص}} - \rho_{\text{الماء}})$$

$$= (9.80\ m/s^2)(1.40\times10^{-5}\ m^3)$$

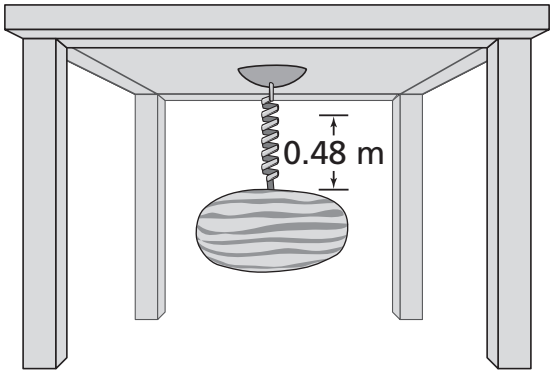
$$(1.2\times10^4\ kg/m^3 - 1.00\times10^3\ kg/m^3)$$

$$= 1.5\ N$$

تكون قوة الطفو أكبر قليلًا في ماء البحر، وذلك لأن كثافته أكبر. لذا فإن الوزن الظاهري للثقل وهو مغمور في ماء البحر يكون أصغر قليلاً مما لو كان مغمورًا في الماء العذب.

الفصل السابع

1. ما كتلة البطيخة الموضحة في الشكل أدناه، إذا كان ثابت النابض يساوي 128 N/m؟



$$F = kx = mg$$

$$m = \frac{kx}{g} = \frac{(128\ N/m)(0.48\ m)}{(9.80\ m/s^2)}$$

$$= 6.3\ kg$$

2. ما مقدار استطالة نابض معلّق رأسيًّا عند تعليق صندوق كتلته 2.6 kg في نهايته إذا كان ثابت النابض له يساوي 89 N/m؟

$$F = kx = mg$$

$$x = \frac{mg}{k} = \frac{(2.6\ kg)(9.80\ m/s^2)}{(89\ N/m)}$$

$$= 0.29\ m$$

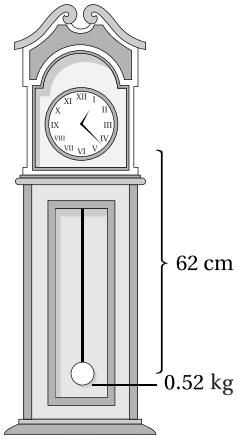
$$= 29\ cm \quad \text{أو}$$

3. ما مقدار طاقة الوضع المرونية لنابض عندما يستطيل 18 cm إذا كان ثابت النابض له يساوي 54 N/m؟

$$PE_{sp} = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} (54\ N/m)\ (0.18\ m)^2$$

$$= 0.87\ J$$

4. ما الزمن الدوري لبندول الساعة المبينة في الشكل أدناه؟



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{(0.62\ \text{m})}{(9.80\ \text{m/s}^2)}}$$

$$= 1.6\ \text{s}$$

5. إذا كان الزمن الدوري لبندول ساعة 0.95 s فكم يجب أن يزيد طول البندول حتى يكون الزمن الدوري له 1.0 s؟

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$l = \frac{gT^2}{4\pi^2}$$

$$l_2 - l_1 = \frac{g}{4\pi^2}(T_2^2 - T_1^2)$$

$$= \left(\frac{9.80\ \text{m/s}^2}{4\pi^2}\right)((1.0\ \text{s}^2 - (0.95\ \text{s})^2)$$

$$= 0.024\ \text{m} = 2.4\ \text{cm}$$

يجب أن يزيد طول البندول 2.4 cm.

