تم تحميل وعرض المادة من

موقع حلول كتبي

المدرسة أونلاين

موقع
حلول كتبي

https://hululkitab.co

جميع الحقوق محفوظة للقائمين على الموقع

للعودة إلى الموقع إبحث في قوقل عن : موقع حلول كتبي

المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

فيزياء ٢

التعليم الثانوي- نظام المقررات

(مسار العلوم الطبيعية)

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة ١٤٤٣ - ٢٠٢١

يوزع مجاناً ولا يباع

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 1

الحركة الدورانية
Rotational Motion

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الحركة الدورانية وقياسها.
- تَعرُّف كيفية تغيير العزم للسرعة المتجهة الدورانية.
- استكشاف العوامل التي تؤثر في استقرار جسم ما.
- توضيح أن القوة الطاردة المركزية قوة وهمية.

الأهمية

تشاهد الكثير من الأجسام التي تتحرك حركة دورانية في حياتك اليومية ، ومنها قرص الحاسوب المدمج CD ، والإطارات، وبعض الألعاب في مدينة الألعاب.

العربة الدوّارة تُصمَّم العربات الدوارة في مدن الألعاب، بحيث تحقق للراكب الإثارة؛ فهي تشعر الراكب بالابتهاج في أثناء دوران العربات. وتخضع حركة هذه العربات لقوانين فيزياء الحركة الدورانية ومبادئها.

فكّر ◄

لماذا يتعرض الراكب في العربة الدوارة لردود فعل بدنية قوية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 1

الحركة الدورانية

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؟

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

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

$$= 0.354 \text{ m}$$

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.

$$\alpha_1 = 5.23 \text{ rad/s}^2$$

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

$$= 7.7 \text{ rad/s}^2$$

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

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

$$= 2.36\times10^6 \text{ s}$$

   b. السرعة الزاوية لدوران القمر بوحدة rad/s.

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

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

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

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

$$v = r\omega$$

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

$$= 4.63 \text{ m/s}$$

   d. النسبة بين مقدار السرعة في الفرع السابق والسرعة الناتجة عند دوران الأرض لشخص يقف على خط الاستواء. علمًا 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؟

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

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

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

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

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 $\theta = 90.0^\circ$.

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

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

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

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

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؟

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

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

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

$$= 36.6^\circ$$

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 $90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$.

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

$$= mgr\sin\theta$$

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

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

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

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

$$= mgr\,(\sin 0.0^\circ)$$

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

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.

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

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

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

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

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

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

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؟

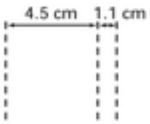
$$\tau_{\text{السلسلة}} = F_g r$$

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

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

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؟



A

0.23kg

■ الشكل 6–1

$$\tau_1 = \tau_2$$

$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

$$m_1 g r_1 = m_2 g r_2$$

$$m_1 = \frac{m_2 r_2}{r_1}$$

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

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

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

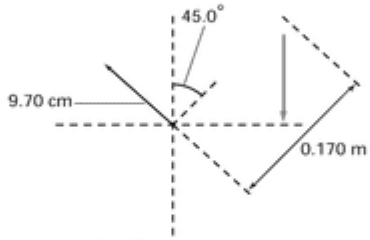
$$m_1 = \frac{m_2 r_2}{r_1}$$

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

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

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.

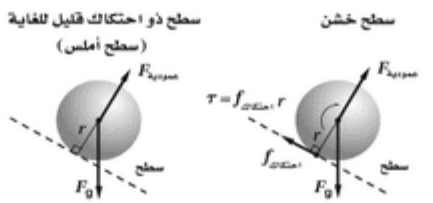
تابع الفصل 1

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:

$$F_{\text{المركز}} = F_g = (24\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 2.4\times10^2\ \text{N}$$
$$F_{\text{الطرف}} = 0\ \text{N}$$

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 كليًا 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 $\omega = \frac{v}{r}$.

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 أدِر 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

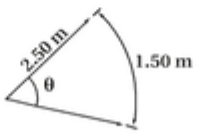
50. نصف قطر الحافة الخارجية لإطار سيارة 45 cm وسرعته 23 m/s، ما مقدار السرعة الزاوية للإطار بوحدة rad/s؟

$$v = r\omega$$

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

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

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**

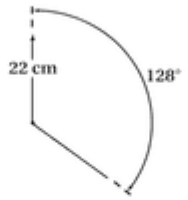
$$d = r\theta$$

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

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

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

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**

$$d = r\,\theta$$

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

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؟

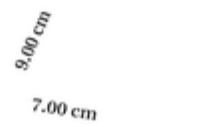
$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

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

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

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

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؟

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

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

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

$$= 1.65$$

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

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

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

$$= 71 \text{ g}$$

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؟

$$a_c = \omega^2 r$$

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

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

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

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؟

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

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

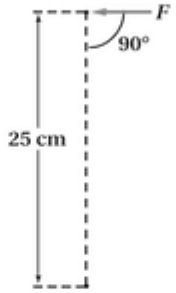
لأقل قوة ممكنة تكون الزاوية $90.0°$، لذا فإن:

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

$$= 23 \text{ N}$$

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

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

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

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

3–1 الاتزان Equilibrium

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).

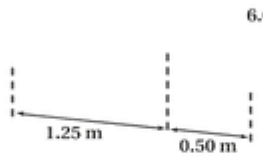
$$F_{\text{أكبر}} = mg$$

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

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

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.

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

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

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

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

$$F_{\text{يمين}} = 63\ \mathrm{N}$$

وبتعويض النتيجة السابقة في معادلة القوة:

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

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

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

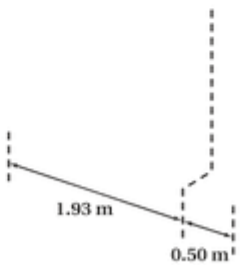
$$= -(63\ \mathrm{N}) - (4.25\ \mathrm{kg})\,(-9.80\ \mathrm{m/s^2}) - (6.00\ \mathrm{kg})(-9.80\ \mathrm{m/s^2})$$

$$= 37\ \mathrm{N}$$

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.

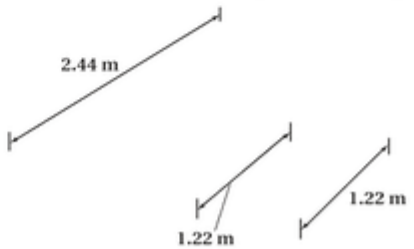
69. إذا كان طـول عقـرب الثوانـي في سـاعة يـد 12 mm، فما سرعة دورانه؟

$$v = r\omega$$

$$= (0.012\ \text{m})\left(\frac{-2\pi\ \text{rad}}{\text{min}}\right)\left(\frac{\text{min}}{60\ \text{s}}\right)$$

$$= -1.3 \times 10^{-3}\ \text{m/s}$$

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 متساو. 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 $1.75 - 0.848 = 0.90$ m 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 ($F_{\text{شدّ}}$). فالعزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة متزنة مع العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

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

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

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

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

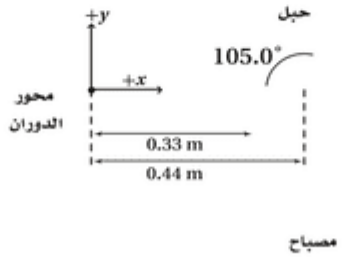
الشد الكلي يساوي:

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

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

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

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 ($F_{\text{شد}\,y}$). العزوم التي في اتجاه حركة عقارب الساعة متزنة مع العزوم التي في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

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

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

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

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

الشد الكلي يساوي:

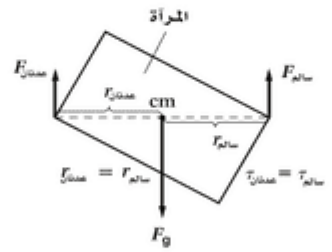
$$F_{\text{شد}} = \frac{F_{\text{شد}\,y}}{\sin 105^\circ} = \frac{F_{\text{القضيب}}\, r_{\text{القضيب}} + F_{\text{المصباح}}\, r_{\text{المصباح}}}{r_{\text{الحبل}} \sin 105^\circ}$$

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

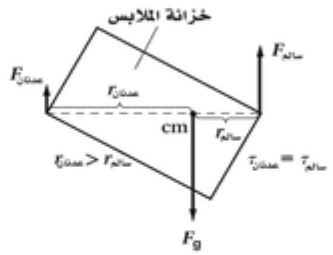
$$F_{\text{شد}} = 64\ \text{N}$$

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.

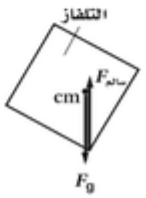


b. ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا فيه عدنان يؤثر بقوة أكبر في أسفل خزانة الملابس.



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؟

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

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

الفصل 2

الزخم وحفظه

Momentum & Its Conservation

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الزخم والدفع، وتوظيف العلاقات والمفاهيم المرتبطة معهما عند التعامل مع الأجسام المتفاعلة.
- ربط القانون الثالث لنيوتن في الحركة مع قانون حفظ الزخم.

الأهمية

الزخم هو مفتاح النجاح في العديد من الألعاب الرياضية، ومنها البيسبول، وكرة القدم، وهوكي الجليد، والتنس.

البيسبول تتعلق أحلام لاعبي البيسبول بتمكنهم من ضرب الكرة لتتخذ مساراً طويلاً يأخذها إلى خارج الملعب. فعندما يقوم لاعب بضرب الكرة يتغير شكل كل من الكرة والمضرب لحظة تصادمهما تحديداً، ثم يتغير زخم كل منهما. ويحدد التغير في الزخم الناتج عن التصادم نجاح اللاعب في الضربة.

فكّر ◄

ما القوة المؤثرة في مضرب البيسبول عند ضرب الكرة إلى خارج الملعب؟

وزارة التعليم
2021 - 1443

الفصل
2 الزخم وحفظه

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؟

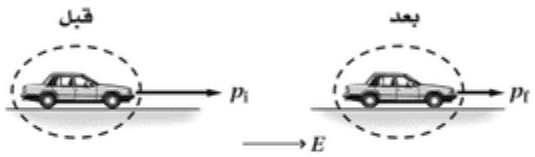
$$\text{الدفع} = F\Delta t$$

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

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

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

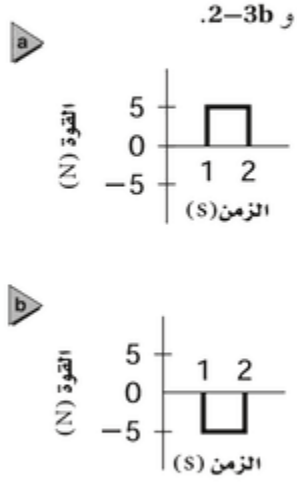
$p_f = mv_f$

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

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

$= 65\ \text{km/h}$ 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. $F\Delta t = p_f - p_i = mv_f - mv_i$

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

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

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

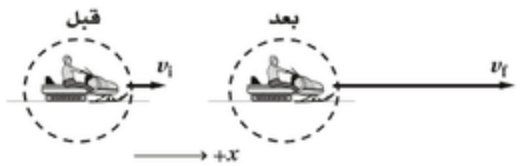
b. $v_f = \dfrac{F\Delta t + mv_i}{m}$

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

$= 1.3\ \text{m/s}$ 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؟

$\Delta p = F\Delta t$

$= m(v_f - v_i)$

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

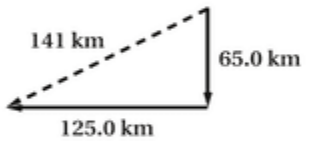
$= 5.28\times10^3\ \text{kg.m/s}$

c. ما مقدار متوسط القوة التي أثرت في العربة؟

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

$= 88.0\ \text{N}$

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؟

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

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

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

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

$$= 7.8\times10^{3}\ \text{N}$$ **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.

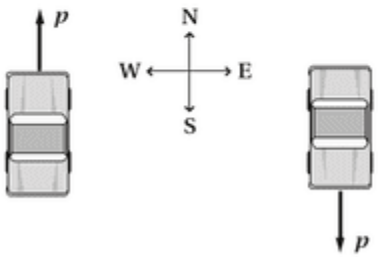
مراجعة القسم

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.

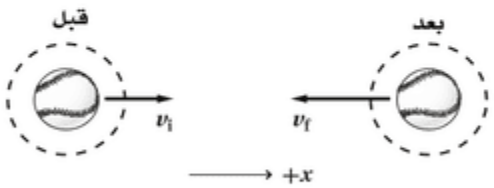
لقد قلّلت القوة بزيادة الفترة الزمنية التي استغرقتها لإيقاف حركة جسمك.

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؟

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

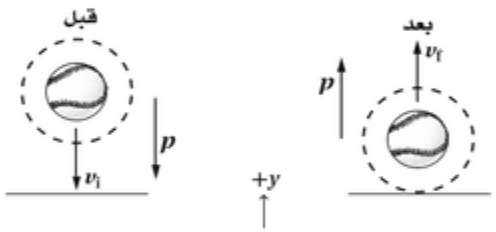
$$F = \frac{m(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

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

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

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 $3.0\times10^5\ \text{kg}$، فالتصقتا معًا، فإذا كانت سرعة إحداهما قبل التصادم مباشرة $2.2\ \text{m/s}$، 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 $0.105\ \text{kg}$ بسرعة $24\ \text{m/s}$، فيمسك به حارس مرمى كتلته $75\ \text{kg}$ 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؟

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

حيث إن v_f هي السرعة النهائية المشتركة للرصاصة وقطعة الخشب.

