

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

٢٠١٤٣٨، وزارة التعليم، (ح)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

وزارة التعليم

فيزياء ٢ - (كتاب الطالب) التعليم الثانوي - نظام المقررات (مسار العلوم الطبيعية)
وزارة التعليم. الرياض، ١٤٣٨ هـ.

٣٢٠ ص؛ ٢١ × ٢٧ سم

ردمك : ١-٤٥٨-٥٠٨-٦٠٣-٩٧٨

١ - الفيزياء - تعليم - السعودية ٢ - التعليم الثانوي - مناهج -

السعودية. أ - العنوان

١٤٣٨/٤٥٦٠

ديوي ٣٧٥,٥٣

رقم الإيداع : ١٤٣٨/٤٥٦٠

ردمك : ١-٤٥٨-٥٠٨-٦٠٣-٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثنائية وداعمة على "منصة عين"



IEN.EDU.SA

تواصل بمقترحاتك لتطوير الكتاب المدرسي



FB.T4EDU.COM



وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

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

 غسل اليدين	 سلامة العين	 سلامة الحيوانات	 وقاية الملابس	 سلامة العين
اغسل يديك بعد كل تجربة أنتج والصابون قبل أنتج النظرة الواقية.	يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.	يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.	يشير هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعاً أو حريقاً للملابس.	يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد: يأتي اهتمام المملكة العربية السعودية بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب (فيزياء ٢) لنظام المقررات في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية.

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

وقد جاء هذا الكتاب في ثمانية فصول، هي: الحركة الدورانية، والزخم وحفظه، والشغل والطاقة والآلات البسيطة، والطاقة وحفظها، والطاقة الحرارية، وحالات المادة، والاهتزازات والموجات، والصوت. وسوف نتعرف في هذا المقرر الحركة الدورانية ووصفها، والاتزان وشروطه، والزخم وحفظه، واستخدام نظرية الدفع - الزخم، ودراسة الطاقة والشغل والعلاقة بينهما، والآلات البسيطة والمركبة. كما يعرض الكتاب الأشكال المتعددة للطاقة وحفظ الطاقة، وتحليل التصادمات، إضافة إلى دراسة درجة الحرارة والطاقة الحرارية والحرارة النوعية، ومقاييس درجة الحرارة، وقوانين الديناميكا الحرارية. كما يعرض خصائص الموجات والقوى داخل السوائل، ومبدأ باسكال وقوة الطفو ومبدأ برنولي، ومعاملات التمدد الحراري للمواد الصلبة وتطبيقاتها. وستتعرف أيضاً خصائص الموجات الطولية والمستعرضة، وتراكب الموجات، وخصائص الصوت والرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار.

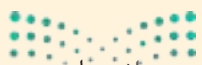
وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (٢٠٣٠) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم،

من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلاكية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلاكية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ويمكن الرجوع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (٢٠٣٠) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، ومظللة باللون الأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

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

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



قائمة المحتويات

الفصل 1

الحركة الدورانية 8

1-1 وصف الحركة الدورانية 9

1-2 ديناميكا الحركة الدورانية 14

1-3 الاتزان 19

الفصل 2

الزخم وحفظه 38

2-1 الدفع والزخم 39

2-2 حفظ الزخم 46

الفصل 3

الشغل والطاقة والآلات البسيطة 68

3-1 الطاقة والشغل 69

3-2 الآلات 81

الفصل 4

الطاقة وحفظها 102

4-1 الأشكال المتعددة للطاقة 103

4-2 حفظ الطاقة 113



قائمة المحتويات

الفصل 5

الطاقة الحرارية 136

5-1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية 137

5-2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية.. 150

الفصل 6

حالات المادة 172

6-1 خصائص الموائع 173

6-2 القوى داخل السوائل 184

6-3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة 188

6-4 المواد الصلبة 198

الفصل 7

الاهتزازات والموجات 218

7-1 الحركة الدورية 219

7-2 خصائص الموجات 225

7-3 سلوك الموجات 231

الفصل 8

الصوت 246

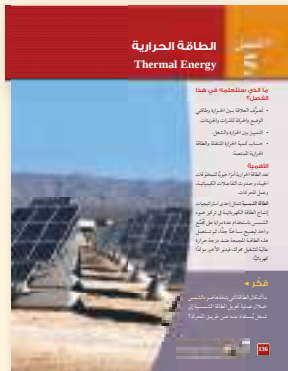
8-1 خصائص الصوت والكشف عنه 247

8-2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار 255

دليل الرياضيات 275

الجدول 306

المصطلحات 310



الحركة الدورانية Rotational Motion

الفصل 1

ما الذي سنتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الحركة الدورانية وقياسها.
- تعرّف 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** تُصمّم العربات الدوّارة في مدن الألعاب، بحيث تحقق للراكب الإثارة؛ فهي تشعر الراكب بالابتهاج في أثناء دوران العربات. وتخضع حركة هذه العربات لقوانين فيزياء الحركة الدورانية ومبادئها.

فكر

لماذا يتعرض الراكب في العربة الدوّارة لرودود فعل بدنية قوية؟



كيف يتزن الجسم دورانياً؟

سؤال التجربة هل يمكن جعل مسطرة معلقة من منتصفها في حالة اتزان دوراني عند تعليق أثقال مختلفة على جانبيها؟

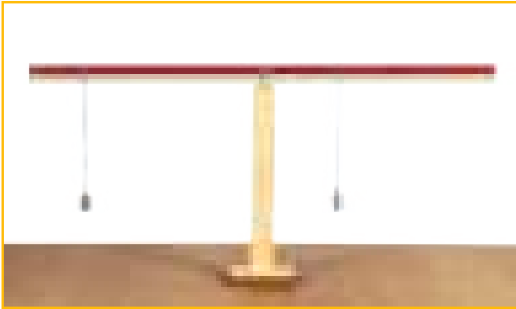
الخطوات

1. ستحتاج في هذه التجربة إلى: مسطرة مترية خشبية، وشريط قياس متري، وأثقال مختلفة، وخيوط، ومقص.
2. علّق المسطرة من منتصفها على حامل رأسي، بحيث يمكن تدويرها حول نقطة التعليق. واربط كل ثقل من الأثقال بخيط.
3. علّق ثقلاً على أحد جانبي المسطرة، وقس بعده عن نقطة التعليق وسجله.
4. علّق ثقلاً آخر مختلفاً على الجانب الآخر

التحليل

أوجد حاصل ضرب كل قوة (وزن الثقل) في بُعدها عن نقطة التعليق (محور الدوران). قارن بين بيانات كل محاولة، هل تأخذ هذه البيانات نمطاً محدداً؟ وضح ذلك

التفكير الناقد ما شرط اتزان جسم دورانياً؟



رابط الدرس الرقمي



www.ien.edu.sa

1-1 وصف الحركة الدورانية Describing Rotational Motion

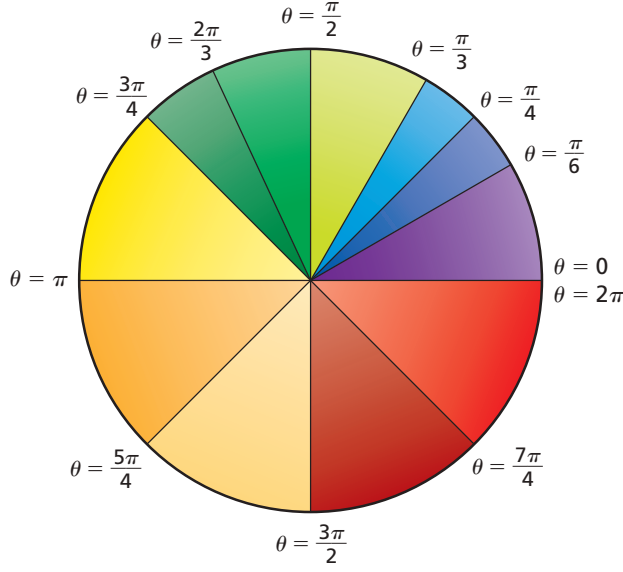
لا بد أنك لاحظت كثيراً من الأجسام التي تتحرك حركة دورانية. فكيف تقيس الحركة الدورانية لهذه الأجسام؟ خذ جسمًا دائريًا كقرص CD مثلاً، وضع إشارتين: إحداهما على القرص، والأخرى في المكان الذي تحدّد فيه نقطة البداية. ثم دوّر القرص إلى اليسار (في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة)، وراقب موضع العلامة. وعندما تعود الإشارة إلى نقطة البداية يكون القرص قد أكمل دورة كاملة واحدة. ولكن كيف تقيس جزءاً من الدورة؟ هناك وحدات مختلفة لقياس زوايا الدوران، منها وحدة الدرجة التي تعادل $\frac{1}{360}$ من الدورة الكاملة. وهناك وحدة أخرى تُستعمل كثيراً في الرياضيات والفيزياء لقياس زوايا الدوران، وهي وحدة **الراديان**؛ فعندما يُتمّ قرص دورة كاملة فإن أي نقطة واقعة على حافته تقطع مسافة تساوي 2π مضروبة في نصف قطر القرص. لذا يُعرّف الراديان (radian) بأنه $\frac{1}{2\pi}$ من الدورة الكاملة (Revolution)، أي أن الدورة الكاملة تساوي 2π radians. ويرمز إلى الراديان بالرمز rad.

الأهداف

- تصف الإزاحة الزاوية.
- تحسب السرعة الزاوية المتجهة.
- تحسب التسارع الزاوي.
- تحل مسائل تتعلق بالحركة الدورانية.

المفردات

الراديان
الإزاحة الزاوية
السرعة الزاوية المتجهة
التسارع الزاوي

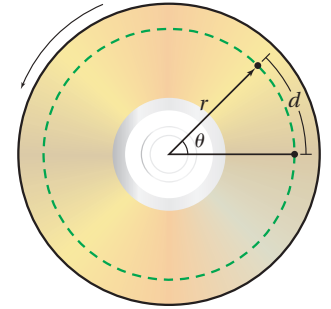


■ الشكل 1-1 يبين الرسم تمثيل بياني
بالقطاع الدائري قياس الراديان لمعظم
الزوايا الشهيرة مقيسة في عكس اتجاه
حركة عقارب الساعة، وكل زاوية مقيسة من
الزاوية $\theta = 0$.

الإزاحة الزاوية Angular Displacement

يبين الشكل 1-1 القياس بالراديان لمعظم الزوايا الشهيرة، والتي تمثل أجزاء من الدورة الكاملة، ويرمز لزاوية الدوران بالرمز θ (ثيتا). وقد اعتُبر أن اتجاه الدوران في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة يُعدّ موجباً، ويعد سالباً إذا كان في اتجاه حركة عقارب الساعة. أما التغير في الزاوية في أثناء دوران الجسم فيسمى **الإزاحة الزاوية**.

تدور الأرض حول محورها دورة واحدة كل يوم، أي 2π rad في 24 h، وتدور π rad في 12 h. فما زاوية دوران الأرض خلال 6 h؟ بما أن 6 h تمثل ربع اليوم، فإن الأرض تدور بزاوية $(\frac{\pi}{2} \text{ rad})$ خلال هذه الفترة. ويُعد دوران الأرض كما يُرى من القطب الشمالي موجباً، فهل يكون دوران الأرض موجباً أم سالباً أيضاً عندما تُشاهده من القطب الجنوبي؟ ما المسافة التي تتحركها نقطة واقعة على جسم يدور؟ عندما يُتم الجسم الدور دورة كاملة فإن النقطة الواقعة على حافته تتحرك مسافة تساوي 2π مضروبة في نصف قطر الجسم. فإذا دارت نقطة على بعد r من المركز بزاوية θ ، كما في الشكل 2-1، فإن المسافة التي تتحركها النقطة يُعبّر عنها بالعلاقة $d = r\theta$. والبعض يظن أنه إذا قيس r بالتر فإن ذلك يجعل d مقيسة بوحدة m.rad، وهذا ليس صحيحاً؛ فالراديان يمثل النسبة بين d و r ، لذا تقاس d بوحدة m.



■ الشكل 2-1 يمثل الخط المنقط
المسار الذي تسلكه نقطة على CD عندما
يدور الـ CD في عكس اتجاه حركة عقارب
الساعة حول مركزه.

السرعة الزاوية المتجهة Angular Velocity

ما سرعة دوران قرص الـ CD؟ وكيف تُحدّد مقدار سرعته الدورانية؟ تعرف أن السرعة هي ناتج قسمة الإزاحة على الزمن الذي يتطلبه حدوث الإزاحة؛ وبالمثل، فإن **السرعة الزاوية المتجهة** لجسم هي ناتج قسمة الإزاحة الزاوية على الزمن الذي يتطلبه حدوث

هذه الإزاحة. لذا يُعبر عن السرعة الزاوية المتجهة ω بالمعادلة الآتية:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad \text{السرعة الزاوية المتجهة}$$

"السرعة الزاوية المتجهة تساوي الإزاحة الزاوية مقسومة على الزمن الذي يتطلبه حدوث الدوران".

عندما تتغير السرعة المتجهة خلال فترة زمنية معينة فإن السرعة المتجهة المتوسطة لا تساوي السرعة المتجهة اللحظية عند كل لحظة خلال تلك الفترة. وينطبق الأمر نفسه على حساب السرعة الزاوية المتجهة؛ فعند حساب السرعة الزاوية المتجهة المتوسطة خلال فترة زمنية Δt فإننا نكون قد حسبنا السرعة الزاوية المتجهة المتوسطة خلال تلك الفترة. أما السرعة الزاوية المتجهة اللحظية فتساوي ميل المنحنى للعلاقة بين الموقع الزاوي والزمن. تقاس السرعة الزاوية المتجهة بوحدة rad/s. تكون السرعة الزاوية للأرض مثلاً

$$\omega_E = (2\pi \text{ rad}) / (24.0 \text{ h}) (3600 \text{ s/h}) = 7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$$

إن الدوران في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة يجعل الإزاحة الزاوية موجبة، ويجعل السرعة الزاوية المتجهة موجبة أيضاً. فإذا كانت السرعة الزاوية المتجهة لجسم ما ω فإن السرعة الخطية المتجهة v لنقطة على بعد r من محور الدوران تساوي $v = r\omega$ ، ويعبر عن مقدار سرعة جسم على خط الاستواء يتحرك نتيجة دوران الأرض بالعلاقة:

$$v = r\omega = (6.38 \times 10^6 \text{ m}) (7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}) = 464 \text{ m/s}$$

وتُعد الأرض مثلاً على حركة جسم صلب حركة دورانية. وعلى الرغم من أن النقاط المختلفة على الأرض تقطع مسافات مختلفة في كل دورة، إلا أن هذه النقاط جميعها تدور خلال الزاوية نفسها، وكل أجزاء الجسم الصلب تدور بالمعدل نفسه. أما الشمس فليست جسماً صلباً، لذا تدور الأجزاء المختلفة منها بمعدلات مختلفة. وستدرس في هذا الفصل دوران الأجسام الصلبة.

الربط مع الضلك

التسارع الزاوي Angular Acceleration

ماذا لو تغيرت السرعة الزاوية المتجهة؟ إذا تسارعت سيارة مثلاً من 0.0 m/s إلى 25 m/s خلال 15.0 s، وكان نصف قطر إطاراتها 32 cm فإن السرعة الزاوية المتجهة لإطارات السيارة تتغير أيضاً من 0.0 rad/s إلى 78 rad/s خلال الفترة الزمنية نفسها. أي يكون لإطارات السيارة **تسارع زاوي** يُعرّف بأنه التغير في السرعة الزاوية المتجهة مقسوماً على الزمن الضروري لحدوث هذا التغير، وعموماً يُعبر عن التسارع الزاوي α بالعلاقة:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \text{التسارع الزاوي}$$

التسارع الزاوي يساوي التغير في السرعة الزاوية المتجهة مقسوماً على الفترة الزمنية التي حدث خلالها هذا التغير.



ويقاس التسارع الزاوي بوحدة rad/s^2 ، فإذا كان التغير في السرعة الزاوية المتجهة موجباً كان التسارع الزاوي موجباً أيضاً. إن التسارع الزاوي المعبر عنه بهذه العلاقة هو نفسه التسارع الزاوي المتوسط خلال الفترة الزمنية Δt . ومن طرائق حساب التسارع الزاوي اللحظي إيجاد ميل العلاقة البيانية بين السرعة الزاوية المتجهة والزمن. ويمكن حساب التسارع الخطي لنقطة على بعد r من محور جسم إذا علم تسارعه الزاوي α ، وفقاً للعلاقة $a = r\alpha$. والجدول 1-1 يبين ملخص العلاقات بين الكميات الخطية والزاوية.

الجدول 1-1			
قياسات خطية وزاوية			
الكمية	الخطية	الزاوية	العلاقة
الإزاحة	$d \text{ (m)}$	$\theta \text{ (rad)}$	$d = r\theta$
السرعة المتجهة	$v \text{ (m/s)}$	$\omega \text{ (rad/s)}$	$v = r\omega$
التسارع	$a \text{ (m/s}^2\text{)}$	$\alpha \text{ (rad/s}^2\text{)}$	$a = r\alpha$

1. ما الإزاحة الزاوية لعقارب ساعة يد خلال 1 h؟ اكتب إجابتك بثلاثة أرقام معنوية، وذلك لـ:
 - a. عقرب الثواني
 - b. عقرب الدقائق
 - c. عقرب الساعات.
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؟
3. إذا كانت العربة التي في السؤال السابق تسحب قاطرة قطر كل من إطاراتها 48 cm ، قارن بين:
 - a. التسارع الخطي للقاطرة والتسارع الخطي للعربة.
 - b. التسارع الزاوي للقاطرة والتسارع الزاوي للعربة.
4. إذا استبدلت بإطارات سيارتك إطارات أخرى قطرها أكبر فكيف تتغير السرعة الزاوية المتجهة وعدد الدورات إذا قمت بالرحلة نفسها، وقطعت المسافة نفسها ملتزماً بالسرعة الخطية نفسها؟

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

التردد الزاوي يُكمل الجسم المتحرك حركة دورانية عدة دورات خلال فترة زمنية محددة. يدور دولاب الغزل مثلاً عدة دورات في الدقيقة الواحدة، ويسمى عدد الدورات الكاملة التي يدورها الجسم في الثانية الواحدة التردد الزاوي ω ؛ حيث $f = \frac{\omega}{2\pi}$.

1-1 مراجعة

فإذا احتاج الملف 8.0 s حتى يتوقف بعد فتح الغطاء فما التسارع الزاوي للملف الأسطوانى؟

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 ثابتاً ويساوي 1.4 m/s. احسب ما يأتي:

- السرعة الزاوية المتجهة للقرص (بوحدة rad/s) وعند بداية المسار.
- السرعة الزاوية المتجهة للقرص عند نهاية المسار.
- التسارع الزاوي للقرص إذا كان زمن قراءته كاملاً 76 min.



المسار اللولبي على قرص (CD)

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

- زمن دوران القمر بوحدة الثانية.
 - السرعة الزاوية لدوران القمر بوحدة rad/s.
 - مقدار السرعة الخطية لصخرة على خط الاستواء للقمر (الناجمة فقط عن دوران القمر)؟
 - النسبة بين مقدار السرعة الخطية في الفقرة السابقة والسرعة الخطية الناتجة عن دوران الأرض لشخص يقف على خط الاستواء. علماً بأن سرعة الأرض عند خط الاستواء 464 m/s.
6. **الإزاحة الزاوية** إذا كان قطر الكرة المستخدمة في فأرة الحاسوب 2.0 cm، وحركت الفأرة 12 cm، فما الإزاحة الزاوية للكرة؟

7. **الإزاحة الزاوية** هل لكل أجزاء عقرب الدقائق الإزاحة الزاوية نفسها؟ وهل لها إزاحة خطية متماثلة؟
8. **التسارع الزاوي** يدور الملف الأسطوانى في محرك غسالة الملابس 635 rev/min (أي 635 دورة في الدقيقة)، وعند فتح غطاء الغسالة يتوقف المحرك عن الدوران.



1-2 ديناميكا الحركة الدورانية Rotational Dynamics

الأهداف

- تصف العزم.
- تحدّد العوامل التي يعتمد عليها العزم.
- تحسب محصلة العزم.

المفردات

ذراع القوة
العزم

كيف تبدأ الحركة الدورانية لجسم ما؟ كيف تتغير سرعته الزاوية المتجهة؟ إذا كان لديك علبة أسطوانية، وأردت أن تديرها حول نفسها فما عليك إلا أن تلف خيطاً حولها ثم تسحبه بقوة فتدور، وكلما سحبت الخيط بقوة أكبر زادت سرعة دورانها. تؤثر في العلبة - في هذه الحالة - قوتان، هما قوة الجاذبية الأرضية، وقوة الشد في الخيط. أما قوة الجاذبية الأرضية فتؤثر في مركز العلبة، ولذلك لا تؤدي إلى تدوير العلبة (ستعرف السبب لاحقاً). وأما قوة الشد في الخيط فتؤثر في الحافة الخارجية للعلبة، ويكون اتجاه قوة الشد متعامداً مع اتجاه الخط الواصل بين مركز العلبة والنقطة التي يلامس عندها الخيط سطح العلبة مبتعداً عنها.

وكما تعلمت، فإن القوة المؤثرة في جسم نقطي تغير من سرعته الخطية المتجهة، أما الجسم غير النقطي والذي يكون ثابتاً في الشكل والحجم - كما في حالة العلبة الأسطوانية - فإن تأثير القوة فيه بطريقة معينة يغير سرعته الزاوية المتجهة. تأمل حالة فتح باب مغلق؛ إنك تؤثر في الباب بقوة لكي تفتحه، ولكن ما أسهل طريقة لفتح الباب؟ إن ما يعيننا هو الحصول على أكبر أثر عند التأثير بأقل قوة ممكنة. ولتحقيق هذا نجعل نقطة تأثير القوة أبعد ما يمكن عن محور الدوران، انظر الشكل 1-3. إن محور الدوران في حالة الباب هو خط وهمي رأسي يمر من خلال مفصلات الباب. أما نقطة تأثير القوة فهي مقبض الباب الذي يكون بجانب الطرف الخارجي للباب. ولضمان أثر فعال للقوة فإننا نؤثر بها في مقبض الباب (بعيداً عن المفصلات) وبزاوية قائمة بالنسبة للباب، حيث يحدّد كل من مقدار القوة واتجاهها، والمسافة بين المحور ونقطة تأثير القوة، التغير في السرعة الزاوية المتجهة.

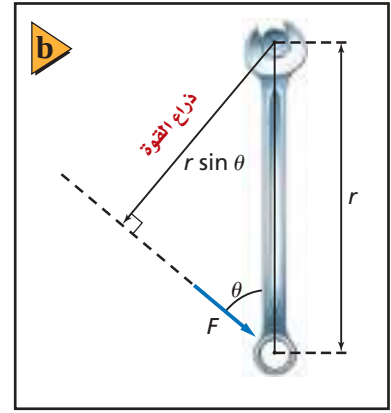
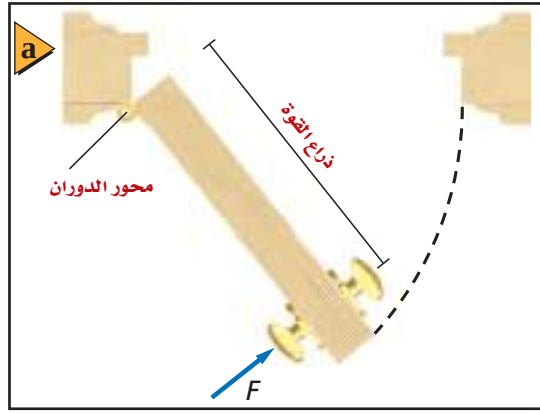
ذراع القوة عند التأثير بقوة معينة، فإن التغير في السرعة الزاوية المتجهة يعتمد على **ذراع القوة**، وهي المسافة العمودية من محور الدوران حتى نقطة تأثير القوة. فإذا كانت القوة متعامدة مع نصف قطر الدوران - كما هو الحال في العلبة الأسطوانية - فإن ذراع القوة تساوي البعد عن المحور، وتساوي r . أما بالنسبة للباب فإن ذراع القوة تساوي البعد بين المفصلات

ونقطة تأثير القوة، انظر الشكل 1-4a. وإذا لم تكن القوة متعامدة مع محور الدوران نأخذ المركبة العمودية للقوة. فالقوة التي يؤثر بها الخيط حول العلبة متعامدة مع نصف قطر العلبة، وإذا كانت القوة المؤثرة غير متعامدة مع نصف القطر فإن مقدار ذراع القوة يقل. ولإيجاد ذراع القوة نمذّن خط متجه القوة حتى يشكّل زاوية قائمة مع الخط الممتد من مركز الدوران، فتكون المسافة بين نقطة التقاطع والمحور هي ذراع القوة. وباستخدام حساب المثلثات يمكن إيجاد طول ذراع القوة L بالمعادلة $L = r \sin \theta$ ، انظر الشكل 1-4b. وتمثل r المسافة بين محور الدوران ونقطة تأثير القوة، أما θ فهي الزاوية المحصورة بين القوة المؤثرة ونصف القطر (المتجه الممتد من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة).

■ الشكل 1-3 عند فتح باب حر الدوران حول المفصلات يتولد أكبر عزم عندما تؤثر القوة في أبعد نقطة عن المفصلات (a) بزاوية متعامدة مع الباب (b)



■ الشكل 4-1 تكون ذراع القوة محاذية
لعرض الباب من المَفَصَّلات حتى نقطة
تأثير القوة (a)، تحسب ذراع القوة (L)
من المعادلة $L = r \sin \theta$ عندما تكون
الزاوية θ بين القوة ونصف قطر الدوران
تساوي 90° (b).



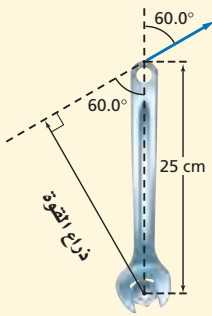
العزم مقياس لمقدرة القوة على إحداث الدوران، ومقدار العزم يساوي حاصل ضرب
القوة في طول ذراعها. ولأن القوة مقيسة بوحدة النيوتن والمسافة بوحدة المتر فإن العزم
يقاس بوحدة (N.m)، ويرمز له بالحرف اللاتيني τ ، ويُعبر عنه بالمعادلة الآتية:

$$\tau = Fr \sin \theta \quad \text{العزم}$$

العزم يساوي حاصل ضرب القوة في طول ذراعها.

مثال 1

ذراع القوة يتطلب شد صامولة في محرك سيارة عزمًا مقداره 35 N.m. إذا استخدمت مفتاح شد طوله 25 cm، فأثرت في
نهاية المفتاح بقوة تميل بزاوية 60.0° بالنسبة إلى الرأسى فما طول ذراع القوة؟ وما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر بها؟



1 تحليل المسألة ورسمها

• مثل الوضع، وجد طول ذراع القوة بسحب متجه القوة من نهايته حتى
يتقاطع الخط العمودي عليه مع محور الدوران.

المجهول

المعلوم

$$L = ? \quad F = ?$$

$$r = 0.25 \text{ m}, \tau = 35 \text{ N.m}, \theta = 60.0^\circ$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

جد طول ذراع القوة باستخدام العلاقة.

$$r = 0.25 \text{ m}, \theta = 60.0^\circ$$

$$L = r \sin \theta$$

$$= (0.25 \text{ m}) (\sin 60.0) = 0.22 \text{ m}$$

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

$$F = \frac{35 \text{ N.m}}{(0.25 \text{ m}) (\sin 60^\circ)}$$

$$= 1.6 \times 10^2 \text{ N}$$

$$\tau = 35 \text{ N.m}, r = 0.25 \text{ m}, \theta = 60.0^\circ$$

دليل الرياضيات

النسب المثلثية 302 , 303

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ تقاس القوة بوحدة النيوتن.

• هل الإشارات مهمة هنا؟ تم حساب مقدار القوة اللازمة فقط لتدوير المفتاح في اتجاه حركة عقارب الساعة.

10. بالرجوع إلى مفتاح الشد في المثال 1، ما مقدار القوة التي يجب التأثير بها عمودياً في مفتاح الشد؟
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؟
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 مقداره 232 N . ما مقدار أقل زاوية تصنعها القوة المؤثرة بالنسبة إلى الرأس، وتسمح بتوفير العزم المطلوب؟
13. إذا كانت كتلتك 65 kg ووقفت على بدالات دراجة هوائية، بحيث يصنع البدال زاوية مقداره 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 البدالات رأسية؟

إيجاد محصلة العزم Finding Net Torque

نفذ التجربة التالية: خذ قلمي رصاص، وقطع نقد معدنية، وشريطاً لاصقاً شفافاً، وثبت قطعتي نقد متماثلتين بنهايتي أحد القلمين، ودعه يتزن فوق القلم الثاني، كما في الشكل 5-1. تؤثر كل من قطعتي النقد بعزم مساوٍ لوزنها F_g مضروباً في المسافة r من نقطة الاتزان إلى مركز قطعة النقد على النحو الآتي:

$$\tau = F_g r$$

ولكن العزمين متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه، لذا تساوي محصلة العزم صفراً.

$$\tau_1 + \tau_2 = 0$$

أو

$$F_{g1} r_1 - F_{g2} r_2 = 0$$

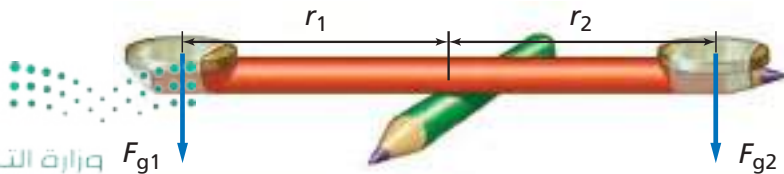
والآن، كيف تجعل القلم يدور؟ يجب إضافة قطعة نقد أخرى فوق إحدى القطعتين النقديتين، مما يجعل القوتين مختلفتين، كما يمكن إزاحة نقطة الاتزان نحو إحدى قطعتي النقد، مما يجعل المسافتين مختلفتين.

تجربة
عملية

العزم

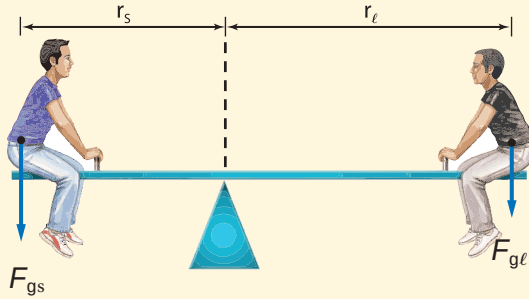
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

الشكل 5-1 عندما يتزن قلم الرصاص فإن العزم المؤثر بواسطة القطعة النقدية الأولى $F_{g1} r_1$ يساوي العزم المؤثر بواسطة القطعة النقدية الثانية $F_{g2} r_2$ في المقدار ويعاكسه في الاتجاه.



مثال 2

اتزان العزوم يلعب سعيد ولؤي على أرجوحة أفقية طولها 1.75 m بحيث يحافظان على وضع الاتزان للعبة، فإذا كانت كتلة سعيد 56 kg وكتلة لؤي 43 kg فما بُعد نقطة الارتكاز عن كل منهما؟ (أهمل وزن لوح الأرجوحة).



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الوضع.
- ارسم المتجهات ثم سمّها.

المجهول

$$r_s = ?$$

$$r_l = ?$$

المعلوم

$$m_s = 56 \text{ kg}$$

$$m_l = 43 \text{ kg}$$

$$r_s + r_l = 1.75 \text{ m}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب مقدار القوتين.

سعيد:

$$F_{gs} = m_s g = (56 \text{ kg}) (9.80 \text{ m/s}^2)$$

$$= 5.5 \times 10^2 \text{ N}$$

عوض مستخدماً $g = 9.80 \text{ m/s}^2$, $m_s = 56 \text{ kg}$

لؤي:

$$F_{gl} = m_l g = (43 \text{ kg}) (9.80 \text{ m/s}^2)$$

$$= 4.2 \times 10^2 \text{ N}$$

عوض مستخدماً $g = 9.80 \text{ m/s}^2$, $m_l = 43 \text{ kg}$

احسب بعد سعيد عن نقطة الارتكاز بدلالة طول لعبة الميزان وكذلك بُعد لؤي. $r_s = 1.75 \text{ m} - r_l$

عندما لا يحدث الدوران يكون مجموع العزوم صفراً.

$$F_{gs} r_s = F_{gl} r_l \rightarrow F_{gs} r_s - F_{gl} r_l = 0.0 \text{ N.m}$$

$$F_{gs} (1.75 \text{ m} - r_l) - F_{gl} r_l = 0.0 \text{ N.m}$$

عوض مستخدماً $r_s = 1.75 \text{ m} - r_l$

$$F_{gs} (1.75 \text{ m}) - F_{gs} r_l - F_{gl} r_l = 0.0 \text{ N.m}$$

حل المعادلة لإيجاد r_l

$$F_{gs} r_l + F_{gl} r_l = F_{gs} (1.75 \text{ m})$$

$$(F_{gs} + F_{gl}) r_l = F_{gs} (1.75 \text{ m})$$

$$r_l = \frac{F_{gs} (1.75 \text{ m})}{(F_{gs} + F_{gl})}$$

$$= \frac{(5.5 \times 10^2 \text{ N}) (1.75 \text{ m})}{(5.5 \times 10^2 \text{ N} + 4.2 \times 10^2 \text{ N})}$$

$$= 0.99 \text{ m}$$

عوض مستخدماً $F_{gl} = 4.2 \times 10^2 \text{ N}$, $F_{gs} = 5.5 \times 10^2 \text{ N}$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 289

3 تقويم الجواب

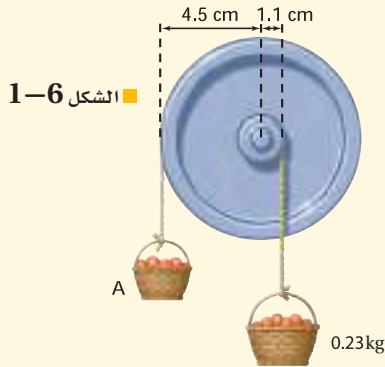
• هل الوحدات صحيحة؟ تقاس المسافة بالمتر.

• هل للإشارات المستخدمة معنى؟ المسافات تكون موجبة.

• هل الجواب منطقي؟ لؤي على بُعد 1 m تقريباً من المركز، لذا يكون سعيد على بُعد 0.75 m من المركز. ولأن وزن

سعيد أكبر من وزن لؤي، فيكون ذراع القوة لديه أقل مما لدى لؤي، أي أن لؤي على بُعد أكبر من نقطة الاتزان

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

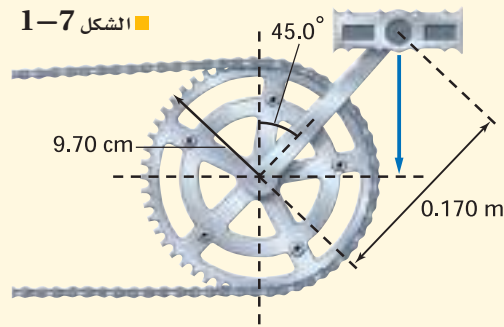


الشكل 6-1

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؟

16. علقت سلتا فواكه بحبلين يمران على بكرتين قطراهما مختلفان، فاتزننا كما في الشكل 6-1. ما مقدار كتلة السلة A؟

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



الشكل 7-1

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

1-2 مراجعة

19. 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؟

20. **التفكير الناقد** إذا وضعت كرة عند أعلى سطح مائل مهمل الاحتكاك فسوف تنزلق إلى أسفل السطح دون دوران، ولكن إذا كان السطح خشناً فإن الكرة ستندرج في أثناء انزلاقها إلى أسفل. وضح سبب ذلك، مستخدماً مخطط الجسم الحر.

21. **العزم** يريد عبد الرحمن أن يدخل من باب دوار ساكن، وضح كيف يدفع الباب ليولد عزماً بأقل مقدار من القوة المؤثرة؟ وأين يجب أن تكون نقطة تأثير تلك القوة؟

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

23. **محصلة العزم** يسحب شخصان حبلين ملفوفين حول حافة إطار كبير، فإذا كانت كتلة الإطار 12 kg وقطره





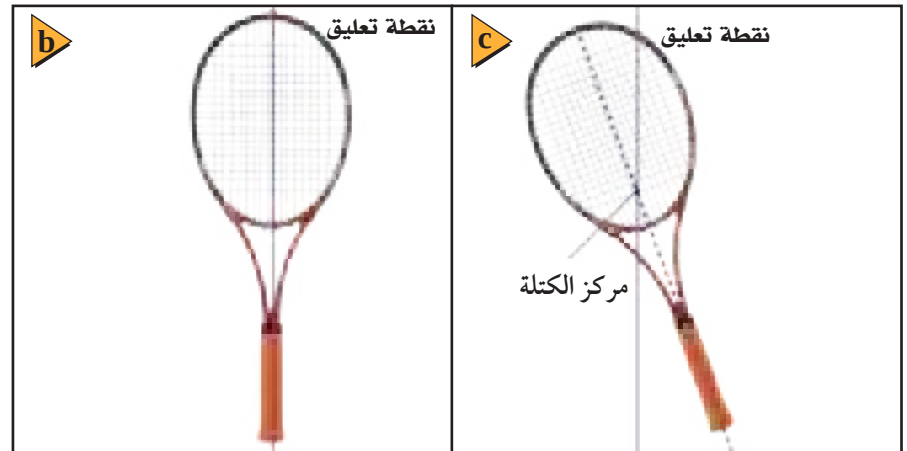
1-3 الاتزان Equilibrium

لماذا لبعض المركبات قابلية للانقلاب أكثر من غيرها عند تعرضها لحادثٍ ما؟ ما الذي يجعل المركبة تنقلب؟ إن السبب يكمن في تصميم المركبة. وسوف نتعرف في هذا الجزء بعض العوامل التي تؤدي إلى انقلاب الأجسام.

مركز الكتلة The Center of Mass

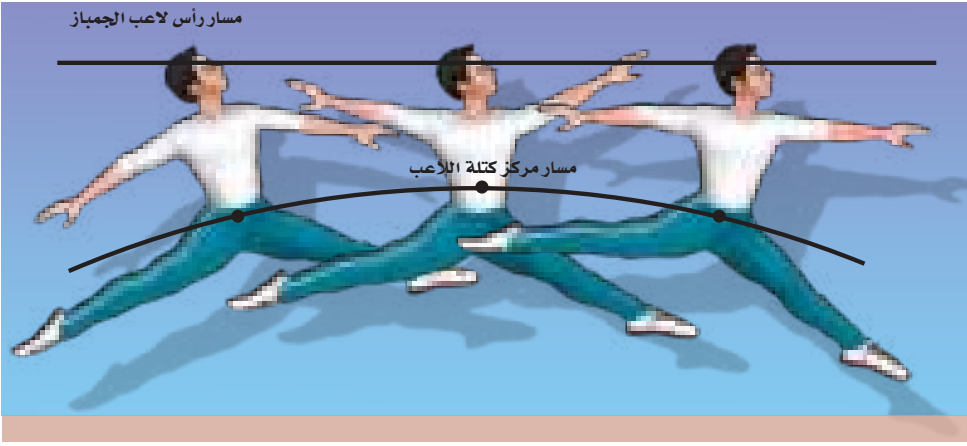
كيف يدور الجسم حول مركز كتلته؟ قد يدور مفتاح الشد حول مقبضه أو حول أحد طرفيه، فهل تتحرك أي نقطة مادية على مفتاح الشد في مسار مستقيم؟ يوضح الشكل 8a-1 حركة مفتاح الشد، ويمكنك ملاحظة أن هناك نقطة واحدة تسلك مساراً في صورة خطٍ مستقيم، كما لو أنه استعيض عن مفتاح الشد بجسم نقطي موضوع في تلك النقطة. إن **مركز الكتلة** لجسم ما عبارة عن نقطة في الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسم النقطي.