6. ما طول بندول زمنه الدوري 89.4 ms؟

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$l = \frac{gT^2}{4\pi^2} = \frac{(9.80\ \text{m/s}^2)(89.4\times10^{-3}\ \text{s})^2}{4\pi^2}$$

$$= 1.98\times10^{-3}\ \text{m}$$

$$= 1.98\ \text{mm}$$

7. يقطع عمر شجرة في أرض جرداء مكشوفة (لا شجر أو حواجز فيها)، وكان أسامة يقف على الطرف الآخر للأرض، فيرى الفأس ينزل ويضرب الشجرة، ويسمع صوت الضربة بعد 1.5 s. فما عرض هذه الأرض؟

$$d = vt$$

$$= (343\ \text{m/s})(1.5\ \text{s}) = 5.1\times10^2\ \text{m}$$

8. ضرب يوسف وترًا في المختبر فنتجت نغمة ترددها 256 Hz.

a. ما الطول الموجي لتلك النغمة إذا كانت سرعة الصوت في المختبر 340 m /s؟

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{(340\ \text{m/s})}{(256\ \text{Hz})} = 1.3\ \text{m}$$

b. ما مقدار الزمن الدوري للموجة (النغمة)؟

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{256\ \text{Hz}}$$

$$= 0.00391\ \text{s}\ \text{أو}\ 3.91\ \text{ms}$$

9. يقف محمد على رصيف حاجز لأمواج البحر ولاحظ أنّ هناك موجة واحدة تمر كل 4.2 s. وكانت المسافة بين القمم 12.3 m.

a. ما تردد الموجة؟

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4.2\ \text{s}}$$

$$= 0.24\ \text{Hz}$$

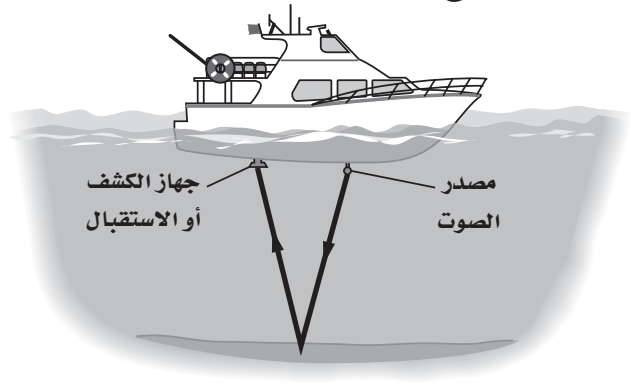
b. ما سرعة الموجة؟

$$v = \lambda f = \lambda\left(\frac{1}{T}\right) = (12.3\ \text{m})\left(\frac{1}{4.2\ \text{s}}\right)$$

$$= 2.9\ \text{m/s}$$

الفصل الثامن

1. استخدمت الموجات الصوتية لتحديد عمق بحيرة عذبة، كما هو موضح في الشكل أدناه. فإذا كانت درجة حرارة الماء 25 °C، واستغرق الصدى 1.2 s حتى يرجع إلى جهاز الاستقبال، فما عمق البحيرة؟



$$\text{العمق} = vt = (1493\ \text{m/s})\left(\frac{1.2\ \text{s}}{2}\right) = 9.0\times10^{2}\ \text{m}$$

2. أوجد الطول الموجي لموجة ترددها 8300 Hz في النحاس.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{(3560\ \text{m/s})}{(8300\ \text{Hz})} = 0.43\ \text{m}$$

3. تقف سارة على بعد 58.2 m من نجوى. فإذا نادتها نجوى، فما الزمن المستغرق حتى تسمعها سارة، علمًا بأنَّ سرعة الصوت 343 m/s؟

$$t = \frac{d}{v} = \frac{(58.2\ \text{m})}{(343\ \text{m/s})} = 0.170\ \text{s}$$