لما كانت

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

فإن

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

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

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

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؟

275 m/s

طحين

■ **الشكل 5–2**

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

حيث إن

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$p_f = p_i$$

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

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

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

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

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

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

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

$$= 36.6^\circ\ \text{شمال الغرب}$$

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:

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

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

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

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

$$p_f = p_i$$

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

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

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

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

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

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

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

$$= 15.9^\circ \text{ جنوب الشرق}$$

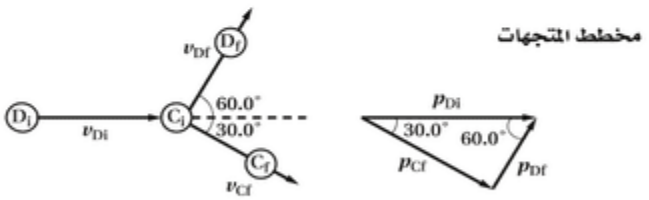
23. تعرضت كرة بلياردو ساكنة كتلتها 0.17 kg للاصطدام بكرة مماثلة لها متحركة بسرعة 4.0 m/s، فتحركت الكرة الثانية بعد التصادم في اتجاه يميل 60.0° إلى يسار اتجاهها الأصلي، في حين تحركت الكرة الأولى في اتجاه يميل 30° إلى يمين الاتجاه الأصلي للكرة المتحركة. ما سرعة كل من الكرتين بعد التصادم؟

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

حيث

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

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



يزوّدنا 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.

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

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

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

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

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

ويمكننا استخدام معادلة الزخم للكرة المتحركة لإيجاد سرعتها المتجهة النهائية.

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

$$p_f = p_i$$

$$= (m_1 + m_2) v_f$$

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

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

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

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

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

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

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

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

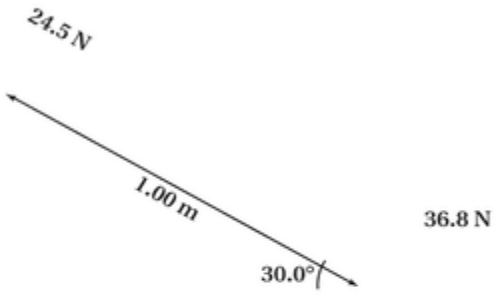
نعم، إنها تتعدى حد السرعة

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.

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

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 نظام 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 نظام 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.

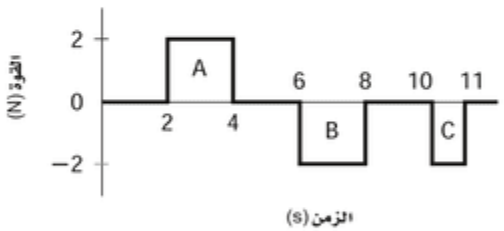
42. إذا كنت جالسًا في ملعب بيسبول واندفعت الكرة نحوك خطأً، فأيهما أكثر أمانًا لإمساك الكرة بيديك: تحريك يديك نحو الكرة ثم تثبيتها عند الإمساك بها، أم تحريك يديك في اتجاه حركة الكرة نفسه؟ فسّر ذلك.

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.

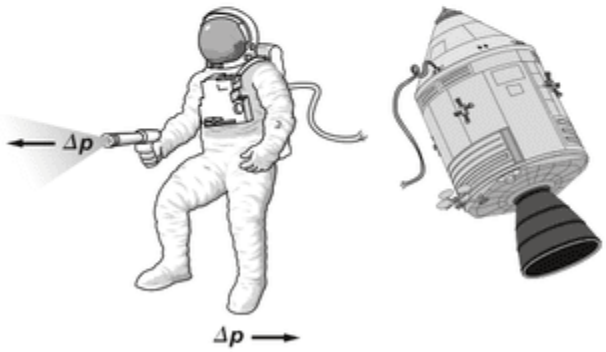


■ الشكل 10 – 2

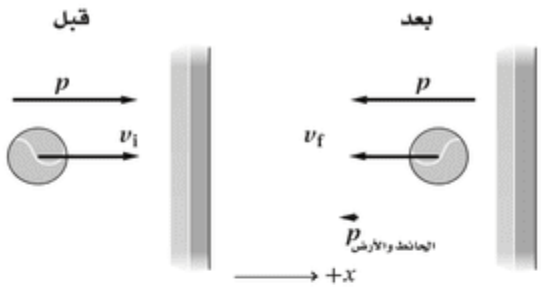
بعد زمن الدفع A يتحرك الجسم بسرعة متجهة موجبة وثابتة. وبعد زمن الدفع B يصبح الجسم ساكنًا. وبعد زمن الدفع C يتحرك الجسم بسرعة متجهة سالبة وثابتة.

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+

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

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

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

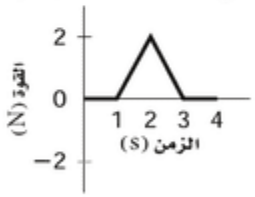
b. 8.0 m/s−

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

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

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

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**.

0.115 kg

25 m/s

■ **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؟

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

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

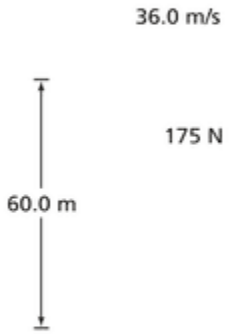
إذا أخذ في الاعتبار التصادمات جميعها فإن القوة تكون:

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

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

$$= 7.8\ N$$

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:

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

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

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

$$= -43.6°$$

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:

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

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

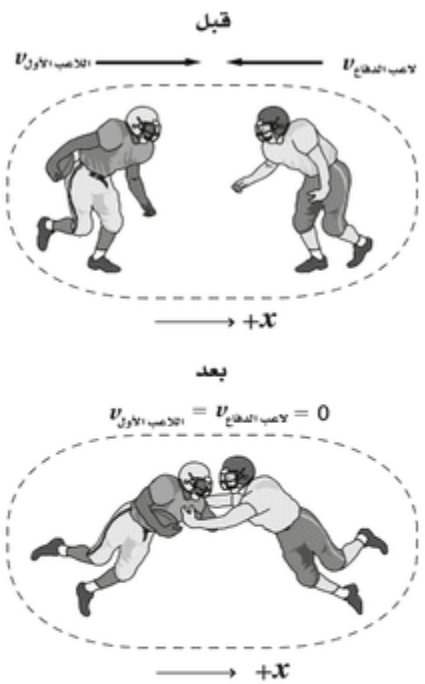
$$m_{\text{لاعب الدفاع}} = 128\ \text{kg}$$

$$v_{\text{لاعب الدفاع}} = ?$$

بعد:

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

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



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:

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

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

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

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

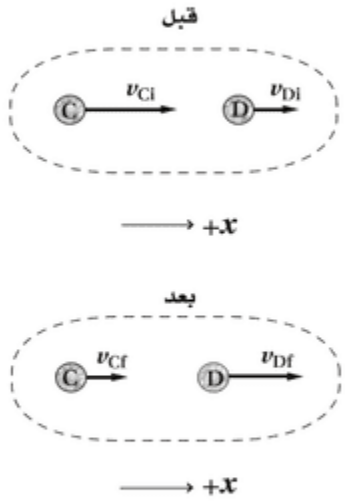
بعد:

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

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

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

$$v_{Df} = ?$$



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؟

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

-1.0×10^{2} m/s

8.5 kg

12.0 g

■ **الشكل 14–2**

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

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

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:

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

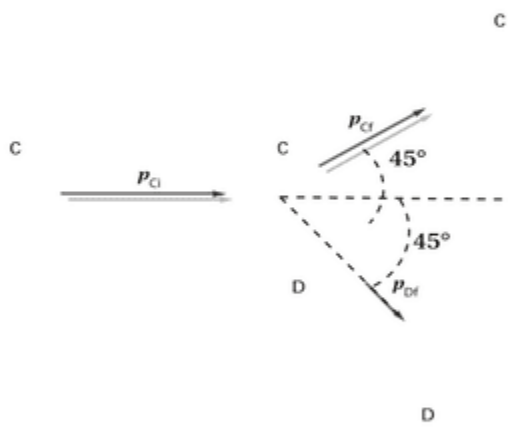
فإن:

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

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

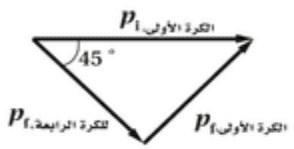
$$= 1.26\ \text{m/s}$$ في الاتجاه نفسه الذي كان يتحرك فيه

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.



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

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

$$\begin{aligned} v_{f,\text{الكرة الأولى}} &= v_{i,\text{الكرة الأولى}} \sin 45° \\ &= (4.0\ \text{m/s})(\sin 45) \\ &= 2.8\ \text{m/s} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} v_{f,\text{الكرة الرابعة}} &= v_{i,\text{الكرة الأولى}} \cos 45° \\ &= (4.0\ \text{m/s})(\cos 45°) \\ &= 2.8\ \text{m/s} \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} v_{i,\text{الشاحنة}} &= \frac{(m_{\text{الشاحنة}} + m_{\text{السيارة}})\, v_f}{m_{\text{الشاحنة}}} \\ &= \frac{(2575\ \text{kg} + 825\ \text{kg})\ (8.5\ \text{m/s})}{2575\ \text{kg}} \\ &= 11\ \text{m/s} \end{aligned}$$

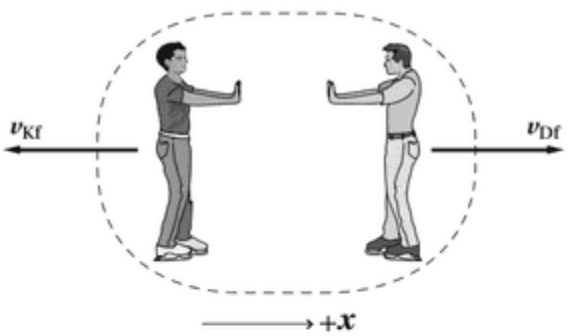
76. يقف متزلجان أحدهما مقابل الآخر، ثم يتدافعان بالأيدي. إذا كانت كتلة الأول 90 kg، وكتلة الثاني 60 kg

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

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

$$= \frac{(0.200\ \text{kg})(0.30\ \text{m/s}) + (0.100\ \text{kg})(0.10\ \text{m/s}) - (0.100\ \text{kg})(0.26\ \text{m/s})}{0.200\ \text{kg}}$$

$$= 0.22\ \text{m/s}$$ **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.

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.

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

$$v_f = \frac{m_{\text{قرص الهوكي}} v_{i,\text{قرص الهوكي}}}{m_{\text{قرص الهوكي}} + m_{\text{السترة}}}$$

$$= \frac{(0.115\ \text{kg})(35.0\ \text{m/s})}{(0.115\ \text{kg} + 0.365\ \text{kg})}$$

$$= 8.39\ \text{m/s}$$

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:

$$m_{\text{الفتاة}} = 50.0\ \text{kg}$$

$$m_{\text{العربة}} = 10.0\ \text{kg}$$

$$v_i = 5.0\ \text{m/s}$$

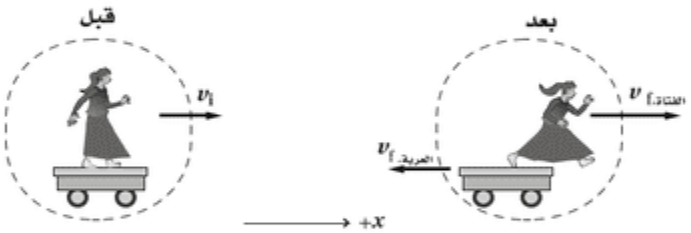
بعد:

$$m_{\text{الفتاة}} = 50.0\ \text{kg}$$

$$m_{\text{العربة}} = 10.0\ \text{kg}$$

$$v_{f,\text{الفتاة}} = 7.0\ \text{m/s}$$

$$v_{f,\text{العربة}} = ?$$



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

$$F\Delta t = -mv_i = -p = -1.5\times10^2\ \text{kg.m/s}$$ **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.