تحديد موقع مركز الكتلة كيف تحدّد موقع مركز الكتلة لجسم ما؟ أولاً علّق الجسم من أي نقطة، وعندما يتوقف الجسم عن التّأرجح يكون مركز الكتلة على الخط الرأسي المرسوم من نقطة التعليق، كما في الشكل 8b-1. ارسم هذا الخط، ثم علّق الجسم مرة أخرى من أي نقطة. ارسم خطاً رأسياً من نقطة التعليق الجديدة، ومرة أخرى سيكون مركز الكتلة على الخط المستقيم تحت نقطة التعليق. وهذا يعني أن مركز الكتلة في النقطة التي يتقاطع فيها الخطان. إن مفتاح الشد والمضرب -في المثال السابق- وكل الأجسام التي تتحرك حركة دورانية حرة إنما تدور حول محور يمر خلال مركز كتلتها. والآن، أين يقع مركز الكتلة لشخص ما؟



■ الشكل 8-1 يكون مسار مركز الكتلة لمفتاح الشد خطاً مستقيماً (a). يمكن إيجاد مركز الكتلة لجسم مثل مضرب تنس بتعليقه من أي نقطة ثم تكرار تعليقه من نقطة أخرى (b). النقطة التي تتقاطع عندها الخطوط المرسومة هي مركز كتلة المضرب (c).





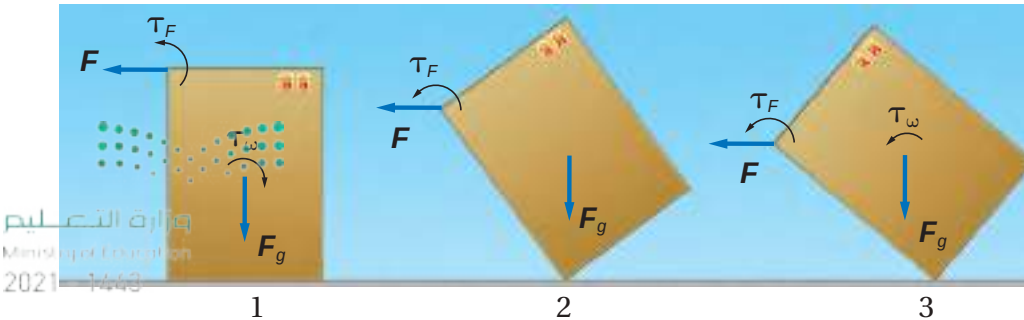
■ الشكل 9-1 الحركة الرأسية
لرأس لاعب الجمباز أقل من الحركة
الرأسية لمركز الكتلة، حيث إن الرأس
والجذع يتحركان أفقياً تقريباً،
فيبدو ذلك وكأنه تحليق في الهواء.

مركز الكتلة لجسم الإنسان بالنسبة لشخص يقف ويده متدلّيتان يكون مركز الكتلة على بعد سنتيمترات أسفل السرة في منتصف المسافة بين جزأي الجسم الأمامي والخلفي. ويكون أعلى من ذلك قليلاً لدى الأطفال الصغار؛ لأن رأس الطفل الصغير يكون كبيراً بالنسبة إلى جسمه. ولأن جسم الإنسان مرن فإن مركز كتلته غير ثابت؛ فإذا رفعت يديك فوق رأسك فإن مركز كتلتك يرتفع من 6 cm إلى 10 cm. فمثلاً يبدو لاعب الجمباز وكأنه يخلق في الهواء؛ وذلك بتغيير مركز كتلته عندما يقفز، فهو يرفع ذراعيه ورجليه في الهواء، كما في الشكل 9-1، مما يؤدي إلى رفع مركز كتلته إلى أعلى، ويكون مسار مركز الكتلة على شكل قطع مكافئ، لذا يبقى رأس اللاعب على الارتفاع نفسه تقريباً لوقت طويل نسبياً.

مركز الكتلة والاستقرار (الثبات) Center of Mass and stability

ما العوامل التي يعتمد عليها استقرار مركبة أو تعرضها للانقلاب أو الدوران عند تعرضها لحادثٍ ما؟ لكي تتعرف كيفية حدوث ذلك فكر في عملية قلب صندوق. لماذا ينقلب الصندوق المرتفع القليل العرض أسرع من الصندوق المنخفض والعريض؟ لقلب صندوق، كما في الشكل 10-1.

- 1- يجب تدويره حول إحدى حوافه (زواياه)، بحيث تؤثر في أعلى الصندوق بقوة F لتولد عزمًا T_F ، ويؤثر وزن الصندوق في مركز الكتلة بقوة F_g فتولد عزمًا معاكسًا T_w .
- 2- يُصبح مركز الكتلة فوق النقطة الداعمة (الأسناد) مباشرة يصبح T_w صفراً، ويبقى تأثير العزم الخارجي فقط، وبدوران الصندوق أكثر يبتعد مركز الكتلة عن النقطة الداعمة.
- 3- يُؤثر العزم في الاتجاه نفسه، فينقلب الصندوق بسرعة.



■ الشكل 10-1 توضح الأسهم المنحنية اتجاه العزم الناتج عن القوة المؤثرة لقلب الصندوق.

التدوير والاستقرار



1. قص قرصين من الكرتون المقوى قطرها 10 cm و 15 cm.
2. استخدم قلم رصاص ذا ممحاة ليس لها حواف، وإذا كانت كذلك فافركها على ورق لكي تزيل الحواف المستقيمة.
3. دور قلم الرصاص حول نفسه، وحاول أن تجعله يقف على المحاة. كرر هذه الخطوة عدة مرات، وسجل ملاحظاتك.
4. ادفع قلم الرصاص برفق في مركز القرص الأول (10 cm).
5. دور القلم والقرص معاً محاولاً جعل القلم يقف على المحاة.
6. حرك القرص على نقاط مختلفة على القلم وأدرهما معاً، وسجل ملاحظاتك.
7. كرر الخطوات 4-6 مع القرص الآخر 15 cm.

التحليل والاستنتاج

8. رتب المحاولات التجريبية الثلاث تصاعدياً بحسب استقرارها.
9. صف موقع مركز كتلة قلم الرصاص.
10. حلل تأثير موقع القرص في الاستقرار.

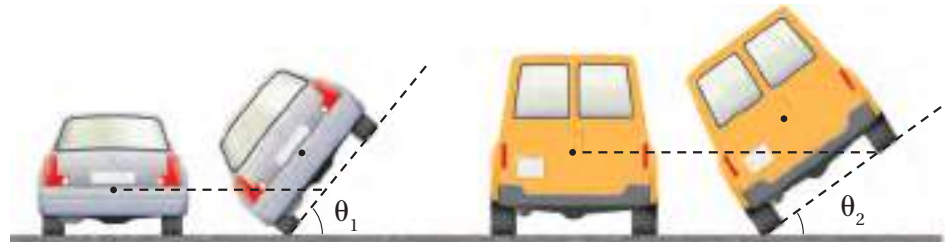
الاستقرار يُعد الجسم في حالة استقرار إذا احتاج إلى قوة خارجية لقلبه أو تحريكه؛ فالصندوق في الشكل 10-1 يبقى مستقرًا ما دام اتجاه العزم الناتج عن وزنه τ_w يُبقيه مستقرًا على قاعدته. ويتحقق ذلك عندما يكون مركز كتلة الصندوق فوق قاعدته. ولقلب الصندوق أو تدويره يجب تدوير مركز كتلته حول محور الدوران حتى يبتعد مركز الكتلة عن القاعدة، ولتدوير الصندوق يجب أن ترفع مركز كتلته. لذلك كلما كانت قاعدة الجسم عريضة كان أكثر استقرارًا (يتطلب قلبه تسليط عزم يدور مركز الكتلة مسافة طويلة حتى يصبح خارج القاعدة)، فعندما تقف في حافلة، وتتمايل في أثناء سيرها فإنك تباعد بين قدميك قليلًا بحيث تزيد المسافة بينهما لتتجنب السقوط.

لماذا تنقلب السيارات؟ يُبين الشكل 11-1 سيارتين توشكان على الانقلاب. لاحظ أن السيارة ذات الارتفاع الأكبر يكون مركز كتلتها مرتفعًا، لذلك يؤدي ميل قاعدتها قليلًا إلى خروج مركز كتلتها عن القاعدة، فتقلب السيارة، وكلما كان مركز كتلة الجسم منخفضًا تكون السيارة أكثر استقرارًا.

أمّا أنت فتكون أكثر استقرارًا عندما تقف مستويًا على قدميك. فإذا وقفت على أصابع قدميك فإن مركز كتلتك يتحرك مباشرة إلى الأمام، ويصبح فوق مقدمة القدمين، وتكون في حالة أقل استقرارًا. وفي لعبة الجودو وألعاب الدفاع عن النفس الأخرى يستخدم اللاعب فيها العزم لتدوير الخصم، بحيث لا يكون مركز كتلته فوق قدميه، مما يجعله في وضع أقل استقرارًا أو ثباتًا. نستنتج مما سبق أنه إذا كان مركز الكتلة خارج قاعدة الجسم كان الجسم غير مستقر، ويدور أو ينقلب دون تأثير عزم إضافي، وإذا كان مركز الكتلة فوق قاعدة الجسم فإن الجسم يكون مستقرًا، وإذا كانت قاعدة الجسم ضيقة ومركز الكتلة فوق القاعدة فإن الجسم يكون مستقرًا، إلا أنّ أي قوة صغيرة تجعله ينقلب أو يدور.

شروط الاتزان Conditions of Equilibrium

إذا كان قلم الحبر ساكنًا، فماذا يحتاج لكي يبقى كذلك؟ يمكن أن تحمله بيدك بحيث يكون في وضع رأسي، أو تضعه على الطاولة، أو على أي سطح آخر، أي يجب أن تؤثر في القلم بقوة إلى أعلى حتى تعادل قوة الجاذبية التي تؤثر فيه إلى أسفل. كما يجب أن تمنعه من الدوران، كأن تمسك به بيدك. ويُعد الجسم في حالة اتزان ميكانيكي إذا كانت سرعة الجسم المتجهة وسرعته الزاوية المتجهة صفرًا، أو ثابتتين. وحتى يكون الجسم في حالة اتزان ميكانيكي يجب توافر شرطين: الأول: يجب أن يكون في حالة اتزان انتقالي، أي أن محصلة القوى المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ $\Sigma F = 0$. الثاني: يجب أن يكون في حالة اتزان دوراني، أي أن محصلة العزوم المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ $\Sigma \tau = 0$.



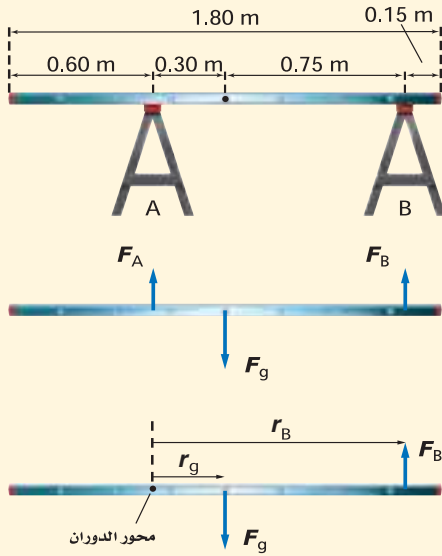
- الشكل 11-1 مركز كتلة السيارة الصفراء أعلى من مركز كتلة السيارة الرمادية. وكلما كان مركز كتلة السيارة مرتفعًا احتجنا إلى ميل أقل لجعلها يتحرك خارج القاعدة مسببًا انقلابها.

مثال 3

الاتزان الميكانيكي سلم خشبي كتلته 5.8 kg وطوله 1.80 m يستقر أفقيًا على حاملين داعمين. يبعد الحامل الأول A مسافة 0.60 m عن طرف السلم، ويبعد الحامل الثاني B مسافة 0.15 m عن الطرف الآخر له. ما مقدار القوة التي يؤثر بها كل من الحاملين في السلم؟

1 تحليل المسألة ورسمها

• مثل الوضع، ثم اختر محور الدوران عند النقطة التي تؤثر فيها إحدى القوتين المجهولتين؛ وذلك لتقليل المجهول في المعادلة؛ حيث عزم القوة حول محور دورانها صفرًا. اختر النقطة التي تؤثر فيها F_A في السلم محور دوران، فيكون العزم الناتج عن هذه القوة F_A صفرًا.



المجهول

$$F_A = ?$$

$$F_B = ?$$

المعلوم

$$m = 5.8 \text{ kg}$$

$$\ell = 1.8 \text{ m}$$

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

$$\ell_B = 0.15 \text{ m}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

يكون مركز كتلة السلم الذي كثافته ثابتة (منتصف الطول والعرض)، ومحصلة القوة المؤثرة في السلم هي مجموع القوى المؤثرة فيه.

بما أن السلم في حالة اتزان ميكانيكي إذا نطبق شرطي الاتزان الميكانيكي.
أولاً: السلم في وضع اتزان انتقالي. لذا محصلة القوى المؤثرة فيه صفر

$$F_{\text{محصلة}} = F_A + F_B + F_g$$

$$F_{\text{محصلة}} = F_A + F_B + (-F_g)$$

$$0.0 \text{ N} = F_A + F_B - F_g$$

$$F_A = F_g - F_B$$

$$\tau_g = -r_g F_g$$

$$\tau_B = +r_B F_B$$

$$\tau_{\text{محصلة}} = \tau_B + \tau_g$$

$$r_s = 1.75 \text{ m} - r_\ell$$

أوجد F_A

أوجد العزم الناشئ عن F_g ، F_B

τ_g في اتجاه حركة عقارب الساعة

τ_B في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة

محصلة العزوم هي مجموع كل العزوم المؤثرة في الجسم.

ثانياً: السلم في وضع اتزان دوراني لذا فإن

$$0.0 \text{ N.m} = \tau_B + \tau_g$$

$$\tau_B = -\tau_g$$

$$r_B F_B = r_g F_g$$

$$F_B = \frac{r_g F_g}{r_B} = \frac{r_g m g}{r_B}$$

$$F_A = F_g - F_B$$

$$F_A = F_g - \frac{r_g m g}{r_B} = mg - \frac{r_g m g}{r_B} = (1 - \frac{r_g}{r_B}) mg$$

$$r_g = 0.30 \text{ m}$$

$$r_B = 1.05 \text{ m}$$

$$F_B = \frac{r_g m g}{r_B}$$

$$F_B = \frac{(0.30)(5.8 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)}{(1.05 \text{ m})} = 16 \text{ N}$$

$$F_A = mg \left(1 - \frac{r_g}{r_B}\right) = (5.8 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) \left(1 - \frac{0.30 \text{ m}}{1.05 \text{ m}}\right) = 41 \text{ N}$$

عوض مستخدماً τ_g , τ_B

أوجد F_B

عوض مستخدماً $F_g = mg$

استخدم العلاقة $F_A = F_g - F_B$ وعوض F_g , F_B

عوض مستخدماً $F_B = \frac{r_g F_g}{r_B}$

يكون مركز كتلة السلم الذي كثافته ثابتة في مركزه.

ويمكنك التوصل من الرسم إلى أن

احسب F_B :

دليل الرياضيات

فصل المتغير 289

عوض مستخدماً $r_g = 0.30 \text{ m}$, $g = 9.80 \text{ m/s}^2$, $m = 5.8 \text{ kg}$, $r_B = 1.05 \text{ m}$

احسب F_A :

عوض مستخدماً $m = 5.8 \text{ kg}$, $r_g = 0.30 \text{ m}$

$r_B = 1.05 \text{ m}$, $g = 9.80 \text{ m/s}^2$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تُقاس القوى بوحدة النيوتن.
- هل الإشارات المستخدمة صحيحة؟ نعم؛ فالقوتان إلى أعلى.
- هل الجواب منطقي؟ مجموع القوتين لأعلى يساوي وزن السلم، والقوة التي يؤثر بها الحامل القريب من مركز الكتلة هي القوة الأكبر، وهذا صحيح.



وزارة التعليم

Ministry of Education

2021 1443

23. يتزن لوح خشبي كتلته 24 kg وطوله 4.5 m على حاملين، أحدهما تحت مركز اللوح مباشرة، والثاني عند الطرف. ما مقدار القوتين اللتين يؤثر بهما كل من الحاملين الرأسيين في اللوح؟
24. يتحرك غطاس كتلته 85 kg نحو الطرف الحر للوح القفز، فإذا كان طول اللوح 3.5 m وكتلته 14 kg، وثبت بداعمين، أحدهما عند مركز الكتلة، والآخر عند أحد طرفي اللوح، فما مقدار القوة المؤثرة في كل داعم؟

دوران الأطر المرجعية Rotating Frames of Reference

عندما تتركب عربة دوّارة في مدينة الألعاب، وتدور بك بسرعة، تشعر كأن قوة كبيرة تدفعك إلى الخارج. وإذا وجدت حصاة على أرضية العربة، فسوف تتسارع إلى خارجها دون أن تؤثر فيها قوة خارجية في الاتجاه نفسه. ولا تتحرك هذه الحصاة في خط مستقيم، ولا نستطيع تطبيق قوانين نيوتن هنا؛ لأن الأطر المرجعية الدوّارة أطر متسارعة، وقوانين نيوتن تطبق فقط في حالة الأطر المرجعية غير المتسارعة (القصورية).

إنّ دراسة الحركة في إطار مرجعي يتحرك حركة دورانية شيء مهم؛ لأنّ الأرض تدور. وتأثير دوران الأرض قليل جداً لا يمكن ملاحظته في الصف أو المختبر، ولكنّه ذو أهمية وتأثير كبيرين في الغلاف الجوي، ومن ثم في الطقس والمناخ.

القوة الطاردة المركزية Centrifugal Force

إذا ثبتّ أحد طرفي نابض في مركز منصّة دوّارة، وثبت جسم في الطرف الآخر للنابض فإن الشخص المراقب الذي يقف على المنصة سيلاحظ أن الجسم يشدّ النابض، أي أنه سيظن أنّ هناك قوة تؤثر في الجسم وتسحبه إلى الخارج بعيداً عن مركز المنصة. وتُسمى هذه القوة الظاهرية **القوة الطاردة المركزية**، وهي قوة غير حقيقية؛ لأنّه لا توجد قوة تدفع الجسم إلى الخارج، ولكنك تشعر بالفعل بأنك تُدفع إلى الخارج عندما تكون في سيارة تتحرك على مسار دائري. فإذا كانت القوة الطاردة المركزية غير حقيقية فما تبرير شعورك بالاندفاع بعيداً عن مركز الدوران؟ كما تعلمت سابقاً فإنّ للأجسام قصوراً ذاتياً؛ حيث تميل الأجسام المتحركة إلى الاستمرار في الحركة في سرعة ثابتة وفي خط مستقيم، ولذلك يميل الجسم المتحرك في مسار دائري إلى الخروج عن مساره عند كل نقطة ليتحرك بسرعة ثابتة وفي خط مستقيم غير أن القوة التي تسحبه في اتجاه المركز (القوة الجاذبة المركزية) تجبره على الاستمرار في مساره الدائري. ويمكن أن نستنتج مما سبق أن الأجسام المتحركة في مسارات دائرية تخضع لقوة حقيقية تسحبها في اتجاه المركز، أما الدفع إلى الخارج فلا توجد قوة تسببه، وإنما هو

ناتج عن القصور الذاتي للأجسام. وفي حالة المنصة الدوارة يرى الشخص الواقف على الأرض أن الجسم يتحرك في مسار دائري ويتسارع نحو المركز بسبب قوة النابض، ويعبر عن تسارعه المركزي بعلاقة $a_c = \frac{v^2}{r}$. ويمكن كتابته بدلالة السرعة الزاوية المتجهة على النحو التالي: $a_c = \omega^2 r$ ؛ حيث يعتمد التسارع المركزي على المسافة من مركز الدوران، وعلى مربع السرعة الزاوية المتجهة.

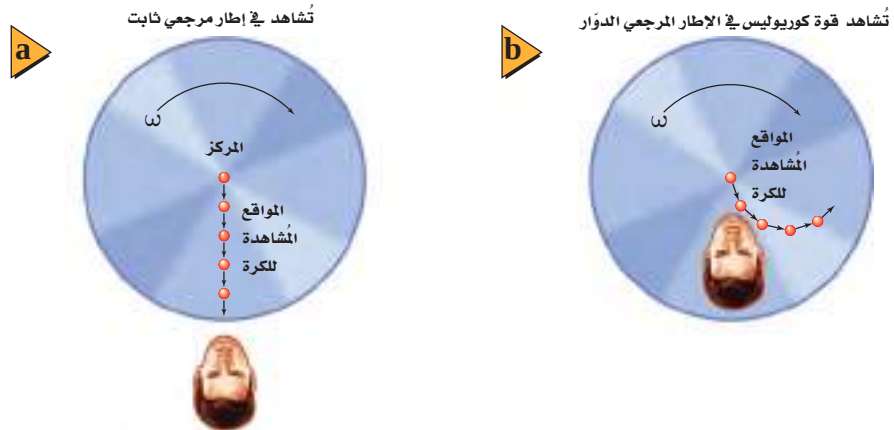
قوة كوريوليس The Coriolis Force

يظهر التأثير الثاني للدوران في الشكل 1-12. افترض أن شخصاً يقف في مركز قرص دوّار، ويقذف كرة إلى حافته الخارجية. لندرس الحركة الأفقية للكرة كما يراها مراقبان، على أن تهمل الحركة الرأسية للكرة في أثناء سقوطها.

إذا كان المراقب واقفاً خارج القرص، كما هو موضح في الشكل 1-12a، فسيرى الكرة تتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة المقدار إلى طرف القرص الخارجي. أما المراقب الآخر الذي على القرص ويدور معه، فسيرى الكرة تتحرك في مسار منحني بسرعة ثابتة مقداراً، كما هو موضح في الشكل 1-12b، حيث يبدو أن هناك قوة تحرف الكرة عن مسارها، هذه القوة الظاهرية تُسمى **قوة كوريوليس**، وكما في القوة الطاردة المركزية، فإنّ قوة كوريوليس ليست حقيقية. ويعود سبب الإحساس بتأثيرها إلى أننا نلاحظ الانحراف في الحركة الأفقية عندما نكون في إطار مرجعي دوّار.

قوة كوريوليس الناشئة عن دوران الأرض افترض أن مدفعاً يطلق قذيفة من نقطة على خط الاستواء نحو الشمال. فإذا أطلقت القذيفة في اتجاه الشمال مباشرة، فسيظهر لها مركبة سرعة في اتجاه الشرق؛ بسبب دوران الأرض، ويكون مقدار هذه المركبة عند خط الاستواء أكبر منه عند أي خط عرض آخر؛ لذا فإنه في أثناء حركة القذيفة شمالاً فإنها تتحرك أيضاً نحو

■ الشكل 1-12 قوة كوريوليس توجد فقط في الأطر المرجعية الدوارة.





■ الشكل 13-1 يرى مراقب على الأرض أن القذيفة التي تطلق إلى الشمال تنحرف إلى يمين الهدف بسبب قوة كوريوليس.

الشرق بسرعة أكبر من النقاط التي تحتها على الأرض. ومن ثم ستسقط القذيفة شرق الهدف المقصود، انظر إلى الشكل 13-1. إن المراقب الذي في الفضاء سيلاحظ دوران الأرض، بينما المراقب الذي على الأرض سيفسر انحراف القذيفة عن هدفها بسبب تأثير قوة كوريوليس. أما الأجسام المتحركة نحو خط الاستواء فستنحرف بسبب قوة كوريوليس الظاهرية نحو الغرب، أي ستسقط القذيفة غرب الهدف المقصود عند قذفها نحو الجنوب.

إن اتجاه الرياح حول مناطق الضغط المرتفع والضغط المنخفض ناتجة عن قوة كوريوليس؛ حيث تتجه الرياح من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض. وبسبب قوة كوريوليس تنحرف الرياح القادمة من الجنوب إلى شرق مناطق الضغط المنخفض في نصف الكرة الأرضية الشمالي، بينما تنحرف الرياح القادمة من الشمال إلى غرب مناطق الضغط المنخفض؛ لذا تدور الرياح في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة حول مناطق الضغط المنخفض في نصف الكرة الأرضية الشمالي. أما في نصف الكرة الأرضية الجنوبي فتدور الرياح في اتجاه حركة عقارب الساعة حول مناطق الضغط المنخفض.

الربط مع الأرصاد الجوية

لنعد إلى العربات التي تتحرك حركة دورانية في مدينة الألعاب، هذه العربات تهز الركاب؛ لأنهم في أطر مرجعية متسارعة في أثناء حركة العربة. إن القوى التي يشعر بها ركاب الأفعوانية عند أسفل المنحدر وأعلى، وعندما تتحرك رأسياً إلى أسفل تعود إلى التسارع الخطي. تُحقق القوة الطاردة المركزية الإثارة والمتعة في العربات والألعاب الدوارة والمسارات المتعرجة في الأفعوانيات.



25. **مركز الكتلة** هل يمكن أن يكون مركز كتلة جسم في نقطة خارج الجسم؟ وضح ذلك.
26. **استقرار الجسم** لماذا تكون المركبة المعدلة التي أضيف إليها نوابض لتبدو مرتفعة، أقل استقراراً من مركبة مشابهة غير معدلة؟
27. **شرطا الاتزان** أعط مثالاً على جسم في الحالات التالية:
 a. متزن دورانياً، ولكنه غير متزن انتقالياً.
 b. متزن انتقالياً، ولكنه غير متزن دورانياً.
28. **تعيين مركز الكتلة** وضح كيف يمكنك إيجاد مركز كتلة كتاب الفيزياء؟
29. **دوران الأطر المرجعية** إذا وضعت قطعة نقد على قرص دوّار، وبدأت في الانزلاق إلى الخارج عند زيادة سرعة دورانها، فما القوى المؤثرة فيها؟
30. **التفكير الناقد** عندما تستخدم الكوابح ينخفض الجزء الأمامي للسيارة إلى أسفل. لماذا؟



مختبر الفيزياء

الاتزان الانتقالي والاتزان الدوراني

عند صيانة البنايات العالية تستخدم السقالات وتثبت من الخارج. ولكي تثبت السقالات وتكون آمنة يجب أن تكون في اتزان انتقالي واطزان دوراني. لاحظ أنه إذا أثرت قوتان أو أكثر في السقالة يمكن أن تحدث كل منها حركة دورانية حول طرفيها، أي تخل بآتزانها. تؤثر كتلة السقالة إذا كانت موزعة بانتظام في مركزها. وفي حالة الاتزان الانتقالي لا تتسارع السقالة؛ فالقوى التي في اتجاه الأعلى مساوية للقوى التي في اتجاه الأسفل. وللحصول على اتزان دوراني لابد أن يكون مجموع العزوم في اتجاه حركة عقارب الساعة يساوي مجموع العزوم في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة عند أي نقطة دوران.

سؤال التجربة

ما الشروط اللازمة للاتزان عندما تؤثر قوتان متوازيتان في جسم؟

الأهداف

1. ضع الحاملين الحلقيين على بُعد 80.0 cm أحدهما من الآخر.
2. ثبت كلتا الملمزتين على حامل حلقي.
3. تأكد أن تدرّيج الميزانين النابضيين صفر قبل استخدامها، وإذا كانا بحاجة إلى ضبط فاطلب مساعدة المعلم.
4. علق كلاً من الميزانين بملمزة قابلة للحركة ومثبتة على الحامل.
5. ثبت المسطرة المترية باستخدام الخطافين في نهاية النابضين، على أن يكون النابض الأيسر عند العلامة 10 cm، والنابض الأيمن عند العلامة 90 cm.
6. سجل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كلا الميزانين.
7. علق الكتلة 500 g على المسطرة المترية عند العلامة 30 cm؛ حيث تكون هذه النقطة على بعد 20 cm من الميزان الأيسر.
8. سجل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كلا الميزانين.
9. علق الكتلة 200 g على المسطرة المترية عند العلامة 70 cm، حيث تكون هذه النقطة على بعد 60 cm من الميزان الأيسر.

■ اجمع البيانات حول القوى المؤثرة في السقالة ونظمها.

■ صف العزم في اتجاه حركة عقارب الساعة وفي عكس اتجاه حركتها.

■ قارن بين الاتزان الانتقالي والاتزان الدوراني.



احتياطات السلامة

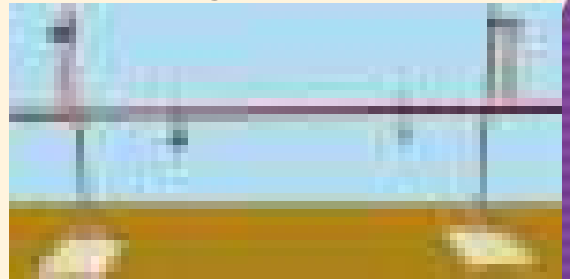
■ كن حذراً من سقوط الكتل.

أدوات والمواد

مسطرة مترية	ميزانان نابضيان بتدرّيج 5N
حاملان حلقيان رأسيان	ملمزتان قابلتان للحركة
كتلة تعليق 500 g	كتلة تعليق 200 g

الخطوات

سنعتبر الميزان الأيسر هو نقطة الدوران المحورية pivot point في هذه التجربة؛ حيث تقاس ذراع القوة من هذه النقطة.



جدول البيانات 1			
الأجسام المضافة	المسافة من التدرج الأيسر (m)	قراءة الميزان الأيسر (N)	قراءة الميزان الأيمن (N)
المسطرة المتريية	0.4		
كتلة 500 g	0.2		
كتلة 200 g	0.6		

جدول البيانات 2				
الأجسام المضافة	τ_c	τ_{cc}	ذراع القوة (m)	القوة (N)
المسطرة المتريية				
كتلة 500 g				
كتلة 200 g				
القيمة الصحيحة				

جدول البيانات 3		
الأجسام المضافة	τ_c (N.m)	τ_{cc} (N.m)
المسطرة المتريية		
كتلة 500 g		
كتلة 200 g		
القيمة الصحيحة		
$\sum \tau$		

10. سجل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كلا الميزانين.

التحليل

1. احسب أوجد كتلة المسطرة المتريية.
2. احسب أوجد القوة أو الوزن الناتج عن كل جسم، وسجل قيمته في جدول البيانات 2. اقرأ القوة المؤثرة في النابض الأيمن، وسجلها في جدول البيانات 2.
3. استخدم النقطة التي عُلّق عندها الميزان الأيسر بوصفها نقطة دوران محوري، وحدّد جميع القوى التي تسبب دوران السقالة في اتجاه حركة عقارب الساعة أو في عكس اتجاه حركتها، وضع إشارة $\times$ عند هذه القوى في جدول البيانات 2.
4. سجل طول ذراع القوة لكل من هذه القوى من نقطة الدوران المحورية في جدول البيانات 2.
5. استخدم الأرقام احسب العزم لكل جسم، وذلك بضرب القوة في طول ذراع القوة، وسجل هذه القيم في جدول البيانات 3.

الاستنتاج والتطبيق

1. هل النظام في وضع اتزان انتقالي؟ كيف عرفت ذلك؟
2. ارسم مخطط الجسم الحر لهذا النظام، مبيناً جميع القوى على الرسم.
3. قارن بين مجموع العزوم في اتجاه حركة عقارب الساعة ومجموع العزوم في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.
4. ما النسبة المئوية للفرق بين $\sum \tau_c$ (مجموع العزوم السالبة) و $\sum \tau_{cc}$ (مجموع العزوم الموجبة)؟

التوسع في البحث

استخدم كتلاً إضافية في مواضع تختارها باستشارة المعلم، وسجل البيانات التي تحصل عليها.

التدريبات على البيت

ابحث في متطلبات الأمن والسلامة لاستخدام السقالة في منطقتك وتركيبها وفكها.

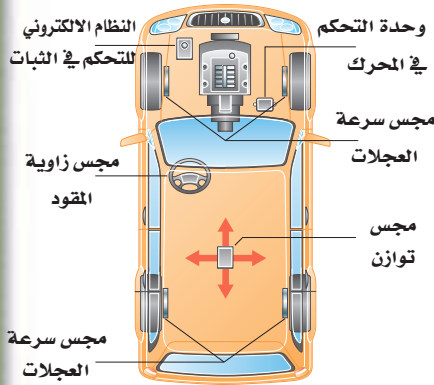


التقنية والمجتمع

The Stability of Sport - Utility Vehicles

الاستقرار في السيارات الرياضية

ما الإجراءات المتخذة لمعالجة المشكلة؟ تصمم بعض السيارات الحديثة في الوقت الحاضر بحيث يكون عرض مسارها كبيراً، أو سقفها قوياً، أو تكون مزودة بوسائد هوائية جانبية إضافية



لها مجسات تبقّيها منتفخة 6 s بعكس الوضع الطبيعي وهو جزء من ثانية. كل ذلك لحماية الركاب عندما تنقلب السيارة أكثر من مرة.

وهناك تقنيات حديثة واعدة تُسمى النظام الإلكتروني للتحكم في الثبات (ESC) الذي يستخدم لمنع حدوث الانقلاب؛ إذ يحوي هذا النظام جهازاً إلكترونياً حساساً يعطي إشارات عندما تبدأ السيارة في الدوران لأسباب خارجة عن السيطرة، وكذلك عندما تبدأ في الانزلاق لأسباب تحت السيطرة؛ حيث يطبق نظام ESC بشكل آلي الفرامل على واحد أو أكثر من الإطارات، فيعيد التوازن إلى السيارة، ويجعلها في الاتجاه الصحيح.

والقيادة السليمة للسيارة هي مفتاح الحل لمشكلة حوادث السيارات، ومعرفة قوانين الفيزياء التي تبحث في حوادث الانقلاب والعوامل الأخرى تساعد كثيراً على تثقيف السائق وجعله يقود سيارته بصورة آمنة.

لماذا تكون السيارات الرياضية أكثر عرضة للانقلاب؟ يعتقد الكثيرون أن كبر حجم السيارة الرياضية يجعلها أكثر استقراراً وأماناً. إلا أن هذه السيارة مثلها مثل السيارات العالية الأخرى - ومنها سيارات الشحن - أكثر عرضة للانقلاب من السيارات العادية.

المشكلة أن للسيارات الرياضية مركز كتلة مرتفعاً يجعلها أكثر قابلية للانقلاب. وهناك عامل آخر يؤثر في الانقلاب هو معامل الاتزان الاستاتيكي؛ وهو نسبة عرض المسار إلى ارتفاع مركز الكتلة، حيث يعرف عرض المسار (Track width) بأنه نصف المسافة بين الإطارين الأماميين. وكلما كان معامل الاتزان الاستاتيكي أكبر كان للسيارة قدرة أكبر على البقاء في وضع رأسي. وفي معظم السيارات الرياضية يكون مركز الكتلة أعلى من سيارات الركاب العادية بمسافة تتراوح بين 13 cm و 15 cm، ويكون معامل عرض المسار للسيارات الرياضية مقارباً لقيمته في السيارات العادية. افترض أن معامل الاتزان لسيارة رياضية 1.06 ولسيارة عادية 1.43، فيكون احتمال انقلاب السيارة الرياضية في أي حادث 37% بحسب الإحصاءات، في حين يكون احتمال انقلاب سيارة الركاب العادية 10.6%.

وليست المشكلة كلها في معامل الاتزان الاستاتيكي؛ فظروف الطقس وسلوك السائق وخصائص القصور الذاتي وأنظمة التعليق الحديثة وعوامل أخرى مرتبطة مع المركبة - ومنها الإطارات وأنظمة التوقف - جميعها لها دور في انقلاب السيارة. إن معظم حوادث الانقلاب تحدث عندما تنحرف السيارة عن الطريق وتقع في حفرة أو تسير على تراب ناعم أو أي سطح غير منتظم، وهذا يحدث عادة عندما يكون السائق غير متنبه أو يقود السيارة بسرعة كبيرة. إلا أن السائق الحذر يقلل كثيراً من وقوع حوادث الانقلاب؛ وذلك من خلال الانتباه المستمر والالتزام بالسرعة المحددة. وعلى الرغم من الأهمية المتكافئة لكل من الظروف الجوية وسلوك السائق، إلا أن قوانين الفيزياء توضح أن السيارات الرياضية خطيرة جداً.

التوسع

1. **كُونُ فرضية** عند تعرض عدة سيارات لحادث، تكون السيارات الرياضية عادة أفضل من سيارات الركاب العادية المشتركة في الحادث. فسر ذلك.
2. **ناقش** يُعد نظام ESC تقنية حديثة لإنقاذ حياة الركاب، فهل يجب أن يكون إلزامياً في السيارات الرياضية كلها؟ ولماذا؟

دليل مراجعة الفصل

الفصل 1

1-1 وصف الحركة الدورانية Describing Rotational Motion

المفردات

- الراديان
- الإزاحة الزاوية
- السرعة الزاوية المتجهة
- التسارع الزاوي

المفاهيم الرئيسية

- يقاس الموقع الزاوي وتغيراته بالراديان، وتكون الدورة الكاملة الواحدة $2\pi \text{ rad}$.
- يُعبر عن السرعة الزاوية المتجهة بالمعادلة الآتية: $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$
- يُعبر عن التسارع الزاوي بالمعادلة الآتية: $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$
- عند دوران جسم صلب فإن كلاً من الإزاحة والسرعة والتسارع الزاوي يرتبط مع الإزاحة والسرعة والتسارع الخطي عند أي نقطة على الجسم بالمعادلات الآتية:

$$a = r\alpha \quad v = r\omega \quad d = r\theta$$

1-2 ديناميكا الحركة الدورانية Rotational Dynamics

المفردات

- ذراع القوة
- العزم

المفاهيم الرئيسية

- تتغير السرعة الزاوية المتجهة لجسم ما عندما يؤثر فيه عزم.
- يعتمد العزم على مقدار القوة المؤثرة، والمسافة من محور الدوران المستخدم والزوايا بين اتجاه القوة ونصف القطر من محور الدوران حتى نقطة تأثير القوة. $\tau = Fr \sin \theta$

1-3 الاتزان Equilibrium

المفردات

- مركز الكتلة
- القوة الطاردة المركزية
- قوة كوريوليس

المفاهيم الرئيسية

- مركز كتلة جسم هو نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسم النقطي.
- يكون الجسم ثابتاً ضد الانقلاب إذا كان مركز كتلته فوق قاعدته.
- يكون الجسم في وضع اتزان ميكانيكي إذا كانت محصلة القوى المؤثرة فيه صفراً، وكذلك إذا كانت محصلة العزوم المؤثرة فيه صفراً.
- القوى الطاردة المركزية قوى ظاهرية تظهر عندما تحلل حركة جسم يتحرك حركة دورانية باستخدام نظام إحداثيات يدور مع الجسم.
- قوة كوريوليس هي قوة ظاهرية تبدو كأنها تحرف جسم متحرك عن مساره بخط مستقيم ولا يمكن ملاحظتها إلا في نظام إحداثيات يدور مع الجسم.