4. إذا كان تردد صوت محرك دراجة نارية 85 Hz، وكانت الدراجة تتحرك بسرعة 29.6 m/s في اتجاه مراقب ساكن، فما التردد الذي سيسمعه المراقب، علمًا بأنّ سرعة الصوت 343 m/s؟

$$v_d = 0 \text{ و } f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

لذا فإن

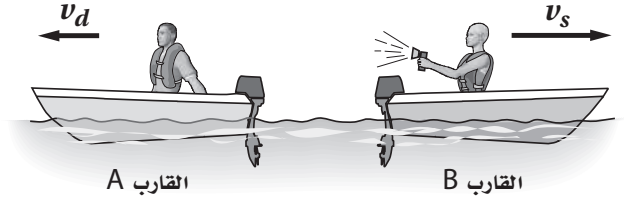
$$f_d = f_s\left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}\right) = (85\ \text{Hz})\left(\frac{1}{1 - \frac{29.6\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}}\right) = 93\ \text{Hz}$$

5. إذا كانت سرعة موجة في وتر طوله 78 cm معروفة على أنّها تساوي 370 m/s، فما مقدار التردد الأساسي؟

$$\lambda_1 = 2L = (2)(0.78\ \text{m}) = 1.56\ \text{m}$$

$$f_1 = \frac{v}{2L} = \frac{370\ \text{m/s}}{1.56\ \text{m}} = 240\ \text{Hz}$$

6. يتحرك القارب A بسرعة 4.6 m/s، ويبتعد القارب B عن القارب A بسرعة 9.2 m/s، كما هو موضح في الشكل أدناه. إذا أطلق قبطان القارب B صوتًا منبهًا من بوق بتردد 550 Hz، فما التردد الذي سيسمعه قبطان القارب A؟ علمًا بأنّ سرعة الصوت 343 m/s.



$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right) = (550\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s} - 4.6\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s} - (-9.2\ \text{m/s})}\right) = 5.3\times10^{2}\ \text{Hz}$$

7. تتحرك غواصة في اتجاه كاشف صوت ثابت. فإذا أطلقت الغواصة صوتًا بتردد 260 Hz، فاستقبله الكاشف بتردد 262 Hz فما سرعة حركة الغواصة، علمًا بأنَّ سرعة الصوت في ماء البحر 1533 m/s؟

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$v_d = 0 \text{ و}$$

لذا فإن

$$v - v_s = \frac{f_s v}{f_d}$$

$$v_s = v\left(1 - \frac{f_s}{f_d}\right)$$

$$= (1533\ \text{m/s})\left(1-\frac{260\ \text{Hz}}{262\ \text{Hz}}\right)$$

$$= 12\ \text{m/s}$$

8. وضعت شوكة رنانة فوق أنبوب طرفه الآخر مغمور في الماء. إذا حدث للأنبوب رنين عند الطولين 15 cm و 35 cm، فما تردد الشوكة الرنانة، علمًا بأنَّ سرعة الصوت 343 m /s؟

الأنبوب المغلق:

$$\lambda = 2(L_B - L_A)$$

$$= (2)(0.35\ \text{m} - 0.15\ \text{m}) = 0.40\ \text{m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343\ \text{m/s}}{0.40\ \text{m}}$$

$$= 8.6\times10^2\ \text{Hz}$$

9. وضعت شوكة رنانة ترددها 350 Hz فوق أنبوب طرفه الآخر مغمور في الماء. فما الفواصل بين أوضاع الرنين للأنبوب إذا كانت سرعة الصوت 348 m /s؟