$$F\Delta t = m\Delta v = m\sqrt{2dg}$$

$$F = \frac{m\sqrt{2dg}}{\Delta t}$$

$$= (60.0\ \text{kg})\frac{\sqrt{(2)(0.32\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)}}{0.050\ \text{s}}$$

$$= 3.0\times10^3\ \text{N}$$

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:

$$m_A = 92\ \text{kg}$$

$$m_B = 75\ \text{kg}$$

$$m_C = 75\ \text{kg}$$

$$v_{Ai} = 5.0\ \text{m/s}$$

$$v_{Bi} = -2.0\ \text{m/s}$$

$$v_{Ci} = -4.0\ \text{m/s}$$

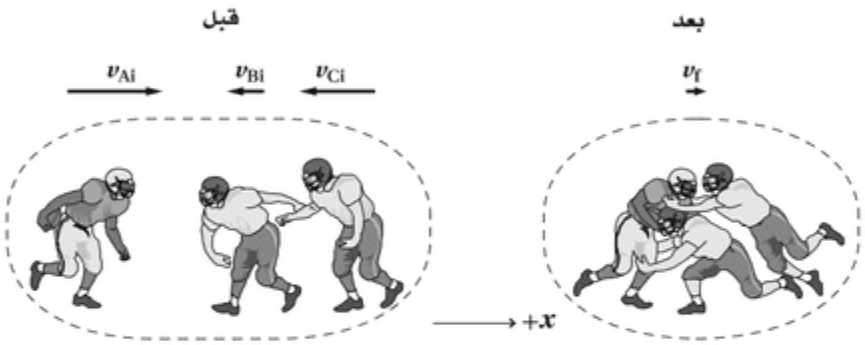
بعد:

$$m_A = 92\ \text{kg}$$

$$m_B = 75\ \text{kg}$$

$$m_C = 75\ \text{kg}$$

$$v_f = ?$$



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:

$$\omega = \alpha t$$

$$= \frac{2xt}{rt^2}$$

$$= \frac{2x}{rt}$$

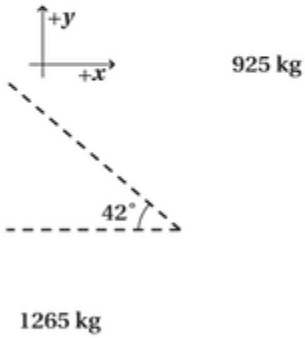
$$= \frac{(2)(500\ \text{m})}{\left(\frac{0.600\ \text{m}}{2}\right)(2.00\ \text{s})}$$

$$= 16.7\ \text{rad /s}$$

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.

$$v_{Ci} = \frac{(m_C + m_D)\, v_f \sin 42^\circ}{m_C}$$

$$= \frac{(m_C + m_D)\sqrt{2d\mu g}\ (\sin 42^\circ)}{m_C}$$

$$= \frac{(1265\ \text{kg} + 925\ \text{kg})\left(\sqrt{(2)\ (23.1\ \text{m})(0.65)(9.80\ \text{m/s}^2)}\right)(\sin 42^\circ)}{1265\ \text{kg}}$$

$$= 2.0\times10^{1}\ \text{m/s}$$

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:

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

$$= \frac{(m_C + m_D)\sqrt{2d\mu g}\ (\cos 42^\circ)}{m_D}$$

$$= \frac{(1265\ \text{kg} + 925\ \text{kg})\left(\sqrt{(2)(23.1\ \text{m})(0.65)(9.80\ \text{m/s}^2)}\right)(\cos 42^\circ)}{925\ \text{kg}}$$

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

لم يتجاوز الصديق حدّ السرعة 22 m/s، في حين تجاوزت السيارة الأخرى هذا الحد.

الفصل 3

الشغل والطاقة والآلات البسيطة

Work, Energy, and Simple Machines

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- التمييز بين مفهومي الشغل والقدرة، وكيف يصفان تأثير المحيط الخارجي في تغيير طاقة النظام.
- الربط بين القوة والشغل وتفسير كيفية تقليل الآلات للقوة اللازمة لإنجاز شغل.

الأهمية

إن الآلات البسيطة والآلات المركبة المكوّنة من مجموعة آلاتٍ بسيطة تجعل العديد من المهام اليومية سهلة التنفيذ.

الدراجات الهوائية الجبلية تتيح لك الدراجات الهوائية الجبلية المتعددة السرعات، والمزودة بماصات الصدمات تكييف قدرات جسدك؛ فتؤثر بقوة، وتبذل شغلًا، وتوفر القدرة اللازمة لصعود سفوح التلال الشديدة الانحدار ونزولها، واجتياز التضاريس المنبسطة بسرعة وأمان.

فكّر ◄

كيف تُساعد الدراجة الهوائية الجبلية المتعددة السرعات السائقَ على القيادة فوق التضاريس المختلفة بجهد قليل؟

الفصل 3

الشغل والطاقة والآلات البسيطة

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؟

لما كانت

$W = Fd$ 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؟

$W = Fd$

$= (2)(825\ \text{N})(35\ \text{m})$

أي أن الشغل قد تضاعف 5.8×10^{4} J

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 منهما 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؟

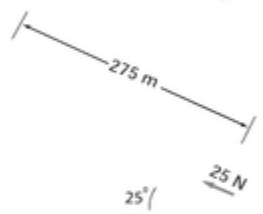
تكون القوة إلى أعلى، في حين تكون الإزاحة إلى أسفل؛ لذا فإن،

$$W = Fd\cos\theta$$
$$= (215\ \text{N})(4.20\ \text{m})(\cos 180.0°)$$
$$= -903\ \text{J}$$

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؟

$$W = Fd\cos\theta$$
$$= (628\ \text{N})(15.0\ \text{m})(\cos 46.0°)$$
$$= 6.54\times10^{3}\ \text{J}$$

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.

$$W = Fd\cos\theta$$
$$= mgd\cos\theta$$
$$= (13\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(275\ \text{m})(\cos 115°)$$
$$= -1.5\times10^{4}\ \text{J}$$

صفحة 79–78

9. رُفع صندوق يزن 575 N رأسيًا 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.

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**

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t}$$

$$t = \frac{Fd}{P}$$

$$= \frac{(6.8\times10^3\ \text{N})(15\ \text{m})}{(0.30\times10^3\ \text{W})} = 340\ \text{s}$$

$$= 5.7\ \text{min}$$

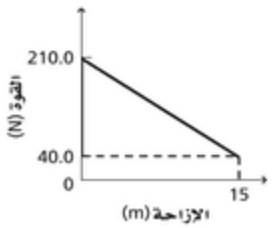
14. توقفت سيارتك فجأة وقمت بدفعها، ولاحظت أن القوة اللازمة لجعلها تستمر في الحركة آخذة في التناقص مع استمرار حركة السيارة. افترض أنه خلال مسافة 15 m الأولى تناقصت قوتك بمعدل ثابت من 210.0 N إلى 40.0 N، فما مقدار الشغل الذي بذلته على السيارة؟ ارسم المنحنى البياني القوة – الإزاحة لتمثل الشغل المبذول خلال 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؟

$$IMA = \frac{r_e}{r_r} = \frac{8.00\ \text{cm}}{35.6\ \text{cm}} = 0.225\ \text{(تضاعفت)}$$

$$MA = \left(\frac{e}{100}\right) IMA = \frac{95.0}{100}(0.225)$$

$$= 0.214\ \text{(تضاعفت)}$$

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

$$F_r = (MA)(F_e)$$

$$= (0.214)(155\ \text{N})$$

$$= 33.2\ \text{N}$$

$$IMA = \frac{d_e}{d_r}$$

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.

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

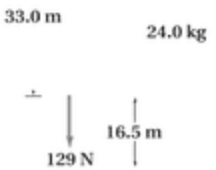
$$= \frac{(1.7\times10^4\ \text{N})}{(1.1\times10^4\ \text{N})} = 1.5$$

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 رأسيًا 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:

$$\frac{2\pi(45\ \text{cm})}{2\pi(7.5\ \text{cm})} = 6.0$$

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} = \frac{(3)(2\pi r)}{2\pi r}$$

$$= \frac{(3)(2\pi)(45\ \text{cm})}{(2\pi)(7.5\ \text{cm})}$$

$$= 18$$

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

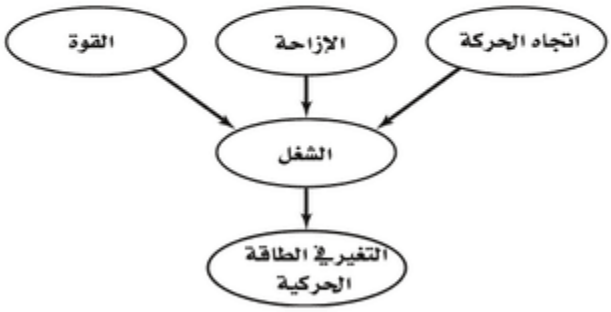
$$IMA = \frac{r_{\text{الدواسات}}}{r_{\text{ناقل الحركة الأمامي}}}$$

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: $P = Fv\cos\theta$

$$P = \frac{W}{t},\ W = Fd\cos\theta$$

لذا فإن

$$P = \frac{Fd\cos\theta}{t}$$

ولأن

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

فإن:

$$P = Fv\cos\theta$$

تابع الفصل 3

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؟

$$W = Fd = mgd$$

$$= (150\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(8\ \text{m})$$

$$= 1 \times 10^4\ \text{J}$$

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؟

$$W = Fd\cos\theta$$

$$= (88.0\ \text{N})(1.2\times10^3\ \text{m})(\cos 41.0°)$$

$$= 8.0\times10^4\ \text{J}$$

تابع الفصل 3

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؟

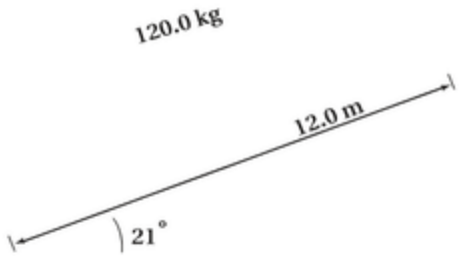
$$W = Fd\cos\theta$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{W}{Fd}\right)$$

$$= \cos^{-1}\left(\frac{1210\ \text{J}}{(75.0\ \text{N})(20.0\ \text{m})}\right)$$

$$= 36.2^\circ$$

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 معامل 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؟

$$W = Fd\sin\theta = mgd\sin\theta$$

$$= (52\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(227\ \text{m})(\sin 31^\circ)$$

$$= 6.0\times10^4\ \text{J}$$

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،

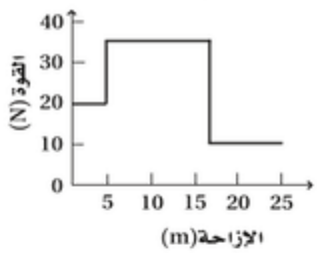
$$d = \frac{Pt}{F\cos\theta}$$

$$= \frac{(64.6\ \text{W})(90.0\ \text{s})}{(115\ \text{N})(\cos 22.5°)}$$

$$= 54.7\ \text{m}$$

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.



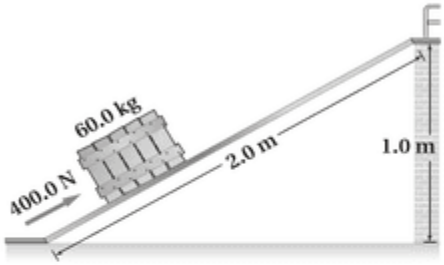
b. ما مقدار الشغل الذي بذله العامل لدفع الصندوق؟

$$W = F_1 d_1 + F_2 d_2 + F_3 d_3$$

$$= (20\ \text{N})(5\ \text{m}) + (35\ \text{N})(12\ \text{m}) + (10\ \text{N})(8\ \text{m})$$

$$= 600\ \text{J}$$

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؟

$$W = Fd = mgd$$

$$= (60.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.0\ \text{m})$$

$$= 5.9\times10^{2}\ \text{J}$$

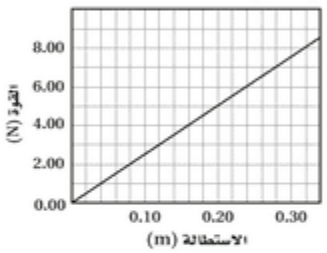
71. محرك القارب يدفع محركٌ قاربًا على سطح الماء بسرعة ثابتة مقدارها 15 m/s، ويجب أن يؤثر المحرك بقوة مقدارها 6.0 kN ليوازن قوة مقاومة الماء لحركة القارب. ما قدرة محرّك القارب؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = Fv$$

$$= (6.0\times10^{3}\ \text{N})(15\ \text{m/s})$$

$$= 9.0\times10^{4}\ \text{W} = 9.0\times10^{1}\ \text{kW}$$

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 $k = 25\ \text{N/m}$.

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{5.00\ \text{N} - 0.00\ \text{N}}{0.20\ \text{m} - 0.00\ \text{m}}$$

$$F_1 = kd_1$$

أفترض أن

$$d_1 = 0.20\ \text{m}$$

ومن الرسم البياني

$$F_1 = 5.00\ \text{N}$$

لذا فإن

$$k = \frac{F_1}{d_1}$$

$$= \frac{5.00\ \text{N}}{0.20\ \text{m}} = 25\ \text{N/m}$$

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.

$$A = \frac{1}{2}\ (\text{القاعدة})(\text{الارتفاع})$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(0.20\ \text{m})(5.00\ \text{N})$$

$$= 0.50\ \text{J}$$

c. بين أن إجابة الفرع (b) يمكن التوصل إليها باستخدام المعادلة $W = \frac{1}{2}kd^2$، حيث تمثل W الشغل، و $k = 25\ \text{N/m}$ (ميل المنحنى البياني)، و d مسافة استطالة النابض (0.20 m).

$$W = \frac{1}{2}kd^2 = \left(\frac{1}{2}\right)(25\ \text{N/m})(0.20\ \text{m})^2$$

$$= 0.50\ \text{J}$$

73. استخدم الرسم البياني في **الشكل 20–3** لإيجاد الشغل اللازم لاستطالة النابض من 0.12 m إلى 0.28 m.