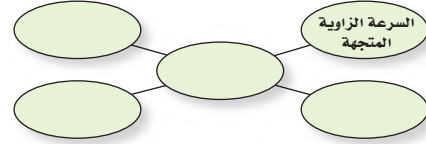


الفصل 1

التقويم

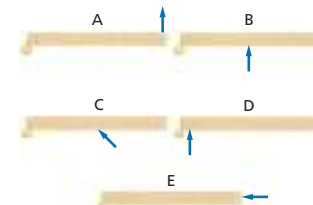
خريطة المفاهيم

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



إتقان المفاهيم

32. يدور إطار دراجة هوائية بمعدل ثابت 25 rev / min . فهل تقل سرعتها الزاوية المتجهة أم تزداد أم تبقى ثابتة؟ (1-1)
33. يدور إطار لعبة بمعدل ثابت 5 rev / min . فهل تسارعها الزاوي موجب أم سالب أم صفر؟ (1-1)
34. هل تدور جميع أجزاء الأرض بالمعدل نفسه؟ وضع ذلك. (1-1)
35. يدور إطار دراجة بمعدل ثابت 14 rev / min . فهل يكون اتجاه التسارع الكلي لنقطة على الإطار إلى الداخل، أم إلى الخارج، أم مماسياً، أم صفرًا؟ (1-1)
36. لماذا يُعد عزم الدوران أهم من القوة عند محاولة شدّ البرغي؟ (1-2)
37. رتب العزوم المؤثرة في الأبواب الخمسة في الشكل 1-14 من الأقل إلى الأكبر. ولاحظ أنّ مقدار القوة هو نفسه في الأبواب كلها. (1-2)



الشكل 1-14

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

39. يقود سائق سيارة بطريقة خطيرة؛ حيث يقودها على إطارين جانبيين فقط. فأين يكون مركز كتلة السيارة؟ (1-3)
40. لماذا تتزن عندما تقف على أطراف أصابع قدميك حافيًا، ولا تستطيع الاتزان إذا وقفت مواجهًا للجدار وأصابع قدميك تلامسه؟ (1-3)
41. لماذا يظهر لاعب الجمباز وكأنه يطير في الهواء عندما يرفع ذراعيه فوق رأسه في أثناء القفز؟ (1-3)
42. لماذا يكون احتمال انقلاب سيارة لها إطارات أقطارها كبيرة أكبر من احتمال انقلاب سيارة ذات إطارات أقطارها صغيرة؟ (1-3)

تطبيق المفاهيم

43. ناقلا حركة، أحدهما صغير والآخر كبير، متصلان معًا ويدوران كما في الشكل 1-15. قارن أولاً بين سرعتيهما الزاويتين المتجهتين، ثم بين السرعتين الخطيتين لستين متصلين معًا.

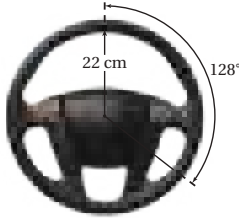


الشكل 1-15

44. الدوران في حوض الغسالة ما مبدأ عمل الغسالة؟ وكيف يؤثر دوران الحوض في الغسيل؟ اشرح ذلك بدلالة القوى على الملابس والماء.
45. الإطارات المنقوبة 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 يمكنك أن يقترحها عليك والدك؟

تقويم الفصل 1

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



الشكل 1-18 ■

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

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

b. ما مقدار الإزاحة الزاوية للمروحة خلال 2.50 s؟

54. تناقص دوران المروحة في السؤال السابق من

475 rev / min إلى 187 rev / min خلال 4.00 s،

ما مقدار تسارعها الزاوي؟

55. إطار سيارة نصف قطره 9.00 cm كما في الشكل 1-19،

يدور بمعدل 2.50 rad / s. ما مقدار السرعة الخطية

لنقطة تقع على بعد 7.00 cm من مركز الدوران؟



الشكل 1-19 ■

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 أن $a_c = \frac{v^2}{r}$ و $v = r\omega$

b. ما نسبة السرعة الخطية لجسم على سطح الحوض

لكل من سرعتين؟

46. الألعاب البهلوانية يسير لاعب بهلواني على حبل حاملاً

قضيباً يتدلى طرفاه أسفل مركزه. انظر إلى الشكل 1-16.

كيف يؤدي القضيب إلى زيادة اتزان اللاعب؟

تلميح: ابحث في مركز الكتلة.



الشكل 1-16 ■

47. لعبة الحصان الدوار عندما كان أحمد يجلس على لعبة

الحصان الدوار، قذف مفتاحاً 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.

48. لماذا نهمل القوى التي تؤثر في محور دوران جسم ما في

حالة اتزان ميكانيكي عند حساب محصلة العزم عليه؟

49. لماذا نجعل عادةً محور الدوران عند نقطة تؤثر بها قوة أو

أكثر في الجسم عند حل مسائل في الاتزان الميكانيكي؟

إتقان حل المسائل

1-1 وصف الحركة الدورانية

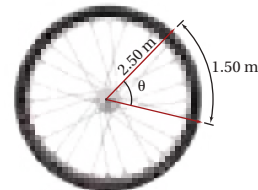
50. نصف قطر الحافة الخارجية لإطار سيارة 45 cm وسرعته

23 m / s. ما مقدار السرعة الزاوية للإطار بوحدة 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 1-17

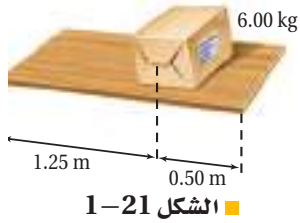
فما مقدار الزاوية (بوحدة radians) التي دارها الإطار؟



الشكل 1-17 ■

تقويم الفصل 1

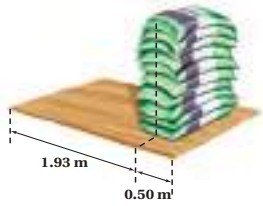
63. يرفع شخصان لوحًا خشبيًا من طرفيه إلى أعلى، فإذا كانت كتلة اللوح 4.25 kg وطوله 1.75 m ، ويوضع على بُعد 0.50 m من طرفه الأيمن صندوق كتلته 6.00 kg . انظر الشكل 1-21. ما القوتان اللتان يؤثر بهما الشخصان في اللوح؟



الشكل 1-21

مراجعة عامة

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 1-22. ارفع شخصان طرفي القطعة من نهايتها إلى أعلى. ما مقدار القوة التي يؤثر بها كل من الشخصين في القطعة الخشبية مع إهمال وزنها؟



الشكل 1-22

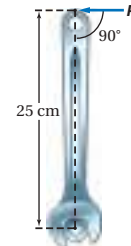
65. يوضح الشكل 1-23 أسطوانة قطرها 50 m في حالة سكون على سطح أفقي، فإذا لف حولها حبل ثم سحب، وأصبحت تدور دون أن تنزلق. فما المسافة التي يتحركها مركز كتلة الأسطوانة عند سحب الحبل مسافة 2.5 m بسرعة ثابتة؟
 a. عند سحب الحبل مسافة 2.5 m بسرعة ثابتة؟
 b. وإذا سحب الحبل مسافة 2.5 m خلال زمن 1.25 s فما سرعة مركز كتلة الأسطوانة؟
 c. ما السرعة الزاوية المتجهة للأسطوانة؟

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

58. استخدم جهاز الطرد المركزي الفائت السرعة لفصل مكونات الدم، بحيث يولد تسارعًا مركزيًا مقداره $0.35 \times 10^6 g$ على بُعد 2.50 cm من المحور. ما مقدار السرعة الزاوية المتجهة اللازمة بوحدة rev/min ؟

1-2 ديناميكا الحركة الدورانية

59. مفتاح الشد يتطلب شدّ برغي عزمًا مقداره 8.0 N.m ، فإذا كان لديك مفتاح شدّ طولُه 0.35 m . ما مقدار أقل قوة يجب التأثير بها في المفتاح؟
 60. ما مقدار العزم المؤثر في صمولة والناتج عن قوة مقدارها 15 N تؤثر عموديًا في مفتاح شدّ طولُه 25 cm ؟ انظر الشكل 1-20.

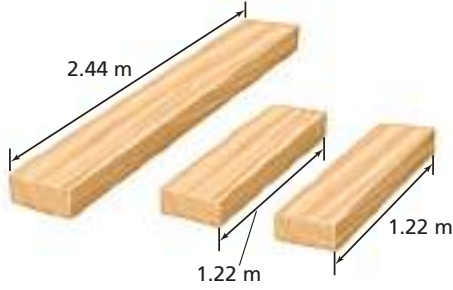


الشكل 1-20

1-3 الاتزان

61. تبين مواصفات سيارة أن 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؟
 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 اللوح إلى الوضع الأفقي؟ وعند أي جزء من اللوح؟
 b. ما أكبر قوة يؤثر بها جواد لرفع اللوح إلى الوضع الأفقي؟ وعند أي جزء من اللوح؟

تقويم الفصل 1

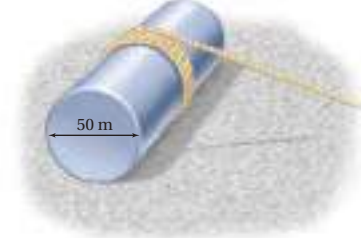


الشكل 1-24 ■

71. **اللوّح المسطح** يحمل ماجد وعدي لوّحًا 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 اللّوح؟
b. أي أجزاء اللّوح يجب أن يرفعه عدي؟
72. عارضة فولاذية طولها 6.50 m، ووزنها 325 N تستقر على دعامتين المسافة بينهما 3.00 m، وبُعد كل من الطرفين عن الدعامتين متساوٍ. فإذا وقفت سوزان في منتصف العارضة وأخذت تتحرك نحو أحد الطرفين فما أقرب مسافة تتحركها سوزان لهذا الطرف قبل أن تبدأ العارضة في الانقلاب إذا كان وزن سوزان 575 N؟

التفكير الناقد

73. **تطبيق المفاهيم** نقطة على حافة إطار تتحرك حركة دورانية.
- a. ما الشروط التي تجعل التسارع المركزي صفرًا؟
b. ما الشروط التي تجعل التسارع المماسي (الخطي) صفرًا؟
c. هل يمكن ألا يساوي التسارع الخطي صفرًا عندما يكون التسارع المركزي صفرًا؟ وضح ذلك.
d. هل يمكن ألا يساوي التسارع المركزي صفرًا عندما يكون التسارع الخطي صفرًا؟ وضح ذلك.



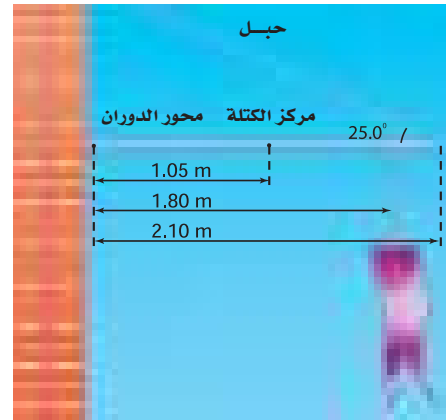
الشكل 1-23 ■

66. **القرص الصلب** يدور قرص صلب في حاسوب حديث 7200 rev/min (دورة لكل دقيقة). فإذا صمّم على أن يبدأ الدوران من السكون ويصل إلى السرعة الفعّالة خلال 1.5 s. فما التسارع الزاوي للقرص؟
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؟
68. يسحب 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؟
69. إذا كان طول عقرب الثواني في ساعة يد 12 mm فما سرعة دورانه؟
70. **عارضة خشبية** إذا اشتريت عارضة خشبية 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 1-24، ثم حمل كل منكما ما اشتراه من الخشب على كتفيه.
- a. فأيكما يرفع ما اشتراه من الخشب بطريقة أسهل؟ ولماذا؟
b. إذا كان كل منكما يؤثر بعزم بيديه ليمنع الخشب من الدوران، فأَي الحمليّن يُعَدّ منعه من الدوران أسهل؟ ولماذا؟

تقويم الفصل 1

74. **التحليل والاستنتاج** تتدلى راية كبيرة من سارية أفقية قابلة

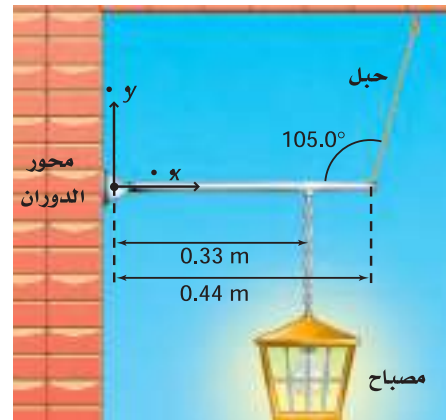
للدوران حول نقطة تثبيتها في جدار كما في الشكل 1-25، وإذا كان طول السارية 2.10 m، ووزنها 175 N، ووزن الراية 105 N، وعُلِّقت على بُعد 1.80 m من محور الدوران (نقطة التثبيت في الجدار) فما قوة الشد في الحبل الداعم للسارية؟



الشكل 1-25

75. **التحليل والاستنتاج** يتدلى مصباح من سلسلة معلقة

بقضيب أفقي قابل للدوران حول نقطة اتصاله بجدار، ومشدود من طرفه الآخر بحبل، انظر الشكل 1-26. إذا كان وزن القضيب 27 N، ووزن المصباح 64 N
a. فما العزم المتولد من كل قوة؟
b. ما قوة الشد في الحبل الداعم لقضيب المصباح؟



الشكل 1-26

76. **التحليل والاستنتاج** ينقل عدنان وسالم الأجسام الآتية

إلى أعلى السلم: مرآة كبيرة، وخزانة ملابس، وتلفازاً، حيث يقف سالم عند الطرف العلوي، ويقف عدنان عند الطرف السفلي. وعلى افتراض أن كليهما يؤثر بقوى رأسية فقط.

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

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

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

الكتابة في الفيزياء

77. يعرف علماء الفلك أنه إذا كان التابع الطبيعي (كالقمر)

قريباً جداً من الكوكب فإنه سيتحطم إلى أجزاء بسبب قوى تسمى قوى المد والجزر. وبالمثل فإن الفرق بين قوتي الجاذبية الأرضية على طرفي القمر الاصطناعي القريب من الأرض والبعيد عنها أكبر من قوة تماسكه. ابحث في حد روش Roche limit، وحدد بعد القمر عن الأرض ليدور حولها عند حد روش.

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

مراجعة تراكمية

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؟

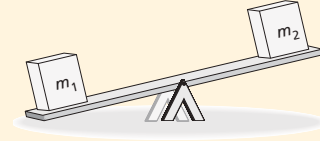


اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. يبين الشكل صندوقين عند نهايتي لوح خشبي طوله 3.0 m، يرتكز عند منتصفه على دعامة تمثل محور دوران، فإذا كانت كتلة الصندوق الأيسر $m_1 = 25 \text{ kg}$ وكتلة الصندوق الأيمن $m_2 = 15 \text{ kg}$ ، فما بعد النقطة التي يجب وضع الدعامة عندها عن الطرف الأيسر لكي يتزن اللوح الخشبي والصندوقان أفقيًا؟



- 1.1 m (C) 0.38 m (A)
1.9 m (D) 0.60 m (B)

2. أثرت قوة مقدارها 60 N في أحد طرفي رافعة طولها 1.0 m، أما الطرف الآخر للرافعة فيتصل بقضيب دوّار متعامد معها، بحيث يمكن تدوير القضيب بدفع الطرف البعيد للرافعة إلى أسفل. فإذا كان اتجاه القوة المؤثرة في الرافعة يميل 30° فما العزم المؤثر في الرافعة؟

($\sin 30^\circ = 0.5$ ، $\cos 30^\circ = 0.87$ ، $\tan 30^\circ = 0.58$)

- 60 N.m (C) 30 N.m (A)
69 N.m (D) 52 N.m (B)

3. يحاول طفل استخدام مفتاح شدّ لفك برغي في دراجته الهوائية. ويحتاج فك البرغي إلى عزم مقداره 10 N.m وأقصى قوة يستطيع أن يؤثر بها الطفل عموديًا في المفتاح 50 N. ما طول مفتاح الشد الذي يجب أن يستخدمه الطفل حتى يفك البرغي؟

- 0.2 m (C) 0.1 m (A)
0.25 m (D) 0.15 m (B)

4. تتحرك سيارة قطر كل إطار من إطاراتها 42 cm فتقطع مسافة 420 m. أي مما يأتي يبين عدد الدورات التي يدورها كل إطار عند قطع هذه المسافة؟

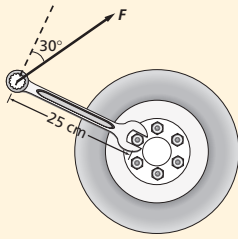
- $\frac{1.5 \times 10^2}{\pi} \text{ rev}$ (C) $\frac{5.0 \times 10^1}{\pi} \text{ rev}$ (A)
 $\frac{1.0 \times 10^3}{\pi} \text{ rev}$ (D) $\frac{1.0 \times 10^2}{\pi} \text{ rev}$ (B)

5. إذا كان قطر إطاري جرّار زراعي 1.5 m، وقاد المزارع الجرّار بسرعة خطية 3.0 m/s، فما مقدار السرعة الزاوية لكل إطار؟

- 4.0 rad/s (C) 2.0 rad/s (A)
4.5 rad/s (D) 2.3 rad/s (B)

الأسئلة الممتدة

6. استخدام مفتاح شد طوله 25 cm لفك صامولة برغي في إطار سيارة. انظر الشكل أدناه. وسُحب الطرف الحر للمفتاح إلى أعلى بقوة مقدارها $2.0 \times 10^2 \text{ N}$ ، وتميل بزاوية 30° ، كما هو مبين في الشكل. ما مقدار العزم المؤثر في مفتاح الشد؟ ($\sin 30^\circ = 0.5$ ، $\cos 30^\circ = 0.87$)



إرشاد

تدرّب، تدرّب، تدرّب

تأمّل وفكّر في كل اختيار على حدة، واشطب الاختيار الذي تستبعد أن يكون صحيحًا. وإذا كنت لا تريد الكتابة على الكتاب المقرر فاستخدم ورقة خارجية لشطب الاختيار المستبعد. ولكسب المزيد من الوقت في اختيار الإجابة الصحيحة، استخدم الاستبعاد الذهني.

الزخم وحفظه

Momentum & Its Conservation

ما الذي سنتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الزخم والدفع، وتوظيف العلاقات والمفاهيم المرتبطة معها 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.

فكر

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



ماذا يحدث عندما تصطدم كرة

بلاستيكية جوفاء بكرة مصمتة؟

سؤال التجربة ما الاتجاه الذي تتحرك فيه كل من الكرتين البلاستيكيتين الجوفاء والمصمتة بعد تصادمهما مباشرة؟

الخطوات

1. دحرج كرة مصمتة وكرة بلاستيكية جوفاء إحداهما في اتجاه الأخرى على سطح أملس.
2. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معاً.
3. أعد التجربة، على أن تحافظ على الكرة المصمتة ساكنة، وتدحرج الكرة البلاستيكية الجوفاء نحوها.
4. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معاً.
5. أعد التجربة مرة أخرى على أن تحافظ هذه المرة على بقاء الكرة البلاستيكية الجوفاء ساكنة، وتدحرج الكرة المصمتة نحوها.

6. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما.

التحليل

ما العوامل التي تؤثر في سرعة الكرتين بعد تصادمهما؟ وما العوامل التي تحدّد اتجاه حركة كل منهما بعد تصادمهما؟

التفكير الناقد ما العامل أو العوامل التي تسبب ارتداد الكرة المصمتة إلى الخلف بعد اصطدامها بالكرة البلاستيكية الجوفاء؟



1-2 الدفع والزخم Impulse and Momentum

إن مشاهدة لاعب البيسبول وهو يضرب الكرة ليحرز النقاط أمر مثير للدهشة. حيث يرمي لاعب المرمى الكرة في اتجاه اللاعب ذي المضرب، الذي يضربها بدوره لترتد بسرعة كبيرة تحت تأثير دفع المضرب. ستقوم بدراسة التصادم في هذا الفصل بطريقة مختلفة عما فعلت في الفصول السابقة؛ حيث كان التركيز على القوتين المتبادلتين بين الكرة والمضرب وما ينتج عنهما من تسارع. أما في هذا الفصل فالتركيز على التفاعل الفيزيائي بين الجسمين المتصادمين. إن الخطوة الأولى في تحليل التفاعل الفيزيائي بين الجسمين هي وصف ما حدث للكرة والمضرب قبل التصادم وفي أثناءه وبعده. ونستطيع تبسيط دراسة التصادم بين الكرة والمضرب بافتراض أن جميع الحركات أفقية؛ حيث تحركت الكرة في اتجاه المضرب قبل التصادم، وتأثرت الكرة بالمضرب مما أدى إلى انضغاطها في أثناء التصادم، فتحركت الكرة بسرعة أكبر مبتعدة عن المضرب بعد تصادمهما، وأكمل المضرب مساره ولكن بسرعة أقل.

الأهداف

- تتعرّف مفهوم الزخم.
- تحدّد مقدار الدفع الواقع على جسم.

المفردات

الدفع
الزخم
نظرية الدفع - الزخم

رابط الدرس الرقمي



www.ien.edu.sa

الدفع والزخم Impulse and Momentum

ما العلاقة بين سرعتين المتجهتين للكرة قبل التصادم وبعده والقوة المؤثرة فيها؟ يصف القانون الثاني لنيوتن في الحركة كيف تتغير السرعة المتجهة لجسم بفعل القوة المحصلة المؤثرة فيه؛ إذ يحدث التغير في السرعة المتجهة للكرة بسبب قوة المضرب المؤثرة في الكرة، وتتغير القوة خلال الزمن، كما في الشكل 1-2. تنضغط الكرة بعد التلامس مباشرة، وتستمر القوة في التزايد حتى تصل إلى أقصى قيمة لها (أكبر من وزن الكرة أكثر من 10000 مرة)، ثم تستعيد الكرة شكلها، وتتحرك مبتعدة عن المضرب بسرعة، ويقل مقدار القوة مباشرة ليصبح صفرًا. ويستغرق هذا الحدث فترة زمنية مقدارها 3.0 ms. فكيف تستطيع حساب التغير في السرعة المتجهة لكرة البيسبول؟

الدفع يمكن إعادة كتابة القانون الثاني لنيوتن، $F = ma$ ، باستخدام تعريف التسارع بأنه حاصل قسمة التغير في السرعة المتجهة على الزمن الضروري لإحداث التغير. ويمثل ذلك

$$F = ma = m \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right) \quad \text{بالمعادلة:}$$

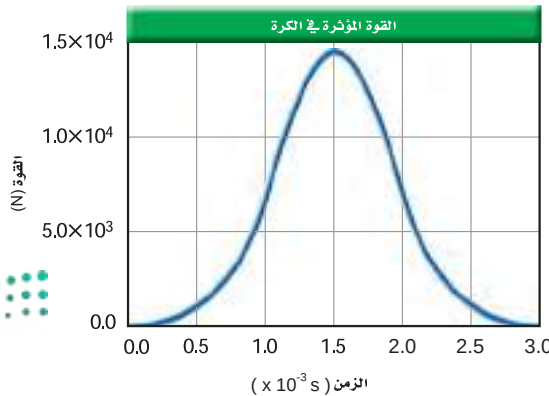
بضرب طرفي المعادلة في الفترة الزمنية Δt ، نحصل على المعادلة التالية: $F\Delta t = m\Delta v$. إن **الدفع**، أو $F\Delta t$ هو حاصل ضرب متوسط القوة المؤثرة في جسم في زمن تأثير القوة. ويقاس الدفع بوحدة N.s. ويتم إيجاد مقدار الدفع في الحالات التي تتغير فيها القوة مع الزمن من خلال تحديد المساحة تحت منحنى العلاقة البيانية للقوة مع الزمن. انظر إلى الشكل 1-2.

يحتوي الجانب الأيمن من المعادلة، $m\Delta v$ على التغير في السرعة المتجهة:

$\Delta v = v_f - v_i$. حيث يكون $m\Delta v = mv_f - mv_i$. ويعرف حاصل ضرب كتلة الجسم m في سرعته المتجهة v **بزخم** الجسم؛ حيث يقاس الزخم بوحدة kg.m/s. ويعرف زخم الجسم بالزخم الخطي أيضًا، ويُعبر عنه بالمعادلة الآتية:

$$p = mv \quad \text{الزخم}$$

زخم جسم ما يساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته المتجهة.



دلالة الألوان

- متجهات الزخم والدفع باللون البرتقالي.
- متجهات القوة باللون الأزرق.
- متجهات التسارع باللون البنفسجي.
- متجهات الإزاحة باللون الأخضر.
- متجهات السرعة باللون الأحمر.

■ **الشكل 1-2** تزداد القوة المؤثرة في الكرة، ثم تتناقص بسرعة خلال عملية التصادم، كما في هذا الشكل البياني الذي يوضح منحنى القوة — الزمن.

بالرجوع إلى المعادلة $F\Delta t = m\Delta v = m v_f - m v_i$ ، حيث إن $p_f = m v_f$

و $p_i = m v_i$ ، فإنه يمكننا إعادة كتابة هذه المعادلة على النحو الآتي:

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

يصف الجانب الأيمن من هذه المعادلة $p_f - p_i$ التغير في زخم جسم ما. وبذلك يكون الدفع على جسم ما يساوي التغير في زخمه. وهذا يسمى **نظرية الدفع - الزخم**. ويعبر عن هذه النظرية من خلال المعادلة الآتية:

$$F\Delta t = p_f - p_i \quad \text{نظرية الدفع - الزخم}$$

الدفع على جسم ما يساوي زخم الجسم النهائي مطروحاً منه زخمه الابتدائي.

تطبيق الفيزياء

أحذية الركض

يُعد الركض على الأقدام عملاً شاقاً؛ فعندما يضرب العداء الأرض بقدمه تؤثر الأرض في القدم بقوة تساوي أربعة أمثال وزنه. ويصمم الحذاء الرياضي بحيث يكون نعله مزوداً بوسائد امتصاص؛ لتقليل القوة المؤثرة في القدم، مع المحافظة على دفع جيد، من خلال إطالة زمن تأثير

القوة.

إذا كانت القوة المؤثرة في جسم ثابتة فإن الدفع عبارة عن حاصل ضرب القوة في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها هذه القوة. وعموماً لا تكون القوة ثابتة، لذا يتم إيجاد الدفع باستخدام متوسط القوة مضروباً في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها، أو عن طريق إيجاد المساحة تحت منحنى القوة - الزمن.

ولأن السرعة كمية متجهة فإن الزخم أيضاً كمية متجهة. وبشكل مشابه لا بد أن يكون الدفع كمية متجهة؛ لأن القوة كمية متجهة. وهذا يعني ضرورة أخذ الإشارات في الاعتبار عند التعامل مع الحركة في بعد واحد.

استخدام نظرية الدفع - الزخم

Using the Impulse Momentum Theorem

ما التغير في زخم كرة البيسبول؟ بناءً على نظرية الدفع - الزخم، فإن التغير في الزخم يساوي الدفع المؤثر في الجسم. ويمكن حساب الدفع المؤثر في كرة بيسبول باستخدام منحنى القوة - الزمن؛ حيث يساوي المساحة تحت المنحنى. في الشكل 1-2، الدفع يساوي 13.1 N.s تقريباً. ويكون اتجاه الدفع في اتجاه القوة نفسه. لذا فإن التغير في زخم الكرة يساوي 13.1 N.s أيضاً، ولأن 1 N.s تساوي 1 kg.m/s ، فإن الزخم الذي تكتسبه الكرة يساوي 13.1 kg.m/s ، ويكون اتجاهه في نفس اتجاه القوة المؤثرة في الكرة.

افترض أن لاعباً ما ضرب كرة كتلتها 0.145 kg بمضرب، وأن السرعة المتجهة للكرة قبل اصطدامها بالمضرب تساوي 38 m/s - . وبافتراض الاتجاه الموجب نحو رامي الكرة، يكون الزخم الابتدائي لكرة البيسبول:

$$p_i = (0.145 \text{ kg}) (-38 \text{ m/s}) = -5.5 \text{ kg.m/s}$$

ما زخم الكرة بعد التصادم؟ طبق نظرية الدفع - الزخم لإيجاد الزخم النهائي:

$p_f = p_i + F\Delta t$. أي أن الزخم النهائي هو مجموع الزخم الابتدائي والدفع. ويحسب



الزخم النهائي للكرة على النحو الآتي:

$$\begin{aligned} p_f &= p_i + 13.1 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \\ &= -5.5 \text{ kg} \cdot \text{m/s} + 13.1 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \\ &= + 7.6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \end{aligned}$$

ما السرعة المتجهة النهائية للكرة؟ بما أن $p_f = mv_f$ ، فإنه يمكن حساب v_f كالآتي:

$$v_f = \frac{p_f}{m} = \frac{+ 7.6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{0.145 \text{ kg}} = + 52 \text{ m/s}$$

إن ضرب الكرة في الاتجاه الصحيح بسرعة 52 m/s يكفي لاجتياز حدود الملعب.

نظرية الدفع - الزخم والحفاظ على الحياة

يحدث تغير كبير في الزخم عندما يكون الدفع كبيراً. وينتج الدفع الكبير إما عن قوة كبيرة تؤثر خلال فترة زمنية قصيرة، أو عن قوة صغيرة تؤثر خلال فترة زمنية طويلة، وقد روعيت هذه المفاهيم الفيزيائية عند تصميم أنظمة الأمان في السيارات الحديثة، ومن ذلك تزويدها بوسائد هوائية.

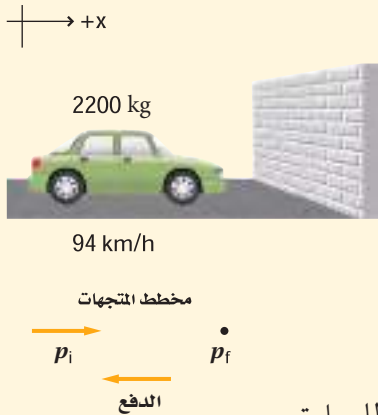
ماذا يحدث للسائق عندما تتوقف السيارة فجأة نتيجة تصادم؟ يساوي الزخم النهائي p_f في حالات التصادم صفراً، أما الزخم الابتدائي p_i فلا يتأثر بوجود الوسادة الهوائية أو عدمه، وتبعاً لذلك يكون الدفع $F \Delta t$ هو نفسه في الحالتين؛ في وجود الوسادة وفي عدم وجودها. ما عمل الوسادة الهوائية؟ تعمل الوسادة الهوائية، كتلك المبينة في الشكل 2-2 على توفير الدفع المطلوب، لكنها تقلل القوة عن طريق زيادة زمن تأثيرها، كما أنها توزع تأثير القوة على مساحة أكبر من جسم الشخص، مما يقلل من احتمال حدوث الإصابات.



■ الشكل 2-2 تنتفخ الوسادة الهوائية في أثناء التصادم، حيث تسبب القوة الناجمة عن التصادم تحفيز المجس الذي يحفز بدوره تفاعلاً كيميائياً ينتج غازاً، مما يؤدي إلى انتفاخ الوسادة الهوائية بسرعة.



مثال 1



متوسط القوة تتحرك مركبة كتلتها 2200 kg بسرعة 94 km/h (26 m/s)، حيث يمكنها التوقف خلال 21 s، عن طريق الضغط على الكوابح برفق، ويمكن أن تتوقف المركبة خلال 3.8 s إذا ضغط السائق على الكوابح بشدة، بينما يمكن أن تتوقف خلال 0.22 s إذا اصطدمت بحائط أسمنتي. ما متوسط القوة المؤثرة في المركبة في كل حالة من حالات التوقف؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم النظام.
- اختر نظام إحداثيات وحدد الاتجاه الموجب ليكون في اتجاه السرعة المتجهة للسيارة.
- اعمل رسماً تخطيطياً لمتجهات الزخم والدفع.

المجهول

المعلوم

F	= ?	$m = 2200 \text{ kg}$	$\Delta t = 21 \text{ s}$
	الضغط على الكوابح برفق		
F	= ?	$v_i = + 26 \text{ m/s}$	$\Delta t = 3.8 \text{ s}$
	الضغط على الكوابح بشدة		
F	= ?	$v_f = + 0.0 \text{ m/s}$	$\Delta t = 0.22 \text{ s}$
	الاصطدام بحائط		



2 إيجاد الكمية المجهولة

أولاً: نحسب الزخم الابتدائي p_i :

$$\begin{aligned} p_i &= mv_i \\ &= (2200 \text{ kg}) (+ 26 \text{ m/s}) \\ &= + 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

عوض مستخدماً $m = 2200 \text{ kg}, v_i = + 26 \text{ m/s}$

ثانياً: نحسب الزخم النهائي، p_f :

$$\begin{aligned} p_f &= mv_f \\ &= (2200 \text{ kg}) (+ 0.0 \text{ m/s}) \\ &= 0.0 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

عوض مستخدماً $m = 2200 \text{ kg}, v_f = + 0.0 \text{ m/s}$

ثالثاً: نطبق نظرية الدفع - الزخم للحصول على القوة المطلوبة لإيقاف المركبة:

$$\begin{aligned} F\Delta t &= p_f - p_i \\ &= (+ 0.0 \text{ kg.m/s}) - (5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}) \\ &= - 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

$p_i = 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$ ، $p_f = 0.0 \text{ kg.m/s}$

$$\begin{aligned} F &= \frac{- 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{\Delta t} \\ F_{\text{الضغط على المكابح برفق}} &= \frac{- 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{21 \text{ s}} \\ &= - 2.7 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

عوض مستخدماً $\Delta t = 21 \text{ s}$ = الضغط على الكوابح برفق

$$\begin{aligned} F &= \frac{- 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{3.8 \text{ s}} \\ F_{\text{الضغط على المكابح بشدة}} &= - 1.5 \times 10^4 \text{ N} \end{aligned}$$

عوض مستخدماً $\Delta t = 3.8 \text{ s}$ = الضغط على الكوابح بشدة

$$\begin{aligned} F &= \frac{- 5.7 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{0.22 \text{ s}} \\ F_{\text{الاصطدام بحائط}} &= - 2.6 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

عوض مستخدماً $\Delta t = 0.22 \text{ s}$ = الاصطدام بحائط

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية
279 ، 278

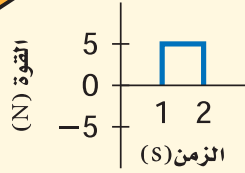
3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تقاس القوة بالنيوتن، وكان الجواب بالوحدة N نفسها.
- هل للاتجاه معنى؟ تؤثر القوة في الاتجاه المعاكس لسرعة السيارة، لذا يكون اتجاه القوة في الاتجاه السالب.
- هل الجواب منطقي؟ يزن الشخص عدة مئات نيوتن، لذا فمن المنطقي أن تكون القوة اللازمة لإيقاف سيارة عدة آلاف نيوتن، ولأن الدفع في عمليات الإيقاف الثلاثة هو نفسه؛ فكلما قل زمن التوقف أكثر من عشر مرات ازدادت القوة أكثر من عشر مرات.



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

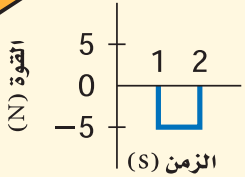
a



a. احسب مقدار زخمها وحدد اتجاهه، وارسم سهمًا على رسم السيارة يعبر عن الزخم.
b. إذا امتلكت سيارة أخرى الزخم نفسه، وكانت كتلتها 2175 kg، فما سرعتها المتجهة؟

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،

b



a. ما التغير في زخم السيارة؟ ما مقدار واتجاه الدفع على السيارة؟
b. أكمل الرسمين لما قبل الضغط على الكوابح وبعده، ثم حدّد الزخم والسرعة المتجهة للسيارة بعد الانتهاء من الضغط على الكوابح.

الشكل 2-3

3. تندرج 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 2-3a و 2-3b.

4. سرّ 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؟

c. ما مقدار متوسط القوة التي أثرت في العربة؟

5. افترض أنّ شخصًا كتلته 60.0 kg موجود في المركبة التي اصطدمت بالحائط الأسمتي في المثال 1، حيث السرعة المتجهة للشخص مساوية للسرعة المتجهة للمركبة قبل التصادم وبعده، وتغيرت هذه السرعة المتجهة خلال 0.2 s. ارسم مخططًا يمثل المسألة.

a. ما متوسط القوة المؤثرة في الشخص؟

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 قويٌّ بدرجة كافية لتوقف جسمك باستخدام ذراعيك؟



1-2 مراجعة

10. **الزخم** إن مقدار سرعة كرة السلة لحظة اصطدامها بالأرض هو نفسه بعد التصادم مباشرة. هل يعني ذلك أن التغير في زخم الكرة يساوي صفراً عند اصطدامها بالأرض؟ إذا كان الجواب بالنفي ففي أي اتجاه يكون التغير في الزخم؟ ارسم متجهات الزخم لكرة السلة قبل أن تصطدم بالأرض وبعده.
11. **التفكير الناقد** يصوّب رام سهامه في اتجاه هدف، فتتغرز بعض السهام في الهدف، ويرتد بعضها الآخر عنه. افترض أن كتل السهام وسرعاتها المتجهة متساوية، فأَيُّ السهام ينتج دفْعاً أكبر على الهدف؟ تلميح: ارسم مخططاً تبيّن فيه زخم السهام قبل إصابة الهدف وبعدها في الحالتين.

6. **الزخم** هل يختلف زخم سيارة تتحرك جنوباً عن زخم السيارة نفسها عندما تتحرك شمالاً، إذا كان مقدار السرعة في الحالتين متساوياً؟ ارسم متجهات الزخم لتدعم إجابتك.
7. **الدفع والزخم** عندما تقفز من ارتفاع معين إلى الأرض فإنك تشني رجلك لحظة ملازمة قدميك الأرض. بين لماذا تفعل هذا اعتماداً على المفاهيم الفيزيائية التي تعلمتها في هذا الفصل.
8. **الزخم** أيهما له زخم أكبر، ناقلة نفط راسية بثبات في رصيف ميناء، أم قطرة مطر ساقطة؟
9. **الدفع والزخم** قذفت كرة بيسبول كتلتها 0.174 kg أفقياً بسرعة 26.0 m/s . وبعد أن ضربت 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؟
- c. ما الدفع الناتج عن المضرب؟
- d. إذا بقي المضرب متصلاً بالكرة مدة 0.80 ms فما متوسط القوة التي أثر بها المضرب في الكرة؟





2-2 حفظ الزخم Conservation of Momentum

الأهداف

- تربط بين القانون الثالث لنيوتن وحفظ الزخم.
- تعرف الظروف اللازمة لحفظ الزخم.
- تحل مسائل حفظ الزخم.

المفردات

- النظام المغلق
- النظام المعزول
- قانون حفظ الزخم

لقد درست في القسم الأول من هذا الفصل، كيف تغير القوة المؤثرة في فترة زمنية زخم كرة بيسبول. ولقد تعلمت من القانون الثالث لنيوتن أن القوى هي نتيجة للتفاعلات بين جسمين؛ فعندما يؤثر المضرب في الكرة بقوة فإن الكرة تؤثر في المضرب بمقدار القوة نفسه ولكن في الاتجاه المعاكس. فهل يتغير زخم المضرب؟

تصادم جسمين Two - Particle Collisions

عندما يضرب اللاعب كرة البيسبول فإن المضرب ويد اللاعب وذراعيه والأرض التي يقف عليها تتفاعل معاً، لذا لا يمكن اعتبار المضرب جسماً منفصلاً. لتيسير دراسة التصادم يمكن أن نتفحص نظاماً أبسط، مقارنة بالنظام المركب السابق، كالتصادم بين كرتين. انظر الشكل 2-4.