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

و

$$L_B - L_A = \frac{\lambda}{2}$$ **للأنبوب المغلق**

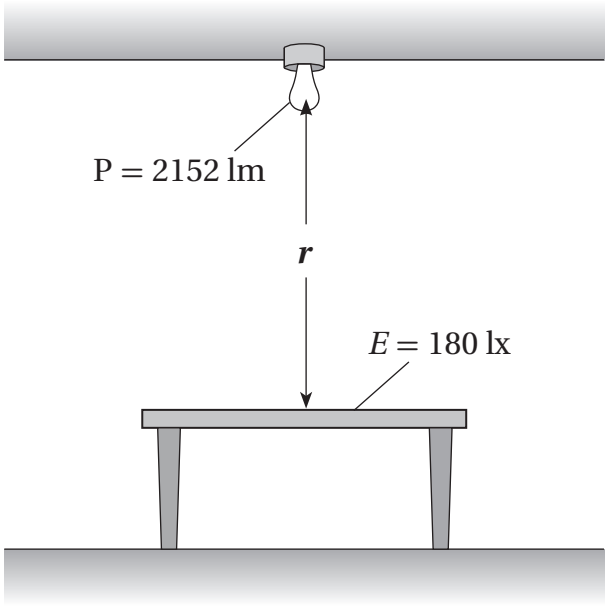
لذا فإن

$$L_B - L_A = \frac{v}{2f} = \frac{348\ \text{m/s}}{(2)(350\ \text{Hz})}$$

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

الفصل التاسع

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. ما التدفق الضوئي لمصباح كهربائي يدوي تكون استضاءته على سطح الماء 145 lx، وذلك عندما يرتفع المصباح مسافة 0.5 m فوق سطح الماء؟

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

$$P = 4\pi r^2 E = 4\pi\ (0.50\ \text{m})^2\ (145\ \text{lx})$$

$$= 4.6\times10^2\ \text{lm}$$

3. ثُبتت ثُريّا تحتوي على ثلاثة مصابيح كهربائية بالسقف، وكان التدفق الضوئي لكل مصباح 1892 lm. إذا ثُبتت الثريَّا على ارتفاع 1.8 m فوق أرضية الغرفة فما مقدار الاستضاءة على هذه الأرضية؟

$$E = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{(3)(1892\ \text{lm})}{4\pi\ (1.8\ \text{m})^2} = 1.4\times10^2\ \text{lx}$$

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؟

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{المراقب}} - \lambda$$
$$= 5.14\times10^{-7}\ \text{m} - 5.25\times10^{-7}\ \text{m}$$
$$\Delta\lambda = -\frac{v}{c}\,\lambda$$
$$v = -c\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)$$
$$= -(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})\,\frac{(5.14\times10^{-7}\ \text{m} - 5.25\times10^{-7}\ \text{m})}{(5.25\times10^{-7}\ \text{m})}$$
$$= 6.29\times10^{6}\ \text{m/s}$$

الفصل العاشر

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؟

$$\text{الفرق} = 54° - 25°$$
$$= 29°$$

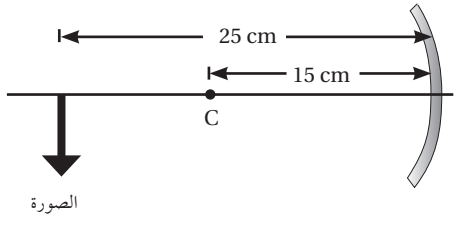
2. ينعكس شعاع ضوء عن مرآة مستوية، كما هو موضح في الشكل أدناه. ما مقدار زاوية الانعكاس؟

$$\theta_i = 90° - \text{(الزاوية بين الشعاع والمرآة)}$$
$$= 90° - 13° = 77°$$
$$\theta_r = \theta_i$$
$$= 77°$$

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؟



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

$$f = \frac{15\text{ cm}}{2}$$
$$= 7.5\text{ cm}$$
$$d_o = \frac{fd_i}{d_i - f}$$
$$= \frac{(7.5\text{ cm})(25\text{ cm})}{25\text{ cm} - 7.5\text{ cm}}$$
$$= 1.0 \times 10^1\text{ cm}$$

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؟

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$
$$h_i = mh_o$$
$$= (-2.3)(3.5\text{ cm})$$
$$= -8.2\text{ cm}$$

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؟

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f}$$
$$= \frac{(-0.8\text{ m})(2.3\text{ m})}{2.3 - (-0.8\text{ m})}$$
$$= -0.6\text{ m}$$
$$m = \frac{-d_i}{d_o}$$
$$= \frac{-(-0.6\text{ m})}{(2.3\text{ m})}$$
$$= 0.3$$

8. ما طول الصورة في المسألة السابقة؟

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$
$$h_i = mh_o$$
$$= (0.3)(6.2\text{ m})$$
$$= 2\text{ m}$$