اجمع مساحة كلٍ من المثلث والمستطيل، علمًا بأن مساحة المثلث تساوي:

$$\frac{1}{2}bh = \frac{1}{2}(0.28\ \text{m} - 0.12\ \text{m})(7.00\ \text{N} - 3.00\ \text{N})$$

$$= 0.32\ \text{J}$$

ومساحة المستطيل تساوي:

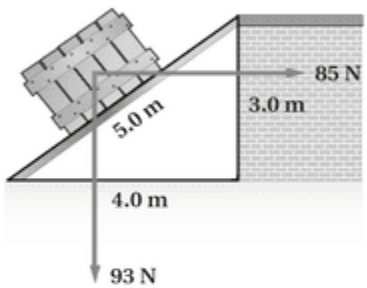
$$bh = (0.28\ \text{m} - 0.12\ \text{m})(3.00\ \text{N} - 0.00\ \text{N})$$

$$= 0.48\ \text{J}$$

الشغل الكلي يساوي:

$$0.32\ \text{J} + 0.48\ \text{J} = 0.80\ \text{J}$$

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

$$W = Fd = (85\ \text{N})(4.0\ \text{m})$$

$$= 3.4 \times 10^2\ \text{J}$$

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.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1.10\times10^{5}\ \text{J}}{35.0\ \text{s}}$$

$$= 3.14\times10^{3}\ \text{W} = 3.14\ \text{kW}$$

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.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = \frac{mgd}{t}$$

$$= (\text{25 صحيفة})(\text{15 حزمة/min})\ (\text{1.0 kg/صحيفة})(9.80\ \text{m/s}^2)\ (\text{12.0 m})(\sin 30.0°)(\text{1 min/60 s})$$

$$= 3.7\times10^{2}\ \text{W}$$

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.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = Fv$$

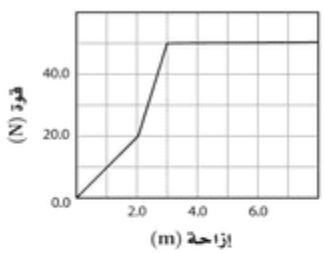
لذا فإن:

$$F = \frac{P}{v}$$

$$= \frac{48000\ \text{W}}{\left(\frac{76\ \text{km}}{1\ \text{h}}\right)\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right)}$$

$$= 2.3\times10^{3}\ \text{N}$$

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؟

$$F_e = F_f + F_{e,\text{مثالي}}$$

$$F_f = F_e - F_{e,\text{مثالي}}$$

$$= 340\text{ N} - 3.0\times10^2\text{ N}$$

$$= 40\text{ N}$$

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%؟

$$e = \frac{W_o}{W_i} \times 100$$

$$= \frac{F_r d_r}{W_i} \times 100$$

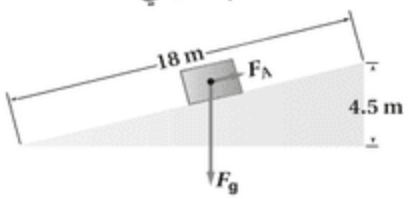
$$= \frac{mgd_r}{W_i} \times 100$$

$$W_i = \frac{mgd_r}{e} \times 100$$

$$= \frac{(215\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(5.65\ \text{m})(100)}{72.5}$$

$$= 1.64 \times 10^4\ \text{J}$$

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:

$$F = F_g = \frac{mgh}{d}$$

$$= \frac{(25\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(4.5\ \text{m})}{18\ \text{m}}$$

$$= 61\ \text{N}$$

b. الفائدة الميكانيكية المثالية للمستوى المائل.

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} = \frac{18\ \text{m}}{4.5\ \text{m}} = 4.0$$

c. الفائدة الميكانيكية الحقيقية MA وكفاءة المستوى المائل إذا لزمت قوة مقدارها 75 N في اتجاه موازٍ لسطح المستوى المائل لإنجاز العمل.

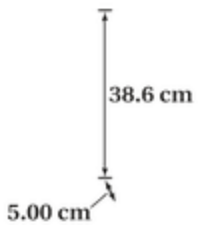
$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

$$= \frac{mg}{F_e} = \frac{(25\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{75\ \text{N}} = 3.3$$

$$e = \frac{MA}{IMA} \times 100$$

$$= \frac{3.3}{4.0} \times 100 = 82\%$$

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**

$$d = 2\pi r = 2\pi(5.00\ \text{cm}) = 31.4\ \text{cm}$$

87. الونش يشغل محرك كفاءته 88% ونشًا كفاءته 42%، فإذا كانت القدرة المزوّدة للمحرك 5.5 kW، فما السرعة الثابتة التي يرفع الونش فيها صندوقًا كتلته 410 kg؟

$$\text{الكفاءة الكلية} = (88\%)(42\%) = 37\%$$

$$\text{القدرة المفيدة} = (5.5\ \text{kW})(37\%)$$

$$= 2.0\ \text{kW}$$

$$= 2.0 \times 10^3\ \text{W}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = F\left(\frac{d}{t}\right) = Fv$$

$$v = \frac{P}{F_g} = \frac{P}{mg} = \frac{2.0 \times 10^3\ \text{W}}{(410\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 0.50\ \text{m/s}$$

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 99–98

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، $-5.5\times10^{3}\ \text{J}$.

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؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{5.5\times10^{3}\ \text{J}}{2.5\ \text{s}}$$

$$= 2.2\ \text{kW}$$

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

$$F = \frac{F_x}{\cos\theta} = \frac{805\ \text{N}}{\cos 32^\circ}$$

$$= 9.5\times10^{2}\ \text{N}$$

b. وما مقدار الشغل الذي بذلته على الصندوق إذا حركته مسافة 22 m؟

$$W = F_x d = (805\ \text{N})(22\ \text{m})$$

$$= 1.8\times10^{4}\ \text{J}$$

c. إذا حركت الصندوق خلال 8.0 s، فما مقدار القدرة الناتجة؟

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1.8\times10^{4}\ \text{J}}{8.0\ \text{s}} = 2.2\ \text{kW}$$

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.

$$W_i = Fd = (496\ \text{N})(2.10\ \text{m})$$

$$= 1.04\times10^{3}\ \text{J}$$

b. مقدار الشغل المبذول على الثلاجة من خلال الآلة.

d = الإزاحة إلى أعلى $= 0.850\ \text{m}$

$$W_o = F_g d = mgd$$

$$= (115\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.850\ \text{m})$$

$$= 958\ \text{J}$$

c. كفاءة الآلة.

$$e = \frac{W_o}{W_i} \times 100$$

$$= \frac{958\ \text{J}}{1.04\times10^{3}\ \text{J}} \times 100$$

$$= 92.1\%$$

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

$$F = \frac{W}{d\cos\theta} = \frac{11400\ \text{J}}{(25.0\ \text{m})(\cos 48.0^\circ)}$$

$$= 681\ \text{N}$$

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.

$$f_k = F_x = F\cos\theta$$

$$= (681\ \text{N})(\cos 48.0^\circ)$$

$$= 456\ \text{N}, \text{ في عكس اتجاه الحركة}$$

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 تؤثر 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

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{W}{Fd}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{1.20\times10^4\ \text{J}}{(125\ \text{N})(185\ \text{m})}\right)$$

$$= 58.7^\circ$$

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

$$P_{\text{الونش}} = P_{\text{الاحتكاك}} + P_{\text{الجاذبية}}$$

$$= \frac{\mu F_N d}{t} + \frac{F_g d \sin\theta}{t}$$

$$= \mu F_N\left(\frac{d}{t}\right) + F_g\left(\frac{d}{t}\right)\sin\theta$$

$$= \mu F_N v + F_g v \sin\theta$$

$$= (\mu F_g)(\cos\theta)(v) + F_g v \sin\theta$$

$$= (0.45)(875\ \text{N})(\cos 15^\circ)\ (0.25\ \text{m/s}) + (875\ \text{N})(0.25\ \text{m/s})\ (\sin 15^\circ)$$

$$= 1.52\times10^2\ \text{W}$$

b. إذا كانت كفاءة الونش 85%، فما القدرة الكهربائية التي يجب تزويد الونش بها؟

$$\text{e} = \frac{W_o}{W_i} = \frac{P_o}{P_i}$$

لذا فإن

$$P_i = \frac{P_o}{\text{e}}$$

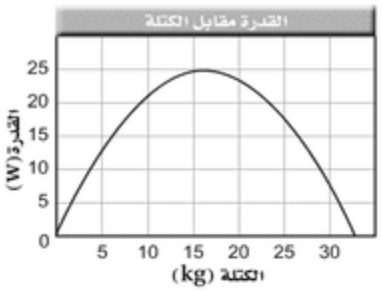
$$= 1.52 \times 10^2\ \text{W} / 0.85$$

$$= 1.79 \times 10^2\ \text{W}$$

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؛ يتبيّن 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؟

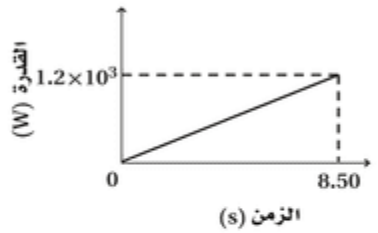
تزداد القدرة خطيًّا بدءًا من الصفر؛ وذلك لأن السرعة تزداد خطيًّا كما يتضح مما يلي:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = F\left(\frac{d}{t}\right) = Fv$$

لذا فإن

$$P_{\text{أعظمي}} = 2P_{\text{متوسط}} = 1.2\times10^3\ \text{W}$$

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

$$d_f = \frac{1}{2}at_1^2 + at_1t_2$$

$$= a(\frac{1}{2}t_1^2 + t_1t_2)$$

$$a = \frac{d_f}{\frac{1}{2}t_1^2 + t_1t_2}$$

$$= \frac{50.0\ \text{m}}{(\frac{1}{2})(1.00\ \text{s})^2 + (1.00\ \text{s})(7.50\ \text{s})}$$

$$= 6.25\ \text{m/s}^2$$

بالنسبة إلى الثانية الأولى:

$$d = \frac{1}{2}at^2 = (\frac{1}{2})(6.25\ \text{m/s}^2)(1.00\ \text{s})^2$$

$$= 3.12\ \text{m}$$

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 المؤثرة 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:

$$P_{\text{الرفع}} = \frac{W}{t} = \frac{F_g d}{t} = \frac{mgd}{t}$$

$$= \frac{(0.25\ m^3)(1.00\times10^3\ kg/m^3)(9.80\ m/s^2)(25\ m)}{1.0\ s}$$

$$P_{\text{الرفع}} = 6.1\times10^{4}\ \text{W}$$

$$= 61\ \text{kW}$$

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؟

$$\text{e} = \frac{W_o}{W_i}\times 100$$

$$= \frac{\frac{W_o}{t}}{\frac{W_i}{t}}\times 100$$

$$= \frac{P_o}{P_i}\times 100$$

$$P_i = \frac{P_o}{\text{e}}\times 100 = \frac{9.0\times10^3\ \text{W}}{80}\times 100$$

$$= 1.1\times10^4\ \text{W}$$

$$= 11\ \text{kW}$$

الفصل 4

الطاقة وحفظها

Energy and Its Conservation

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف الطاقة بوصفها خاصية للجسم تغير من موقعه، أو سرعته، أو بيئته.
- توضيح أن الطاقة تتغيّر من شكل إلى آخر، وأن الطاقة الكلية في نظام مغلق ثابتة (المقدار الكلي للطاقة يبقى ثابتًا في النظام المغلق).

الأهمية

تدير الطاقة عجلة الحياة، حيث يشتري الناس الطاقة ويبيعونها لتشغيل الأجهزة الكهربائية، والسيّارات والمصانع.

التزلج يحدّد ارتفاع قفزة المتزلج طاقته عند أسفل المنحدر؛ إذ تتحدد طاقته قبل أن يقفز في الهواء ويطير عدة أمتار ثم يسقط أسفل المنحدر الثلجي. وتعتمد المسافة التي يقطعها المتزلج على مبادئ فيزيائية منها مقاومة الهواء، والتوازن، والطاقة.