إن كل كرة تؤثر في الأخرى بقوة في أثناء عملية تصادم الكرتين معاً، وإن القوتين اللتين تؤثر بهما كل كرة في الأخرى متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، على الرغم من اختلاف حجمي الكرتين وسرعتيهما المتجهتين؛ وذلك استناداً إلى القانون الثالث لنيوتن في الحركة، وتمثل هاتان القوتان بالمعادلة الآتية:

$$F_{C \text{ في } D} = -F_{D \text{ في } C}$$

ما العلاقة بين الدفعين اللذين تبادلت الكرتان التأثير بهما؟ بما أن القوتين أثرتا خلال الفترة الزمنية نفسها فإن دفعي الكرتين يجب أن يكونا متساويين في المقدار ومتعاكسين في الاتجاه. كيف يتغير زخم الكرتين نتيجة للتصادم؟

استناداً إلى نظرية الدفع-الزخم فإن التغير في الزخم يساوي الدفع، وتبعاً لذلك فإن التغير في الزخم لكل من الكرتين كالآتي:

$$p_{Cf} - p_{Ci} = F_{D \text{ في } C} \Delta t \quad \text{للكرة C}$$

$$p_{Df} - p_{Di} = F_{C \text{ في } D} \Delta t \quad \text{وللكرة D}$$

والآن نقارن بين التغير في الزخم لكل من الكرتين؛ حيث إن الفترة الزمنية التي تؤثر خلالها القوتان هي نفسها، كما أن $F_{C \text{ في } D} = -F_{D \text{ في } C}$ وفقاً للقانون الثالث لنيوتن في الحركة، فإن دفعي الكرتين متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه. وتبعاً لذلك فإن:

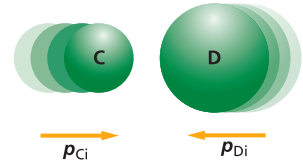
$$p_{Cf} - p_{Ci} = -(p_{Df} - p_{Di})$$

وبإعادة ترتيب المعادلة نحصل على الآتي:

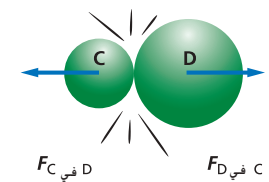
$$p_{Cf} + p_{Df} = p_{Ci} + p_{Di}$$

وتشير هذه المعادلة إلى أن مجموع زخم الكرتين قبل التصادم يساوي مجموع زخميها بعد التصادم. وهذا يعني أن الزخم المكتسب من الكرة D يساوي الزخم المفقود من الكرة C. فإذا كان النظام يتكوّن من الكرتين فإن زخم النظام يكون ثابتاً أو محفوظاً.

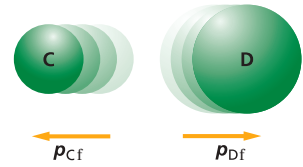
قبل التصادم (ابتدائي)



في أثناء التصادم



بعد التصادم (نهائي)



■ الشكل 2-4 عندما تصطدم كرتان فإن كلا منهما تؤثر في الأخرى بقوة مما يؤدي إلى تغير زخميتهما.

الزخم في نظام مغلق معزول

Momentum in a Closed, Isolated System

ما الشروط التي يكون عندها زخم النظام المكون من كرتين محفوظاً؟ إن الشرط الأول والأكثر وضوحاً هو عدم فقدان النظام أو اكتسابه كتلة. ويُسمى النظام الذي لا يكتسب كتلة ولا يفقدها **بالنظام المغلق**. أما الشرط الثاني لحفظ الزخم في أي نظام فهو أن تكون القوى المؤثرة فيه قوى داخلية؛ أي لا تؤثر في النظام قوى من أجسام موجودة خارجه.

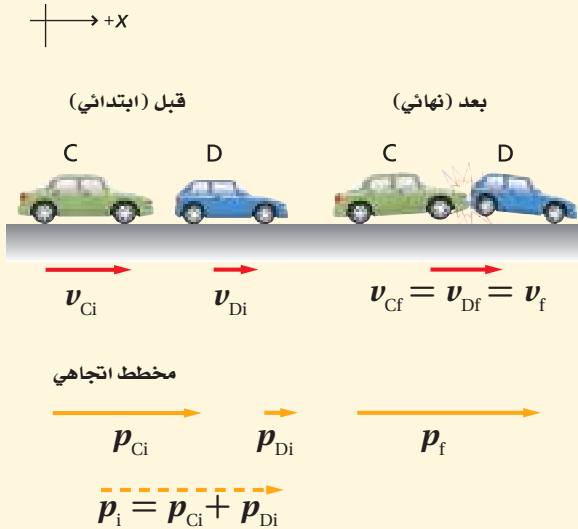
يوصف النظام المغلق بأنه **نظام معزول** عندما تكون محصلة القوى الخارجية عليه تساوي صفراً. ولا يوجد على سطح الكرة الأرضية نظام يمكن وصفه بأنه معزول تماماً؛ بسبب وجود تفاعلات بين النظام ومحيطه. وغالباً ما تكون هذه التفاعلات صغيرة جداً، بحيث يمكن إهمالها عند حل المسائل الفيزيائية.

يمكن للأنظمة أن تحتوي على أي عدد من الأجسام، وهذه الأجسام يمكن أن يلتحم (يلتصق) بعضها ببعض أو تتفكك عند التصادم. وينص **قانون حفظ الزخم** على أن زخم أي نظام مغلق ومعزول لا يتغير. وسيجعلك هذا القانون قادراً على الربط بين ظروف النظام قبل التفاعل وبعده، دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل هذا التفاعل.

مثال 2

السرعة تحركت سيارة كتلتها 1875 kg بسرعة 23 m/s ، فاصطدمت بمؤخرة سيارة صغيرة كتلتها 1025 kg تسير على الجليد بسرعة 17 m/s في الاتجاه نفسه، فالتحمت السيارتان إحداهما بالأخرى. ما السرعة التي تتحرك بها السيارتان معاً بعد التصادم مباشرة؟

1 تحليل المسألة ورسمها



المجهول

$$v_f = ?$$

المعلوم

$$m_C = 1875 \text{ kg}$$

$$v_{Ci} = + 23 \text{ m/s}$$

$$m_D = 1025 \text{ kg}$$

$$v_{Di} = + 17 \text{ m/s}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

الزخم محفوظ لأن الأرضية الملساء (الجليد) تجعل القوة الخارجية الكلية على السيارتين صفراً تقريباً.

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

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

بما أن السيارتين التحتما معاً فإن لهما السرعة المتجهة نفسها بعد التصادم (v_f).

$$v_{Cf} = v_{Df} = v_f$$

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

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

$$= \frac{(1875 \text{ kg})(+23 \text{ m/s}) + (1025 \text{ kg})(+17 \text{ m/s})}{(1875 \text{ kg} + 1025 \text{ kg})}$$

$$= +21 \text{ m/s}$$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 287

نعيد ترتيب المعادلة لنحسب v_f .

$$v_{Di} = +17 \text{ m/s}, m_C = 1875 \text{ kg}$$

$$v_{Ci} = +23 \text{ m/s}, m_D = 1025 \text{ kg}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تقاس السرعة بـ m/s ، وكان الجواب بهذه الوحدات نفسها.
- هل للاتجاه معنى؟ v_i و v_f ، في الاتجاه الموجب، لذا يجب أن تكون قيمة v_f موجبة.
- هل الجواب منطقي؟ إن مقدار السرعة النهائية v_f يقع بين سرعة كل من السيارتين قبل التصادم، ولكنه أقرب إلى سرعة السيارة الكبيرة، وهذا منطقي.

12. اصطدمت سيارتا شحن كتلة كل منهما $3.0 \times 10^5 \text{ kg}$ ، فالتصقتا معاً، فإذا كانت سرعة إحداهما قبل التصادم مباشرة 2.2 m/s ، وكانت الأخرى ساكنة، فما سرعتها النهائية؟

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

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



الشكل 5 - 2

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؟

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؟

17. تحركت كرة كتلتها 0.50 kg بسرعة 6.0 m/s ، فاصطدمت بكرة أخرى كتلتها 1.00 kg تتحرك 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؟

الارتداد Recoil

من المهم جداً تعريف أيّ نظام بدقة، فمثلاً يتغير زخم كرة بيسبول عندما تؤثر قوة خارجية ناتجة عن المضرب فيها. وهذا يعني أن كرة البيسبول ليست نظاماً معزولاً. من جهة أخرى فإن الزخم الكلي لكرتين متصادمتين ضمن نظام معزول لا يتغير؛ لأن جميع القوى تكون بين الأجسام الموجودة داخل النظام. هل تستطيع إيجاد السرعات المتجهة النهائية للمتزلجين الموجودين في الشكل 6 - 2؟ افترض أنهما يتزلجان على سطح ناعم، دون وجود قوى خارجية، وأنهما انطلقا من السكون، وكان أحدهما خلف الآخر. دفع المتزلج C "الصبي الأكبر"، المتزلج D "الصبي الأصغر"، فتحركا في اتجاهين متعاكسين، ولأن قوة الدفع قوة داخلية، فإنه يمكن استخدام قانون حفظ الزخم لإيجاد السرعات النسبية للمتزلجين. كان الزخم الكلي للنظام قبل الدفع يساوي صفراً، لذا يجب أن يكون الزخم الكلي صفراً بعد الدفع أيضاً.

قبل بعد

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

$$p_{Ci} + p_{Di} = 0$$

$$p_{Df} = -p_{Cf}$$

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

تم اختيار نظام الإحداثيات ليكون الاتجاه الموجب إلى اليمين. يكون زخما المتزلجين بعد الدفع متساويين في المقدار ومتعاكسين في الاتجاه. ويعد رجوع المتزلج C إلى الخلف بعد الدفع مثلاً على حالة الارتداد. فهل تكون سرعتان المتجهتان للمتزلجين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه أيضاً؟

يمكن إعادة كتابة المعادلة الأخيرة أعلاه، لإيجاد السرعة المتجهة للمتزلج C، على النحو الآتي:

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

لذا فإن سرعتين المتجهتين تعتمدان على نسبة كتلتي المتزلجين إحداهما إلى الأخرى. فمثلاً إذا كانت كتلة المتزلج C 68.0 kg وكتلة المتزلج D 45.4 kg، كانت نسبة سرعتين المتجهتين لهما 45.4 : 68.0، أو 1.50، لذا فإن المتزلج الذي كتلته أقل يتحرك بسرعة متجهة أكبر. ولا يمكنك حساب السرعة المتجهة لكلا المتزلجين إذا لم يكن لديك معلومات عن مقدار قوة دفع المتزلج C للمتزلج D.



ارتفاع الارتداد

زخم أي جسم يساوي حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة.

1. أسقط كرة مطاطية كبيرة عن ارتفاع 15 cm فوق طاولة.
2. سجل ارتفاع ارتداد الكرة.
3. أعد الخطوتين 1 و 2 مستخدماً كرة مطاطية صغيرة.
4. ارفع الكرة الصغيرة وضعها فوق الكرة الكبيرة على أن تكونا متلامستين معاً.
5. اترك الكرتين لتسقطا معاً من الارتفاع نفسه.
6. قس ارتفاع ارتداد كلتا الكرتين.

التحليل والاستنتاج

7. صف ارتفاع ارتداد كل من الكرتين عندما تسقط كل كرة على حدة.
8. قارن بين ارتفاعات الارتداد في الخطوتين 6 و 7.
9. فسر ملاحظاتك.

تجربة عملية

هل الزخم محفوظ؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

■ الشكل 6-2 القوى الداخلية المؤثرة بواسطة المتزلج C "الصبي الأكبر"، والمتزلج D "الصبي الأصغر" لا تستطيع أن تغير الزخم الكلي للنظام.



وزارة التعليم

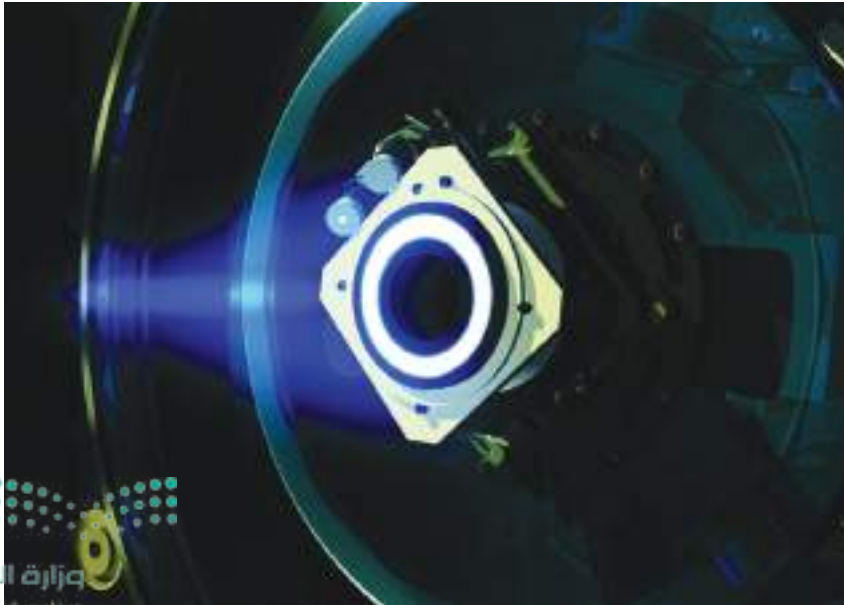
Ministry of Education

2021-2022

الدفع في الفضاء Propulsion in Space

كيف تتغير السرعة المتجهة للصاروخ في الفضاء؟ يُزوّد الصاروخ بالوقود والمادة المؤكسدة، وعندما يمتزجان معًا في محرك الصاروخ تنتج غازات حارة بسبب الاحتراق، وتخرج من فوهة العادم بسرعة كبيرة. فإذا كان الصاروخ والمواد الكيميائية هما النظام، فإن النظام يكون مغلقًا. وتكون القوى التي تنفث الغازات قوى داخلية، لذا يكون النظام معزولاً أيضًا. ولذلك فإن الأجسام الموجودة في الفضاء يمكنها أن تتسارع، وذلك باستخدام قانون حفظ الزخم وقانون نيوتن الثالث في الحركة.

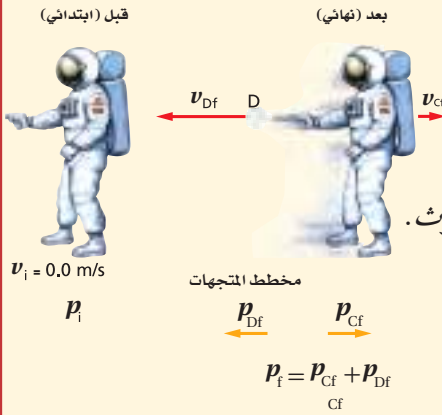
تمكن مسبار ناسا الفضائي، والمسمى "Deep Space 1" من المرور بأحد الكويكبات منذ بضعة سنوات، وذلك بفضل استخدام تقنية حديثة فيه، تتمثل في "محرك أيوني" يؤثر بقوة مماثلة للقوة الناتجة عن ورقة مستقرة على يد شخص. يبين الشكل 7-2 المحرك الأيوني، الذي يعمل بشكل مختلف عن المحرك التقليدي للصاروخ؛ والذي فيه تندفع نواتج التفاعل الكيميائي - التي تحدث داخل حجرة الاحتراق - بسرعة عالية من الجزء الخلفي من الصاروخ. أما في المحرك الأيوني فإن ذرات الزينون تنطلق بسرعة مقدارها 30 km/s ، مولدة قوة مقدارها 0.092 N فقط. ولكن كيف يمكن لمثل هذه القوة الصغيرة أن تنتج تغيرًا كبيرًا في زخم المسبار؟ على عكس الصواريخ الكيميائية التقليدية والتي يعمل محركها لدقائق قليلة فقط، فإن المحرك الأيوني في المسبار يمكن أن يعمل أيامًا، أو أسابيع أو حتى أشهرًا؛ لذا فإن الدفع الذي يوفره المحرك يكون كبيرًا بدرجة كافية تسمح بزيادة زخم المركبة الفضائية التي كتلتها 490 kg حتى تصل إلى السرعة المطلوبة لإنجاز مهمتها.



■ الشكل 7-2 تتأين ذرات الزينون الموجودة في المحرك الأيوني عن طريق قذفها بالإلكترونات، ثم تسرع أيونات الزينون الموجبة إلى سرعات عالية.

السرعة أطلق رائد فضاء في حالة سكون غازًا من مسدس دفع، ينفث 35 g من الغاز الساخن بسرعة 875 m/s، فإذا كانت كتلة رائد الفضاء والمسدس معًا 84 kg، فما مقدار سرعة رائد الفضاء؟ وفي أي اتجاه يتحرك بعد أن يطلق الغاز من المسدس؟

1 تحليل المسألة ورسمها



ملاحظة: يشير الحرف C إلى رائد الفضاء والمسدس معًا، والحرف D إلى الغاز المنفوث.

المجهول

$$v_{Cf} = ?$$

المعلوم

$$m_C = 84 \text{ kg}, m_D = 0.035 \text{ kg}$$

$$v_{Ci} = v_{Di} = + 0.0 \text{ m/s}$$

$$v_{Df} = - 875 \text{ m/s}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

يتكون النظام من رائد الفضاء والمسدس والمواد الكيميائية التي أنتجت الغاز.

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

قبل أن يطلق المسدس الغاز، كانت جميع أجزاء النظام في

حالة سكون، لذا يكون الزخم الابتدائي صفرًا.

نستخدم قانون حفظ الزخم لإيجاد p_f

$$p_i = p_f$$

$$+ 0.0 \text{ kg.m/s} = p_{Cf} + p_{Df}$$

زخم رائد الفضاء والمسدس معًا يساوي زخم الغاز المنطلق

من المسدس في المقدار ويعاكسه في الاتجاه.

$$p_{Cf} = - p_{Df}$$

نحل لإيجاد السرعة المتجهة النهائية للرائد، v_{Cf} .

دليل الرياضيات

فصل المتغير 289

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

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

$$m_D = 0.035 \text{ kg}, v_{Df} = - 875 \text{ m/s}, m_C = 84 \text{ kg}$$

$$= \frac{(-0.035 \text{ kg})(-875 \text{ m/s})}{84 \text{ kg}} = + 0.36 \text{ m/s}$$

عوض مستخدمًا $m_D = 0.035 \text{ kg}, v_{Df} = - 875 \text{ m/s}, m_C = 84 \text{ kg}$

3 تقويم الجواب

هل الوحدات صحيحة؟ تقاس السرعة بـ m/s، والجواب بوحدة m/s.

هل للاتجاه معنى؟ سرعة الرائد المتجهة في الاتجاه المعاكس لاتجاه انبعاث الغاز.

هل الجواب منطقي؟ كتلة الرائد أكبر كثيرًا من كتلة الغاز المنبعث؛ لذا من المنطقي أن تكون سرعة الرائد المتجهة أقل

بكثير من سرعة الغاز المتجهة.

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.
19. ترتبط عربتان إحداهما مع الأخرى بخيط يمنعها 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 ؟
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 ؟

التصادم في بعدين Two - Dimensional Collisions

لقد درست الزخم في بعد واحد فقط، ولكن يجب أن تعلم أن قانون حفظ الزخم يطبق على جميع الأنظمة المغلقة التي لا تؤثر فيها قوى خارجية، بغض النظر عن اتجاهات حركة الأجسام قبل تصادمها وبعده. ولكن ما الذي يحدث عندما تصادم الأجسام في بعدين أو ثلاثة؟ يبين الشكل 8-2 ما يحدث عندما تصطدم كرة البلياردو C بالكرة D التي كانت في حالة سكون. افترض أن كرتي البلياردو هما النظام، فيكون الزخم الابتدائي للكرة المتحركة p_{Ci} ، وللكرة الثابتة صفرًا؛ لذا يكون زخم النظام قبل التصادم p_{Ci} .

تتحرك الكرتان بعد التصادم، وتمتلكان زخمًا، وإذا أهمل الاحتكاك مع الطاولة، فيكون النظام معزولاً ومغلقًا؛ لذا يمكن استخدام قانون حفظ الزخم (الزخم الابتدائي يساوي المجموع المتجه للزخم النهائي) أي أن:

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

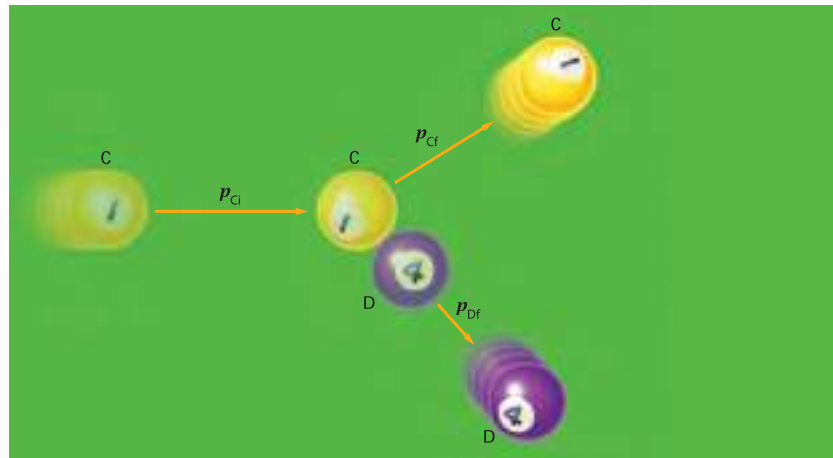
وتساوي الزخم قبل التصادم وبعده يعني أن مجموع مركبات المتجهات قبل التصادم وبعده يجب أن يكون متساويًا. وإذا كان الإحداثي الأفقي (x) في اتجاه الزخم الابتدائي، تكون المركبة الرأسية (y) للزخم الابتدائي تساوي صفرًا. ويجب أن يساوي مجموع المركبات الرأسية (y) النهائية للزخم صفرًا أيضًا.

$$p_{Cf,y} + p_{Df,y} = 0$$

تكون المركبتان الرأسيتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه، وتبعًا لذلك لا بد أن تكون إشارتهما مختلفتين. أما مجموع المركبات الأفقية للزخم فيساوي:

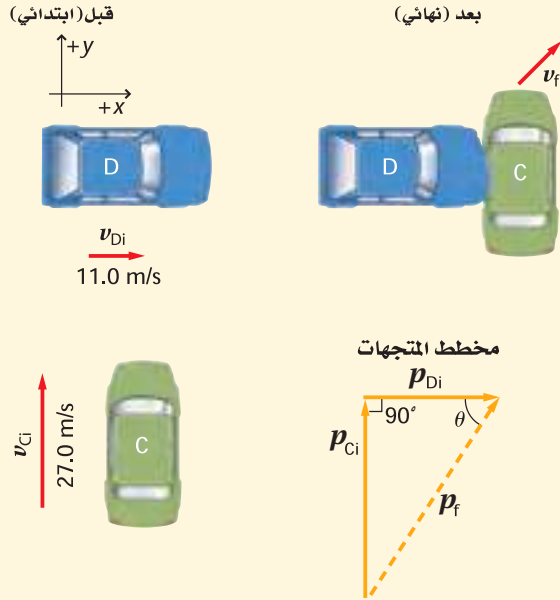
$$p_{Ci} = p_{Cf,x} + p_{Df,x}$$

■ الشكل 8-2 يطبق قانون حفظ الزخم على جميع الأنظمة المعزولة والمغلقة، بغض النظر عن اتجاهات حركة الأجسام قبل التصادم وبعده.



مثال 4

السرعة: تحركت السيارة C شمالاً بسرعة 27 m/s ، فاصطدمت بالسيارة D التي كانت تتحرك شرقاً بسرعة 11.0 m/s ، فسارت السيارتان وهما متصلتان معاً بعد التصادم. فإذا كانت كتلة السيارة C (1325 kg) ، وكتلة السيارة D (2165 kg) ، فما مقدار سرعتها واتجاهها بعد التصادم؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- تعريف النظام
- رسم الحالتين قبل التصادم وبعده
- بناء محاور الإحداثيات، بحيث يمثل المحور الرأسي (y) الشمال، والمحور الأفقي (x) الشرق.
- رسم مخطط لمتجهات الزخم.

المجهول

$$\begin{aligned} v_{f,x} &= ? \\ v_{f,y} &= ? \\ \theta &= ? \end{aligned}$$

المعلوم

$$\begin{aligned} m_C &= 1325 \text{ kg} \\ m_D &= 2165 \text{ kg} \\ v_{C,y} &= 27.0 \text{ m/s} \\ v_{D,x} &= 11.0 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

حدد الزخم الابتدائي للسيارتين، وزخم النظام.

$$\begin{aligned} p_{Ci} &= m_C v_{Ci,y} \\ &= (1325 \text{ kg})(27.0 \text{ m/s}) \\ &= 3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s (شمالاً)} \end{aligned}$$

$$v_{Ci,y} = 27.0 \text{ m/s}, m_C = 1325 \text{ kg} \text{ عوّض مستخدماً}$$

$$\begin{aligned} p_{Di} &= m_D v_{Di,x} \\ &= (2165 \text{ kg})(11.0 \text{ m/s}) \\ &= 2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s (شرقاً)} \end{aligned}$$

$$m_D = 2165 \text{ kg}, v_{Di,y} = 11.0 \text{ m/s} \text{ عوّض مستخدماً}$$

نستخدم قانون حفظ الزخم لإيجاد p_f

$$\begin{aligned} p_{f,x} &= p_{i,x} = 2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \\ p_{f,y} &= p_{i,y} = 3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

$$p_{i,x} = p_{Di} = 2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \text{ عوّض مستخدماً}$$

$$p_{i,y} = p_{Ci} = 3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \text{ عوّض مستخدماً}$$

نستخدم المخطط لصياغة المعادلات لـ $p_{f,y}$ و $p_{f,x}$

$$\begin{aligned} p_f &= \sqrt{(p_{f,x})^2 + (p_{f,y})^2} \\ &= \sqrt{(2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s})^2 + (3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s})^2} \\ &= 4.30 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \end{aligned}$$

$$p_{f,x} = 2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s}, p_{f,y} = 3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \text{ عوّض مستخدماً}$$

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

$$= \tan^{-1}\left(\frac{3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}\right)$$

$$= 56.4^\circ$$

$$v_f = \frac{p_f}{(m_c + m_d)}$$

$$= \frac{4.30 \times 10^4 \text{ kg.m/s}}{(1325 \text{ kg} + 2165 \text{ kg})}$$

$$= 12.3 \text{ m/s}$$

نحل لإيجاد θ :

$$p_{f,y} = 3.58 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \text{ عوّض مستخدماً}$$

$$p_{f,x} = 2.38 \times 10^4 \text{ kg.m/s}$$

نحدد مقدار السرعة النهائية:

$$p_f = 4.3 \times 10^4 \text{ kg.m/s} \text{ عوّض مستخدماً}$$

$$m_c = 1325 \text{ kg}, m_d = 2165 \text{ kg}$$

3 تقويم الجواب

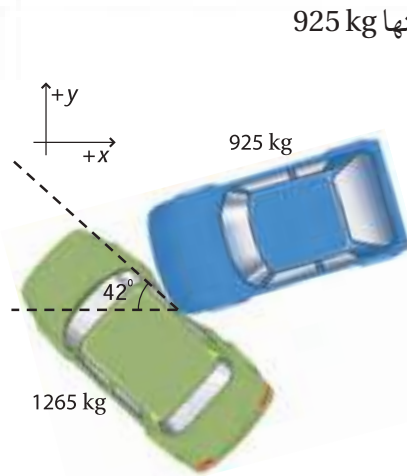
- هل الوحدات صحيحة؟ تقاس السرعة بـ m/s وكذلك كانت وحدات السرعة في الإجابة.
- هل للإشارات معنى؟ الإجابتان موجبتان والزوايا كذلك مناسبة.
- هل الجواب منطقي؟ بما أن السيارتين التحمتا معاً فإنه يجب أن تكون v_i أصغر من v_{ci} .

مسائل تدريبية

21. تحركت سيارة كتلتها 925 kg شمالاً بسرعة 20.1 m/s، فاصطدمت بسيارة كتلتها 1865 kg متحركة غرباً بسرعة 13.4 m/s، فالتحمتا معاً. ما مقدار سرعتها واتجاهها بعد التصادم؟
22. اصطدمت سيارة كتلتها 1732 kg متحركة شرقاً بسرعة 31.3 m/s، بسيارة أخرى كتلتها 1383 kg متحركة جنوباً بسرعة 11.2 m/s، فالتحمتا معاً. ما مقدار سرعتها واتجاهها مباشرة بعد التصادم؟
23. تعرضت كرة بلياردو ساكنة كتلتها 0.17 kg للاصطدام بكرة ماثلة 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؟
24. تحركت سيارة كتلتها 1923 kg شمالاً، فاصطدمت بسيارة أخرى كتلتها 1345 kg متحركة شرقاً بسرعة 15.7 m/s، فالتحمتا معاً وتحركتا بسرعة مقدارها 14.5 m/s وتميل على الشرق بزاوية مقدارها 63.5° . فهل كانت السيارة المتحركة شمالاً متجاوزة حد السرعة 20.1 m/s قبل التصادم؟



مسألة تحفيز



كان صديقك يقود سيارة كتلتها 1265 kg في اتجاه الشمال، فصدمته سيارة كتلتها 925 kg متجهة غرباً، فالتحمتا معاً، وانزلقتا 23.1 m في اتجاه يصنع زاوية 42° شمال الغرب. وكانت السرعة القصوى المسموح بها في تلك المنطقة 22 m/s. افترض أن الزخم كان محفوظاً خلال التصادم، وأن التسارع كان ثابتاً في أثناء الانزلاق، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الإطارات والأسفلت 0.65.

1. ادعى صديقك أنه لم يكن مسرعاً، لكن السائق الآخر كان مسرعاً. كم كانت سرعة سيارة صديقك قبل التصادم؟
2. كم كانت سرعة السيارة الأخرى قبل التصادم؟ وهل يمكنك أن تدعم ادعاء صديقك؟

2-2 مراجعة

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

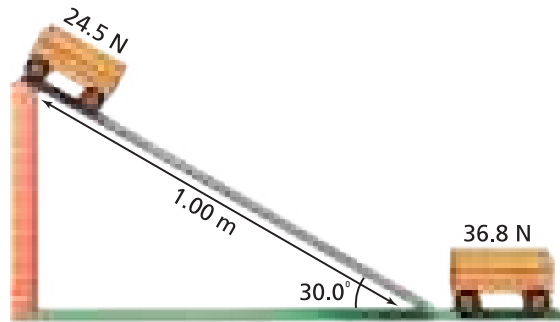
27. **الزخم** يركض لاعب القفز بالزانة في اتجاه نقطة الانطلاق بزخم أفقي. من أين يأتي الزخم الرأسّي عندما يقفز اللاعب فوق العارضة؟

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

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

25. **السرعة** تحركت عربة وزنها 24.5 N من السكون على مستوى 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.

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



الشكل 9-2

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

مختبر الفيزياء

الاصطدامات الملتحمة

تصطدم في هذا النشاط عربة متحركة بعربة ثابتة، فتلتحمان معاً في أثناء التصادم. وعليك أن تقيس كلاً من السرعة المتجهة وكتلة العريتين قبل التصادم وبعده، ثم تحسب الزخم قبل التصادم وبعده.

سؤال التجربة

كيف يتأثر زخم نظام ما بالاصطدام الملتحم؟

الأهداف

- تصف كيفية انتقال الزخم في أثناء التصادم.
- تحسب الزخم لكل من الأجسام المتصادمة.
- تفسر البيانات الناتجة عن التصادم.
- تستخلص نتائج تدعم قانون حفظ الزخم.



إجراءات السلامة

أفراد والأدوات

استخدام الإنترنت.

الخطوات

1. اعرض مقطع الفيديو 1 للفصل 2 الموجود في: physicspp.com/internet_lab لتحديد كتل العربات.



التحليل

1. احسب السرعات المتجهة الابتدائية والنهائية لكل نظام من العربات.
2. احسب الزخم الابتدائي والنهائي لكل نظام من العربات.
3. **عمل الرسوم البيانية واستخدامها** ارسم رسمًا بيانيًا يمثل العلاقة بين الزخم النهائي والزخم الابتدائي المقابل له لجميع مقاطع الفيديو.



جدول البيانات	
رقم العربة	الكتلة (kg)
1	
2	
3	
4	

الزمن (قبل الوصول لنقطة التصادم) (s)	المسافة المقطوعة للوصول (cm)	السرعة المتجهة الابتدائية (cm/s)	كتلة العربات المتحركة قبل التصادم (g)	الزخم الابتدائي (g. cm/s)	زمن المغادرة (بعد التصادم) (s)	المسافة المقطوعة خلال المغادرة (cm)	السرعة المتجهة النهائية (cm/s)	كتلة العربات المغادرة (g)	الزخم النهائي (g. cm/s)
0.1					0.1				
0.1					0.1				
0.1					0.1				
0.1					0.1				
0.1					0.1				

2. إذا صدمت سيارة متحركة مؤخرة سيارة ثابتة والتحمنا معاً، فما الذي يحدث للسرعتين المتجهتين للسيارتين الأولى والثانية؟

الاستنتاج والتطبيق

1. ما العلاقة بين الزخم الابتدائي والزخم النهائي لأنظمة العربات في التصادمات الملتحمة؟
2. ماذا يُمثل ميل الخط في رسمك البياني نظرياً؟
3. يمكن أن تكون البيانات الابتدائية والنهائية غير مطابقة للواقع، ويعود هذا إلى دقة الأدوات، ووجود الاحتكاك، وعوامل أخرى. هل يكون الزخم الابتدائي أكبر أم أقل من الزخم النهائي في الحالة النموذجية؟ فسر إجابتك.

التوصية بالبحث

1. صف كيف تبدو بيانات السرعة المتجهة والزخم إذا لم تلتحم العربات معاً، بل ارتدت بعضها عن بعض.
2. صمّم تجربة لتختبر تأثير الاحتكاك في أنظمة العربات في أثناء التصادم. توقع كيف يختلف ميل الخط في الرسم البياني السابق عما في التجربة، ثم نفذ تجربتك.

التفكير في الحياة

1. افترض أن لاعباً في مباراة كرة قدم اصطدم بلاعب آخر في وضع السكون فالتحما معاً. ما الذي يحدث للسرعة المتجهة للنظام المكون من اللاعبين إذا كان الزخم محفوظاً؟



Solar Sailing الإبحار الشمسي

متقدمة لتحريك كتل كبيرة عبر مسافات شاسعة في الفضاء خلال زمن معقول.

الرحلات المستقبلية يُعدّ Cosmos 1 - وهو مشروع عالمي تموله جهة خاصة - نموذج الشراع الشمسي الأول. أطلق Cosmos 1 من منصة إطلاق صواريخ مائية في 21 يونيو من العام 2005. وقد بدت المركبة الفضائية مثل وردة لها ثماني أوراق كبيرة (بتلات) من الأشرعة الشمسية. وعلى الرغم من تواضع وجهة مهمة Cosmos 1 إلا أنه لم يتح له المجال لاختبار التكنولوجيا الجديدة التي يحملها؛ وذلك بسبب عدم استكمال احتراق المرحلة الأولى من مراحل الصاروخ، كما هو محدد له، مما منع Cosmos 1 من دخول المدار كما هو مفترض.

تتخطى أهمية الأشرعة الشمسية كونها تقنية مثالية لقطع المسافات الشاسعة في الفضاء، كالارتحال بين الكواكب دون وقود، فهي تعدّ أيضًا بإمكانات جديدة لمحطات مراقبة الطقس الأرضية والفضائية؛ إذ تمكنها من تغطية أشمل للأرض، كما تتيح التحذير المبكر من العواصف الشمسية لتجنب أضرارها.



رسم تنبؤي لكيفية ظهور Cosmos 1، الشراع الشمسي الأول في الفضاء.

لاحظ يوهانس كبلر قبل 400 سنة تقريباً أنّ ذبول المذنبات تبدو وكأنها واقعة تحت تأثير ريح خفيفة مصدرها هبات قادمة من الشمس، فاعتقد أنّ السفن ستكون قادرة على التنقل في الفضاء عن طريق أشرعة مصممة لالتقاط هذه الهبات، ومن هنا وُلدت فكرة الأشرعة الشمسية.

كيف يعمل الشراع الشمسي؟ الشراع الشمسي مركبة فضائية دون محرك؛ حيث يعمل الشراع وكأنه مرآة عملاقة حرة الحركة من النسيج. وتصنع الأشرعة الشمسية عادة من غشاء من البولستر والألومنيوم سمكه 5 مايكرون، أو غشاء من البولي أميد مع طبقة من الألومنيوم سمكها 100 nm. يتم ترسيبها بالتساوي على أحد الوجهين لتشكّل سطحًا عاكسًا.

توفر أشعة الشمس المنعكسة قوة للصواريخ بدلاً من الوقود، حيث تتكون أشعة الشمس من جسيمات تسمى فوتونات، تنقل الفوتونات زخمها إلى الشراع عندما ترتد عنه بعد اصطدامها به. لكن اصطدام الفوتونات يولد قوة صغيرة مقارنة بالقوة التي يولدها وقود الصواريخ، وكلما زاد اتساع الشراع حصل على قوة أكبر من اصطدام عدد أكبر من الفوتونات، ولذلك تصل أبعاد الأشرعة الشمسية إلى ما يقرب من الكيلومتر.

الإبحار الشمسي وسرعة الشراع الشمسي تستمر الشمس في تزويد الشراع بالفوتونات بكميات ثابتة تقريباً طوال وقت الرحلة الفضائية، مما يسمح للمركبة الفضائية بالوصول إلى سرعات عالية بعد فترة من بدء الارتحال. وبالمقارنة بالصواريخ التي تحمل كميات كبيرة من الوقود لدفع كتل كبيرة، لا تحتاج الأشرعة الشمسية إلا إلى فوتونات من الشمس. ولذلك قد تكون الأشرعة الشمسية طريقة

التوسع

ابحث كيف تساعد الأشرعة الشمسية في التحذير المسبق من العواصف الشمسية؟

1. **تفكير ناقد** يتوقع لنموذج شراع شمسي معين أن يستغرق وقتاً أطول للوصول إلى المريخ من مركبة فضائية يدفعها صاروخ يعمل بالوقود، ولكنه سيستغرق وقتاً أقل للوصول إلى نيمون من المركبة الفضائية التي يدفعها صاروخ. فسّر ذلك.