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 الحادي عشر

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؟

$$d_i = \frac{f d_o}{d_o - f}$$
$$= \frac{(8.4\text{ cm})(16\text{ cm})}{(16\text{ cm} - 8.4\text{ cm})}$$
$$= 17.7\text{ cm}$$

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$
$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o} = \frac{-(17.7\text{ cm})(5.0\text{ cm})}{16\text{ cm}}$$
$$= -5.5\text{ cm}$$

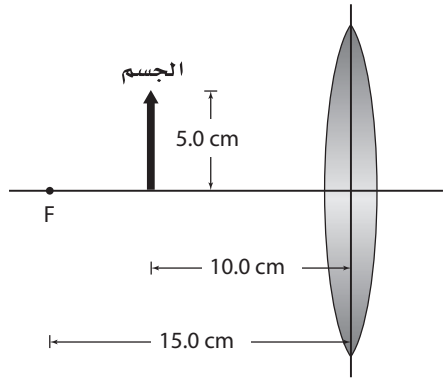
الصورة مقلوبة بالنسبة إلى الجسم.

6. وضع جسم على بعد 185 cm من عدسة محدبة بعدها 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 جسم على بعد 15.0 cm من العدسة فإنَّ الصورة المتكوّنة تكون أكبر 55 مرة من حجم الجسم. فما البعد البؤري للعدسة؟

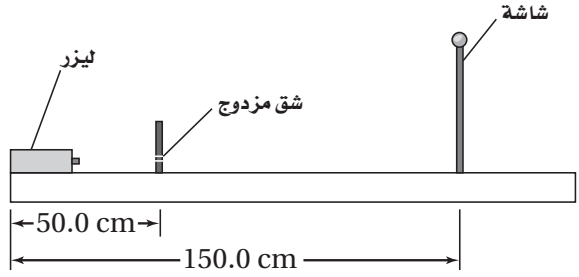
$$m = \frac{-d_i}{d_o}$$
$$d_i = -md_o$$
$$= -(55)(15.0\text{ cm})$$
$$= -825\text{ cm}$$
$$f = \frac{d_i d_o}{d_i + d_o}$$
$$= \frac{(-825\text{ cm})(15.0\text{ cm})}{(-825\text{ cm}) + (15.0\text{ cm})}$$
$$= 15.3\text{ cm}$$

9. تكوّن عدسة مقعرة بعدها البؤري -220 cm صورة خيالية طولها 36 cm. إذا وضع الجسم 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 الثاني عشر

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؟

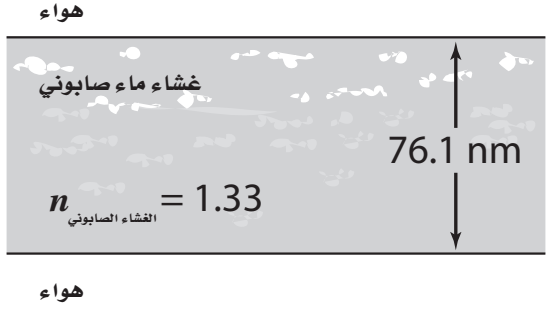
$$L = 104.0\ cm - 50.0\ cm$$
$$= 54.0\ cm$$

$$\lambda = \frac{xd}{L}$$
$$= \frac{(1.42\times10^{-2}\ m)(2.0\times10^{-5}\ m)}{(0.54\ m)}$$
$$= 5.3\times10^{-7}\ m$$
$$= 530\ nm$$

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؟

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

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{d}\right)$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{5.89\times 10^{-7}\ \text{m}}{3.40\times 10^{-6}\ \text{m}}\right)$$

$$= 9.98°$$

$$\tan \theta = \frac{x}{L}$$

$$L = \frac{x}{\tan \theta}$$

$$= \frac{0.25\ \text{m}}{\tan 9.98°}$$

$$= 1.4\ \text{m}$$