فكّر ◄

كيف يؤثر ارتفاع منحدر التزلج في المسافة التي يقطعها المتزلج في قفزته؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل
4 الطاقة وحفظها

مسائل تدريبية

1–4 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)

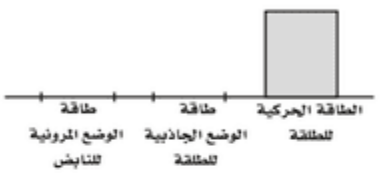
صفحة 112

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:

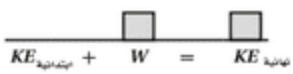
$$PE = (90.0\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(+45.0\text{ m})$$
$$= 3.97\times10^4\text{ J}$$

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 113–123)

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

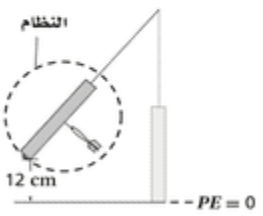
$$v = \frac{(m + M)v_f}{m}$$

$$= \frac{(0.00800\ \text{kg} + 9.00\ \text{kg})(0.100\ \text{m/s})}{0.00800\ \text{kg}}$$

$$= 1.13\times10^2\ \text{m/s}$$

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.

$$KE_i = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$$

$$= \frac{1}{2}(91.0\ \text{kg})(5.50\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(91.0\ \text{kg})(8.1\ \text{m/s})^2$$

$$= 4.4 \times 10^3\ \text{J}$$

$$p_i = m_1v_1 + m_2v_2$$

$$= (91.0\ \text{kg})(5.5\ \text{m/s}) + (91.0\ \text{kg})(8.1\ \text{m/s})$$

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

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)

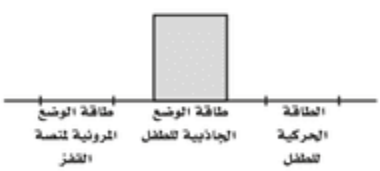
صفحة 123

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 بيانيًا 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.

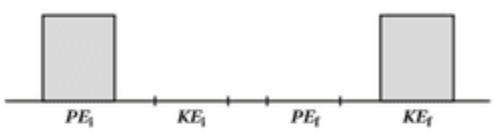
الزخم الكلي للكرة والقرص المطاطي محفوظ في التصادم بسبب عدم وجود قوى غير متزنة في هذا النظام.

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 لحظيًّا.

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.

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.

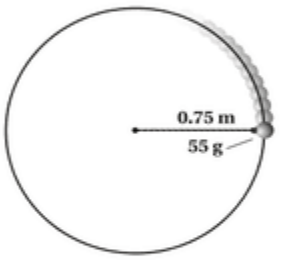
47. بُذل شغل موجب على النظام خلال عملية معينة، فزادت طاقة الوضع. هل تستطيع أن تحدد ما إذا كانت الطاقة الحركية للنظام زادت، أو قلت، أو بقيت كما هي؟ وضح ذلك.

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 أفقيًا 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 فقلّت الطاقة الحركية ولم تتغير طاقة الوضع.

سيارة مسرعة تتحرك على طريق مستوٍ، حيث يتم التأثير بالكوابح مما يؤدي إلى تقليل سرعتها.

تابع الفصل 4

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 رأسيًا إلى أعلى، والأخرى رأسيًا 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 طرديًا 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؟

$$KE_{\text{أسماء وآمنة}} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(m_{\text{أسماء}} + m_{\text{آمنة}})v^2$$

$$= \frac{1}{2}(45\ \text{kg} + 45\ \text{kg})(10.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 4.5\times10^3\ \text{J}$$

b. ما نسبة كتلتيهما معًا إلى كتلة أسماء؟

$$\frac{m_{\text{أسماء}} + m_{\text{امنة}}}{m_{\text{أسماء}}} = \frac{45\ \text{kg} + 45\ \text{kg}}{45\ \text{kg}}$$

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

c. ما نسبة طاقتيهما الحركية معًا إلى الطاقة الحركية لأسماء؟ فسر إجابتك.

$$KE_{\text{أسماء}} = \frac{1}{2} m_{\text{أسماء}} v^2 = \frac{1}{2}(45\ \text{kg})(10.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 2.3\times10^3\ \text{J}$$

$$\frac{KE_{\text{لأسماء وامنة}}}{KE_{\text{أسماء}}} = \frac{\frac{1}{2}(m_{\text{أسماء}} + m_{\text{امنة}})v^2}{\frac{1}{2}m_{\text{أسماء}}v^2} = \frac{m_{\text{أسماء}} + m_{\text{امنة}}}{m_{\text{أسماء}}}$$

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

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 رأسيًا 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؟

$$W = PE = mgh$$

$$m = \frac{W}{gh} = \frac{1.00\text{ J}}{(9.80\text{ m/s}^2)(1.00\text{ m})}$$

$$= 0.102\text{ kg}$$

تابع الفصل 4

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.

$$W = Fd = \Delta KE = KE_f - KE_i$$

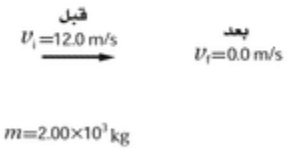
$$KE_i = 0\ \text{J}$$

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

$$F = \frac{W}{d}$$

$$= \frac{-1.44\times10^{5}\ \text{J}}{0.500\ \text{m}}$$

$$= -2.88\times10^{5}\ \text{N}$$

تابع الفصل 4

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 $1.00\times10^2\ \text{km/h}$؟

$$v = \left(1.00\times 10^2\ \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)\left(\frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right)\left(\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right)$$

$$= 27.8\ \text{m/s}$$

$$KE = PE$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$\frac{1}{2}v^2 = gh$$

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{(27.8\ \text{m/s})^2}{2(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 39.4\ \text{m}$$

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.

$$W = \Delta PE + \Delta KE$$

$$= mg(h_f - h_i) + \frac{1}{2}mv_f^2$$

$$= (420\ \text{N})(0.40\ \text{m} - 1.00\ \text{m}) + \frac{1}{2}\left(\frac{420\ \text{N}}{9.80\ \text{m/s}^2}\right)(2.0\ \text{m/s})^2$$

$$= -1.7\times10^2\ \text{J}$$

تابع الفصل 4

80. أسقطت ليلى رأسيًا 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.

$$W = \Delta PE + \Delta KE$$

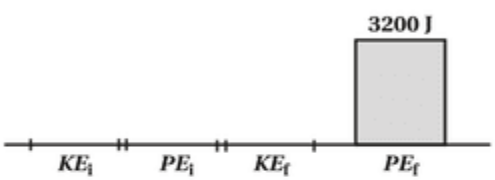
$$= mg(h_f - h_i) + \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)$$

$$= (28\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.0\ \text{m} - 4.8\ \text{m}) + \frac{1}{2}(28\ \text{kg})\left[(3.2\ \text{m/s})^2 - (0.0\ \text{m/s})^2\right]$$

$$= -1.2 \times 10^3\ \text{J}$$

82. يتسلق شخص وزنه 635 N سُلّمًا رأسيًا ارتفاعه 5.0 m، أجب عما يأتي معتبرًا أن الشخص والأرض يشكلان نظامًا واحدًا.

a. مثّل بيانيًا 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

$$h = (13\ \text{m})(1 - \cos 45^\circ) = 3.8\ \text{m}$$

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.

$$m_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأكبر}} v_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأكبر}} = p_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأكبر}} = p_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأقل}} = m_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأقل}} v_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأقل}}$$

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

$$E_f = \frac{1}{2}(m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}})v_f^2$$

$$E_f = \frac{1}{2}(m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}})\left(\frac{m_{\text{اللاعب}}}{m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}}\right)^2(2gh)$$

$$= (m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}})\,gh_f$$

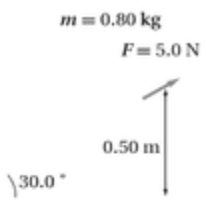
لذا فإن

$$h_f = \left(\frac{m_{\text{اللاعب}}}{m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}}\right)^2 h$$

$$= \left(\frac{55.0\text{ kg}}{55.0\text{ kg} + 21.0\text{ kg}}\right)^2(12.0\text{ m})$$

$$= 6.28\text{ m}$$

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

$$m_{\text{المضرب}}v^2_{\text{المضرب}1} = m_{\text{المضرب}}v^2_{\text{المضرب}1} - 2m_{\text{الكرة}}v_{\text{المضرب}2}v_{\text{المضرب}1} + \frac{m^2_{\text{الكرة}2}v^2_{\text{الكرة}2}}{m_{\text{المضرب}}} + m_{\text{الكرة}}v^2_{\text{الكرة}2}$$

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 لحظيًا 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

$$v_{2f} = \sqrt{2gL(1 - \cos\theta)}$$

$$v_{2f} = \sqrt{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)(1.25\ \text{m})(1 - \cos 37.0^\circ)}$$

$$= 2.22\ \text{m/s}$$

$$v_{1i} = \frac{1}{2}\left(\frac{125\ \text{g}}{25\ \text{g}} + 1\right)(2.22\ \text{m/s})$$

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

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، يُشع 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

$$\Delta pv = m_{\text{رصاصة}} (v_2 - v_{1\,\text{رصاصة}})$$

$$= m_{\text{رصاصة}} \left(\frac{m_{\text{رصاصة}} v_{1\,\text{رصاصة}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}} - v_{1\,\text{رصاصة}} \right)$$

$$= m_{\text{رصاصة}} v_{1\,\text{رصاصة}} \left(\frac{m_{\text{رصاصة}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}} - 1 \right)$$

$$= -\left(\frac{m_{\text{رصاصة}} m_{\text{جسم صلب}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}} \right) v_{1\,\text{رصاصة}}$$

$$= -\frac{(5.00 \times 10^{-3}\ \text{kg})(10.00\ \text{kg})}{5.00 \times 10^{-3}\ \text{kg} + 1.000\ \text{kg}} \quad (100.0\ \text{m/s})$$

$$= -0.500\ \text{kg.m/s}$$

b. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا ارتدت في الاتجاه المعاكس بسرعة 99 m/s؟

$$\Delta pv = m_{\text{رصاصة}}(v_2 - v_{1\text{رصاصة}})$$
$$= (5.00\times10^{-3}\ \text{kg})(-99.0\ \text{m/s} - 100.0\ \text{m/s})$$
$$= -0.995\ \text{kg.m/s}$$

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

$$\frac{d_e}{d_r} = IMA$$

فإن

$$d_e = \frac{IMA}{d_r} = (2.0\times10^{2})(33\ \text{cm})$$
$$= 66\ \text{m}$$

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؟

$$\text{الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك} = E_{\text{مفقودة}} = KE_1 - KE_2 - KE_{\text{خشب}}$$

$$E_{\text{مفقودة}} = \frac{1}{2} mv_1^2 - \frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} m_B v_B^2$$

الفصل
5 الطاقة الحرارية

مسائل تدريبية

5–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية (صفحة 137–149)

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 $0.80\ g/cm^3$ 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.

الفصل 5

الطاقة الحرارية
Thermal Energy

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف العلاقة بين الحرارة وطاقتي الوضع والحركة للذرات والجزيئات.
- التمييز بين الحرارة والشغل.
- حساب كمية الحرارة المنتقلة والطاقة الحرارية الممتصة.

الأهمية

تعد الطاقة الحرارية أمرًا حيويًّا للمخلوقات الحية، وحدوث التفاعلات الكيميائية، وعمل المحركات.

الطاقة الشمسية تتمثل إحدى استراتيجيات إنتاج الطاقة الكهربائية في تركيز ضوء الشمس، باستخدام عدّة مرايا على مُجَمِّع واحد ليصبح ساخناً جداً، فتستعمل هذه الطاقة الحرارية لإدارة توربينات المولّد الكهربائي.

أما خطة الطاقة (2030) والتي تتبناها رؤية (2030)؛ فهي تعد الأكبر في مجال الطاقة الشمسية باستخدام ألواح (خلايا) شمسية تعمل على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية من مصدر نظيف ومتجدد بها لا يؤثر على البيئة.

فكّر ◄

ما أشكال الطاقة التي يتخذها ضوء الشمس خلال عملية تحويل الطاقة الشمسية إلى شغل يُستفاد منه عن طريق المحرك؟

الربط مع رؤية 2030

اقتصاد مزدهر

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

من أهداف الرؤية

٣.٢.٤ زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل
5 الطاقة الحرارية

مسائل تدريبية

5–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية (صفحة 137–149)

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 $0.80\ g/cm^3$ 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

$$T_f = \frac{C_{\text{عينة الميثانول}} + T_{i,\text{عينة الميثانول}} + C_{\text{عينة الماء}} T_{i,\text{عينة الماء}}}{C_{\text{عينة الميثانول}} + C_{\text{عينة الماء}}}$$

$$= \frac{(2450\ J/kg.K)(16.0°C) + (4180\ J/kg.K)(85.0°C)}{2450\ J/kg.K + 4180\ J/kg.K}$$

$$= 59.5°C$$

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 $0.0\ ^\circ\text{C}$؟

$$Q = mC\Delta T + mH_f$$
$$= (0.100\ \text{kg})(2060\ \text{J/kg.°C})(20.0°\text{C}) + (0.100\ \text{kg})(3.34\times10^{5}\ \text{J/kg})$$
$$= 3.75\times10^{4}\ \text{J}$$

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؟

$$Q = mC_{\text{ماء}}\Delta T + mH_v + mC_{\text{بخار}}\Delta T$$
$$= (0.200\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(100.0°\text{C} - 60.0°\text{C}) + (0.200\ \text{kg})(2.26\times10^{6}\ \text{J/kg}) +$$
$$(0.200\ \text{kg})(2020\ \text{J/kg.°C})(140.0°\text{C} - 100.0°\text{C})$$
$$= 502\ \text{kJ}$$

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

$$PE = mgh$$
$$= (0.50\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(1.5\text{ m})$$
$$= 7.4\text{ J}$$

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

5–2 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

$$\begin{aligned}\Delta U &= mC\Delta T \\ &= (3.0\ \text{kg})(130\ \text{J/kg.K})(5.0°\text{C}) \\ &= 2.0\ \text{kJ}\end{aligned}$$

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

$$PE_{\text{الجاذبية}} = Q_{\text{الممتصة بواسطة الماء}}$$

$$mgh = mC\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{gh}{C}$$

$$= \frac{(9.80\ \text{m/s}^2)(125.0\ \text{m})}{4180\ \text{J/kg.}\ °\text{C}}$$

$$= 0.293°\text{C}$$ **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.