2-1 الدفع والزخم Impulse and Momentum

المفردات

- الدفع
- الزخم
- نظرية الدفع - الزخم

المفاهيم الرئيسية

- عندما تحل مسألة زخم فابدأ باختبار النظام قبل الحدث وبعده.
- زخم جسم ما يساوي حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة وهو كمية متجهة.
- الدفع على جسم ما يساوي حاصل ضرب متوسط القوة المحصلة المؤثرة فيه في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها تلك القوة.

$$p = m v$$

$$F \Delta t = \text{الدفع}$$

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

2-2 حفظ الزخم Conservation of Momentum

المفردات

- النظام المغلق
- النظام المعزول
- قانون حفظ الزخم

المفاهيم الرئيسية

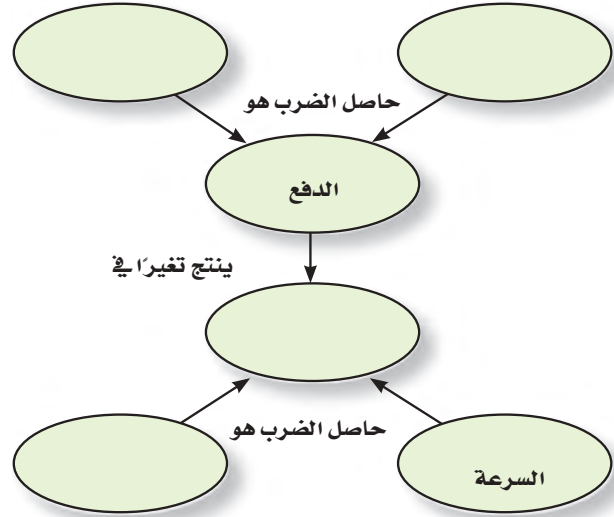
- استناداً إلى القانون الثالث لنيوتن في الحركة وقانون حفظ الزخم تكون القوتان المؤثرتان في جسيمين متصادمين معاً متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه.
- يكون الزخم محفوظاً في النظام المغلق والمعزول.
- يمكن استخدام قانون حفظ الزخم لتفسير دفع الصواريخ.
- يستخدم تحليل المتجهات لحل مسائل حفظ الزخم في بعدين.

$$p_f = p_i$$



خريطة المفاهيم

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



إتقان المفاهيم

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

32. رمى لاعب كرة فتلقفها لاعب آخر. مفترضاً أن مقدار سرعة الكرة لم يتغير في أثناء تحليقها في الجو، أجب عن الأسئلة الآتية: (2-1)

- أي اللاعبين أثر في الكرة بدفع أكبر؟
- أي اللاعبين أثر في الكرة بقوة أكبر؟

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؟ (2-1)

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

35. ما المقصود "بالنظام المعزول"؟ (2-2)

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)

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

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 محفوظاً، مع أن الارتداد عبارة عن تصادم؟

b. أي نظام يكون فيه زخم الكرة محفوظاً؟

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

تطبيق المفاهيم

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

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

42. إذا كنت جالساً في ملعب بيسبول واندفعت الكرة نحوك خطأً، فأيهما أكثر أماناً لإمسك الكرة بيديك: تحريك يديك نحو الكرة ثم تثبيتهما عند الإمساك بها،

تقويم الفصل 2

(تجاهل الاحتكاك)، وكانت إحدى الشاحنتين ساكنة، فالتحمت الشاحنتان معاً وتحركتا بسرعة مقدارها أكبر من نصف مقدار السرعة الأصلية للشاحنة المتحركة. ما الذي يمكن أن تستنتجه عن حمولة كل من الشاحنتين؟

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

50. **طلقات الرصاص** 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.

إتقان حل المسائل

2-1 الدفع والزخم

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؟

52. رُميت كرة بيسبول كتلتها 0.145 kg بسرعة 0.42 m/s . فضر بها لاعب المضرب أفقيًا في اتجاه الرامي بسرعة 58 m/s .

a. أوجد التغير في زخم الكرة.

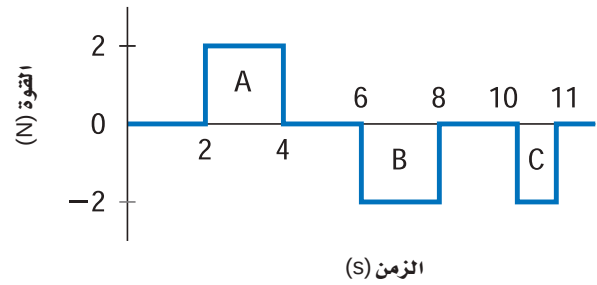
b. إذا لامست الكرة المضرب مدة $4.6 \times 10^{-4} \text{ s}$ ، فما متوسط القوة في أثناء التلامس؟

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؟

أم تحريك يديك في اتجاه حركة الكرة نفسه؟ فسّر ذلك.

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 أن الرصاصتين تعرضتا لمقدار القوة نفسه من الغازات المتمددة.

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



■ الشكل 2-10

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.

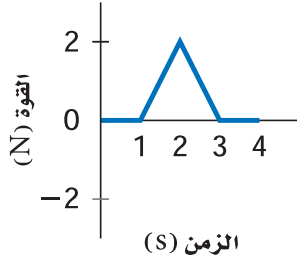
46. **كرة تنس** عندما ترتد كرة تنس عن حائط ينعكس زخمها. فسّر هذه العملية باستخدام قانون حفظ الزخم، محدّدًا النظام ومضمّنًا تفسيرك رسمًا تخطيطيًا.

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

48. اصطدمت شاحنتان تبدوان متماثلتين على طريق زلق

تقويم الفصل 2

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 ؟

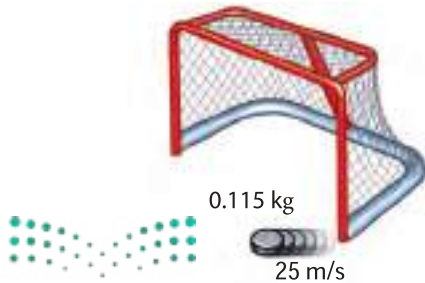


الشكل 11-2

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

- a. أوجد التغير في زخم الكرة.
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؟
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؟

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



الشكل 12-2

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؟

b. ما مقدار القوة المؤثرة في الشاحنة؟

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؟

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 ؟

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

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 ؟

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

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

a. $+8.0 \text{ m/s}$

b. -8.0 m/s

تقويم الفصل 2

- b.** ما متوسط القوة المؤثرة في الطفل؟
- c.** ما الكتلة التقريبية لجسم وزنه يساوي القوة المحسوبة في الفرع b؟
- d.** هل يمكنك رفع مثل هذا الوزن بذراعيك؟
- e.** لماذا يُنصح باستخدام كرسي أطفال في السيارة، بدلاً من احتضان الطفل؟

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؟

2-2 حفظ الزخم

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

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

b. كم كان زخم اللاعب الأول قبل التصادم؟

c. ما التغير في زخم اللاعب الأول؟

d. ما التغير في زخم لاعب الدفاع؟

e. كم كان زخم لاعب الدفاع قبل التصادم؟

f. كم كانت سرعة لاعب الدفاع قبل التصادم؟

69. تحركت كرة زجاجية C كتلتها 50 g بسرعة مقدارها

20.0 cm/s، فاصطدمت بكرة زجاجية أخرى D

a. فما الدفع على القرص؟

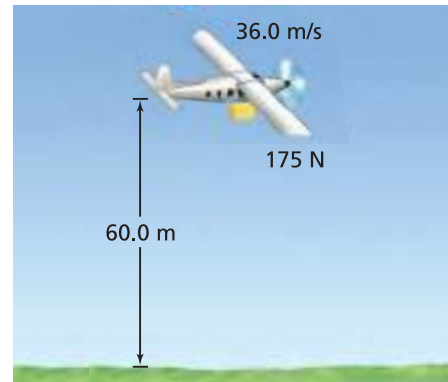
b. وما متوسط القوة المؤثرة في القرص، إذا استغرق التصادم 5.0×10^{-4} s؟

64. إذا تحرك جزيء نيتروجين كتلته 4.7×10^{-26} kg بسرعة 550 m/s، واصطدم بجدار الإناء الذي يحويه مرتدّاً إلى الوراء بمقدار السرعة نفسه.

a. فما الدفع الذي أثر به الجزيء في الجدار؟

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

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، علماً بأن وزنها 175 N.



الشكل 13-2

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

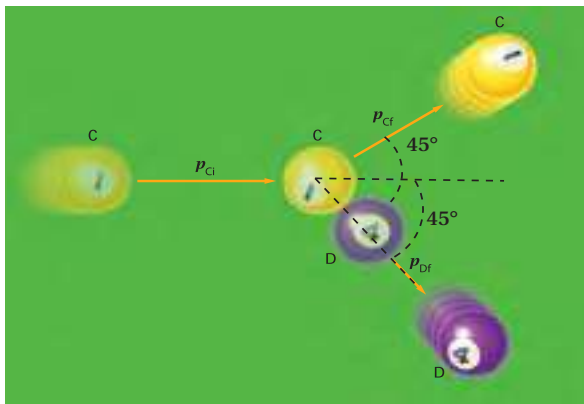
a. ما الدفع اللازم لإيقاف الطفل؟

تقويم الفصل 2

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

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؟

74. البلياردو تدرجت 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

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.

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، وعرف النظام، ثم حدّد الوضعين قبل التصادم وبعده، وأنشئ نظام إحداثيات.

b. احسب زخمي الكرتين قبل التصادم.

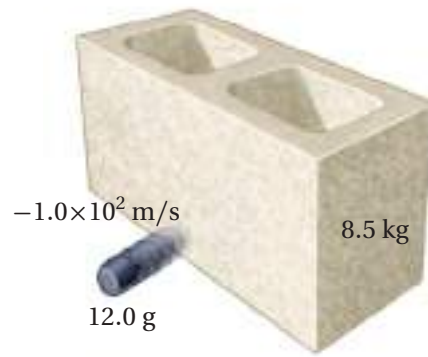
c. احسب زخم الكرة C بعد التصادم.

d. احسب زخم الكرة D بعد التصادم.

e. ما مقدار سرعة الكرة D بعد التصادم؟

70. أطلقت 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؟

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 $-1.0 \times 10^2 \text{ m/s}$ ، انظر الشكل 14-2. ما السرعة التي ستتحرك بها الطوبة؟



الشكل 14-2

تقويم الفصل 2

- b.** ما متوسط القوة المؤثر في السيارة؟
- c.** ما الذي ولد هذه القوة؟
- 81. هوكي الجليد** تحرك قرص هوكي كتلته 0.115 kg بسرعة 35.0 m/s ، فاصطدم بستره كتلتها 0.365 kg رميت على الجليد من قبل أحد المشجعين، فانزلق القرص والسترة معاً. أوجد سرعتهم المتجهة.
- 82.** تركب فتاة كتلتها 50.0 kg عربة ترفيه كتلتها 10.0 kg ، وتتحرك شرقاً 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.** ارسم الوضعين قبل القفز وبعده، وعيّن نظام إحداثياتهما.
- b.** أوجد السرعة المتجهة للعربة بعد أن قفزت منها الفتاة.
- 83.** قفز شاب كتلته 60.0 kg إلى ارتفاع 0.32 m .
- a.** ما زخمه عند وصوله إلى الأرض؟
- b.** ما الدفع اللازم لإيقاف الشاب؟
- c.** عندما يهبط الشاب على الأرض تنشي ركبتاه مؤديتين إلى إطالة زمن التوقف إلى 0.050 s . أوجد متوسط القوة المؤثرة في جسم الشاب.
- d.** قارن بين قوة إيقاف الشاب ووزنه.

التفكير الناقد

- 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

- 76. التزلج** يقف متزلجان أحدهما مقابل الآخر، ثم يتدافعان بالأيدي. إذا كانت كتلة الأول 90 kg وكتلة الثاني 60 kg
- a.** ارسم الوضع محدداً حالتهم قبل التدافع، وبعده، وأنشيء نظام إحداثيات.
- b.** أوجد النسبة بين سرعتي المتزلجين في اللحظة التي أفلتا فيها أيديهما.
- c.** أي المتزلجين سرعته أكبر؟
- d.** أي المتزلجين دفع بقوة أكبر؟
- 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؟

مراجعة عامة

- 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؟
- 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؟
- b.** ما مقدار القوة التي أثرت في السيارة؟
- 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؟

تقويم الفصل 2

مراجعة تراكمية

87. لُفَّ حبلٌ حول طبل قطره 0.600 m . وسُحِبَ 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)

2.0 m/s ، والآخر بسرعة 4.0 m/s ، فالتحموا جميعاً، وأصبحوا كأنهم كتلة واحدة.

a. ارسم الحدث موضعاً الوضع قبل الاصطدام وبعده.

b. ما السرعة المتجهة للاعب الكرة بعد التصادم؟

الكتابة في الفيزياء

85. كيف يمكن أن تصمم حواجز الطريق السريع لتكون أكثر فاعلية في حماية أرواح الأشخاص؟ ابحث في هذه القضية، وصف كيف يمكن استخدام الدفع والتغير في الزخم في تحليل تصاميم الحواجز.

86. على الرغم من أن الوسائد الهوائية تحمي العديد من الأرواح، إلا أنها قد تسبب إصابات تؤدي إلى الموت. اكتب آراء صانعي السيارات في ذلك، وحدد ما إذا كانت المشاكل تتضمن الدفع والزخم أو أشياء أخرى.



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

4. أثرت قوة مقدارها 16 N في حجر بدفع مقداره $0.8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ مسببةً تحليق الحجر عن الأرض بسرعة مقدارها 4.0 m/s . ما كتلة الحجر؟

(A) 0.2 kg (B) 0.8 kg
(C) 1.6 kg (D) 4.0 kg

الأسئلة الممتدة

5. تسقط صخرة كتلتها 12.0 kg على الأرض. ما الدفع على الصخرة إذا كانت سرعتها المتجهة لحظة الاصطدام بالأرض 20.0 m/s ؟

1. ينزلق متزلج كتلته 40.0 kg على الجليد بسرعة مقدارها 2 m/s ، في اتجاه زلاجة ثابتة كتلتها 10.0 kg على الجليد. وعندما وصل المتزلج إليها اصطدم بها، ثم واصل المتزلج انزلاقه مع الزلاجة في الاتجاه الأصلي نفسه لحركته. ما مقدار سرعة المتزلج والزلاجة بعد تصادمهما؟

(A) 0.4 m/s (B) 0.8 m/s
(C) 1.6 m/s (D) 3.2 m/s

2. يقف متزلج كتلته 45.0 kg على الجليد في حالة سكون عندما رمى إليه صديقه كرة كتلتها 5.0 kg ، فانزلق المتزلج والكرة إلى الوراء بسرعة مقدارها 0.50 m/s ، فما مقدار سرعة الكرة قبل أن يمسكها المتزلج مباشرة؟

(A) 2.5 m/s (B) 3.0 m/s
(C) 4.0 m/s (D) 5.0 m/s

3. ما فرق الزخم بين شخص كتلته 50.0 kg يركض بسرعة مقدارها 3.00 m/s ، وشاحنة كتلتها $3.00 \times 10^3 \text{ kg}$ تتحرك بسرعة مقدارها 1.00 m/s ؟

(A) $1275 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ (B) $2550 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
(C) $2850 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ (D) $2950 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

إرشاد

لقد صيغت البدائل بحيث تبدو جميعها صحيحة؛ لذا كن حذرًا من بدائل إجابة أسئلة الاختيار من متعدد التي تبدو جميعها صحيحة، وتذكر أن بديلاً واحداً فقط هو الصواب. تفحص جميع البدائل بدقة قبل أن تحدد البديل الصحيح.



الشغل والطاقة والآلات البسيطة

Work, Energy, and Simple Machines

الفصل 3

ما الذي سنتعلمه 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 آلات بسيطة تجعل العديد من المهام اليومية سهلة التنفيذ. الدراجات الهوائية الجبلية تتيح لك الدراجات الهوائية الجبلية المتعددة السرعات، والمزودة بمصاصات الصدمات تكييف قدرات جسدك؛ فتؤثر بقوة، وتبذل شغلاً، وتوفر القدرة اللازمة لصعود سفوح التلال الشديدة الانحدار ونزولها، واجتياز التضاريس المنبسطة بسرعة وأمان.

فكر

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



ما العوامل المؤثرة في الطاقة؟

سؤال التجربة ما العوامل التي تؤثر في طاقة الأجسام الساقطة رأسياً ومقدرتها على إنجاز شغل؟

الخطوات

1. ضع 2 cm من الرمل الناعم في طبق مرتفع الحافة.
2. أحضر مجموعة من الكرات المعدنية أو من الزجاج بحجوم وكتل مختلفة.
3. أمسك مسطرة مترية بإحدى يديك بحيث تنغرس نهايتها السفلى في الرمل، ويكون صفر التدرج للمسطرة على سطح الرمل تماماً وأسقط إحدى الكرات باليد الأخرى على الرمل. وسجل الارتفاع الذي أسقطت منه الكرة.
4. أزل الكرة من الرمل بعناية على ألا تؤثر في الفوهة التي أحدثتها، وسجل عمق الفوهة والمسافات التي وصل إليها الرمل بعد تناثره منها.
5. سجل كتلة الكرة.
6. أعد تسوية سطح الرمل في الطبق، وكرر الخطوات 3-5 باستخدام كرات مختلفة الكتل، على أن

التحليل

قارن بين البيانات التي سجلتها. هل تأخذ هذه البيانات نمطاً محدداً؟ وضح ذلك.

التفكير الناقد عندما تسقط الكرات على الرمل فإنها تنجز شغلاً. ولأنه يمكن تعريف طاقة جسم ما بأنها قدرة الجسم على إنجاز شغل على نفسه أو على الوسط المحيط فيه، لذا فإن الشغل الذي أنجزته الكرات في الرمل هو طاقتها. اربط بين بياناتك وطاقة الكرات، ووضح كيف يمكن أن تزداد طاقة الكرة.



3-1 الطاقة والشغل Work and Energy

لقد درست في الفصل السابق حفظ الزخم، وتعلمت كيفية تحديد حالة نظام قبل أن يؤثر فيه دفع وبعده دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل هذا الدفع. وقد تبين لك أن لقانون حفظ الزخم فائدة خاصة عند دراسة التصادمات التي تتغير خلالها القوى أحياناً بشكل كبير جداً.

تذكر المناقشة التي وردت في الفصل السابق والمتعلقة بالمتزلجين اللذين يدفع كل منهما الآخر، فعلى الرغم من أن الزخم محفوظ في هذه الحالة، فإن المتزلجين يستمران في الحركة بعد أن يدفع كل منهما الآخر، مع أنها كانا ساكنين قبل التصادم.

من جهة أخرى، يكون الزخم محفوظاً عندما تصطدم سيارتان، لكنهما تتوقفان عن الحركة على الرغم من أنها كانتا متحركتين قبل التصادم، على عكس مثال المتزلجين. وبالإضافة إلى التغير الحادث في الحالة الحركية لكلا الجسمين المتصادمين فإنه غالباً ما يؤدي التصادم إلى التواء كبير في المعادن وتهشم الزجاج، ومن المنطقي هنا أن نعتقد أنه لا بد من حدوث تغير في كمية فيزيائية ما نتيجة تأثير القوة في كل نظام، فما الكمية التي تتغير؟ وكيف؟

الأهداف

- تصف العلاقة بين الشغل والطاقة.
- تحسب الشغل.
- تحسب القدرة المستهلكة.

المفردات

الشغل	الجلول
الطاقة	القدرة
الطاقة الحركية	الطاقة
نظرية الشغل - الطاقة	

رابط الدرس الرقمي



www.ien.edu.sa

الشغل والطاقة Work and Energy

تذكّر أن التغير في الزخم يكون نتيجة تأثير الدفع الذي يساوي حاصل ضرب متوسط القوة المؤثرة في جسم ما في زمن تأثير القوة. افترض أن جسمًا يتحرك مسافة معينة وهو واقع تحت تأثير قوة ما فيه، لا بد أن الجسم سيتسارع بحسب العلاقة $a = \frac{F}{m}$ ، وستزداد سرعته المتجهة؛ وذلك لأنه واقع تحت تأثير قوة محصلة. انظر إلى البيانات التي في الجدول 3-3 في كتاب فيزياء 1 (المستوى الأول) الفصل الثالث، الذي يتضمن مجموعة معادلات تصف العلاقات بين الموقع، والسرعة المتجهة والزمن للأجسام المتحركة بتسارع ثابت. واختر المعادلة التي تتضمن التسارع، السرعة المتجهة والمسافة:

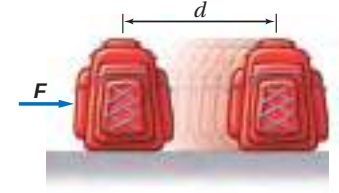
$$2ad = v_f^2 - v_i^2$$

إذا استخدمت قانون نيوتن الثاني لتعويض F/m بدلاً من a ، وضربت طرفي المعادلة في الحد $\frac{m}{2}$ ، فستحصل على المعادلة الآتية:

$$Fd = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

الشغل يصف الطرف الأيسر من المعادلة التغير الذي طرأ على النظام نتيجة تأثير الوسط الخارجي (المحيط). فقد أثرت القوة F في جسم ما، بينما كان هذا الجسم يتحرك مسافة d كما في الشكل 3-1. فإذا كانت F قوة ثابتة تؤثر في الاتجاه نفسه لحركة الجسم فإن **الشغل** W يكون حاصل ضرب القوة في إزاحة الجسم.

■ **الشكل 3-1** يُبذل شغل عندما تؤثر قوة ثابتة F في حقيبة كتب في اتجاه الحركة، وتتحرك الحقيبة مسافة d .



$$W = Fd$$

الشغل

الشغل يساوي حاصل ضرب القوة الثابتة المؤثرة في جسم في اتجاه حركته في إزاحة الجسم تحت تأثير هذه القوة.

ربما استخدمت كلمة شغل لتعطي معاني أخرى غير هذا المعنى، فمثلاً تقول: إن جهاز الحاسوب يشتغل جيداً، أو إن فهم الفيزياء يتطلب "شغلاً" كثيراً، أو إنك ستشتغل بدوام جزئي بعد انتهاء العمل في المدرسة. ولكن الشغل عند الفيزيائيين له معنى آخر أكثر تحديداً. تذكّر أن $Fd = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$ ، وبإعادة كتابة هذه المعادلة مستخدمين $W = Fd$ ينتج:

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

فالطرف الأيمن للمعادلة يتضمن كتلة الجسم وسرعته بعد تأثير القوة وقبله، والكمية $\frac{1}{2}mv^2$ تصف خاصية مميزة للنظام.

الطاقة الحركية ما الخاصية المميزة للنظام التي تصفها الكمية $\frac{1}{2}mv^2$ ؟ إن المركبة الثقيلة التي تتحرك بسرعة كبيرة تستطيع تدمير الأجسام من حولها، كما أن كرة البيسبول ترفع إلى مسافات عالية عند قذفها بسرعة كبيرة في الهواء، أي أن امتلاك جسم ما لهذه الخاصية يمكنه من إحداث تغير في ذاته أو فيما يحيط به. وهذه الخاصية المتمثلة في قدرة الجسم على

إحداث تغيير في ذاته أو فيما يحيط به تسمى **الطاقة**. فلكل من المركبة وكرة البيسبول طاقة مرتبطة مع حركة كل منهما. والطاقة الناتجة عن الحركة تسمى **الطاقة الحركية**، ويعبر عنها بالرمز KE.

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

الطاقة الحركية

الطاقة الحركية لجسم ما تساوي حاصل ضرب نصف كتلة الجسم في مربع سرعته.

عوّض KE في المعادلة $W = \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2$ فينتج $W = KE_f - KE_i$ ، حيث يُمثل الطرف الأيمن من المعادلة الأخيرة الفرق أو التغير في الطاقة الحركية. وهذا يسمى **نظرية الشغل - الطاقة**، والتي تنص على أنه إذا بُذل شغل على جسم ما فإن طاقة حركته تتغير. ويمكن تمثيل هذه النظرية بالمعادلة الآتية:

$$W = \Delta KE$$

نظرية الشغل - الطاقة

الشغل يساوي التغير في الطاقة الحركية.

إن العلاقة بين الشغل المبذول والتغير في الطاقة الناتجة تم تحديدها في القرن التاسع عشر على يد العالم جيمس بريسكوت جول، وتكريماً لجهوده أطلق اسمه "**جول**" على وحدة الطاقة (J) **joule**. فمثلاً، إذا تحرك جسم كتلته 2 kg بسرعة 1 m/s فإن طاقته الحركية $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ أو 1 J.

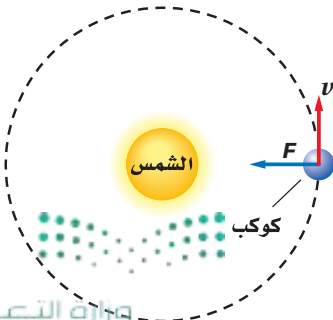
تذكر أن النظام هو الجسم موضع الدراسة، والمحيط الخارجي هو كل شيء ما عدا الجسم. فمثلاً قد يكون أحد الأنظمة صندوقاً في مستودع، ويمكن أن يتكون المحيط الخارجي منك أنت وكتلة الأرض وكل ما هو خارج الصندوق. ويمكن أن تنتقل الطاقة بين المحيط الخارجي والنظام خلال عملية إنجاز الشغل.

ويمكن أن تنتقل الطاقة في كلا الاتجاهين. فإذا بُذل المحيط الخارجي شغلاً على النظام فإن الشغل W يكون موجباً، وتزداد طاقة النظام. أما إذا بُذل النظام شغلاً على المحيط الخارجي فإن الشغل W يكون سالباً، وتتناقص طاقة النظام. أي أن الشغل هو انتقال الطاقة بطرائق ميكانيكية. وليس لإشارة الشغل دلالة اتجاهية؛ فالشغل كمية قياسية، ونستدل من الإشارة على كسب أو فقد النظام للطاقة.

حساب الشغل Calculating Work

إن المعادلة الأولى التي استخدمت لحساب الشغل هي $W = Fd$ ، وتستخدم هذه المعادلة عندما تؤثر قوى ثابتة في اتجاه حركة الجسم فقط. والآن، ماذا يحدث عندما تؤثر القوة في اتجاه متعامد مع اتجاه الحركة؟ للإجابة عن هذا السؤال سندرس حركة كوكب ما حول الشمس، انظر الشكل 2-3. فإذا كان المدار دائرياً فإن القوة تكون دائماً متعامدة مع اتجاه الحركة. وقد درست سابقاً أن القوة العمودية على اتجاه حركة جسم ما لا تغير مقدار سرعته، وإنما تغير اتجاه حركته؛ لذا فإن مقدار سرعة الكوكب لا يتغير، أي أن طاقته الحركية ثابتة أيضاً.

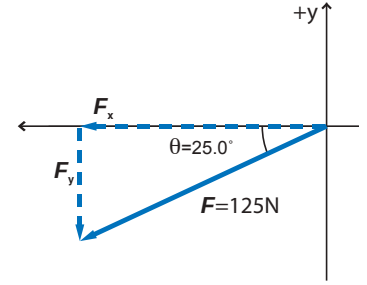
■ **الشكل 2-3** إذا كان كوكب يدور في مدار دائري، فإن القوة التي يتأثر بها تكون متعامدة مع اتجاه حركته؛ ولذا فإن قوة الجذب لا تبذل شغلاً على الكوكب.



a



b



■ الشكل 3-3 إذا أثرت قوة في مركبة بزاوية، فإن القوة المحصلة التي تبذل الشغل هي مركبة القوة التي تؤثر في اتجاه إزاحة الجسم.

وباستخدام المعادلة $W = \Delta KE$ ستلاحظ أنه عندما تكون الطاقة الحركية ثابتة فإن $\Delta KE = 0$ ، لذا فإن $W = 0$. وهذا يعني أنه إذا كانت القوة F والإزاحة d متعامدتين فإن $W = 0$.

ولأن الشغل المبذول على جسم ما يساوي التغير في الطاقة، فإن الشغل يُقاس بوحدة الجول أيضًا. يبذل جول واحد من الشغل عندما تؤثر قوة مقدارها 1N في جسم، وتحركه مسافة 1m في اتجاهها. فعندما ترفع تفاحة تزن 1N مسافة 1m فإنك تبذل شغلاً عليها مقداره 1 J.

قوة ثابتة تميل بزاوية على الإزاحة تعلمت سابقاً أن القوة التي تؤثر في اتجاه الحركة تبذل شغلاً يُعبر عنه بالمعادلة $W = Fd$ ، وأن القوة التي تؤثر في اتجاه متعامد مع اتجاه الحركة لا تبذل شغلاً. فما الشغل الذي تبذله القوة التي تؤثر بزاوية مع اتجاه الحركة؟ فمثلاً، ما الشغل الذي يبذله الشخص الذي يدفع المركبة في الشكل 3-3a؟ تعلم أنه يمكن التعامل مع مركبتي القوة بدلاً من القوة، فإذا استخدمت نظام الإحداثيات في الشكل 3-3b، فإن القوة F التي تؤثر في اتجاه ذراع الشخص لها مركبتان: مركبة أفقية F_x ، ومركبة رأسية F_y . وباستخدام المعلومات في الرسم، مقدار F يساوي 125 N، والزاوية التي تميل بها على الأفقي 25.0° ، يمكن حساب المركبتين: مقدار المركبة الأفقية F_x يرتبط بمقدار القوة F من خلال اقتران جيب التمام: حيث $\cos 25.0^\circ = F_x / F$. وبحل المعادلة للمركبة F_x نحصل على $F_x = F \cos 25.0^\circ = (125 \text{ N}) (\cos 25.0^\circ) = 113 \text{ N}$ ، والإشارة السالبة تعني أن المركبة الأفقية للقوة في اتجاه اليسار. وباستخدام الطريقة نفسها لحساب المركبة الرأسية نحصل على:

$$F_y = -F \sin 25.0^\circ = -(125 \text{ N}) (\sin 25.0^\circ) = -52.8 \text{ N}$$

الإشارة السالبة تعني أن القوة إلى أسفل. وحيث إن الإزاحة في اتجاه المحور x ؛ لذا فإن المركبة الأفقية للقوة هي التي تبذل شغلاً فقط، أما المركبة الرأسية فلا تبذل شغلاً.

إن الشغل الذي تبذله عندما تؤثر بقوة في جسم في اتجاه يصنع زاوية مع اتجاه حركته يساوي حاصل ضرب مركبة القوة في اتجاه إزاحة الجسم في الإزاحة التي تحركها. ويمكن إيجاد مقدار مركبة القوة المؤثرة في اتجاه الإزاحة؛ وذلك بضرب مقدار القوة F في جيب تمام الزاوية المحصورة بين اتجاه القوة F واتجاه الإزاحة، $F_x = F \cos \theta$. ويمكن تمثيل الشغل المبذول بالمعادلة الآتية:

$$W = Fd \cos \theta \quad (\text{في حالة وجود زاوية بين القوة والإزاحة})$$

الشغل يساوي حاصل ضرب القوة والإزاحة في جيب تمام الزاوية المحصورة بين القوة واتجاه الإزاحة.



تتأثر السيارة في أثناء دفعها بقوى أخرى، فأَيّ هذه القوى تبذل شغلاً؟

تؤثر قوة الجاذبية إلى أسفل، ويؤثر سطح الأرض بقوة رأسية إلى أعلى، ويؤثر الاحتكاك بقوة أفقية في عكس اتجاه الحركة. أما القوتان المؤثرتان إلى أعلى وإلى أسفل فتكونان متعامدتين مع اتجاه الحركة، ولا تبذلان شغلاً، وتكون الزاوية التي تصنعها هاتان القوتان مع الإزاحة 90° ، مما يجعل $\cos \theta = 0$ ؛ لذا فإن $W = 0$.

إن الشغل المبذول من قوة الاحتكاك يؤثر في اتجاه معاكس لاتجاه الحركة، أي بزاوية 180° . ولأن $\cos 180^\circ = -1$ فإن الشغل المبذول من قوة الاحتكاك يكون دائماً سالباً. والشغل السالب المبذول من قوة مؤثرة من المحيط الخارجي يقلل من الطاقة الحركية للنظام. فإذا توقف الشخص في الشكل 3a-3 عن الدفع فإن السيارة ستوقف عن الحركة، أي ستقل طاقتها الحركية.

يزيد الشغل الموجب المبذول بواسطة قوة من طاقة النظام، في حين يؤدي الشغل السالب إلى نقصانها. استخدم "استراتيجيات حل المسألة" الآتية عندما تحلّ المسائل المتعلقة بالشغل.

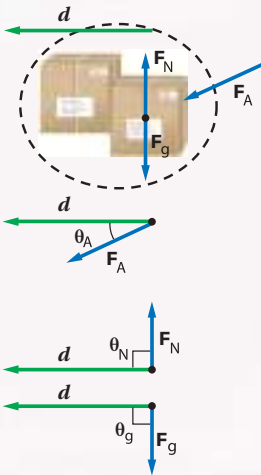
استراتيجية حل المسائل

الشغل

إذا أردت حل مسائل تتعلق بالشغل فاستخدم استراتيجية الحل الآتية:

1. ارسم مخططاً توضيحياً للنظام، ثم وضح القوة التي تبذل شغلاً.
2. ارسم متجهات القوة والإزاحة للنظام.
3. أوجد الزاوية θ بين كل قوة والإزاحة.
4. احسب الشغل المبذول من كل قوة باستخدام المعادلة $W = Fd \cos \theta$.
5. احسب الشغل الكلي المبذول. وتأكد من إشارة الشغل معتمداً على اتجاه انتقال الطاقة، فإذا ازدادت طاقة النظام فإن الشغل المبذول من تلك القوة يكون موجباً، أما إذا تناقصت طاقة النظام فإن الشغل المبذول من تلك القوة يكون سالباً.

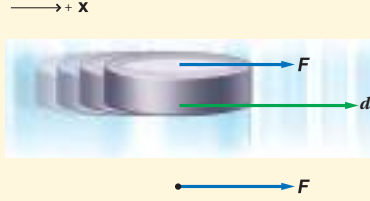
مخطط توضيحي للشغل



مثال 1

الشغل والطاقة ينزلق قرص هوكي كتلته 105 g على سطح جليدي، فإذا أثر لاعب بقوة ثابتة مقدارها 4.50 N في القرص فحرّكه لمسافة 0.150 m في اتجاه القوة نفسه، فما مقدار الشغل الذي بذله اللاعب على القرص؟ وما مقدار التغير في طاقة القرص؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخططاً توضيحياً للحالة يوضح الظروف الابتدائية.
- كوّن نظاماً إحداثياً على أن تكون $x+$ في اتجاه اليمين.
- ارسم مخطط المتجهات.

المجهول

المعلوم

$$W = ?$$

$$m = 105 \text{ g}$$

$$\Delta KE = ?$$

$$F = 4.50 \text{ N}$$

$$d = 0.150 \text{ m}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية 278 ، 279

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة الشغل عندما تؤثر قوة ثابتة في اتجاه إزاحة الجسم نفسه.

$$W = Fd$$

$$= (4.50 \text{ N})(0.150 \text{ m})$$

$$= 0.675 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$= 0.675 \text{ J}$$

$$d = 0.150 \text{ m}, F = 4.50 \text{ N}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

استخدم نظرية الشغل - الطاقة لحساب التغير في طاقة النظام.

$$W = \Delta KE$$

$$\Delta KE = 0.675 \text{ J}$$

$$W = 0.675 \text{ J}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ يُقاس الشغل بوحدة الجول.
- هل للإشارة معنى؟ إن اللاعب (المحيط الخارجي) يبذل شغلاً على القرص (النظام)؛ لذا فإن إشارة الشغل يجب أن تكون موجبة.



1. اعتمد على المثال 1 لحل المسألة الآتية:

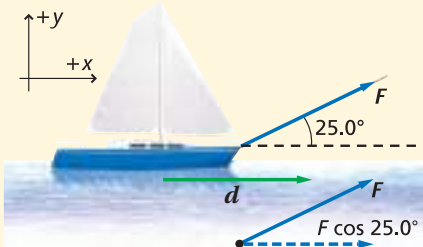
- a. إذا أثر لاعب الهوكي في القرص، بضعف القوة أي 9.00 N، فكيف تتغير طاقة حركة القرص؟
b. إذا أثر اللاعب بقوة مقدارها 9.00 N في القرص، ولكن بقيت العصا ملامسة للقرص لنصف المسافة فقط، أي 0.075 m، فما مقدار التغير في الطاقة الحركية؟

2. يؤثر طالبان معاً بقوة مقدارها 825 N لدفع سيارة مسافة 35 m.

- a. ما مقدار الشغل الذي يبذله الطالبان على السيارة؟
b. إذا تضاعفت القوة المؤثرة، فما مقدار الشغل المبذول لدفع السيارة إلى المسافة نفسها؟
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؟
b. إذا كان وزن المتسلق 645 N، فما مقدار الشغل الذي بذله لرفع نفسه هو وحقيبة الظهر؟
c. ما مقدار التغير في طاقة المتسلق والحقيبة؟

مثال 2

القوة والإزاحة بينهما زاوية يسحب بَحَّار قاربًا مسافة 30.0 m في اتجاه رصيف الميناء مستخدمًا حبلًا يصنع زاوية 25.0° فوق المحور الأفقي. ما مقدار الشغل الذي يبذله البَحَّار على القارب إذا أثر بقوة مقدارها 255 N في الحبل؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- أنشئ محاور الإسناد.
- ارسم مخططاً توضيحياً للحالة يوضح الشروط الابتدائية للقارب.
- ارسم مخطط المتجهات موضحة القوة ومركبتها في اتجاه الإزاحة.

المجهول

المعلوم

$$W = ? \quad F = 255 \text{ N}, d = 30.0 \text{ m}, \theta = 25.0^\circ$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة الشغل عندما توجد زاوية بين القوة والإزاحة.

$$W = Fd \cos \theta$$

$$= (255 \text{ N}) (30.0 \text{ m}) (\cos 25.0^\circ)$$

$$= 6.93 \times 10^3 \text{ J}$$

$$\text{عوض مستخدماً } F = 255 \text{ N m}, d = 30.0 \text{ m}, \theta = 25.0^\circ$$

دليل الرياضيات

النسب المثلثية 302 ، 303

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ يُقاس الشغل بوحدتي الجول.
- هل للإشارة معنى؟ يبذل البحار شغلاً على القارب، يتوافق مع الإشارة الموجبة للشغل.

4. إذا كان البحار في المثال 2 يسحب القارب بالقوة نفسها إلى المسافة نفسها ولكن بزاوية 50.0° ، فما مقدار الشغل الذي يبذله؟

5. يرفع شخصان صندوقاً ثقیلاً مسافة 15 m بحبلين يصنع كل منهما زاوية 15° مع الرأسى، ويؤثر كل من الشخصين بقوة مقدارها 225 N. ما مقدار الشغل الذي يبذلانه؟

6. يحمل مسافر حقيبة سفر وزنها 215 N إلى أعلى سُلّم، بحيث يعمل إزاحة مقدارها 4.20 m في الاتجاه الرأسى و 4.60 m في الاتجاه الأفقى.

a. ما مقدار الشغل الذي بذله المسافر؟

b. إذا حمل المسافر نفسه حقيبة السفر نفسها إلى أسفل السلم نفسه، فما مقدار الشغل الذي يبذله؟

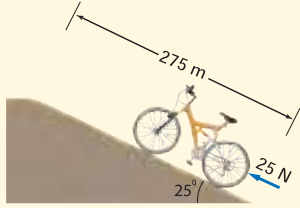
7. يُستخدم حبل في سحب صندوق مسافة 15.0 m على سطح الأرض، فإذا كان الحبل مربوطاً بحيث يصنع زاوية مقدارها 46.0° فوق سطح الأرض وتؤثر قوة مقدارها 628 N في الحبل، فما مقدار الشغل الذي تبذله هذه القوة؟

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 3-4، فما مقدار الشغل الذي:

a. يبذله السائق على دراجته الهوائية؟

b. تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الدراجة الهوائية؟



الشكل 3-4

إيجاد الشغل المبذول عندما تتغير القوى المؤثرة إن الرسم البياني للقوة - الإزاحة يمكنك

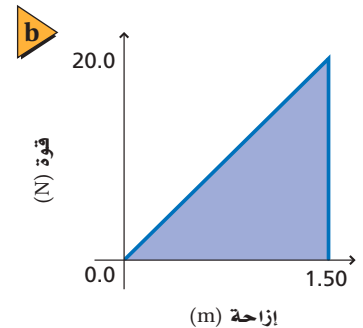
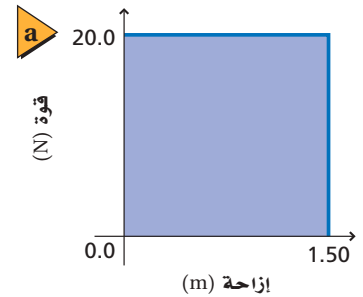
من حساب الشغل التي تبذله القوة، وتستخدم هذه الطريقة البيانية في حل مسائل تكون فيها القوة المؤثرة متغيرة. ويوضح الشكل 3-5a الشغل المبذول من خلال قوة ثابتة مقدارها 20.0 N، والتي تؤثر في جسم ما لرفعه إلى أعلى مسافة 1.50 m. الشغل الذي تبذله هذه القوة الثابتة يمكن تمثيله بالمعادلة: $W = Fd = (20.0 \text{ N})(1.50 \text{ m}) = 30.0 \text{ J}$

أما المساحة المظللة تحت المنحنى البياني فتساوي $(20.0 \text{ N})(1.50 \text{ m})$ ، أو 30.0 J، أي أن المساحة تحت المنحنى البياني (القوة - الإزاحة) تساوي الشغل الذي تبذله تلك القوة حتى لو تغيرت تلك القوة.