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

5–1 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.

$$\Delta Q_{\text{التنجستن}} + \Delta Q_{\text{الماء}} = 0$$

أو

$$m_{\text{التنجستن}} C_{\text{التنجستن}} \Delta T_{\text{التنجستن}} = -m_{\text{الماء}} C_{\text{الماء}} \Delta T_{\text{الماء}}$$

$$C_{\text{التنجستن}} = \frac{-m_{\text{الماء}} C_{\text{الماء}} \Delta T_{\text{الماء}}}{m_{\text{التنجستن}} \Delta T_{\text{التنجستن}}} = \frac{-(0.200\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.K})(21.6°\text{C} - 20.0°\text{C})}{(0.100\ \text{kg})(21.6°\text{C} - 100.00°\text{C})}$$

$$= 171\ \text{J/kg.K}$$

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؟

$$T_f = \frac{m_A C_A \Delta T_{Ai} + m_B C_B \Delta T_{Bi}}{m_A C_A + m_B C_B}$$

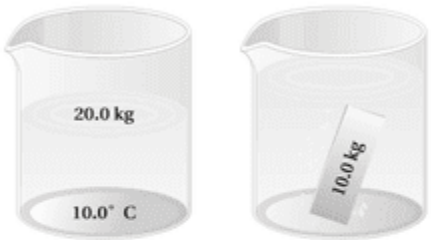
ولكن، $C_A = C_B$، وذلك لأن كلا السائلين عبارة عن ماء، لذا ستختصر C.

$$T_f = \frac{m_A T_{Ai} + m_B T_{Bi}}{m_A + m_B} =$$

$$= \frac{(6.0\times10^2\ \text{g})(90.0°\text{C}) + (4.00\times10^2\ \text{g})(22.0°\text{C})}{6.0\times10^2\ \text{g} + 4.00\times10^2\ \text{g}}$$

$$= 63°\text{C}$$

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.

$$Q = mC\Delta T = \rho VC\Delta T$$

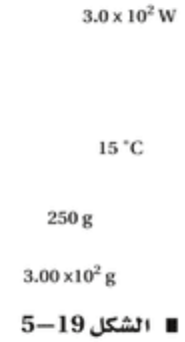
حيث تمثل ρ كثافة المادة

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:

$$\Delta T = \frac{-\Delta \text{KE}_{\text{C}}}{m_{\text{B}}C_{\text{B}}} = \frac{-\frac{1}{2}m_{\text{C}}(v_{\text{f}}^{2} - v_{\text{i}}^{2})}{m_{\text{B}}\,C_{\text{B}}}$$

$$= \frac{-\frac{1}{2}(750\ \text{kg})(0.0^{2} - (23\ \text{m/s})^{2})}{(15\ \text{kg})(450\ \text{J/kg.°C})}$$

$$= 29°\text{C}$$

تابع الفصل 5

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

$$412\ \text{J} + 3.34\times10^3\ \text{J} + 4.18\times10^3\ \text{J} + 2.26\times10^4\ \text{J} + 404\ \text{J} = 3.09\times10^4\ \text{J}$$

تابع الفصل 5

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

$$\Delta T = \frac{\Delta U}{mC}$$

$$= \frac{2100\ \text{J}}{(32.0\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})}$$

$$= 0.016°\text{C}$$

تابع الفصل 5

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

$$\Delta \mathrm{KE} = \frac{1}{2}(1500\ \mathrm{kg})(25\ \mathrm{m/s})^2 = 4.7\times10^5\ \mathrm{J}$$

إذا تحولت هذه الطاقة جميعها إلى شغل في المكابح فإن

$$\Delta U = \Delta KE = mC\Delta T$$

لذا فإن

$$\Delta T = \frac{\Delta KE}{mC}$$
$$= \frac{4.7\times10^5\ \mathrm{J}}{(45\ \mathrm{kg})(897\ \mathrm{J/kg.^\circ C})}$$
$$= 12^\circ\mathrm{C}$$

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

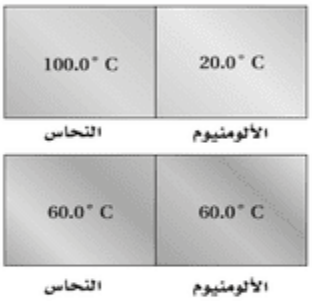
$$Q = mC\Delta T$$
$$= (1.0\ \mathrm{kg})(4180\ \mathrm{J/kg.K})(90^\circ\mathrm{C})$$
$$= 376\ \mathrm{kJ}$$

كمية الجليد المنصهر

$$m = \frac{Q}{H_f}$$
$$= \frac{376\ \mathrm{kJ}}{334\ \mathrm{kJ}} = 1.1\ \mathrm{kg}$$

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.

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 $T_H = 545\ K$، ويبعث 40.0 J من الحرارة إلى مستودع بارد عند درجة حرارة $T_L = 325\ K$. 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 $T_L = 205\ K$؟

$$\Delta S_T = \frac{40.0\ \text{J}}{205\ \text{K}} - \frac{50.0\ \text{J}}{545\ \text{K}} = 0.103\ \text{J/K}$$

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 وتسمَى 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

$$= (0.2\times10^3\ \text{J})(3600\ \text{s}) = 720000\ \text{J}$$

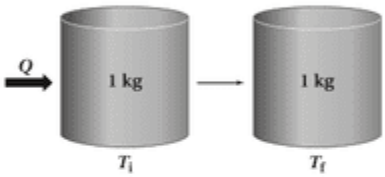
وقد دحرج إلى أعلى التل عددًا من الصخور يساوي

$$\frac{(720000)}{(70000)} = \text{عشر صخور في ساعة واحدة}$$

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.

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{mC\Delta T}{T}$$

$$= \frac{(1.0\ \text{kg})(130\ \text{J/kg.K})(274\ \text{K} - 273\ \text{K})}{273\ \text{K}}$$

$$= 0.48\ \text{J/K}$$

الفصل 6

حالات المادة
States of Matter

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تفسير تمدّد المادة وتقلصها بسبب التغيرات في درجات الحرارة.
- تطبيق مبادئ باسكال وأرخميدس وبرنولي في مواقف الحياة اليومية.

الأهمية

إن الموائع والقوى التي تبذلها تمكّننا من السباحة والغطس، وتمكّن المناطيد من الطفو، والطائرات من الطيران.

يؤثر التمدّد الحراري في تصميم المباني، والطرق، والجسور، والآلات.

الغواصات تُصمّم الغواصات النووية لتقوم بمناورات بحرية في أعماق مختلفة في المحيط؛ لذا يجب أن تقاوم الاختلافات الهائلة في الضغط والحرارة عندما تغوص تحت الماء.

فكّر ◄

كيف تستطيع الغواصة أن تطفو على سطح المحيط وتغوص في أعماقه؟

الفصل 6

حالات المادة

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

$$A = \frac{mg}{P}$$

$$= \frac{(454\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{5.0\times10^{4}\ \text{Pa}}$$

$$= 8.9\times10^{-2}\ \text{m}^2$$

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؟

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{(15.5\times10^{6}\ \text{Pa})(0.020\ \text{m}^3)}{(8.31\ \text{Pa.}\ \text{m}^3/\text{mol.K})(293\ \text{K})}$$

$$= 127.3\ \text{mol}$$

$$m = (127.3\ \text{mol})(4.00\ \text{g/mol})$$

$$= 5.1\times10^{2}\ \text{g}$$

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

$$F_{g,\text{قوالب القرميد}} = F_{\text{الطفو}} - F_{g,\text{لوح الفلين}}$$
$$= 980\ \text{N} - 98\ \text{N}$$
$$= 8.8\times10^{2}\ \text{N}$$

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

3–6 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

4–6 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:

$$\begin{aligned}\Delta L &= \alpha L_1(T_2 - T_1)\\ &= (25\times10^{-6}\ °C^{-1})(3.66\ m)(39°C - (-28°C))\\ &= 6.1\times10^{-3}\ m = 6.1\ mm\end{aligned}$$

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 $12\times10^{-6}\ °C^{-1}$).

$$\begin{aligned}L_2 &= L_1 + \alpha L_1(T_2 - T_1)\\ &= (0.115\ m) + (12\times10^{-6}\ °C^{-1})(0.115\ m)(1221°C - 22°C)\\ &= 1.2\times10^{-1}\ m = 12\ cm\end{aligned}$$

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 $30.0°C$.

$$\begin{aligned}\Delta V &= \beta V \Delta T\\ &= (210\times10^{-6}\ °C^{-1})(400\times10^{-6}\ m^3)(30.0°C - 4.4°C)\\ &= 2\times10^{-6}\ m^3 = 2\ ml\end{aligned}$$

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؟

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T} = \frac{V_2 - V_1}{V_1 \Delta T}$$

$$V_2 = \beta V_1 \Delta T + V_1$$

$$= (950 \times 10^{-6}\ °C^{-1})(45725\ L)(-2.0°C - 38.0°C) + 45725\ L$$

$$= 4.4 \times 10^4\ L$$

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.

$$\Delta L_{\text{الألومنيوم}} = \alpha L \Delta T$$

$$= (25 \times 10^{-6}\ °C^{-1})(0.85\ cm)(0.0°C - 30.0°C)$$

$$= -6.38 \times 10^{-4}\ cm$$

بالنسبة إلى الفولاذ، يتقلص قطر الثقب في صفيحة الفولاذ وفق المعادلة التالية

$$\Delta L_{\text{الفولاذ}} = \alpha L \Delta T$$

$$= (12 \times 10^{-6}\ °C^{-1})(0.85\ cm)(0.0°C - 30.0°C)$$

$$= -3.06 \times 10^{-4}\ cm$$

مقدار الفراغ بين القضيب والصفيحة يساوي:

$$\frac{1}{2}(6.4 \times 10^{-4}\ cm - 3.1 \times 10^{-4}\ cm) = 1.6 \times 10^{-4}\ cm$$

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.

$$\%\text{عدم الدقة} = (100)\left(\frac{\Delta L}{L}\right)$$

$$= (100)\alpha(T_f - T_i)$$

$$= (100)(12 \times 10^{-6}\ °C^{-1})(-30.0°C - 30.0\ °C)$$

$$= -0.072\%$$

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 إضافيًا؟

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 بلوريًا 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**

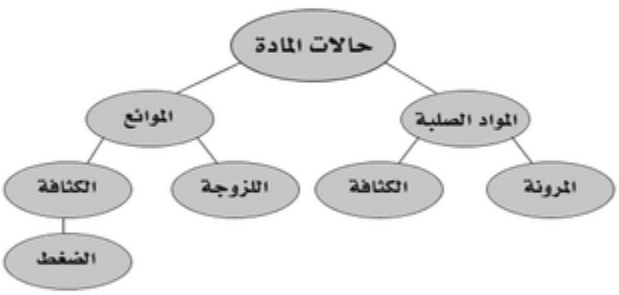
ستصبح الفجوة أكثر اتساعًا. وستزيد أبعاد الحلقة جميعها عند تسخينها.

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 جدًا 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 جدًا، والأكثر أهمية من ذلك أن كثافتها عالية جدًا 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 ممتصًا 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 $kg/m.s^2$.

$$\begin{aligned} Pa &= N/m^2 \\ &= (kg.m/s^2)/m^2 \\ &= kg/m.s^2 \end{aligned}$$

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؟

$$P_{\text{ماء}} = P_{\text{زئبق}}$$

$$\rho_{\text{ماء}} h_{\text{ماء}} g = \rho_{\text{زئبق}} h_{\text{زئبق}} g$$

$$\begin{aligned} h_{\text{ماء}} &= \left(\frac{\rho_{\text{زئبق}}}{\rho_{\text{ماء}}}\right) h_{\text{زئبق}} \\ &= (13.55)(10.0\ \text{cm}) \\ &= 136\ \text{cm} \end{aligned}$$

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 كرويًا 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 211–215

6–1 خصائص الموائع

صفحة 211–212

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 طرديًا مع حجم الأسطوانة؛ لذا فإن

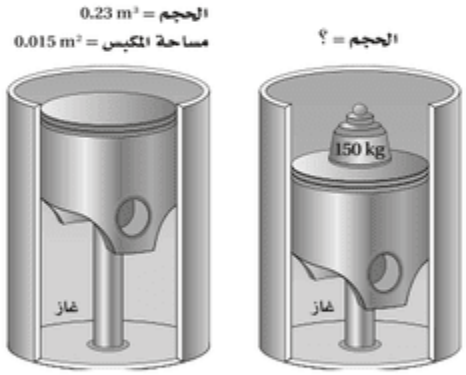
$$\frac{h_1}{T_1} = \frac{h_2}{T_2}$$

$$h_2 = \frac{h_1 T_2}{T_1}$$

$$= \frac{(20\ \text{cm})(373\ \text{K})}{273\ \text{K}}$$

$$= 3\times10^1\ \text{cm}$$

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**

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$= \frac{P_1 V_1}{\left(P_1 + \frac{mg}{A}\right)}$$

$$= \frac{(1.5\times10^5\ Pa)(0.23\ m^3)}{1.5\times10^5\ Pa + \frac{(150\ kg)(9.80\ m/s^2)}{0.015\ m^2}}$$

$$= 0.14\ m^3$$

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؟

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$P_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{T_1 V_2}$$

$$= \frac{(3.08\times10^5\ Pa)(0.55\ m^3)(310\ K)}{(280\ K)(0.58\ m^3)}$$

$$= 3.2\times10^5\ Pa$$

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 212–213

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 ($\rho = 19.3\times10^3\ \text{kg/m}^3$) أم مصنوع من الألومنيوم المطلي بالذهب ($\rho = 2.7\times10^3\ \text{kg/m}^3$)؟

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$= \frac{F_g}{Vg}$$

$$= \frac{11.81\ \text{N}}{(6.33\times10^{-5}\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 19.0\times10^3\ \text{kg/m}^3$$

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؟

$$F_g = 195\ \text{N} + 8\ \text{N}$$

$$= 203\ \text{N}$$

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؟

$$F_g = 195\ \text{N} + 2\ \text{N}$$

$$= 197\ \text{N}$$

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

$$F_{\text{الطفو}} = F_g = 26.0\ \text{N}$$

85. ما مقدار أقصى وزن يستطيع أن يرفعه في الهواء بالون مملوء بحجم $1.00\ \text{m}^3$ من غاز الهيليوم؟ افترض أن كثافة الهواء $1.20\ \text{kg/m}^3$ وكثافة غاز الهيليوم $0.177\ \text{kg/m}^3$، وأهمل كتلة البالون.

$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

$$= \rho_{\text{الهيليوم}} Vg - \rho_{\text{الهواء}} Vg$$

$$= (\rho_{\text{الهيليوم}} - \rho_{\text{الهواء}}) Vg$$

$$= (0.177\ \text{kg/m}^3 - 1.20\ \text{kg/m}^3)(1.00\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= -10.0\ \text{N}$$

أقصى وزن يستطيع أن يرفع البالون في الهواء يساوي 10.0 N.

86. تزن صخرة 54 N في الهواء، وعندما غمرت في سائل كثافته ضعف كثافة الماء أصبح وزنها الظاهري 46 N، ما وزنها الظاهري عندما تُغمر في الماء؟

$$F_{\text{الظاهري، الماء}} = F_g - \rho_{\text{الماء}} Vg$$

و

$$F_{\text{الظاهري، السائل}} = F_g - 2\rho_{\text{الماء}} Vg$$

أو

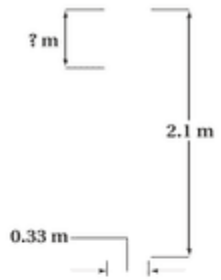
$$V = \frac{F_g - F_{\text{الظاهري، السائل}}}{2\rho_{\text{الماء}}\, g}$$

عوض مقدار V من المعادلة السابقة في المعادلة الأولى

$$\begin{aligned} F_{\text{الظاهري، الماء}} &= F_g - \rho_{\text{الماء}} g\left(\frac{F_g - F_{\text{الظاهري، السائل}}}{2\rho_{\text{الماء}}\, g}\right) \\ &= F_g - \left(\frac{1}{2}\right)(F_g - F_{\text{الظاهري، السائل}}) \\ &= \left(\frac{1}{2}\right)(F_g - F_{\text{الظاهري، السائل}}) \\ &= \left(\frac{1}{2}\right)(54\ \text{N} + 46\ \text{N}) \\ &= 5.0\times10^{1}\ \text{N} \end{aligned}$$

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؟

ارتفاع العوّامة فوق سطح الماء يساوي



■ **الشكل 29–6**

$$\begin{aligned} L_{\text{فوق سطح الماء}} &= \left(1 - \frac{V_{\text{الماء}}}{V_{\text{العوّامة}}}\right) L_{\text{الكلي}} \\ &= \left(1 - \frac{\left(\frac{m}{\rho}\right)_{\text{الماء}}}{\pi r^2 h}\right) L_{\text{الكلي}} \\ &= \left(1 - \frac{m}{\pi r^2 h\, \rho_{\text{الماء}}}\right) L_{\text{الكلي}} \\ &= \left(1 - \frac{120\ \text{kg}}{\pi\left(\left(\frac{1}{2}\right)(0.33\ \text{m})\right)^2 (2.1\ \text{m})(1.00\times10^{3}\ \text{kg/m}^3)}\right)(2.1\ \text{m}) \\ &= 0.70\ \text{m} \end{aligned}$$

تابع الفصل 6

6–4 المواد الصلبة

صفحة 215–213

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؟

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$T_2 = T_1 + \frac{(L_2 - L_1)}{\alpha L_1}$$

$$= 20.0°\text{C} + \frac{1.2230\ \text{cm} - 1.2250\ \text{cm}}{(12 \times 10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(1.2250\ \text{cm})}$$

$$= -1.2 \times 10^{2}\ °\text{C}$$

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؟

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

$$= (\beta_{\text{الميثانول}} - \beta_{\text{الفولاذ}})(\pi r^2 h)(T_2 - T_1)$$

$$= (1200 \times 10^{-6}\ °\text{C}^{-1} - 35 \times 10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(\pi)(2.000\ \text{m})^2\ (5.000\ \text{m})(40.0°\text{C} - 10.0°\text{C})$$

$$= 2.3\ \text{m}^3$$

95. سُخّنت كرة من الألومنيوم حتى أصبحت درجة حرارتها 580 °C، فإذا كان حجم الكرة 1.78 cm^3 عند درجة حرارة 11 °C، فما مقدار الزيادة في حجم الكرة عند 580 °C؟

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

$$= (75 \times 10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(1.78\ \text{cm}^3)(580°\text{C} - 11°\text{C})$$

$$= 7.6 \times 10^{-2}\ \text{cm}^3$$

96. إذا أصبح حجم كرة من النحاس 2.56 cm^3 بعد تسخينها من 12 °C إلى 984 °C، فما حجم الكرة عند 12 °C؟

$$V_2 = V_1 + V_1 \beta \Delta T = V_1 (1 + \beta \Delta T)$$

$$V_1 = \frac{V_2}{1 + \beta \Delta T}$$

$$= \frac{2.56\ \text{cm}^3}{(1 + (48 \times 10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(984°\text{C} - 12°\text{C}))}$$

$$= 2.4\ \text{cm}^3$$

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؟

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$= (12 \times 10^{-6}\ °\text{C}^{-1})(0.330\ \text{m})(95°\text{C} - 0°\text{C})$$

$$= 3.8 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

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؟

$$V_2 = V_1 + V_1\beta\Delta T$$

$$= V_1\,(1 + \beta\Delta T)$$

$$= V_1(1 + \beta(T_2 - T_1))$$

$$= (0.350\ \text{m}^3)(1 + (75\times10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1})(270.0\ \text{K} - 350.0\ \text{K}))$$

$$= 0.348\ \text{m}^3$$

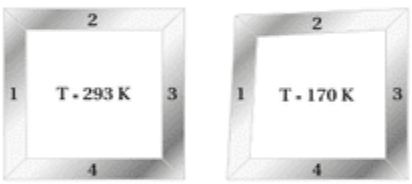
b. طول ضلع المكعب عند درجة 270.0 K؟

$$L = (V_2)^{\frac{1}{3}}$$

$$= (0.348\ \text{m}^3)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0.703\ \text{m}$$

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؟

$$F_g = \rho V_{\text{مغمور}}\, g = \rho\left(\frac{V_{\text{كرة}}}{2}\right) g$$

حيث إن

$$V_{\text{كرة}} = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{\pi d^3}{6}$$

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. المنطاد 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.

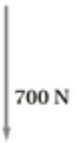
109. تطبيق المفاهيم إن الأشخاص الملازمين للسرير أقل احتمالا للإصابة بمرض تَقَرُّح الفراش إذا استخدموا فرشة الماء بدلاً من الفرشات العادية. فسّر ذلك.

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 كليًا 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؟

$$F_{\text{الطفو}} = F_g + F_{\text{رأسية إلى أسفل}}$$

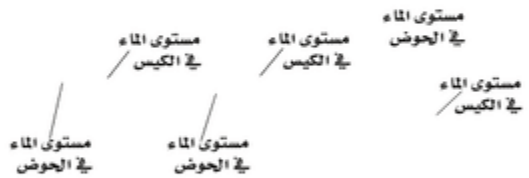
$$\rho_{\text{ماء}} Vg = \rho_{\text{الكرة}} Vg + F_{\text{رأسية إلى أسفل}}$$

$$V = \frac{F_{\text{رأسية إلى أسفل}}}{(\rho_{\text{ماء}} - \rho_{\text{الكرة}})g}$$

$$= \frac{700\ \text{N}}{(1.00\times10^{3}\ \text{kg/m}^3 - 95\ \text{kg/m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 8\times10^{-2}\ \text{m}^3$$

112. تطبيق المفاهيم تُوضع الأسماك الاستوائية التي تُربى في أحواض السمك المنزلية عند شرائها في أكياس بلاستيكية شفافة مملوءة جزئيًا 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 قريبةً 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 يُبرَد 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 نسبيًا. 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؟

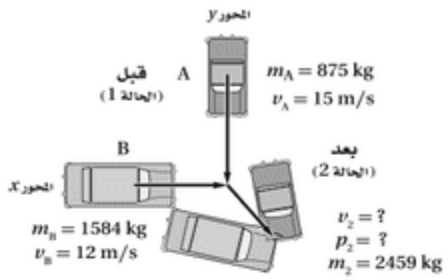
كان العالم الفرنسي جاي – لوساك مهتمًا أيضًا بصعود المنطاد إلى ارتفاعات عالية. وقد اكتشف أنه عندما يكون للغازات درجة الحرارة نفسها والضغط نفسه فإن أحجامها تتفاعل بنسب ذات أعداد صغيرة وصحيحة. وقد أسهم إنجاز جاي – لوساك في اكتشاف صيغة الماء، وذلك بإثباته أن حجمين من غاز الهيدروجين يتفاعلان مع حجم واحد من 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)

$$v = 6.50\ \text{cm/s} = 0.0650\ \text{m/s}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fd}{t} = F\left(\frac{d}{t}\right) = Fv$$

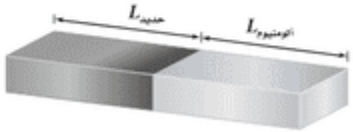
$$P = F_g v$$

$$F_g = \frac{P}{v} = \frac{188\ \text{W}}{0.0650\ \text{m/s}} = 2.89 \times 10^3\ \text{N}$$

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

$$L_{\text{فولاذ}} = \frac{(\alpha_{\text{نحاس}} - \alpha_{\text{ألومنيوم}}) L_{\text{نحاس}}}{\alpha_{\text{فولاذ}} - \alpha_{\text{ألومنيوم}}}$$

$$= \frac{(16 \times 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1} - 25 \times 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1})(1.00\ \text{m})}{12 \times 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1} - 25 \times 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1}}$$