يوضح الشكل 3-5b القوة التي تؤثر في نابض، والتي تتغير خطياً من 0.0 إلى 20.0 N عند تعرضه للانضغاط مسافة 1.50 m. إن الشغل الذي بذلته القوة التي عملت على انضغاط النابض يساوي المساحة تحت المنحنى البياني، والتي تمثل مساحة مثلث، حيث تساوي $(\frac{1}{2})(\text{القاعدة})(\text{الارتفاع})$ ، أو: $W = \frac{1}{2}(20.0 \text{ N})(1.50 \text{ m}) = 15.0 \text{ J}$

الشغل الذي تبذله عدة قوى يربط قانون نيوتن الثاني في الحركة القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما مع تسارعه. وبالطريقة نفسها، تربط نظرية الشغل - الطاقة بين الشغل الكلي المبذول على نظام ما والتغير في طاقته الحركية. فإذا أثرت عدة قوى في نظام، فاحسب الشغل الذي تبذله كل قوة، ثم اجمع النتائج.

■ الشكل 3-5 يمكن حساب الشغل المبذول بيانياً بإيجاد المساحة تحت المنحنى البياني للقوة - الإزاحة.



القدرة Power

لم تتطرق المناقشات السابقة المتعلقة بالشغل إلى الزمن اللازم لتحريك جسم ما. إن الشغل الذي يبذله شخص ما لرفع صندوق من الكتب إلى رف مثلاً لا يتغير، سواء رُفع الصندوق كاملاً إلى الرف خلال 2 s، أم رفع كل كتاب من الصندوق على حدة، بحيث استغرق رفع كافة كتب الصندوق إلى الرف 20 min، وعلى الرغم من تساوي الشغل في الحالتين إلا أن معدل بذل الشغل يكون مختلفاً في كل حالة، ويطلق مصطلح القدرة على المعدل الزمني لبذل الشغل، أي أن **القدرة** هي الشغل المبذول مقسوماً على الزمن اللازم لبذل الشغل. أو أن القدرة هي المعدل الذي تُغيّر فيه القوة الخارجية طاقة النظام، ويمكن حساب القدرة وفقاً للمعادلة الآتية:

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{القدرة}$$

القدرة تساوي الشغل المبذول مقسوماً على الزمن اللازم لإنجاز الشغل.

انظر الشكل 6-3 الذي يوضح ثلاثة طلاب وهم يصعدون سُلمًا. إذا افترضنا أن كتل الطلاب الثلاثة متساوية، فهذا يعني أن كلاً منهم ينجز الشغل نفسه، لكن الطالب الذي يسير منفرداً يصعد السلم أسرع مقارنة بالطلاب الذين يسيران معاً، أي أن قدرته على الصعود أكبر من قدرة أي منهما؛ فالطالب المنفرد ينجز الشغل نفسه في وقت أقل. من جهة أخرى، قدرة كل من الطالبين اللذين يسيران معاً على صعود السلم متساوية؛ لأن كلاً منهما ينجز الشغل نفسه خلال الفترة الزمنية نفسها.

تُقاس القدرة بوحدة **الواط** (W)، ويساوي الواط الواحد انتقال طاقة مقدارها 1 J خلال فترة زمنية مقدارها 1 s. ووحدة الواط صغيرة بالنسبة للقدرة، فمثلاً إذا رفعت كأس ماء وزنه 2 N مسافة 0.5 m إلى فمك تكون قد بذلت شغلاً مقداره 1 J، وإذا رفعت الكأس خلال 1 s تكون قد بذلت شغلاً بمعدل 1 W، ولأن وحدة الواط صغيرة فإن القدرة تُقاس غالباً بوحدة الكيلوواط (kW)، وهي تساوي 1000 W. كما تستخدم وحدة الحصان الميكانيكي لقياس القدرة، وهو يساوي 746 W.

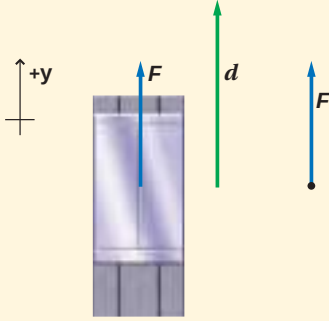
■ الشكل 6-3 يبذل هؤلاء الطلاب شغلاً بمعدلات مختلفة عندما يصعدون السلم.



مثال 3

القدرة يرفع محرك كهربائي مصعداً مسافة 9.00 m خلال 15.0 s بالتأثير بقوة رأسية إلى أعلى مقدارها $1.20 \times 10^4 \text{ N}$. ما القدرة التي ينتجها المحرك بوحدة kW؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخططاً توضيحياً للحالة يوضح المصعد مع الشروط الابتدائية.
- اختر محاور إسناد على أن يكون الاتجاه الموجب رأسياً إلى أعلى.
- ارسم مخطط المتجهات للقوة والإزاحة.

المجهول

$$P = ?$$

المعلوم

$$d = 9.00 \text{ m}$$

$$t = 15.0 \text{ s}$$

$$F = 1.20 \times 10^4 \text{ N}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل بالنسبة للقدرة.

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بدالاتها
العلمية 286، 287

عوض مستخدماً $W = Fd$

$$\begin{aligned} P &= \frac{W}{t} \\ &= \frac{Fd}{t} \\ &= \frac{(1.20 \times 10^4 \text{ N})(9.00 \text{ m})}{(15.0 \text{ s})} \\ &= 7.20 \text{ kW} \end{aligned}$$

عوض مستخدماً $F = 1.20 \times 10^4 \text{ N}$, $d = 9.00 \text{ m}$, $t = 15.0 \text{ s}$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تُقاس القدرة بوحدة J/s.
- هل للإشارة معنى؟ تتفق الإشارة الموجبة مع الاتجاه الرأسي للقوة المؤثرة إلى أعلى.

9. رُفع صندوق وزن 575 N رأسياً 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؟

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؟

b. وإذا كنت تحرك العربة بضعف مقدار السرعة، فما مقدار القدرة التي تولدها؟

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]

12. يولد محرك كهربائي قدرة 65 kW لرفع مصعد مكتمل الحمولة مسافة 17.5 m خلال 35 s. ما مقدار القوة التي يبذلها المحرك؟



الشكل 3-7

13. صُمِّمت رافعة ليتم تثبيتها على شاحنة كما في الشكل 3-7، ولدى اختبار قدرتها ربطت الرافعة بجسم وزنه يعادل أكبر قوة تستطيع الرافعة التأثير بها، ومقدارها $6.8 \times 10^3 \text{ N}$ ، فرفعت الجسم مسافة 15 m مولدة قدرة مقدارها 0.30 kW. ما الزمن الذي احتاجت إليه الرافعة لرفع الجسم؟

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.

لاحظت في المثال 3 أنه عندما تكون القوة والإزاحة في الاتجاه نفسه فإن $P = \frac{Fd}{t}$.

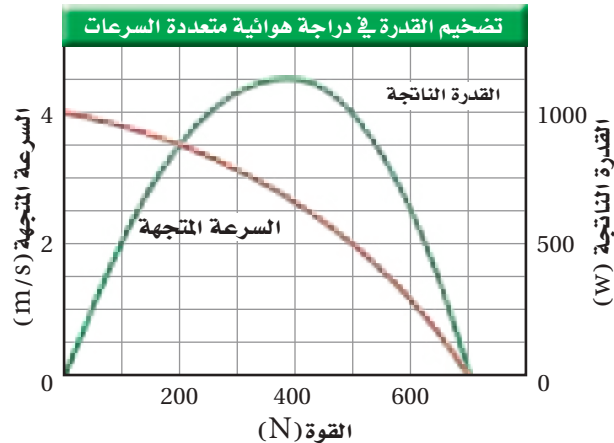
ولأن النسبة $\frac{d}{t}$ تمثل مقدار السرعة فإن القدرة يمكن حسابها باستخدام العلاقة $P = Fv$ أيضًا.

تطبيق الفيزياء

سباق جولات الدراجات في فرنسا

يقود سائق دراجته الهوائية في مسابقة جولات الدراجات الهوائية في فرنسا بسرعة 8.94 m/s أكثر من 6 h يوميًا. القدرة الناتجة للمتنسابق 1 kW تقريبًا، حيث يُستهلك ربع تلك القدرة في تحريك الدراجة الهوائية ضد مقاومة الهواء ومبدل السرعات والعجلات، ثلاثة أرباع تلك القدرة تُستهلك لتبريد جسم المتنسابق.

كيف تحدد الوضع المناسب لناقل السرعات عندما تتركب دراجة هوائية متعددة السرعات؟ بكل تأكيد أنت ترغب في جعل جسمك ينتج أكبر قدرة ممكنة. إذا أخذت المعادلة $P = Fv$ في الاعتبار فسوف تلاحظ أن القدرة تكون صفرًا عندما تكون السرعة صفرًا، أو تكون القوة صفرًا. وفي المقابل لكي تكون القدرة أكبر ما يمكن لا بد أن تكون كل من القوة والسرعة أكبر ما يمكن، لكن عضلات أجسامنا تعجز عن التأثير بقوة كبيرة جدًا، كما تعجز عن التحرك بسرعات كبيرة جدًا، ولذلك فإن مزيجًا من سرعة معتدلة وقوة معتدلة سيُنتج أكبر كمية من القدرة. وكما تخضع عضلات أجسامنا لمحددات تخضع المحركات أيضًا لمحددات. يوضح الشكل 3-8 ذلك عن طريق حالة خاصة لمحرك؛ حيث إن أقصى قدرة منتجة تفوق 1000 W عندما تكون القوة 400 N تقريبًا ومقدار السرعة 2.6 m/s تقريبًا، وجميع المحركات عليها محددات، ولذلك تصمم الآلات البسيطة بحيث تتلاءم القوة ومقدار السرعة اللتان يولدهما المحرك بحسب ما يتطلبه إنجاز عمل ما دون تجاوز محددات المحرك. وستتعلم المزيد عن الآلات البسيطة في القسم الآتي.



الشكل 3-8 عندما تتركب دراجة

هوائية متعددة السرعات فإنها تضخم قدرتك؛ فإذا أثرت عضلاتك بقوة مقدارها 400 N، وكانت السرعة 2.6 m/s فإن القدرة الناتجة ستزيد على 1000 W. لاحظ أن الرسم البياني يعبر عن علاقتين: العلاقة بين السرعة والقوة (باللون الأحمر)، والعلاقة بين القدرة الناتجة والقوة (باللون الأخضر).

20. **الكتلة** ترفع رافعة صندوقاً مسافة 1.2 m، وتبذل عليه شغلاً مقداره 7.0 kJ. ما مقدار كتلة الصندوق؟

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 سلماً رأسياً إلى أن يصل إلى الغرفة، فأيكما يبذل شغلاً أكبر؟

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؟

23. **التفكير الناقد** وضح كيفية إيجاد التغير في طاقة نظام إذا أثرت فيه ثلاث قوى في آنٍ واحد.

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.

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؟

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.

18. **القدرة** يرفع مصعد جسمًا كتلته 1.1×10^3 kg مسافة 40.0 m خلال 12.5 s. ما القدرة التي يولدها المصعد؟

19. **الشغل** تسقط كرة كتلتها 0.180 kg مسافة 2.5 m، فما مقدار الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الكرة؟





3-2 الآلات Machines

يستخدم الناس الآلات يومياً، فبعضها أدوات بسيطة، ومنها فتّاحة الزجاجات ومفك البراغي، وبعضها الآخر مركباً، ومنها الدراجة الهوائية والسيارة. وسواء كانت هذه الآلات تُدار بالمحركات أم بقوة بشرية فهي تؤدي في النهاية إلى تسهيل أداء المهام، كما تؤدي **الآلة** إلى تخفيف الحمل، وذلك بتغيير مقدار القوة أو اتجاهها؛ حتى تتناسب القوة مع مقدرة الآلة أو الشخص.

فوائد الآلات Benefits of Machines

لندرس فتّاحة الزجاجات المبينة في الشكل 9-3، فعندما تستخدم هذه الأداة فإنك ترفع طرفها البعيد، لذا تكون قد بذلت شغلاً على الفتّاحة، التي بدورها تبذل شغلاً على الغطاء عندما ترفعه. ويُسمى الشغل الذي بذلته أنت في هذه الحالة الشغل المبذول W_i ، أما الشغل الذي بذلته الأداة فيسمى الشغل الناتج W_o .

تذكر أن الشغل هو عملية انتقال الطاقة بالطرائق الميكانيكية. فأنت خزنت شغلاً في الأداة كفتّاحة الزجاجات مثلاً؛ لذا تكون قد نقلت طاقة إلى هذه الأداة. وفي المقابل بذلت فتّاحة الزجاجات شغلاً على الغطاء؛ ولذا فقد نقلت الطاقة إليه. لا تعد فتّاحة الزجاجات مصدر طاقة، ولذلك لا يكتسب الغطاء طاقة تزيد على كمية الطاقة التي خزنتها في فتّاحة الزجاجات. وهذا يعني أن الشغل الناتج لا يمكن أن يكون أكبر من الشغل المبذول.

الفائدة الميكانيكية إن القوة التي أثرت في الآلة بواسطة شخص ما تسمى **القوة المسلطة** F_e (المبذولة)، أو اختصاراً القوة. أما القوة التي أثرت بها الآلة فتسمى **المقاومة** F_r . يبين لنا الشكل 9a-3، أن F_e (القوة) هي قوة رأسية إلى أعلى أثرت بواسطة الشخص عند استخدام فتّاحة الزجاجات، وأن (المقاومة) F_r هي قوة رأسية إلى أعلى أثرت بواسطة فتّاحة الزجاجات، وتسمى نسبة المقاومة إلى القوة $\frac{F_r}{F_e}$ **الفائدة الميكانيكية** MA للآلة.

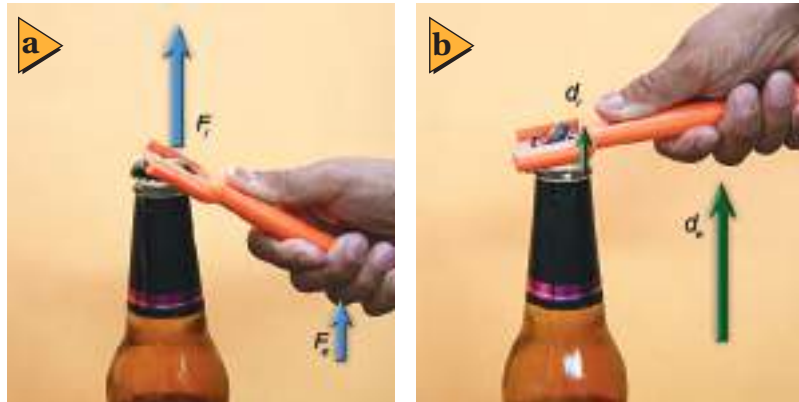
الأهداف

- توضيح فوائد الآلات البسيطة.
- تمييز الآلات المثالية والآلات الحقيقية من حيث كفاءتها.
- تحلل الآلات المركبة مبيناً الآلات البسيطة التي تكونت منها.
- تحسب كفاءة الآلات البسيطة والمركبة.

المفردات

- الآلة
- القوة (المسلطة)
- المقاومة
- الفائدة الميكانيكية
- الفائدة الميكانيكية المثالية
- الكفاءة
- الآلة المركبة

■ الشكل 9-3 تُعد فتّاحة الزجاجات مثلاً على الآلات البسيطة؛ إذ تسهل عملية فتح الزجاجات، ولكنها لا تقلل من الشغل اللازم لذلك.

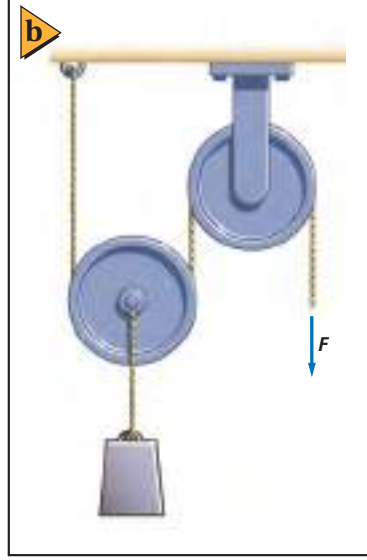
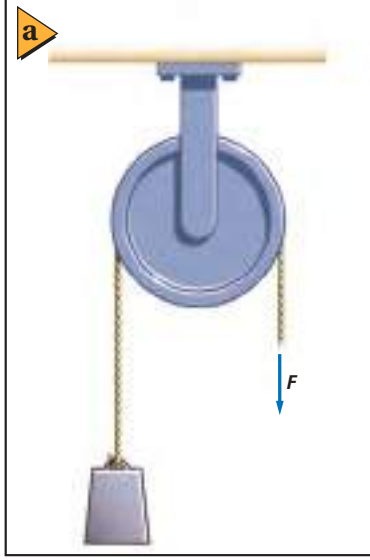


تساعد الآلة على نقل الطاقة من الشخص إلى فتّاحة الزجاجات بصورة بسيطة.



$$MA = \frac{F_r}{F_e} \text{ الفائدة الميكانيكية}$$

الفائدة الميكانيكية للآلة تساوي ناتج قسمة المقاومة على القوة.



■ الشكل 10-3 الفائدة الميكانيكية

للبيكة الثابتة تساوي 1 (a). ونظام البكرات الذي يحوي بكرة قابلة للحركة له فائدة ميكانيكية تزيد على 1 (b).

القوتان F_r و F_e متساويتان في نظام البكرة الثابتة الموضحة في الشكل 10a-3. لذا فإن MA تساوي 1، فما فائدة هذه الآلة؟ تُعد البكرة الثابتة مفيدة، ليس لأنها تقلل من القوة المسلطة، ولكن لأنها تغير من اتجاهها. إن الكثير من الآلات - ومنها فتّاحة الزجاجات في الشكل 9-3 ونظام البكرات في الشكل 10b-3 - لهما فائدة ميكانيكية أكبر من 1، فعندما تكون الفائدة الميكانيكية أكبر من 1 فإن الآلة تعمل على زيادة القوة التي أثر بها شخص ما.

تستطيع أن تعبر عن الفائدة الميكانيكية للآلة بطريقة أخرى مستخدماً تعريف الشغل؛ حيث إن الشغل المبذول يساوي حاصل ضرب القوة F_e التي يؤثر بها شخص ما في الإزاحة التي تحركتها يده (d_e)، والشغل الناتج يساوي حاصل ضرب المقاومة F_r في إزاحة المقاومة (d_r)، وكما أسلفنا لا تستطيع الآلة زيادة الطاقة، لكنها تستطيع زيادة القوة. أما الآلة المثالية فتستطيع نقل الطاقة كلها؛ لذا فإن الشغل الناتج يساوي الشغل المبذول.

$$F_r d_r = F_e d_e \text{ أو } W_o = W_i$$

ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة على الصورة $\frac{F_r}{F_e} = \frac{d_e}{d_r}$. تذكر أن الفائدة الميكانيكية يُعبر عنها بالمعادلة $MA = \frac{F_r}{F_e}$ ؛ لذا فإن **الفائدة الميكانيكية المثالية** (IMA) للآلة المثالية تساوي إزاحة القوة مقسومة على إزاحة المقاومة. ويمكن التعبير عن الفائدة الميكانيكية المثالية بالمعادلة الآتية:

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} \text{ الفائدة الميكانيكية المثالية}$$

الفائدة الميكانيكية المثالية للآلة المثالية تساوي إزاحة القوة مقسومة على إزاحة المقاومة.

لاحظ أنك قيس المسافات لحساب الفائدة الميكانيكية المثالية، في حين قست القوى المؤثرة لإيجاد الفائدة الميكانيكية الفعلية.

الكفاءة يكون الشغل المبذول في الآلات الحقيقية أكبر من الشغل الناتج. وأن إزالة الطاقة من النظام تعني أن هناك نقصاً في الشغل الذي تنتجه الآلة، ونتيجة لذلك تكون الآلة أقل كفاءة (فاعلية) عند إنجاز المهمة. ويمكن تعريف **كفاءة** الآلة (e) على أنها نسبة الشغل الناتج إلى الشغل المبذول.

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

إن كفاءة الآلة (كنسبة مئوية %) تساوي الشغل الناتج مقسوماً على الشغل المبذول مضروباً في العدد 100.

إن الآلة المثالية لها شغل ناتج يساوي الشغل المبذول، حيث إن $\frac{W_o}{W_i} = 1$ وكفاءتها تساوي 100 %. وجميع الآلات الحقيقية كفاءتها أقل من 100 %.

يمكن التعبير عن الكفاءة بدلالة الفائدة الميكانيكية والفائدة الميكانيكية المثالية، حيث تحتسب الكفاءة e من النسبة $\frac{W_o}{W_i}$ والتي يمكن كتابتها على النحو الآتي: $\frac{W_o}{W_i} = \frac{F_r d_r}{F_e d_e}$ ولأن $MA = \frac{F_r}{F_e}$ و $IMA = \frac{d_r}{d_e}$ ، فإنه يمكن التعبير عن الكفاءة على النحو الآتي:

$$e = \frac{MA}{IMA} \times 100 \quad \text{الكفاءة}$$

إن كفاءة الآلة (كنسبة مئوية %) تساوي فائدتها الميكانيكية مقسومة على فائدتها الميكانيكية المثالية مضروبة في العدد 100.

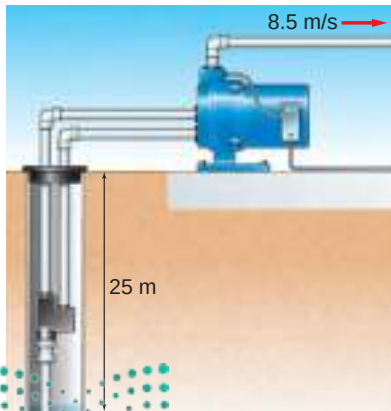
يحدّد تصميم الآلات فائدتها الميكانيكية المثالية؛ فالآلة ذات الكفاءة العالية لها فائدة ميكانيكية تساوي غالباً كفاءتها الميكانيكية المثالية، وللحصول على قوة المقاومة نفسها فإنه يجب التأثير بقوة أكبر في الآلة ذات الكفاءة المتدنية مقارنة بالآلة ذات الكفاءة العالية.

تجربة

كيف تساعدك البكرات على رفع الأشياء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

مسألة تحفيز



(الأبعاد في الصورة ليست بمقياس رسم)

تسحب مضخة كهربائية الماء بمعدل $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ من بئر عمقها 25 m، فإذا كان الماء يتدفق خارجاً من المضخة بسرعة 8.5 m/s

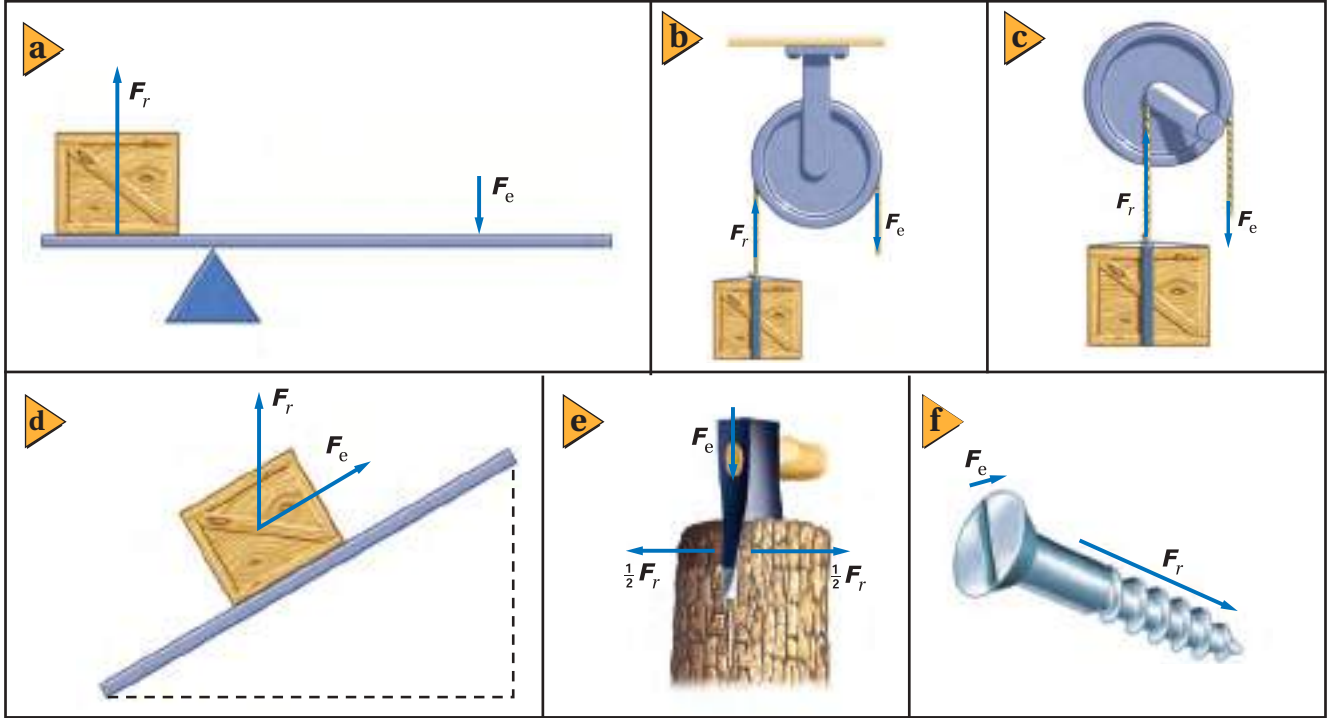
1. ما القدرة اللازمة لرفع الماء إلى السطح؟

2. ما القدرة اللازمة لزيادة الطاقة الحركية للمضخة؟

3. إذا كانت كفاءة المضخة 80 %، فما القدرة التي يجب تزويد المضخة بها؟

الآلات المركبة Compound Machines

تتركب معظم الآلات بغض النظر عن مستوى تعقيدها من آلة بسيطة واحدة أو أكثر من الآلات الآتية: الرافعة، البكرة، العجلة والمحور، المستوى المائل، الوتد (الإسفين) البرغي. انظر الشكل 11-3.



إن الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) لكل الآلات الموضحة في الشكل 11-3 هي النسبة بين المسافات المقطوعة، ويمكن استبدال هذه النسبة للآلات "كالرافعة" و"العجلة والمحور" مثلاً، بنسبة المسافات بين النقاط التي أثرت عندها كل من القوة والمقاومة ونقطة الارتكاز.

تعتبر عجلة القيادة - كما في الشكل 12-3 - مثلاً شائعاً للعجلة والمحور؛ حيث تكون الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) هي النسبة بين نصفي قطري العجلة والمحور.

الآلة المركبة هي الآلة التي تتكون من آلتين بسيطتين أو أكثر ترتبطان معاً، بحيث تصبح المقاومة لإحدى هذه الآلات قوة (مسلطة) للآلة الأخرى.

■ الشكل 11-3 آلات بسيطة تشتمل على (a) رافعة، (b) بكرة، (c) عجلة ومحور، (d) مستوى مائل، (e) إسفين (وتد) و (f) برغي.



■ الشكل 12-3 الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) لعجلة القيادة تساوي $\frac{r_e}{r_r}$.

■ الشكل 13-3 تتركب مجموعة من الآلات البسيطة لكي تنقل القوة التي يبذلها السائق على دواسة الدراجة إلى الطريق.



تعمل كل من الدواسة وناقل الحركة الأمامي، في الدراجة الهوائية، عمل العجلة والمحور. حيث تكون القوة (المسلطة) هي القوة التي يؤثر بها السائق في الدواسة (السائق على الدواسة F)، أما المقاومة فهي القوة التي يؤثر بها ناقل الحركة الأمامي في السلسلة (ناقل الحركة على السلسلة F) كما في الشكل 13-3. وتؤثر السلسلة بقوة (مسلطة) في ناقل الحركة الخلفي (السلسلة على ناقل الحركة) F تساوي القوة المؤثرة في السلسلة. ويعمل ناقل الحركة والإطار الخلفي عمل عجلة ومحور إضافيين.

المقاومة هي القوة التي يؤثر بها الإطار في الطريق (الإطار على الطريق F). وبحسب قانون نيوتن الثالث، فإن الأرض تؤثر بقوة مساوية في الإطار نحو الأمام، مؤدية إلى تسارع الدراجة الهوائية إلى الأمام.

الفائدة الميكانيكية (MA) للآلة المركبة تساوي حاصل ضرب الفوائد الميكانيكية للآلات البسيطة التي تتكون منها، فمثلاً تكون الفائدة الآلية في حالة الدراجة الهوائية في الشكل 13-3 على النحو الآتي:

$$MA = MA_{1\text{الدواسة}} \times MA_{2\text{الإطار}}$$

$$MA = \left(\frac{F_{\text{ناقل الحركة على السلسلة}}}{F_{\text{السائق على الدواسة}}} \right) \left(\frac{F_{\text{الإطار على الطريق}}}{F_{\text{السلسلة على ناقل الحركة}}} \right) = \left(\frac{F_{\text{الإطار على الطريق}}}{F_{\text{السائق على الدواسة}}} \right)$$

إن الفائدة الميكانيكية المثالية IMA لكل آلة عجلة ومحور هي نسبة المسافات المقطوعة.

$$IMA = \frac{\text{نصف قطر الدواسة}}{\text{نصف قطر ناقل الحركة الأمامي}} \quad \text{فبالنسبة للدواسة وناقل الحركة فإن:}$$

$$IMA = \frac{\text{نصف قطر ناقل الحركة الخلفي}}{\text{نصف قطر الإطار}} \quad \text{وبالنسبة للإطار الخلفي فإن:}$$

وأما بالنسبة للدراجة الهوائية، فإن:

$$IMA = \left(\frac{\text{نصف قطر الدواسة}}{\text{نصف قطر ناقل الحركة الأمامي}} \right) \left(\frac{\text{نصف قطر ناقل الحركة الخلفي}}{\text{نصف قطر الإطار}} \right) = \left(\frac{\text{نصف قطر ناقل الحركة الخلفي}}{\text{نصف قطر ناقل الحركة الأمامي}} \right) \left(\frac{\text{نصف قطر الدواسة}}{\text{نصف قطر الإطار}} \right)$$

ولأن ناقل الحركة يستخدمان السلسلة نفسها ولهما حجم المستنات نفسه، فإنك تستطيع

العجلة والمحور

يعمل ناقل الحركة في الدراجة الهوائية على مضاعفة المسافة التي تقطعها. فماذا يفعل بالنسبة للقوة؟

1. ثبت نظام العجلة والمحور على قضيب دعم قوي.

2. لف سلكاً طوله 1 m في اتجاه حركة عقارب الساعة حول المحور.

3. لف قطعة سلك أخرى طولها 1 m في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة حول العجلة التي لها قطر كبير.

4. علق جسمًا كتلته 500 g من نهاية السلك على العجلة الأكبر.

تحذير: تجنب سقوط الجسم.

5. اسحب السلك من المحور إلى أسفل بحيث يرتفع الجسم مسافة 10 cm.

التحليل والاستنتاج

6. ماذا لاحظت على القوة التي أثرت بها في السلك الذي في يدك؟

7. ماذا لاحظت على المسافة التي تحتاج إليها يدك لرفع الجسم؟ وضح النتائج بدلالة الشغل المبذول على كل من السلكين.

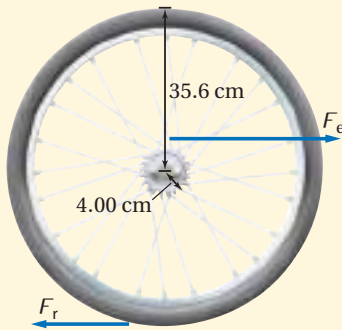
حساب عدد المستنات لإيجاد (IMA) على النحو الآتي:

$$IMA = \left(\frac{\text{طول ذراع الدواسة}}{\text{نصف قطر الإطار}} \right) \left(\frac{\text{عدد مستنات ناقل الحركة الخلفي}}{\text{عدد مستنات ناقل الحركة الأمامي}} \right)$$

يُعدّ تغيير ناقل الحركة في الدراجة الهوائية طريقة لتعديل نسبة أنصاف أقطار ناقل الحركة للحصول على الفائدة الميكانيكية المطلوبة. فإذا كانت دواسة الدراجة الهوائية في أعلى دورتها أو أسفلها، فإن مقدار القوة الرأسية التي تؤثر بها إلى الأسفل ليس مهمًّا؛ فالدواسة لن تدور. إن قوة قدمك تكون أكثر فاعلية عندما تؤثر القوة في اتجاه عمودي على ذراع الدواسة؛ حيث يكون عندها عزم الدوران أكبر ما يمكن. افترض دائمًا أن القوة المؤثرة في الدواسة يكون اتجاهها عموديًّا على ذراعها، أي أنها تعطي أكبر عزم ممكن.

مثال 4

الفائدة الميكانيكية تفحصت الإطار الخلفي لدراجتك الهوائية فوجدت أن نصف قطره 35.6 cm، ونصف قطر ناقل الحركة 4.0 cm، وعندما تسحب السلسلة بقوة مقدارها 155 N فإن حافة الإطار تتحرك مسافة 14.0 cm، فإذا كانت كفاءة هذا الجزء من الدراجة الهوائية 95.0%، فاحسب مقدار:



- الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) للإطار وناقل الحركة.
- الفائدة الميكانيكية MA للإطار وناقل الحركة.
- قوة المقاومة.
- مسافة سحب السلسلة لتحريك حافة الإطار مسافة 14.0 cm.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططاً توضيحياً للعجلة والمحور.
- ارسم المخطط التوضيحي لمتجهات القوة.

المجهول

المعلوم

$$\begin{aligned} IMA &= ? & F_r &= ? & r_e &= 4.00 \text{ cm}, & e &= 95.0 \% \\ MA &= ? & d_e &= ? & r_r &= 35.6 \text{ cm}, & d_r &= 14.0 \text{ cm} \\ & & & & F_e &= 155 \text{ N} \end{aligned}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. إيجاد الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA).

بالنسبة لآلة العجلة والمحور فإن IMA تساوي نسبة نصفي قطريهما.

$$\text{عوض مستخدماً } r_e = 4.00 \text{ cm}, r_r = 35.6 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} IMA &= \frac{r_e}{r_r} \\ &= \frac{4.00 \text{ cm}}{35.6 \text{ cm}} \\ &= 0.112 \end{aligned}$$

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

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

$$MA = \left(\frac{95.0}{100} \right) \times 0.112 = 0.106$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 289

b. إيجاد الفائدة الميكانيكية MA.

$$\text{عوض مستخدماً } IMA = 0.112, e = 95.0\%$$

c. إيجاد القوة.

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

$$F_r = [MA] [F_e] = [0.106] [155 \text{ N}] = 16.4 \text{ N}$$

$$F_e = 155 \text{ N}, MA = 0.106$$

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

d. إيجاد المسافة.

$$d_e = [IMA] [d_r]$$

$$= [0.112] [14.0 \text{ cm}] = 1.57 \text{ cm}$$

$$d_r = 14.0 \text{ cm}, IMA = 0.112$$

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ تقاس القوة بوحدة نيوتن، والمسافة بوحدة السنتيمتر.

• هل الجواب منطقي؟ الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) قليلة للدراجة الهوائية؛ لأنه في مقابل قوة مسلطة (F_e) كبيرة نحصل على d_r كبيرة. وتكون MA أقل من IMA دائماً. ولأن MA قليلة فإن F_r ستكون قليلة أيضاً. إن المسافة القليلة التي يتحركها المحور تقابلها مسافة كبيرة يتحركها الإطار، ولذا فإن d_e ينبغي أن تكون قليلة.

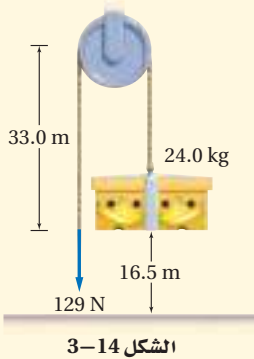
24. إذا تضاعف نصف قطر ناقل الحركة في الدراجة الهوائية في المثال 4، في حين بقيت القوة المؤثرة في السلسلة والمسافة التي تحركتها حافة الإطار دون تغيير، فما الكميات التي تتغير؟ وما مقدار التغير؟

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 $1.7 \times 10^4 \text{ N}$ ، وأن المطرقة تؤثر بقوة $1.1 \times 10^4 \text{ N}$ ، فاحسب مقدار:

a. الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) للإسفين.

b. الفائدة الميكانيكية (MA) للإسفين.

c. كفاءة الإسفين إذا اعتبرناه آلة.



26. يستخدم عامل نظام بكرة عند رفع صندوق كرتون كتلته 24.0 kg مسافة 16.5 m كما في

الشكل 3-14. فإذا كان مقدار القوة المؤثرة 129 N وسُحب الحبل مسافة 33.0 m.

a. ما مقدار الفائدة الميكانيكية (MA) لنظام البكرة؟

b. ما مقدار كفاءة النظام؟

27. إذا أثرت بقوة مقدارها 225 N في رافعة لرفع صخرة وزنها $1.25 \times 10^3 \text{ N}$ مسافة 13 cm، وكانت كفاءة الرافعة 88.7% فما المسافة التي تحركتها نهاية الرافعة من جهتك؟

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 أيضاً.

a. ما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) لهذه الآلة؟

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؟

دراجة هوائية متعددة نواقل الحركة يستطيع السائق في الدراجة الهوائية المتعددة نواقل الحركة تغيير الفائدة الميكانيكية للآلة، وذلك باختيار الحجم المناسب لأحد ناقلي الحركة أو كليهما. ففي حالة التسارع أو صعود تلة فإن السائق يزيد الفائدة الميكانيكية المثالية لكي يزيد القوة التي يؤثر بها الإطار في الطريق. ولزيادة IMA يحتاج السائق إلى جعل نصف قطر ناقل الحركة الخلفي كبيراً مقارنة بنصف قطر ناقل الحركة الأمامي (اعتماداً على معادلة IMA). وهكذا عندما يؤثر السائق بالقوة نفسها يؤثر الإطار في الطريق بقوة أكبر، لكن على السائق أن يدور الدواسة عدداً أكبر من الدورات ليدور الإطار دورة واحدة. من جهة أخرى، تحتاج قيادة الدراجة الهوائية بسرعة كبيرة على طريق مستوٍ إلى قوة أقل، ولذلك يتوجب على السائق اختيار مجموعة ناقل الحركة، بحيث يكون ناقل الحركة الخلفي صغيراً وناقل الحركة الأمامي كبيراً، وفي هذه الحالة تكون الفائدة الميكانيكية المثالية قليلة، أي أنه عندما يؤثر السائق بالقوة نفسها، فإن الإطار يؤثر في الطريق بقوة أقل، لكن لا يحتاج السائق إلى تدوير الدواسات بمقدار كبير لكل دورة واحدة للإطار.

يعمل ناقل الحركة في السيارة بالطريقة السابقة نفسها، فمثلاً تحتاج السيارة إلى قوة كبيرة لتكتسب تسارعاً عندما تبدأ الحركة من السكون، ولتحقيق ذلك يزيد ناقل الحركة من الفائدة الميكانيكية المثالية. أما عندما تكون السيارة متحركة بسرعة عالية فهي تحتاج إلى قوة صغيرة، للمحافظة على سرعتها، لذلك يقلل ناقل الحركة من الفائدة الميكانيكية المثالية. وعلى الرغم من أن عدد السرعة يشير إلى سرعة كبيرة، فإن عدد الدورات يشير إلى سرعة زاوية صغيرة للمحرك.

آلة المشي البشرية The Human Walking Machine

يمكن توضيح حركة الجسم البشري بالمبادئ نفسها للقوة والشغل التي تصف كل أنواع الحركة، فجسم الإنسان أيضاً مزود بآلات بسيطة على هيئة رافعات تمنحه القدرة على السير والركض، إلا أن أنظمة الرافعات في جسم الإنسان أكثر تعقيداً ولكل نظام منها الأجزاء الرئيسة الآتية:

1. قضيب صلب (العظام)
2. مصدر قوة (انقباض العضلات)
3. نقطة ارتكاز (المفاصل المتحركة بين العظام)
4. مقاومة (وزن جزء الجسم أو الشيء الذي يتم رفعه أو تحريكه)

يوضح الشكل 15-3 الأجزاء المكونة لنظام الرافعة في قدم الإنسان. إن قيمة كفاءة النظام للروافع في جسم الإنسان ليست عالية، والفوائد الميكانيكية لها محدودة. وهذا يفسر حاجة الجسم إلى الطاقة (حرق السعرات الحرارية) في حال المشي أو العدو البطيء، مما يساعد الناس على تقليل الوزن.

الشكل 15-3 آلة المشي البشرية.



عندما يسير الإنسان يعمل الورك بوصفه نقطة ارتكاز، ويتحرك عظم الورك خلال قوس دائري مركزه القدم، كما يتحرك مركز كتلة الجسم، باعتباره مقاومة، حول نقطة الارتكاز نفسها وعلى القوس نفسه، ويكون نصف قطر القوس الدائري هو طول الرافعة المكونة من عظام الساق. ويسعى الرياضيون في سباقات المشي إلى زيادة سرعتهم، وذلك بآرجحة الورك نحو الأعلى لزيادة نصف القطر.

إن الأشخاص الطوال القامة لديهم أنظمة رافعة فائدتها الميكانيكية أقل من الأشخاص القصار القامة، فعلى الرغم من أن الأشخاص الطوال القامة يستطيعون المشي أسرع من الأشخاص القصار القامة إلا أنه على الشخص الطويل التأثير بقوة أكبر لتحريك الرافعة الطويلة المكونة من عظام الساق.

فكيف يكون أداء الشخص الطويل في مسابقة المشي؟ وما العوامل التي تؤثر في أدائه؟ بسبب طول المسافة في سباقات المشي 20 km أو 50 km، وانخفاض كفاءة أنظمة الرافعة لدى الطوال القامة وطول مضمار المشي؛ لذا تقل لديهم القدرة على الاحتمال والمواصلة للفوز.

2-3 مراجعة

32. **الكفاءة** إذا رفعت كفاءة آلة بسيطة، فهل تزداد الفائدة الميكانيكية (MA)، والفائدة الميكانيكية المثالية (IMA)، أم تنقص، أم تبقى ثابتة؟

33. **التفكير الناقد** تتغير الفائدة الميكانيكية لدراجة هوائية متعددة ناقل الحركة بتحرك السلسلة بحيث تُدَوَّر ناقل حركة خلفياً مناسباً.

a. عند الانطلاق بالدراجة عليك أن تؤثر في الدراجة بأكبر قوة ممكنة؛ لتكسبها تسارعاً، فهل ينبغي أن تختار ناقل حركة صغيراً أم كبيراً؟

b. إذا وصلت إلى مقدار السرعة المناسب وأردت تدوير الدواسلة بأقل عدد ممكن من الدورات، فهل تختار ناقل حركة كبيراً أم صغيراً؟

c. بعض أنواع الدراجات الهوائية تمنحك فرصة اختيار حجم ناقل الحركة الأمامي. فإذا كنت بحاجة إلى قوة أكبر لتحديث تسارعاً في أثناء صعودك تلاً، فهل تتحول إلى ناقل الحركة الأمامي الأصغر أم الأكبر؟

29. **الالات البسيطة** صنف الأدوات أدناه إلى رافعة، أو عجلة ومحور، أو مستوى مائل، أو إسفين، أو بكرة.

a. مفك براغي c. إزميل

b. كاششة d. نرّاعة الدبابيس

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 رأسياً 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؟

31. **الالات المركبة** للونش ذراع نصف قطر دورانه 45 cm، يُدَوَّر أسطوانة نصف قطرها 7.5 cm خلال مجموعة من ناقل الحركة، بحيث يدور الذراع ثلاث دورات لتدور الأسطوانة دورة واحدة. فما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) لهذه الآلة المركبة؟

مختبر الفيزياء

صعود السلم والقدرة

هل تستطيع أن تقدّر القدرة التي تولدها عندما تصعد عدة درجات بشكل متواصل؟ يحتاج صعود السلم إلى طاقة؛ فعندما يتحرك الجسم مسافة ما فهناك شغل يبذل. وتكون القدرة مقياساً لمعدل الشغل المبذول. ستحاول في هذا النشاط زيادة القدرة التي تولدها؛ وذلك بتطبيق قوة رأسية وأنت تصعد درجات السلم خلال فترة زمنية.

سؤال التجربة

ماذا تستطيع أن تفعل لزيادة القدرة التي تولدها عندما تصعد مجموعة من درجات السلم؟

المواد والأدوات

- مسطرة مترية (أو شريط قياس)
- ساعة إيقاف
- ميزان منزلي

الخطوات

1. قس كتلة كل شخص في مجموعتك باستخدام الميزان وسجلها بوحدة الكيلوجرام. (إذا كانت وحدة القياس على الميزان هي الباوند فاستخدم المعادلة الآتية للتحويل $2.2 \text{ lbs} = 1 \text{ kg}$)
2. قس المسافة الرأسية التي تقطعها عندما تصعد مجموعة الدرجات (من سطح الأرض إلى أعلى مجموعة درجات السلم) وسجل القيمة في جدول البيانات.
3. اطلب إلى كل شخص في مجموعتك أن يصعد درجات السلم بالطريقة التي يعتقد أنه سيزيد خلالها القدرة المتولدة.
4. استخدم ساعة الإيقاف لقياس الزمن الذي يحتاج إليه كل شخص لتنفيذ هذه المهمة، وسجل بياناتك في جدول البيانات.

الافتراضات

- تتوقع العوامل التي تؤثر في القدرة.
- تحسب القدرة المتولدة.
- تنشئ وتستخدم رسوماً بيانية لكل من: الشغل - الزمن، والقدرة - الشغل، والقدرة - الزمن
- تفسر القوة، والمسافة، والشغل، والزمن وبيانات القدرة.
- تُعرّف القدرة عملياً (تعريفاً إجرائياً).



إجراءات السلامة

- لا ترتد ملابس فضفاضة لتجنب التعثر والسقوط.



جدول البيانات					
الكتلة (kg)	الوزن (N)	المسافة (m)	الشغل المبذول (J)	الزمن (s)	القدرة الناتجة (W)

2. لماذا لا يُعد بالضرورة أسرع شخص صعد السلم هو الشخص الذي أنتج أكبر قدرة؟
3. لماذا لا يُعد بالضرورة أفراد مجموعتك الذين لهم كتلة كبيرة هم من أنتجوا أكبر قدرة؟
4. قارن بين بياناتك وبيانات المجموعات الأخرى في صفك.

التحليل

1. ابحث عن أدوات منزلية لها معدل قدرة مساوٍ للقدرة التي أنتجتها عند صعودك السلم أو أقل.
2. افترض أن شركة الكهرباء في منطقتك تزودك بقدرة كهربائية تكلفتها 0.1 SR / kWh ، فإذا كنت تتقاضى مالا بالمعدل نفسه للقدرة التي تولدها عند صعودك السلم، فما مقدار المال الذي ستكسبه عند صعودك السلم مدة 1 h ؟
3. إذا أردت أن تصمم آلة صعود سلام لنادي الصحة العامة، وقررت أن يكون لها آلية لحساب القدرة المتولدة، فما المعلومات التي تحتاج إليها لتصمم الآلة؟ وما المعلومات التي ستضمنها الآلة لكي يعرف الشخص مقدار القدرة التي ولدها عند صعوده السلم؟

1. احسب أو جد وزن كل شخص بوحدة النيوتن، وسجله في جدول البيانات.
2. احسب الشغل المبذول من كل شخص.
3. احسب القدرة المتولدة لكل شخص في مجموعتك عندما يصعد درجات السلم.
4. أنشئ الرسم البياني واستخدمه استخدم البيانات التي قمت بحسابها لعمل رسم بياني للشغل - الزمن، ثم ارسم أفضل خط ممثل للنقاط.
5. ارسم رسماً بيانياً للقدرة - الشغل، ثم ارسم أفضل خط ممثل للنقاط.
6. ارسم رسماً بيانياً للقدرة - الزمن، ثم ارسم أفضل خط ممثل للنقاط.

الاستنتاج والتطبيق

1. هل معدل قدرة أفراد مجموعتك متساوٍ؟ ولماذا؟
2. أي الرسوم البيانية تظهر علاقة واضحة ومحددة بين متغيرين؟
3. فسر سبب وجود هذه العلاقة.
4. اكتب تعريفاً عملياً للقدرة.

الترغيب في البحث

1. اذكر ثلاثة أشياء يمكن تنفيذها لزيادة القدرة التي تولدها حينما تصعد درجات السلم.

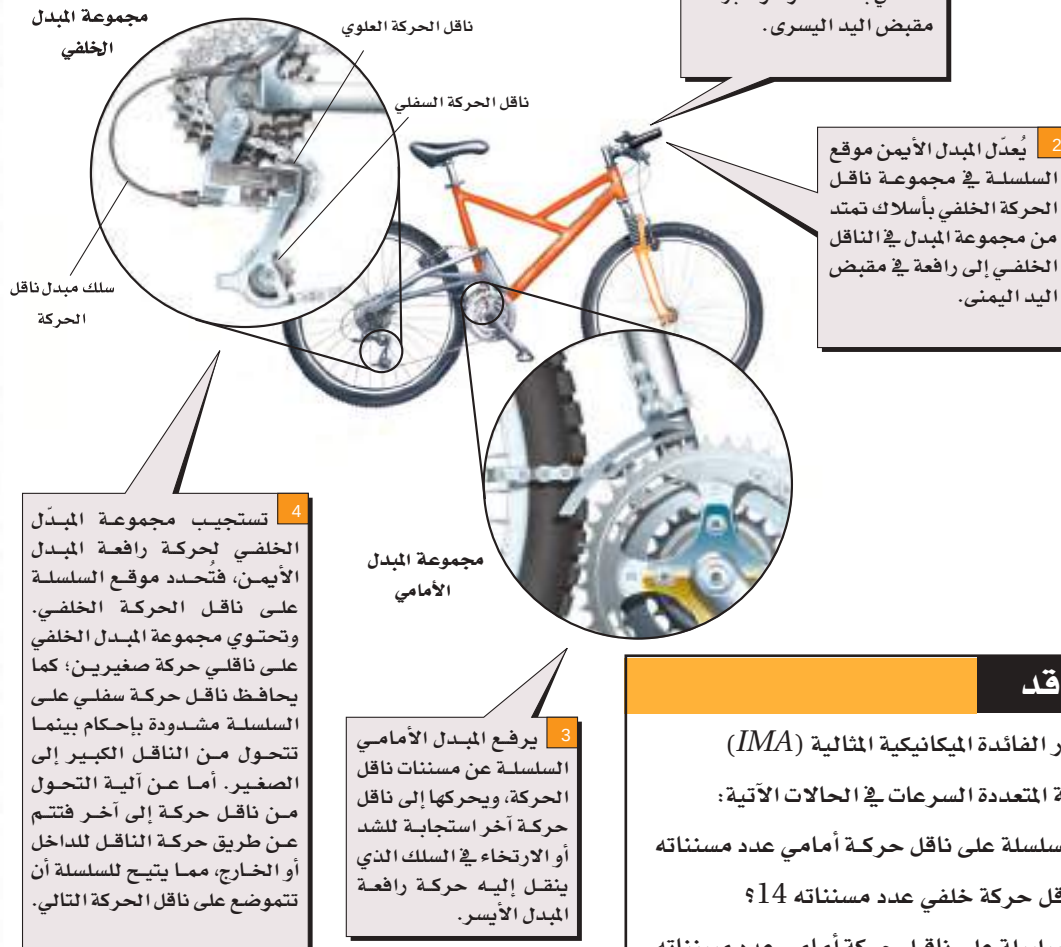


كيف تعمل

مجموعات نواقل الحركة (مبدلات السرعة) في الدراجة الهوائية؟
Bicycle Gear shifters

تستخدم المبدلات الأمامية والخلفية لنقل السلسلة في الدراجة الهوائية المتعددة السرعات، والتي عادة ما تكون مزودة باثنين أو ثلاثة نواقل حركة أمامية ومن خمسة إلى ثمانية نواقل حركة خلفية؛ إذ يؤدي تغيير توليفة نواقل الحركة الأمامية والخلفية إلى تغيير الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) للنظام؛ فالفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) الكبيرة تعمل على تقليل الجهد (القوة) اللازم ل صعود التلال. أما الفائدة الميكانيكية المثالية القليلة فتساعد على الحركة بسرعة كبيرة على الأرض المستوية، إلا أنها تزيد من الجهد (القوة) المطلوب في هذه الحالة.

$$IMA = \frac{\text{عدد مسننات ناقل الحركة الخلفي}}{\text{عدد مسننات ناقل الحركة الأمامي}}$$



التفكير الناقد

1. احسب ما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA)

للدراجة الهوائية المتعددة السرعات في الحالات الآتية:

a. عند وضع السلسلة على ناقل حركة أمامي عدد مسنناته

52، وعلى ناقل حركة خلفي عدد مسنناته 14؟

b. عند وضع السلسلة على ناقل حركة أمامي عدد مسنناته

42، وعلى ناقل حركة خلفي عدد مسنناته 34؟

2. طبق أي الحالتين a أو b في المسألة السابقة تختار أن تطبقها

عند التسابق مع صديقك على أرض مستوية؟ وأي حالة تختار

أن تطبقها عند صعود تل شديد الانحدار؟



وزارة التعليم

Ministry of Education

2021 - 1443

دليل مراجعة الفصل

الفصل 3

3-1 الطاقة والشغل Energy and Work

المفردات

- الشغل
- الطاقة
- الطاقة الحركية
- نظرية الشغل والطاقة
- الجول
- القدرة
- الواط

المفاهيم الرئيسية

- الشغل هو انتقال الطاقة بطرائق ميكانيكية. $W = Fd$
- للجسم المتحرك طاقة حركية. $KE = \frac{1}{2}mv^2$
- الشغل المبذول على نظام يساوي التغير في طاقة النظام. $W = \Delta KE$
- الشغل يساوي حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم ما في الإزاحة التي يتحركها الجسم في اتجاه القوة.
- يمكن تحديد الشغل المبذول بحساب المساحة تحت المنحنى البياني للقوة - الإزاحة.
- القدرة هي معدل بذل الشغل، أي المعدل الذي تنتقل خلاله الطاقة.
- $P = W/t$

3-2 الآلات Machines

المفردات

- الآلة
- القوة (المسلطة)
- المقاومة
- الفائدة الميكانيكية
- الفائدة الميكانيكية المثالية
- الكفاءة
- الآلة المركبة

المفاهيم الرئيسية

- لا تغير الآلات من الشغل المبذول سواء تم تشغيلها بمحركات أو بقوى بشرية، ولكنها تجعل إنجاز المهمة أسهل.
- تخفف الآلات الحمل (أثر المقاومة)، وذلك بتغيير مقدار القوة اللازمة لإنجاز الشغل أو اتجاهها.
- الفائدة الميكانيكية (MA) هي نسبة المقاومة إلى القوة (المسلطة).
- $MA = F_r / F_e$
- الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) هي النسبة بين المسافات المقطوعة.
- $IMA = d_e / d_r$
- كفاءة الآلة هي نسبة الشغل الناتج إلى الشغل المبذول.
- $e = \frac{W_o}{W_i} \times 100$
- تكون الفائدة الميكانيكية (MA) لجميع الآلات على أرض الواقع أقل من الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA).
- يمكن إيجاد كفاءة الآلة من الفائدتين الميكانيكيتين الحقيقية الفعلية والمثالية.

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



خريطة المفاهيم

34. كَوّن خريطة مفاهيم مستخدماً المصطلحات الآتية:
القوة، الإزاحة، اتجاه الحركة، الشغل، التغير في الطاقة الحركية.

إتقان المفاهيم

35. ما وحدة قياس الشغل؟ (3-1)

36. افترض أن قمراً صناعياً يدور حول الأرض في مدار دائري، فهل تبذل قوة الجاذبية الأرضية أي شغل على القمر؟ (3-1)

37. ينزل جسم بسرعة ثابتة على سطح عديم الاحتكاك. ما القوى المؤثرة في الجسم؟ وما مقدار الشغل الذي تبذله كل قوة؟ (3-1)

38. عرّف كلاً من الشغل والقدرة؟ (3-1)

39. ماذا تكافئ وحدة الواط بدلالة وحدات الكيلوجرام والمتر والثانية؟ (3-1)

40. وضح العلاقة بين الشغل المبذول والتغير في الطاقة. (3-1)

41. هل يمكن لآلة ما أن تُعطي شغلاً ناتجاً أكبر من الشغل المبذول عليها. (3-2)

42. فسر كيف يمكن اعتبار الدواسات التي في الدراجة الهوائية آلة بسيطة؟ (3-2)

تطبيق المفاهيم

43. أي الحالتين الآتيتين 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؟

44. ارفع وقع 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؟

45. يحمل عامل صناديق كرتونية إلى أعلى السلم ثم يحمل صناديق ماثلة لها في الوزن إلى أسفله. غير أن معلم الفيزياء يرى أن هذا العامل لم "يشتغل" مطلقاً؛ لذا فإنه لا يستحق أجرًا. فكيف يمكن أن يكون المعلم على صواب؟ وكيف يمكن إيجاد طريقة ليحصل بها العامل على أجره؟

46. إذا حمل العامل في المسألة السابقة الكراتين إلى أسفل درج، ثم سار بها مسافة 15 m في ممر، فهل يبذل شغلاً الآن؟ فسر إجابتك.

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. فأَي الشخصين بذل شغلاً أكبر؟ فسر إجابتك.
b. أي الشخصين أنتج قدرة أكثر؟ فسر إجابتك.

48. وضح أن القدرة المنقولة يمكن كتابتها على النحو الآتي: $P = F v \cos \theta$

49. كيف تستطيع زيادة الفائدة الميكانيكية المثالية لآلة؟

50. الاسفين كيف تستطيع زيادة الفائدة الميكانيكية للإسفين دون تغيير فائدته الميكانيكية المثالية؟

51. المدارات فسر لماذا لا يتعارض دوران كوكب حول الشمس مع نظرية الشغل والطاقة؟

52. المطرقة ذات الكماشة تستخدم المطرقة ذات الكماشة

لشحب مسمار من قطعة خشب كما في الشكل 3-16

تقويم الفصل 3

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؟

60. تستخدم قوة مقدارها 300.0 N لدفع جسم كتلته 145 kg أفقيًا مسافة 30.0 m خلال 3.00 s .

a. احسب مقدار الشغل المبذول على الجسم.

b. احسب مقدار القدرة المتولدة.

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 دائريًا نصف قطره 25.0 m ، فما مقدار الشغل المبذول؟

62. **مجزّ العشب** يدفع عامل مجزّ عشب بقوة مقدارها 88.0 N ، مؤثرًا في مقبضه الذي يصنع زاوية 41.0° على الأفقي. ما مقدار الشغل الذي يبذله العامل في تحريك المجزّ مسافة 1.2 km لجزّ العشب في فناء المنزل؟

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؟

64. **جرّار زراعي** يصعد جرّار زراعي كتلته 120.0 kg أعلى طريق مائل بزاوية 21° على الأفقي كما في الشكل 3-17، فإذا قطع الجرّار مسافة 12.0 m بسرعة ثابتة خلال 2.5 s ، فاحسب القدرة التي أنتجها الجرّار.



الشكل 3-17 ■

فأين ينبغي أن تضع يدك على المقبض؟ وأين ينبغي أن يكون موقع المسمار بالنسبة لطرفي الكماشة لجعل القوة (المسلطة) أقل ما يمكن؟



الشكل 3-16 ■

إتقان حل المسائل

3-1 الطاقة والشغل

53. يبلغ ارتفاع الطابق الثالث لمنزل 8 m فوق مستوى الشارع. ما مقدار الشغل اللازم لنقل ثلاثة كتلتها 150 kg إلى الطابق الثالث؟

54. يبذل ماهر شغلًا مقداره 176 J لرفع نفسه مسافة 0.300 m . ما كتلة ماهر؟

55. **كرة قدم** بعد أن سجل لاعب كتلته 84.0 kg هدفًا، قفز مسافة 1.20 m فوق سطح الأرض فرحًا. ما الشغل الذي بذله اللاعب؟

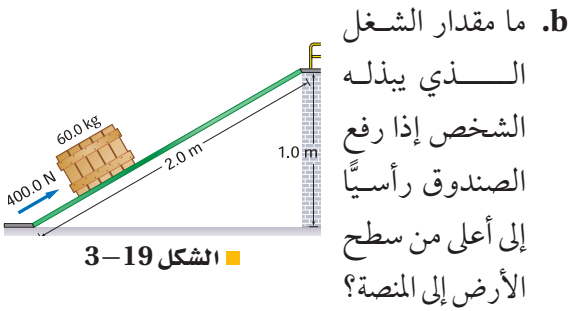
56. **لعبة شد الحبل** بذل الفريق A خلال لعبة شد الحبل شغلًا مقداره $2.20 \times 10^3 \text{ J}$ عند سحب الفريق B مسافة 2.00 m ، فما مقدار القوة التي أثر بها الفريق A؟

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 إحداها عن الأخرى؟

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 ولدها؟

تقويم الفصل 3

70. يدفع شخص صندوقاً 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. **a.** ما مقدار الشغل الذي بذله الشخص في دفع الصندوق إلى أعلى المستوى المائل؟



71. محرك القارب يدفع محركاً قارباً 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 محرك القارب؟



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 .

c. بين أن إجابة الفرع (b) يمكن التوصل إليها باستخدام المعادلة $W = \frac{1}{2} kd^2$ ، حيث W الشغل المبذول.

65. إذا كنت تدفع صندوقاً إلى أعلى مستوى يميل بزاوية 30.0° على الأفقي عن طريق التأثير فيه بقوة مقدارها 225 N في اتجاه مواز للمستوى المائل، فتتحرك الصندوق بسرعة ثابتة، وكان معامل الاحتكاك يساوي 0.28 ، فما مقدار الشغل الذي بذلته على الصندوق إذا كانت المسافة الرأسية المقطوعة 1.15 m ؟

66. زلاجة 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؟



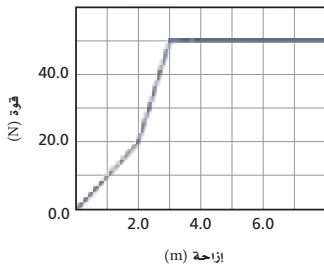
67. درج كهربائي يقف شخص كتلته 52 kg على درج كهربائي طوله 227 m ، ويميل 31° على الأفقي في متنزه المحيط في مدينة هونج كونج والذي يعد أطول درج كهربائي في العالم. ما مقدار الشغل الذي يبذله الدرج على الشخص؟

68. مدحلة العشب تدفع 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؟

69. يدفع عامل صندوقاً 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 ، وأخيراً يؤثر بقوة مقدارها 10 N لمسافة 8 m . **a.** ارسم المنحنى البياني للقوة - المسافة. **b.** ما مقدار الشغل الذي بذله العامل لدفع الصندوق؟

تقويم الفصل 3

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.
78. يوضح الرسم البياني في الشكل 3-22 منحني القوة والإزاحة لعملية سحب جسم.



الشكل 3-22

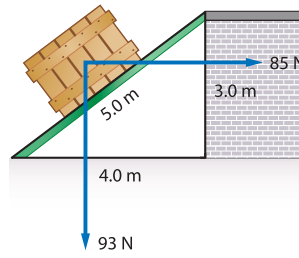
- a. احسب الشغل المبذول لسحب الجسم مسافة 7.0 m .
- b. احسب القدرة المتولدة إذا تم إنجاز الشغل خلال 2.0 s .

3-2 الآلات

79. رفع شخص صندوقاً وزنه 1200 N مسافة 5.00 m باستخدام مجموعة بكرات، بحيث سحب 20.0 m من الحبل، فما مقدار:
- a. القوة (المسلطة) التي سيطبقها شخص إذا كانت هذه الآلة مثالية؟
- b. القوة المستخدمة لموازنة قوة الاحتكاك إذا كانت القوة الفعلية (المسلطة) 340 N ؟
- c. الشغل الناتج؟
- d. الشغل المبذول؟
- e. الفائدة الميكانيكية؟

80. الرافعة تُعد الرافعة آلة بسيطة ذات فاعلية كبيرة جداً؛ وذلك بسبب ضالة قوة الاحتكاك فيها، فإذا استخدمت رافعة فاعليتها 90% ، فما مقدار الشغل اللازم بذله لرفع جسم كتلته 18.0 kg مسافة 0.50 m ؟
81. يُستخدم نظام بكرة لرفع جسم وزنه 1345 N مسافة

- W الشغل، و $k = 25 \text{ N/m}$ (ميل المنحنى البياني)، و d مسافة استطالة النابض (0.20 m). 73. استخدم الرسم البياني في الشكل 3-20 لإيجاد الشغل اللازم لاستطالة النابض من 0.12 m إلى 0.28 m .



الشكل 3-21

74. يدفع عامل صندوقاً يزن 93 N إلى أعلى مستوى مائل، لكن اتجاه دفع العامل أفقي يوازي سطح الأرض. انظر الشكل 3-21.
- a. إذا أثر العامل بقوة

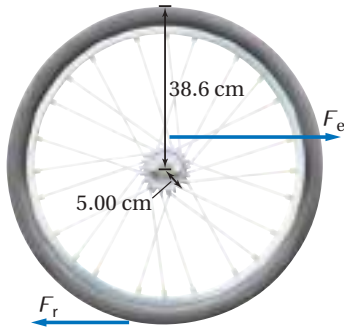
- مقدارها 85 N ، فما مقدار الشغل الذي يبذله؟
- b. ما مقدار الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية؟ (انتبه إلى الإشارات التي تستخدمها).
- c. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي 0.20 ، فما مقدار الشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك؟ (انتبه إلى الإشارات التي تستخدمها).

75. مضخة الزيت تضخ مضخة 0.550 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 g/cm^3 ، فاحسب:
- a. الشغل الذي تبذله المضخة.
- b. القدرة التي تولدها المضخة.

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.

تقويم الفصل 3

86. **الدراجة الهوائية** يُحرك صبي دواسات (بدالات) 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

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

88. تتكون آلة مركبة من رافعة متصلة بنظام بكرات. فإذا كانت هذه الآلة المركبة 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 المركبة تساوي 6.0.

b. وإذا كانت كفاءة الآلة المركبة 60%، فما مقدار القوة (المسلطة) التي يجب التأثير بها في الرافعة لرفع صندوق وزنه 540 N؟

c. إذا تحركت جهة تأثير القوة من الرافعة مسافة 12.0 cm، فما المسافة التي رُفع إليها الصندوق؟

مراجعة عامة

89. **المستويات المائلة** إذا أرادت فتاة نقل صندوق إلى منصة ترتفع 2.0 m عن سطح الأرض، ولديها الخيار أن

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؟

b. ما مقدار الفائدة الميكانيكية؟

c. ما كفاءة النظام؟

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.

b. الفائدة الميكانيكية المثالية IMA.

c. الكفاءة.

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؟

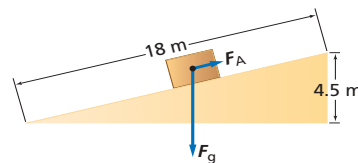
84. ما مقدار الشغل اللازم لرفع جسم كتلته 215 kg مسافة 5.65 m باستخدام آلة كفاءتها 72.5%؟

85. إذا كان طول المستوى المائل 18 m كما في الشكل 23-3، وارتفاعه 4.5 m، فاحسب ما يأتي:

a. مقدار القوة الموازية للمستوى المائل F_A اللازمة لسحب صندوق كتلته 25 kg بسرعة ثابتة إلى أعلى المستوى المائل إذا أهملنا قوة الاحتكاك.

b. الفائدة الميكانيكية المثالية للمستوى المائل.

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



الشكل 23-3

تقويم الفصل 3

- a. مقدار الشغل الذي يبذله المحرك.
b. مقدار الشغل المبذول على الثلاجة من خلال الآلة.
c. كفاءة الآلة؟

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؟
b. ما مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة في الصندوق؟
c. ما مقدار الشغل المبذول من أرضية الغرفة بواسطة قوة الاحتكاك بين الأرض والصندوق؟

94. **تزيج** سحبت مزلجة (عربة التنقل على الجليد) وزنها 845 N مسافة 185 m ، حيث تطلبت هذه العملية بذل شغل مقداره $1.20 \times 10^4 \text{ J}$ عن طريق التأثير بقوة سحب مقدارها 125 N في حبل مربوط بالمزلجة. ما مقدار الزاوية التي يصنعها الحبل بالنسبة للأفقي؟
95. يسحب ونش كهربائي صندوقاً 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؟
b. إذا كانت كفاءة الونش 85% ، فما القدرة الكهربائية التي يجب تزويد الونش بها؟

التفكير الناقد

96. **حلّ ثم استنتج** افترض أنك تعمل في مستودع، وتقوم بحمل صناديق إلى طابق التخزين الذي يرتفع 12 m فوق سطح الأرض، ولديك 30 صندوقاً كتلتها الكلية 150 kg يجب نقلها بأقصى سرعة ممكنة، ولتحقيق ذلك لديك أكثر من خيار؛ إذ يمكن أن تحمل صندوقين

تستخدم مستوى مائلاً طوله 3.0 m أو مستوى مائلاً طوله 4.0 m ، فأَي المستويين ينبغي أن تستخدم الفتاة إذا أرادت أن تبذل أقل مقدار من الشغل، علماً بأن المستويين عديماً الاحتكاك؟

90. يرفع لاعب ثقلاً كتلته 240 kg مسافة 2.35 m .
a. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب لرفع الثقل؟
b. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب للإمساك بالثقل فوق رأسه؟
c. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب لإنزال الثقل مرة أخرى على الأرض؟
d. هل يبذل اللاعب شغلاً إذا ترك الثقل يسقط في اتجاه الأرض؟
e. إذا رفع اللاعب الثقل خلال 2.5 s ، فما مقدار قدرته على الرفع؟
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؟
b. وما مقدار الشغل الذي بذلته على الصندوق إذا حركته مسافة 22 m ؟
c. إذا حركت الصندوق خلال 8.0 s ، فما مقدار القدرة الناتجة؟

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:

تقويم الفصل 3

فقط، ثم أخذ يعدو خلال الزمن المتبقي للسباق بسرعة منتظمة، فاحسب ما يأتي:

- متوسط القدرة المتولدة خلال الثانية الأولى.
- أقصى قدرة يولدها العداء.

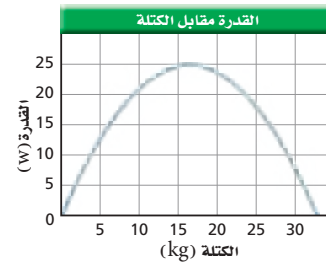
الكتابة في الفيزياء

- تعد الدراجة الهوائية آلة مركبة وكذلك السيارة أيضًا. أوجد كفاءة مكونات مجموعات القدرة (المحرك، وناقل الحركة، والإطارات)، واستكشف التحسينات الممكنة في كفاءة كل منها.
- 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.

مراجعة تراكمية

- 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)

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 3-25، الذي يعد مثالاً على منحنى القدرة الذي يطبق على الآلات كما يطبق على الإنسان. بالاعتماد على الشكل حدد عدد الصناديق التي ستحملها كل مرة والتي تقلل الزمن المطلوب، وحدد كذلك الزمن الذي تقضيه في إنجاز هذا العمل؟ ملاحظة: أهمل الزمن اللازم لعودك إلى أسفل السلم ورفع كل صندوق وإنزاله.



الشكل 3-25

- تطبيق المفاهيم** يجتاز عداء كتلته 75 kg مضمارًا طوله 50.0 m خلال 8.50 s. افترض أن تسارع العداء ثابت في أثناء السباق.
 - ما متوسط قدرة العداء خلال السباق؟
 - وما أقصى قدرة يولدها العداء؟
 - ارسم منحنى بيانيًا كميًا للقدرة مقابل الزمن يمثل مسار السباق من بدايته لنهايتته.

- تطبيق المفاهيم** إذا اجتاز العداء في السؤال السابق مضمار السباق نفسه (طوله 50.0 m) خلال الزمن نفسه (8.50 s)، لكنه هذه المرة تسارع في الثانية الأولى



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

مسافة 0.40 m. ما الفائدة الميكانيكية المثالية للنظام؟

5.0 (C) 2.5 (A)

10.0 (D) 4.0 (B)

6. يحمل شخصان صندوقين متماثلين وزن كل منهما 40.0 N إلى أعلى مستوى مائل طوله 2.00 m، وتستند نهايته إلى منصة ارتفاعها 1.00 m. فإذا تحرك أحدهما إلى أعلى المستوى المائل خلال 2.00 s، وتحرك الآخر خلال 4.00 s فما الفرق بين القدرتين اللتين يستخدمهما الشخصان في حمل الصندوقين إلى أعلى المستوى المائل؟

20 W (C) 5 W (A)

40 W (D) 10 W (B)

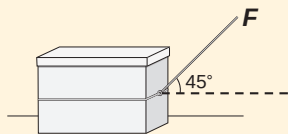
7. أثرت قدم لاعب في كرة وزنها 4 N تستقر على أرض ملعب بقوة 5 N مسافة 0.1 m بحيث تدحرجت الكرة 10 m، ما مقدار الطاقة الحركية التي اكتسبتها الكرة من اللاعب؟

9 J (C) 0.5 J (A)

50 J (D) 0.9 J (B)

الأسئلة الممتدة

8. يبين الرسم التوضيحي أدناه صندوقاً يُسحب بواسطة حبل بقوة مقدارها 200.0 N على سطح أفقي، بحيث يصنع الحبل زاوية 45° على الأفقي. احسب الشغل المبذول على الصندوق والقدرة اللازمة لسحبه مسافة 5.0 m في زمن قدره 10.0 s ($\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 0.71$)



إرشاد

اضبط الساعة وراجع التمرين مرة أخرى

عندما تخضع لاختبار تدريبي درّب نفسك على أن تنتهي كل جزء منه

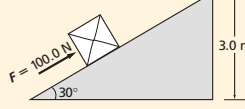
قبل الوقت المحدد، بحيث يمكنك العودة والتأكد من إجاباتك

1. يتكون نظام بكرات من بكرتين ثابتتين وبكرتين قابلتين للحركة ويرفع حملاً وزنه 300 N، فإذا استخدمت قوة مقدارها 100 N لرفع الوزن، فما الفائدة الميكانيكية للنظام؟

3 (C) $\frac{1}{3}$ (A)

6 (D) $\frac{3}{4}$ (B)

2. يُدفع الصندوق في الشكل إلى أعلى مستوى مائل ارتفاعه 3.0 m بقوة مقدارها 100.0 N فما مقدار الشغل المبذول على الصندوق؟



($\sin 30^\circ = 0.50$, $\cos 30^\circ = 0.87$, $\tan 30^\circ = 0.58$)

450 J (C) 150 J (A)

600 J (D) 260 J (B)

3. تتكون آلة مركبة من مستوى مائل وبكرة، وتستخدم لرفع الصناديق الثقيلة، فإذا كانت كفاءة سحب صندوق كتلته 100 kg إلى أعلى المستوى المائل 50 % وكانت كفاءة البكرة 90 %، فما الكفاءة الكلية للآلة المركبة؟

50 % (C) 40 % (A)

70 % (D) 45 % (B)

4. ينزلق متزلج كتلته 50.0 kg على سطح بحيرة جليدية مهملة الاحتكاك، وحينما اقترب من زميله، مدّ كلاهما يديه في اتجاه الآخر، حيث أثر فيه زميله بقوة في اتجاه معاكس لحركته، فتباطأت سرعته من 2.0 m/s إلى 1.0 m/s. ما التغير في الطاقة الحركية للمتزلج؟

-100 J (C) +25 J (A)

150 J (D) -75 J (B)

5. يتدلى قالب خشبي وزنه 20.0 N من نهاية حبل يلتف حول نظام بكرة، فإذا سحبت النهاية الأخرى للحبل مسافة 2.00 m إلى الأسفل فإن نظام البكرة يرفع القالب

الطاقة وحفظها

Energy and Its Conservation

الفصل 4

ما الذي سنتعلمه في هذا الفصل؟

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

الأهمية

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

فكر

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



تجربة استهلاكية

كيف تحلل طاقة كرة السلة المرتدة؟

سؤال التجربة ما العلاقة بين الارتفاع الذي تسقط منه كرة السلة والارتفاع الذي تصل إليه عندما ترتد إلى أعلى؟

الخطوات

1. ثبت مسطرة مترية بجانب الحائط، ثم اختر ارتفاعاً ابتدائياً لتسقط منه كرة سلة، وسجل الارتفاع في جدول البيانات.
2. أسقط الكرة، ثم سجل الارتفاع الذي ترتد إليه.
3. كرر الخطوتين 1 و 2 بإسقاط الكرة من ثلاثة ارتفاعات مختلفة.
4. ارسم رسوماً بيانية واستخدمها مثل بياناً العلاقة بين الارتفاع الذي ترتد إليه الكرة (y) والارتفاع الذي سقطت منه (x)، ثم ارسم أفضل خط يوائم البيانات.