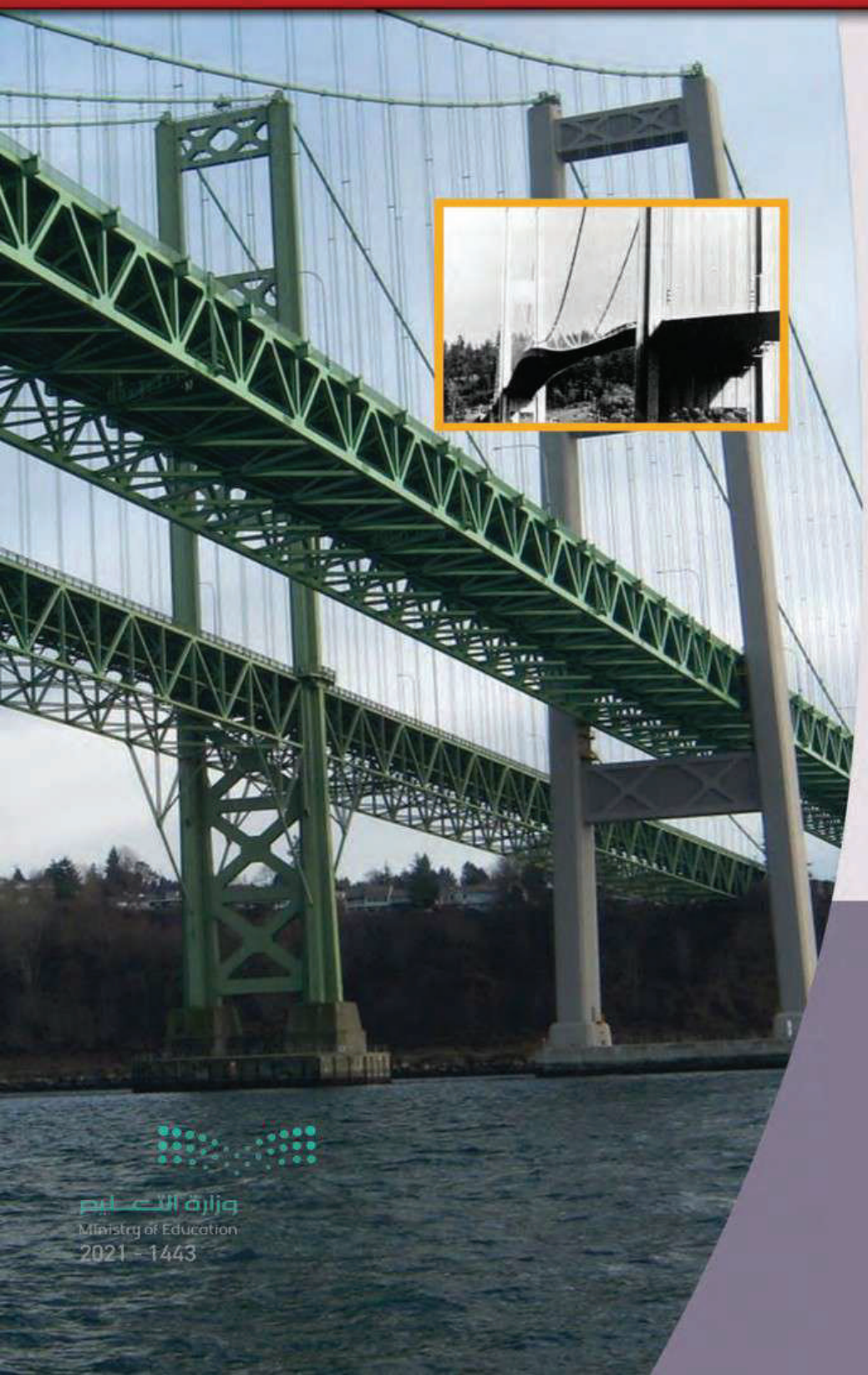
$$= 0.69\ \text{m}$$

$$L_{\text{ألومنيوم}} = L_{\text{نحاس}} - L_{\text{فولاذ}}$$

$$= 1.00\ \text{m} - 0.69\ \text{m} = 0.31\ \text{m}$$

الفصل 7

الاهتزازات والموجات
Vibrations and Waves



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- التوصل إلى خصائص الحركة الاهتزازية وربطها بالموجات.
- تَعرُّف كيف تنقل الموجات الطاقة.
- وصف سلوك الموجات ومعرفة أهميتها العملية.

الأهمية

إن معرفة سلوك الموجات والاهتزازات ضروري جدًّا لفهم ظاهرة الرنين، وكيفية بناء الجسور والأبنية الآمنة، ولمعرفة كيف تتم الاتصالات من خلال المذياع والتلفاز أيضًا.

"جسر جالوبينج جيرتي Galloping Gertie" بعد فترة قصيرة من افتتاح جسر مضيق تاكوما (قريبًا من تاكوما في واشنطن) أمام حركة المركبات بدأ هذا الجسر في الاهتزاز عند هبوب الرياح. وكانت الاهتزازات شديدة في أحد الأيام، فتحطم الجسر، وانهار في الماء.

فكّر ◄

كيف يمكن للرياح الخفيفة أن تؤدي إلى اهتزاز الجسر بموجات كبيرة تؤدي إلى انهياره في النهاية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 7

الاهتزازات والموجات

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.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{451\ \text{Hz}} = 2.22 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

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. ولَّد 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 a 17–7، 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 عموديًا 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 13a–7** 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 13b–7**.

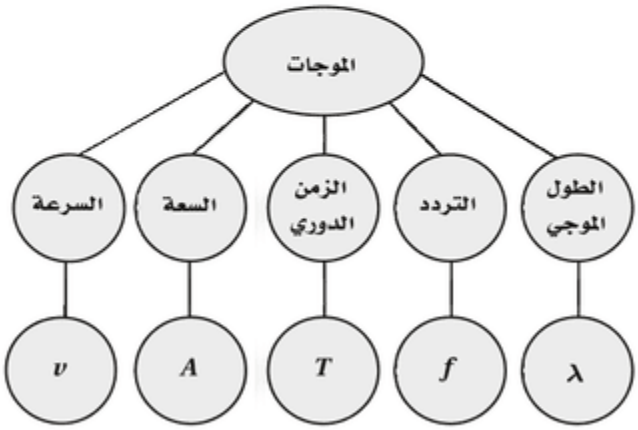
الشكل 13a–7 يسلك سلوك جدار صلب؛ لأن الموجة المنعكسة منقلبة. أما الشكل 13b–7 فيسلك سلوك النهاية المفتوحة؛ لأن الحد الفاصل بطن، والموجة المنعكسة غير منقلبة.

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.

37. افترض أنك ولّدت موجة مستعرضة بهزّ أحد طرفي نابض جانبيًا، 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. فمثلاً 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 طرديًا 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 رأسيًا. 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 فلزيًا 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.

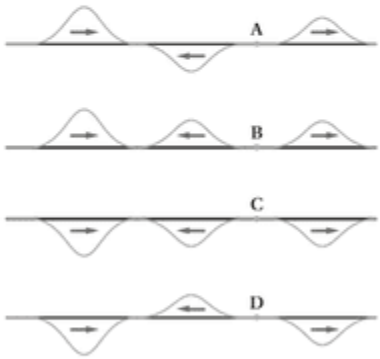
47. افترض أنك غمست إصبعك بشكل متكرّر في حوض مملوء بالماء لتوليد موجات دائرية، فماذا يحدث لطول الموجة إذا حركت إصبعك بسرعة؟

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

7–1 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؟

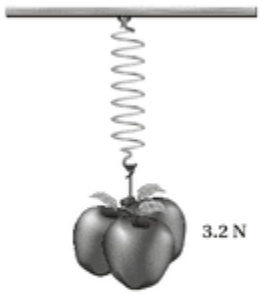
$$F = kx$$

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؟

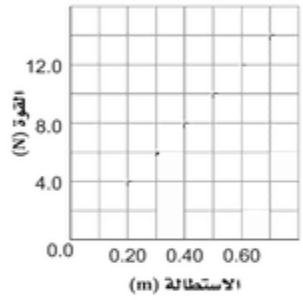
$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}(27\ \text{N/m})(0.16)^2$$

$$= 0.35\ \text{J}$$

تابع الفصل 7

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.

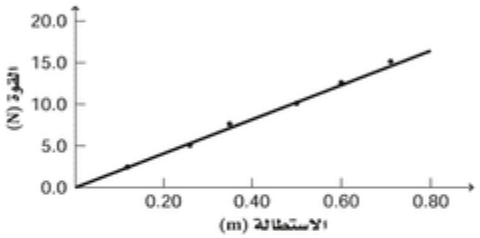
67. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها عُلّقت عدة كتل في نهاية نابض، وقيست الزيادة في طول النابض. ويبين **الجدول 1–7** المعلومات التي تم الحصول عليها.

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؟

$$\overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\overline{a} = \frac{112\ \text{m/s}}{9.8\ \text{s}} = 11\ \text{m/s}^2$$

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 يتسبَّب 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.

الفصل 8

الصوت
Sound

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الصوت بدلالة خصائص الموجات وسلوكها.
- اختبار بعض مصادر الصوت.
- توضيح الخصائص التي تميز بين الأصوات المنتظمة والضجيج.

الأهمية

يُعدّ الصوت وسيلة مهمة للتواصل، ونقل الثقافات المختلفة بين الشعوب. وحديثًا تعد موجاته إحدى وسائل المعالجة.

فِرَق النشيد تحتوي فرقة النشيد الواحدة على أكثر من شخص، ولكل شخص منهم صوت مختلف عن الآخر، وعندما ينشدون معًا تنتج أصوات مختلفة، ولكنها تكون ذات إيقاعات مريحة للنفس.

فكّر ◄

تختلف الأصوات الصادرة عن الأجسام باختلاف طبيعة هذه الأجسام، وبسبب هذا الاختلاف نستطيع التمييز بين هذه الأصوات. فما سبب هذا الاختلاف؟

الفصل
8 الصوت

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.

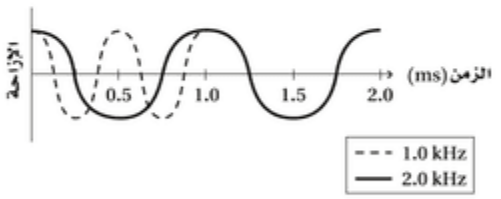
$$v_s = v - \frac{f_s}{f_d}(v - v_d)$$
$$= 343\ \text{m/s} - \left(\frac{262\ \text{Hz}}{271\ \text{Hz}}\right)(343\ \text{m/s} - 0\ \text{m/s})$$
$$= 11.4\ \text{m/s}$$

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 بيانيًا 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 $= \frac{\lambda}{2} = 1.1\ \text{m}$

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. فسّر ذلك. وما الذي يحدث لقياس زمن الركض إذا ابتدأ التوقيت عند سماع الصوت؟ (1–8)

ينتقل الضوء بسرعة $3.00\times10^{8}\ \text{m/s}$، 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 ترددتها 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.

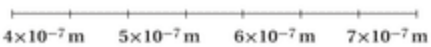
b. الطول الموجي

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.

$L = 4L$ و $\lambda = v/f$، 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

1–8 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

$100 = 10 \times 10$ ؛ **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.

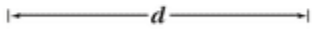
تزداد السرعة بمعدل 0.6 m/s لكل 1°C، لذا فإنه عند ارتفاع درجة الحرارة من 20°C حتى 30°C، تكون الزيادة في السرعة 6 m/s. لذا تصبح السرعة تساوي

$343 + 6 = 349\ \text{m/s}$

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

$$2t = 2.0\ \text{s}$$

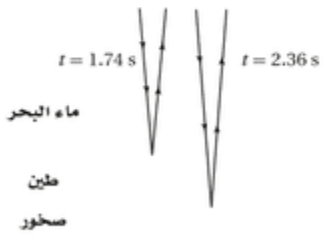
$$d = vt = (340\ \text{m/s})(1.0\ \text{s}) = 3.4 \times 10^2\ \text{m}$$

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.

$$\lambda_1 = 2L = (2)(0.650\ \text{m})$$

$$= 1.30\ \text{m}$$

$$v = \lambda f = (1.30\ \text{m})(196\ \text{Hz})$$

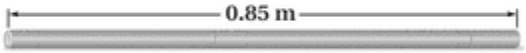
$$= 255\ \text{m/s}$$

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:

$$d = \frac{1}{2} g t^2$$

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

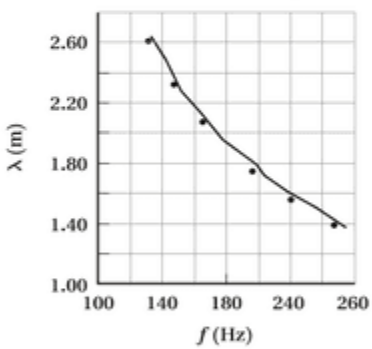
71. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبين **الجدول 2–8** الأطوال الموجية لموجات صوتية ناتجة عن مجموعة من الشوكات الرنانة عند تردّدات معيّنة.

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

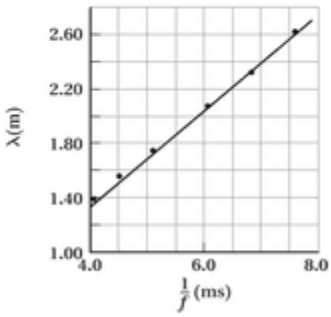
a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين الطول الموجي والتردّد (المتغير المضبوط). ما نوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟

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.

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)

$$\lambda = 2L = 2(0.600\ \text{m}) = 1.20\ \text{m}$$

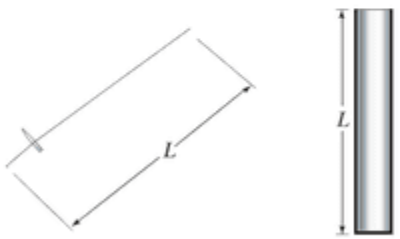
$$v = \lambda f = (1.20\ \text{m})(440\ \text{Hz}) = 530\ \text{m/s}$$

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

$$F_T = \frac{mv^2}{4L} = \frac{(0.0010\ \text{kg})(343\ \text{m/s})^2}{4(0.400\ \text{m})} = 74\ \text{N}$$