التحليل

استخدم الرسم البياني لإيجاد الارتفاع الذي ترتد إليه الكرة إذا أسقطت من ارتفاع 10.0 m. عندما ترتفع الكرة وتتهيا للسقوط يكون لها طاقة، فما العوامل المؤثرة في هذه الطاقة؟

التفكير الناقد لماذا لا ترتد الكرة إلى الارتفاع نفسه الذي سقطت منه؟



رابط الدرس الرقمي



www.ien.edu.sa

1-4 الأشكال المتعددة للطاقة The Many Forms of Energy

الأهداف

- تستخدم نموذجاً لترابط بين الشغل والطاقة.
- تحسب الطاقة الحركية.
- تحدد طاقة الوضع الجاذبية لنظام ما.
- تبين كيفية تخزين طاقة الوضع المرونية.

المفردات

- طاقة الحركة الدورانية
- طاقة الوضع الجاذبية
- مستوى الإسناد
- طاقة الوضع المرونية



تُستخدم كلمة طاقة في سياقات مختلفة في حديثنا اليومي؛ فمثلاً تعرض بعض الإعلانات التجارية أنواعاً من الأغذية باعتبارها مصادر للطاقة، ويستخدم الرياضيون كلمة الطاقة في حديثهم عن التمارين الرياضية، كما تُسمى الشركات التي تزود منزل بالكهرباء والغاز الطبيعي أو وقود التدفئة بشركات الطاقة.

غير أن العلماء والمهندسين يستخدمون كلمة الطاقة بصورة أكثر تحديداً. فكما تعلمت سابقاً يسبب الشغل تغيراً في طاقة النظام؛ أي أن الشغل ينقل الطاقة بين النظام والمحيط الخارجي.

وستتعرف في هذا الفصل كيف يمتلك الجسم الطاقة بطرائق مختلفة، وكيف تتحول الطاقة من شكل إلى آخر، وكيف نتبّع هذه التغيرات.

نموذج لنظرية الشغل – الطاقة

A model of the Work – Energy Theorem

تعرفت سابقاً لنظرية الشغل – الطاقة، وتعلمت أنه عندما يُبذل شغل على نظام معين تزداد طاقته، ومن جهة أخرى إذا بذل النظام شغلاً تقل طاقته، وهذه هي فكرة الدرس بصورة عامة، ولكن تتبّع الطاقة يشبه إلى حد كبير تتبّع إنفاق المال.

فإذا كان لديك وظيفة فإن كمية المال التي تمتلكها تزداد في كل مرة تستلم فيها راتبك.

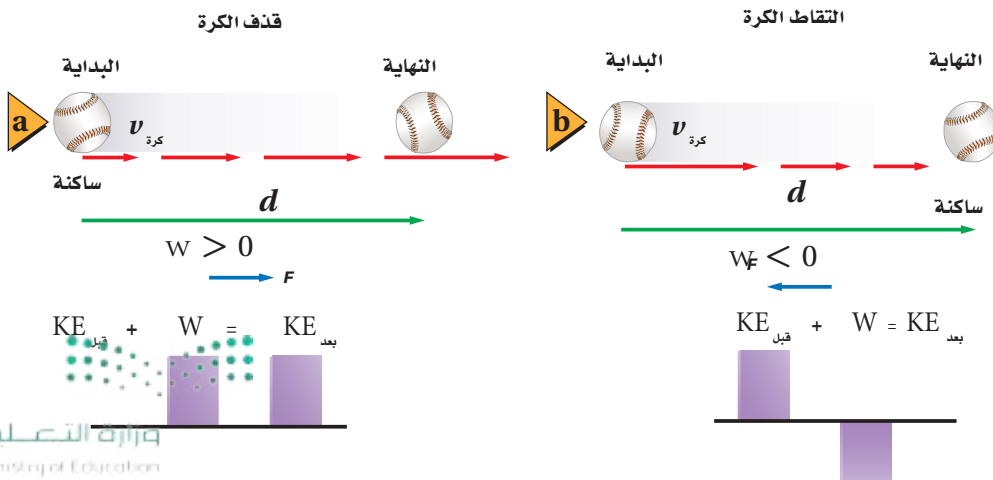
ويمكن تمثيل هذه العملية بيانياً بالأعمدة، كما في الشكل 1a-4، حيث يمثل العمود البرتقالي مقدار المال الذي بدأت به، ويمثل العمود الأزرق مقدار المال الذي دفعته أو اكتسبته، أما العمود الأخضر فيمثل المجموع الكلي للمال (بعد الدفع) سواء الذي دفعته أو كسبته. لاحظ أن المحاسب يعتبر التدفق المالي لديك موجباً إذا دُفع المال لك، أما إذا أنفقت المال الذي تمتلكه فسيكون التدفق المالي سالباً، وبذلك يقل مجموع النقود الكلي، كما في الشكل 1b-4. فالعمود الذي يمثل مقدار المال الذي تمتلكه قبل أن تشتري قرصاً مدمجاً (CD) لحاسوبك أعلى من العمود الذي يمثل مقدار المال المتبقي بعد شراء ذلك القرص، والفرق يساوي تكلفة القرص. والتدفق المالي في هذه الحالة يبينه العمود أسفل المحور؛ لأنه يمثل المال الخارج ويكون سالباً. والطاقة تشبه عملية صرفك للمال. فالطاقة إما أن يبذلها النظام أو تبذل عليه.

قذف الكرة يمكن أن نبين كسب الطاقة أو فقدها بقذف الكرة والتقاطها. تعلمت سابقاً أنه إذا أثرت بقوة ثابتة F في جسم، فتتحرك هذا الجسم مسافة d في اتجاه القوة فإنك تكون قد بذلت شغلاً يُعبر عنه بالعلاقة $W = Fd$ ، ويكون الشغل موجباً لأن القوة والحركة في الاتجاه نفسه، كما أن طاقة الجسم ازدادت بمقدار يساوي الشغل نفسه W . افترض أن هذا الجسم كرة، وأثرت فيها بقوة وحركتها أفقيّاً، فاكسبت الكرة طاقة حركية نتيجة لتأثير القوة، والشكل 2a-4 يمثل هذه العملية. كما يمكنك استخدام التمثيل البياني بالأعمدة لتوضيح هذه العملية، حيث يمثل ارتفاع العمود مقدار الشغل المبذول أو الطاقة بالجول. والطاقة الحركية بعد بذل الشغل تساوي مجموع الطاقة الحركية الابتدائية والشغل المبذول على الكرة.



الشكل 1-4 عندما تكسب مالاً
يزيد مقدار المال لديك (a)، وعندما
تصرف المال يقل مقداره لديك (b).

الشكل 2-4 الطاقة الحركية
بعد قذف الكرة أو التقاطها تساوي
الطاقة الحركية قبل عملية القذف أو
الالتقاط + الشغل المبذول.



■ الشكل 3-4 يبذل الغطاس شغلاً عندما يدفع لوح الغطس إلى أسفل ويثب عنه إلى أعلى (a)، ويتحول جزء من طاقته الحركية المتولدة عن الشغل إلى طاقة حركية دورانية عندما يدور حول مركز كتلته (b)، ويكون له طاقة حركية خطية عندما يدخل إلى الماء (c).



التقاط الكرة ماذا يحدث عندما تلتقط الكرة؟ لقد كانت الكرة تتحرك، ولها طاقة حركية قبل أن ترتطم بيدك. وعندما تلتقطها تؤثر فيها بقوة في الاتجاه المعاكس لاتجاه حركتها، لذا فإنك تبذل عليها شغلاً سالباً، مما يجعلها تتوقف، لتصبح طاقتها الحركية في النهاية صفراً. وهذه العملية ممثلة في الشكل 2b-4. لاحظ أن الطاقة الحركية موجبة دائماً، ففي حالة التقاط الكرة مثلاً، كانت الطاقة الحركية الابتدائية للكرة موجبة، والشغل المبذول على الكرة سالباً، والطاقة الحركية النهائية صفراً. مرة أخرى فإن الطاقة الحركية بعد توقف الكرة هي مجموع الطاقة الحركية الابتدائية والشغل الذي بُذل على الكرة.

الطاقة الحركية Kinetic Energy

تذكر أن الطاقة الحركية يعبر عنها بالعلاقة الآتية: $KE = \frac{1}{2}mv^2$ حيث m كتلة الجسم، و v مقدار سرعة الجسم. وتناسب الطاقة الحركية طردياً مع كتلة الجسم. فكرة حديدية مثلاً كتلتها 7.26 kg مقذوفة في الهواء لها طاقة حركية أكبر مما لكرة بيسبول كتلتها 0.148 kg لها السرعة نفسها؛ لأن كتلة الكرة الحديدية أكبر. كما تناسب الطاقة الحركية لجسم طردياً مع مربع سرعته؛ فالطاقة الحركية لسيارة تتحرك بسرعة 20 m/s تعادل أربعة أضعاف الطاقة الحركية لسيارة ماثلة لها في الكتلة تتحرك بسرعة 10 m/s. وهناك أيضاً طاقة حركية ناتجة عن الحركة الدورانية، فإذا دوّرنا لعبة البلبل مثلاً مع الحفاظ على مركز كتلتها في نقطة محددة، فهل تكون له طاقة حركية؟ لعلك تعتقد أنه لا يوجد طاقة حركية للبلبل لأنه لم ينتقل قاطعاً أي مسافة، ولكن حتى تجعل البلبل يدور لا بد أن تبذل عليه شغلاً، لذا لا بد أن يكون للبلبل **طاقة حركية دورانية**، وهذا نوع آخر من أنواع الطاقة المختلفة. وكما تعتمد الطاقة الحركية الخطية على سرعة الجسم تعتمد الطاقة الحركية الدورانية على السرعة الزاوية ω . ومن جهة أخرى فالطاقة الحركية الدورانية لا ترتبط بكتلة الجسم فقط وإنما بتوزيع هذه الكتلة أيضاً.

يمثل الشكل 3a-4 غطّاساً يقف على لوح الغطس، حيث يبذل شغلاً عندما يدفع لوح الغطس بقدميه إلى الأسفل، فيولد هذا الشغل طاقة حركية خطية وأخرى دورانية؛ حيث تتولد طاقة الحركة الخطية عندما يتحرك مركز كتلة الغطاس في أثناء الوثبة، أما طاقة الحركة الدورانية فتتولد عندما يدور حول مركز كتلته، كما في الشكل 3b-4، ولأن الغطاس يتحرك نحو الماء وفي الوقت نفسه يدور حول مركز كتلته، بينما هو في وضع الانثناء (القرفصاء)، فإن له طاقة حركية خطية وطاقة حركية دورانية. أما عندما يدخل الغطاس الماء بقامة مفرودة - كما في الشكل 3c-4 - فإن طاقته الحركية تظهر على شكل طاقة حركية خطية.

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؟
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؟
3. ضرب مذنب كتلته $7.85 \times 10^{11} \text{ kg}$ الأرض بسرعة 25.0 km/s . جد الطاقة الحركية للمذنب بوحدة الجول، وقارن بين الشغل المبذول من الأرض لإيقاف المذنب والمقدار $4.2 \times 10^{15} \text{ J}$ والذي يمثل الطاقة الناتجة عن أكبر سلاح نووي على الأرض.

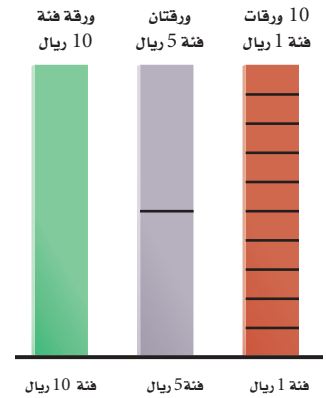
الطاقة المخزنة Stored Energy

تأمل مجموعة من القطع الصخرية في أعلى تل؛ لا بد أن هذه الصخور رُفعت إلى أعلى نتيجة عمليات جيولوجية ضد قوة الجاذبية الأرضية، ونتيجة للشغل المبذول على الصخور فقد اختُزنت فيها طاقة، وعند حدوث الانزلاقات تصبح الصخور أقل تماسكاً مع الوسط المحيط بها مما يسمح لها بالتساقط، وتزيد سرعتها في أثناء السقوط بفعل تحول الطاقة المخزنة فيها إلى طاقة حركية.

والألعاب التي تعمل بشد النابض تخزن طاقة في النابض المشدود بالطريقة نفسها. ويعتبر اختزان الطاقة في الصخور وفي النوابض أمثلة على اختزان الطاقة بطرائق ميكانيكية، وهناك طرائق أخرى لاختزان الطاقة، فمثلاً، تحتزن السيارة الطاقة في صورة طاقة كيميائية في خزان البنزين. وعموماً تتحول الطاقة من شكل إلى آخر لتكون مفيدة، أو لتسبب حركة الأشياء.

كيف يوضح نموذج المال الذي نوقش مؤخرًا تحولات الطاقة من شكل إلى آخر؟ يأتي المال أيضاً بأشكال مختلفة؛ إذ يمكن أن يكون لديك ورقة نقدية من فئة 10 ريالات، أو ورقتان من فئة 5 ريالات، أو عشر ورقات من فئة ريال واحد. وفي جميع الحالات سيكون معك عشرة ريالات، باختلاف أشكال الأوراق النقدية لم يغير من قيمتها الكلية، ويمكن تمثيل ذلك برسم بياني بالأعمدة، كما في الشكل 4-4؛ حيث يبين ارتفاع العمود مقدار المال في كل حالة. وبالمثل يمكن استخدام الرسم البياني بالأعمدة لتمثيل كمية الطاقة في أوضاع مختلفة للنظام وبالطريقة نفسها.

■ الشكل 4-4 يبين فئات نقدية مختلفة: 1 ريال، 5 ريال، 10 ريالات.



طاقة الوضع الجاذبية

Gravitational Potential Energy



■ الشكل 5-4 تتغير طاقة وضع الكرة وطاقتها الحركية باستمرار عند قذفها إلى أعلى كما يفعل اللاعب.

انظر إلى الكرات المقذوفة في الهواء في الشكل 5-4؛ إذا اعتبرنا أن النظام يتكون من كرة واحدة، فسيكون هناك عدة قوى خارجية تؤثر فيها؛ حيث تبذل قوة يد اللاعب الذي يقذفها شغلاً يعطي الكرة طاقة حركية ابتدائية. وبعد أن تخرج الكرة من يد اللاعب تتأثر بقوة الجاذبية الأرضية فقط، فما مقدار الشغل المبذول من قوة الجاذبية على الكرة في أثناء تغير ارتفاعها؟

الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية تقع الكرة تحت تأثير قوة الجاذبية F_g في أثناء صعودها إلى أعلى، وبذلك فإن اتجاه إزاحتها (إلى أعلى) يكون معاكساً لاتجاه تأثير القوة عليها (أسفل)، أي أن الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الكرة في أثناء صعودها هو شغل سالب، وإذا كان h هو الارتفاع الذي تصل إليه الكرة فوق يد اللاعب فيمكن التعبير عن شغل الجاذبية بالمعادلة الآتية: $W_g = -mgh$ ، وأما في طريق العودة (السقوط) إلى أسفل فإن قوة الجاذبية والإزاحة تكونان في الاتجاه نفسه، وعندئذ يكون شغل قوة الجاذبية الأرضية موجباً $W_g = mgh$ ؛ أثناء صعود الكرة تبذل الجاذبية شغلاً سالباً يبطئ سرعة الكرة حتى تتوقف. وفي أثناء السقوط تبذل قوة الجاذبية الأرضية شغلاً موجباً يزيد من سرعتها. لذا فإنه يزيد من طاقتها الحركية؛ أي تستعيد الكرة طاقتها الحركية الابتدائية التي كانت فيها لحظة قذفها من يد اللاعب إلى أعلى. وكأن الطاقة الحركية اختزنت في الكرة بشكل آخر من أشكال الطاقة عندما ارتفعت إلى أعلى، ثم تحولت ثانية إلى طاقة حركية عندما سقطت إلى أسفل.

تطبيق الفيزياء

طاقة وضع الذرة

من المثير للاهتمام معرفة المقادير النسبية لطاقة الوضع لكل ذرة. فعلى سبيل المثال كتلة ذرة الكربون $12 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ؛ وإذا رفعتها مسافة 1 m فوق سطح الأرض تصبح طاقة الوضع الجاذبية لها $2 \times 10^{-25} \text{ J}$ ، وطاقة الوضع الكهروستاتيكية التي تبقى للإلكترون مرتبطاً مع ذرته تساوي 10^{-19} J تقريباً، وطاقة الوضع النووية التي تربط مكونات النواة أكبر من 10^{-12} J ، أي أن طاقة الوضع النووية أكبر مليون مليون مرة على الأقل من طاقة الوضع الجاذبية.

لنأخذ نظاماً مكوناً من جسم ما والأرض، حيث تبذل قوة التجاذب بين الجسم والأرض شغلاً على الجسم ما دام الجسم يتحرك، فإذا تحرك الجسم بعيداً عن الأرض اختزنت في النظام طاقة نتيجة تأثير قوة الجاذبية بين الجسم والأرض، وتسمى هذه الطاقة **طاقة الوضع الجاذبية**، ويرمز لها بالرمز PE . ويُحدّد الارتفاع الذي يصل إليه الجسم باستخدام **مستوى الإسناد**، وهو المستوى الذي تكون طاقة الوضع PE عنده صفراً. فإذا كانت كتلة الجسم m ، وارتفاع الجسم الرأسي عن مستوى الإسناد h ، فإن طاقة الوضع الجاذبية يعبر عنها بالعلاقة:

$$PE = mgh$$

طاقة الوضع الجاذبية

طاقة الوضع الجاذبية الأرضية لجسم ما تساوي حاصل ضرب كتلته في تسارع الجاذبية الأرضية في ارتفاعه الرأسي عن مستوى الإسناد.

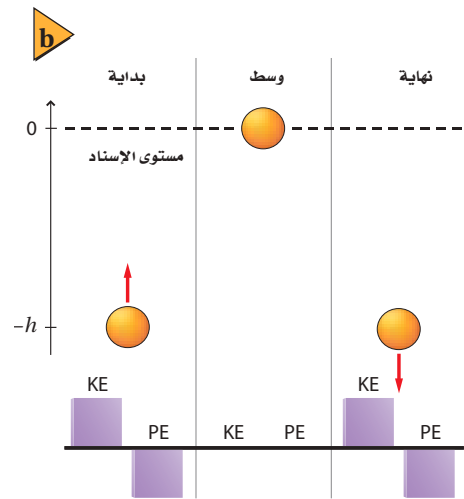
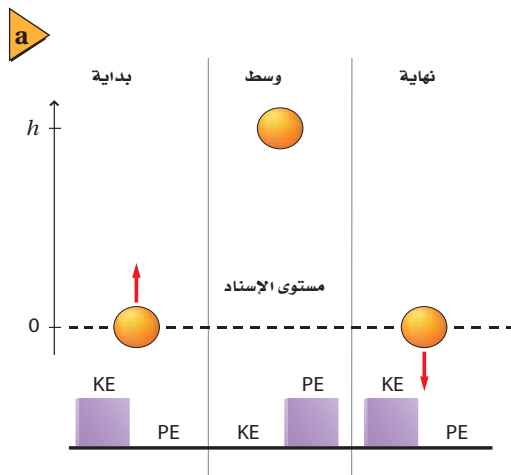
تمثل g تسارع الجاذبية الأرضية، وتقاس طاقة الوضع كما تقاس الطاقة الحركية بوحدة الجول.

طاقة الحركة وطاقة الوضع للنظام لنأخذ حالة الكرة التي تقذف إلى أعلى ثم تعاود الهبوط، والتي سبق طرحها: يتكون النظام في هذه الحالة من الكرة والأرض، وتوجد الطاقة في النظام على شكل طاقة حركية، وطاقة وضع جاذبية. وعند بداية قذف الكرة فإن طاقة النظام تتخذ شكل الطاقة الحركية، كما في الشكل 4-6a، وفي أثناء صعود الكرة إلى أعلى تتحول الطاقة الحركية تدريجياً إلى طاقة وضع، حيث تصبح سرعة الكرة صفرًا عندما تبلغ أقصى ارتفاع لها، وعندئذ تصبح الطاقة كلها طاقة وضع جاذبية فقط، وفي أثناء السقوط تتحول طاقة الوضع الجاذبية إلى طاقة حركية. ويبقى مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية ثابتًا في جميع الأوقات؛ لأنه لم يُبدل شغل على النظام من قوة خارجية.

مستوى الإسناد تعدّد يد اللاعب الذي يقذف الكرة، ويتلقفها، هي مستوى الإسناد الذي يقاس منه ارتفاع الكرة، انظر الشكل 4-6a، ولذلك عندما تكون الكرة عند يد اللاعب فإن $h = 0 \text{ m}$ و $PE = 0 \text{ J}$ ، ويمكن أخذ مستوى الإسناد عند أي ارتفاع مناسب في أثناء حل المسألة. فلو افترضنا أننا أخذنا مستوى الإسناد عند أقصى ارتفاع للكرة، فعندئذ تكون $h = 0 \text{ m}$ ، وطاقة الوضع للنظام $PE = 0 \text{ J}$ عند هذه النقطة كما في الشكل 4-6b، وتكون طاقة الوضع للنظام سالبة عند بداية قذف الكرة إلى أعلى.

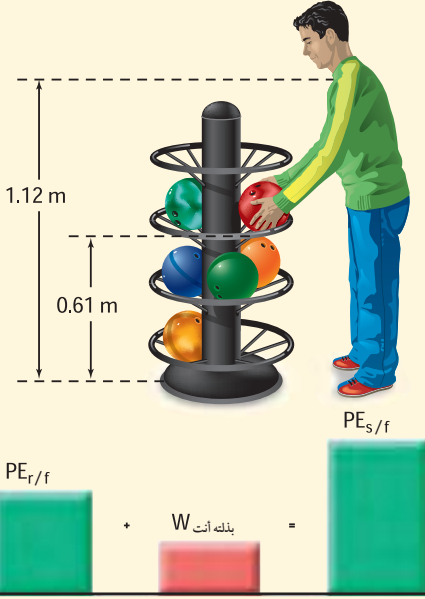
أما عند حساب المجموع الكلي للطاقة في النظام فستكون النتيجة كما في الشكل 4-6a مختلفة عن المجموع الكلي للطاقة في النظام في الشكل 4-6b، ويعود هذا إلى اختلاف مستوى الإسناد في الحالتين. لكن المجموع الكلي لطاقة النظام يبقى مقدارًا ثابتًا في جميع الأوقات خلال تحليق الكرة، وإن كانت قيمة المقدار الثابت تختلف باختلاف مستوى الإسناد في كل حالة. من جهة أخرى فإن تغيرات الطاقة هي وحدها التي تحدد حركة النظام.

■ **الشكل 4-6** تتحول طاقة الكرة من شكل إلى آخر في أثناء مراحل تحليقها المختلفة (a)، لاحظ أنه يمكن اختيار مستوى الإسناد بشكل عشوائي. وعلى الرغم من تغير المجموع الكلي للطاقة في النظام بتغير مستوى الإسناد إلا أن المجموع الكلي لطاقة النظام يبقى ثابتًا طوال مراحل التحليق (ما دام مستوى الإسناد محددًا) (b).



مثال 1

طاقة الوضع الجاذبية إذا رفعت كرة بولنج كتلتها 7.30 kg من سلة الكرات إلى مستوى كتفك، وكان ارتفاع سلة الكرات عن سطح الأرض 0.610 m، وارتفاع كتفك عن سطح الأرض 1.12 m، فما مقدار:



- طاقة الوضع الجاذبية لكرة البولنج وهي على كتفك بالنسبة إلى سطح الأرض؟
- طاقة الوضع الجاذبية لكرة بولنج على كتفك بالنسبة إلى سلة الكرات؟
- شغل الجاذبية عندما ترتفع الكرة من السلة إلى مستوى كتفك؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططاً للحالة.
- اختر مستوى إسناد.
- ارسم أعمدة بيانية بين طاقة الوضع الجاذبية على اعتبار أن سطح الأرض هو مستوى الإسناد.
- يرمز الحرف s إلى الكتف، والحرف r إلى السلة، والحرف f إلى الأرض.

المجهول

$$PE_{s/f} = ?$$

$$PE_{s/r} = ?$$

المعلوم

$$m = 7.30 \text{ kg}, g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$h_r = 0.610 \text{ m} \text{ نسبة إلى سطح الأرض}$$

$$h_s = 1.12 \text{ m} \text{ نسبة إلى سطح الأرض}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

- اختر مستوى الإسناد عند سطح الأرض.
- جد طاقة الوضع الجاذبية للكرة عند مستوى الكتف.

$$\text{عوض مستخدماً } m = 7.30 \text{ kg}, g = 9.80 \text{ m/s}^2, h = 1.12 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} PE_{s/f} &= mgh_s \\ &= (7.30 \text{ kg}) (9.80 \text{ m/s}^2) (1.12 \text{ m}) \\ &= 80.1 \text{ J} \end{aligned}$$

- افتراض أن مستوى الإسناد هو سلة الكرات.
- جد ارتفاع كتفك بالنسبة إلى سلة الكرات

$$h = h_s - h_r$$

$$\begin{aligned} PE_{s/r} &= mgh \\ &= mg(h_s - h_r) \\ &= (7.30 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)(1.12 \text{ m} - 0.610 \text{ m}) \\ &= 36.5 \text{ J} \end{aligned}$$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 287

جد طاقة وضع الكرة.

$$\text{عوض مستخدماً } m = 7.30 \text{ kg}, g = 9.80 \text{ m/s}^2, h_s = 1.12 \text{ m}, h_r = 0.610 \text{ m}$$

وهذا يساوي الشغل الذي تبذله أنت.



c. الشغل المبذول من الجاذبية هو وزن الكرة مضروباً في الارتفاع الذي وصلت إليه.

$$W = Fd$$

$$= -(mg)h$$

$$= -(mg)(h_s - h_r)$$

$$= -(7.30 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)(1.12 \text{ m} - 0.610 \text{ m})$$

$$= -36.5 \text{ J}$$

بما أن اتجاه الوزن معاكس لاتجاه حركة الكرة، فإن الشغل يكون سالباً.

عوض مستخدماً $m = 7.30 \text{ kg}$, $g = 9.80 \text{ m/s}^2$

$h_s = 1.12 \text{ m}$, $h_r = 0.610 \text{ m}$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ طاقة الوضع والشغل كلاهما يُقاس بوحدة الجول.
- هل القيمة منطقية؟ يجب أن يكون للكرة طاقة وضع أكبر بالنسبة لسطح الأرض، مقارنة بطاقتها بالنسبة لسلة الكرات؛ لأن ارتفاع الكرة فوق مستوى الإسناد أكبر.

مسائل تدريبية

4. ما مقدار طاقة الوضع لكرة البولينج في المثال 1، عندما تكون على سطح الأرض، على اعتبار مستوى الإسناد عند سلة الكرات؟
5. احسب الشغل الذي تبذله عندما تُنزل بتمهلي كيس رمل كتلته 20.0 kg مسافة 1.20 m من شاحنة إلى الرصيف؟
6. رفع طالب كتاباً 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؟
7. إذا سقطت قطعة طوب كتلتها 1.8 kg من مدخنة ارتفاعها 6.7 m إلى سطح الأرض، فما مقدار التغير في طاقة وضعها؟
8. رفع عامل صندوقاً كتلته 10.0 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)



طاقة الوضع المرونية Elastic Potential Energy

الشكل 4-7 تختزن طاقة

الوضع المرونية في وتر القوس، حيث تتخذ الطاقة كلها شكل طاقة الوضع المرونية قبل إفلات الوتر (a). أما عند إفلات الوتر فتنتقل الطاقة إلى السهم على شكل طاقة حركية (b).

عند سحب وتر كما في الشكل 4-7a يبذل شغل على القوس، مما يخزن طاقة فيه، مما يخزن طاقة فيه، لذا تزداد طاقة النظام المكوّن من القوس والسهم والأرض. وتسمى الطاقة المختزنة في الوتر المشدود **طاقة وضع مرونية**، والتي تُخزن عادة في كرات المطاط، والأربطة المطاطية، والمقاليع، ومنصات القفز. وعند إفلات الوتر يندفع السهم إلى الأمام وتتحول طاقته إلى طاقة حركية. كما في الشكل 4-7b.



الشكل 4-8 عندما يقفز

اللاعب مستعيناً بالزانة تتحول طاقة الوضع المرونية إلى طاقة حركية وطاقة وضع جاذبية.

وتختزن الطاقة أيضًا في الجسم المثني أو المحني. ففي لعبة القفز بالزانة كانت الزانات المستخدمة سابقًا لا تخزن طاقة وضع كبيرة؛ لأنها من خشب الخيزران أو من مواد فلزية قاسية يصعب انحنائها، ولذا يصعب بذل شغل عليها، ولكن بعد استحداث زانات مصنوعة من ألياف زجاجية عالية المرونة تمكن اللاعبون من تجاوز القفزات العالية السابقة، وتسجيل أرقام قياسية جديدة في اللعبة.

يركض لاعب القفز بالزانة حاملاً عصاً مرنة (الزانة)، ويغرز طرفها السفلي في تراب الملعب، وعندما ينثني اللاعب العصا كما في الشكل 4-8 فإن جزءاً من الطاقة الحركية للاعب تتحول إلى طاقة وضع مرونية. وعندما تستقيم العصا تتحول طاقة الوضع المرونية إلى طاقة وضع جاذبية، وطاقة حركية، فيرتفع اللاعب بالزانة إلى ارتفاع يصل إلى 6 m فوق سطح الأرض.

وعلى عكس القضبان الفلزية القاسية وعصي الخيزران فإن قضبان الألياف الزجاجية لها قابلية أكبر لتخزين طاقة الوضع المرونية، وقد أتاحت للاعبين القفز بالزانة الوثب عن عوارض على ارتفاعات أعلى من ذي قبل.



الكتلة قدم ألبرت أينشتاين شكلاً آخر لطاقة الوضع؛ وهو الكتلة ذاتها! حيث يقول إن الكتلة طاقة بطبيعتها، وتسمى هذه الطاقة E_0 الطاقة السكونية، ويعبر عنها بالعلاقة الآتية:

$$E_0 = mc^2$$

الطاقة السكونية

الطاقة السكونية لجسم تساوي كتلة الجسم مضروبة في مربع سرعة الضوء.

وفقاً للمعادلة السابقة، فإن ضغط النابض أو ثني الزانة يؤدي إلى إكساب كتلة للنابض أو الزانة، ويكون التغير في الكتلة في هذه الحالة قليلاً جداً، بحيث يصعب الكشف عنه، ولكن عندما نتعامل مع قوى كتلك الموجودة في نواة الذرة (القوى النووية) فإن الطاقة المتحررة نتيجة تغيرات الكتلة، والتي تظهر على أشكال مختلفة من الطاقة كالطاقة الحركية مثلاً، تكون كبيرة جداً.

1-4 مراجعة

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 مخططاً بيانياً بالأعمدة لكلا الوضعين.

13. **التفكير الناقد** استخدم زياد خرطومًا هوائيًا ليؤثر

بقوة أفقية ثابتة في قرص مطاطي موجود فوق مضمار هوائي عديم الاحتكاك، فجعل الخرطوم مصوباً نحو القرص طوال تحركه لمسافة محددة؛ ليضمن التأثير بقوة ثابتة في أثناء حركة القرص.

a. وضح ما حدث بدلالة الشغل والطاقة، واستعن برسم مخطط بياني بالأعمدة.

b. افترض أن زياداً استخدم قرصاً مطاطياً آخر كتلته نصف كتلة القرص الأول، وبقيت الظروف كلها كما هي، فكيف تتغير طاقة الحركة والشغل في هذا الوضع عن الوضع الأول؟

c. وضح ما حدث في a و b بدلالة الدفع والزخم.

9. **طاقة الوضع المرونية** لديك مسدس لعبة، تدفع

بداخله الطلقات المطاطية، فتضغط نابضاً، وعندما يتحرر النابض يطلق الرصاصات المطاطية، بفعل طاقة وضعه المرونية، إلى خارج المسدس. فإذا استخدمت هذا النظام لإطلاق الطلقات المطاطية إلى أعلى فارسم مخططاً بيانياً بالأعمدة يصف أشكال الطاقة في الحالات الآتية:

a. عند دفع الطلقات المطاطية داخل ماسورة المسدس،

مما يؤدي إلى انضغاط النابض.

b. عند تمدد النابض وخروج الطلقات من ماسورة

المسدس بعد سحب الزناد.

c. عند وصول الخرقات إلى أقصى ارتفاع لها.

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؟

11. **نظرية الشغل - الطاقة** كيف تطبق نظرية الشغل

- الطاقة عند رفع كرة البولينج من سلة الكرات إلى

كتفك؟



4-2 حفظ الطاقة Conservation of Energy

عندما تتحرك كرة قريباً جداً من سطح الأرض يكون المجموع الكلي لطاقة الوضع الجاذبية والطاقة الحركية في النظام مقداراً ثابتاً. وعند تغير ارتفاع الكرة تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع، ولكن يبقى المجموع الكلي للطاقة هو نفسه.

حفظ الطاقة Conservation of Energy

قد لا تبدو الطاقة محفوظة في حياتنا اليومية. فالقرص المطاطي في لعبة الهوكي يفقد طاقته الحركية ويتوقف عن الحركة في النهاية، حتى على السطح الجليدي الأملس. ويتوقف البندول عن الحركة بعد فترة زمنية ما. ويمكننا استخدام نموذج المال مرة أخرى لنبين ما يحدث في هذه الحالات.

افترض أن لديك 50 ريالاً، وقمت في أحد الأيام بعدد نقودك فوجدتها ناقصة 10 ريالات. فهل اختفت النقود؟ ربما تحاول أن تتذكر هل أنفقتها، وقد تحاول البحث عنها، لكنك بكل تأكيد لن تتخلى عن مبدأ "حفظ المال"، وستحاول أن تتذكر كيف أنفقت النقود، أو أين ذهبت.

قانون حفظ الطاقة يعمل العلماء كما فعلت عندما لم يكن مجموع المال صحيحاً، فإذا لاحظوا أن الطاقة تُفقد من النظام، فإنهم يبحثون عن شكل جديد يمكن أن تكون الطاقة قد تحولت إليه؛ هذا لأن المجموع الكلي للطاقة في أي نظام يبقى ثابتاً ما دام النظام مغلقاً ومعزولاً عن القوى الخارجية. وينص **قانون حفظ الطاقة** على أنه في النظام المعزول المغلق، لا تفنى الطاقة ولا تستحدث، إلا بقدرة الله تعالى، أي تبقى الطاقة محفوظة تحت هذه الشروط، وتتحول من شكل إلى آخر، بحيث يبقى المجموع الكلي للطاقة في النظام ثابتاً.

حفظ الطاقة الميكانيكية يُسمى مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية للنظام **الطاقة الميكانيكية E**. وفي أي نظام إذا لم يكن هناك أنواع أخرى من الطاقة فإن الطاقة الميكانيكية يُعبر عنها بالمعادلة:

$$E = KE + PE$$

الطاقة الميكانيكية لنظام

"الطاقة الميكانيكية لنظام تساوي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية إذا لم يكن هناك أنواع أخرى من الطاقة".

تخيل نظاماً يتكون من كرة وزنها 10.0 N والأرض، كما في الشكل 9-4، وافترض أن الكرة موجودة على ارتفاع 2.00 m فوق سطح الأرض الذي سنعدّه مستوى الإسناد، ولأن الكرة الآن لا تتحرك فإنه ليس لها طاقة حركية. ويعبر عن طاقة وضعها بالمعادلة الآتية:

$$PE = mgh = (10.0 \text{ N}) (2.00 \text{ m}) = 20.0 \text{ J}$$

إن المجموع الكلي للطاقة الميكانيكية للكرة 20.0 J، وبسقوط الكرة فإنها تفقد طاقة وضع وتكتسب طاقة حركية، وعندما تصبح الكرة على ارتفاع 1.0 m فوق سطح الأرض فإن:

$$PE = mgh = (10.0 \text{ N}) (1.00 \text{ m}) = 10.0 \text{ J}$$

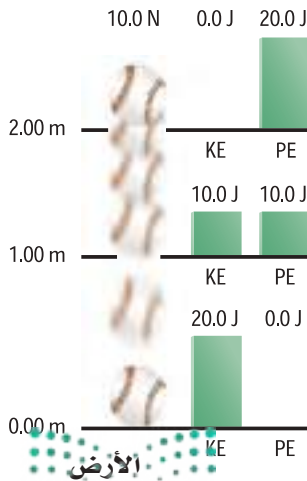
الأهداف

- تحل مسائل باستخدام قانون حفظ الطاقة.
- تحلل التصادمات لإيجاد التغير في الطاقة الحركية.

المفردات

- قانون حفظ الطاقة
- الطاقة الميكانيكية
- التصادم فوق المرن
- التصادم المرن
- التصادم العديم المرونة

الشكل 9-4 النقص في طاقة الوضع يساوي الزيادة في الطاقة الحركية.



ما مقدار الطاقة الحركية للكرة عندما تكون على ارتفاع 1.00 m من سطح الأرض؟
يتكون النظام من الكرة والأرض وهو مغلق ومعزول؛ لأنه لا يوجد قوى خارجية تؤثر فيه؛ لذا فالمجموع الكلي لطاقة النظام E يبقى ثابتاً عند 20.0 J.

$$E = KE + PE$$

$$KE = E - PE$$

$$KE = 20.0 \text{ J} - 10.0 \text{ J} = 10.0 \text{ J}$$

وعندما تصل الكرة إلى سطح الأرض تصبح طاقة وضعها صفراً، وطاقتها الحركية 20.0 J، وتكتب المعادلة التي تصف حفظ الطاقة الميكانيكية على النحو الآتي:

$$KE_{\text{قبل}} + PE_{\text{قبل}} = KE_{\text{بعد}} + PE_{\text{بعد}}$$

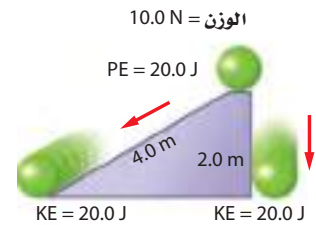
عندما تكون الطاقة الميكانيكية محفوظة فإن مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع في النظام قبل وقوع الحدث تساوي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع في النظام بعد الحدث.

ماذا يحدث إذا تدرجت الكرة على سطح مائل، كما في الشكل 10-4، بدلاً من أن تسقط رأسياً إلى أسفل؟ إذا كان السطح مهملاً الاحتكاك فهذا يعني أن النظام لم يتأثر بأية قوى خارجية، أي أن النظام مغلق ومعزول؛ لذا فإن الكرة ستسقط مسافة رأسية 2.0 m، فتفقد طاقة وضع مقدارها 20.0 J، كما في الحالة السابقة، وستكتسب طاقة حركية مقدارها 20.0 J. أي أنه في غياب الاحتكاك، لا يكون للمسار الذي تسلكه الكرة أي تأثير.

عربة التزلج في حالة التزلج على المنحدرات المتعرجة، إذا كانت العربة ساكنة في أعلى منحدر فعند هذه النقطة يكون مجموع الطاقة الميكانيكية في النظام يساوي طاقة الوضع الجاذبية. افترض وجود منحدر آخر على المسار أكثر ارتفاعاً من المنحدر الأول فإن العربة لا تستطيع الصعود إليه؛ لأن الطاقة اللازمة لذلك أكبر من الطاقة الميكانيكية في النظام.

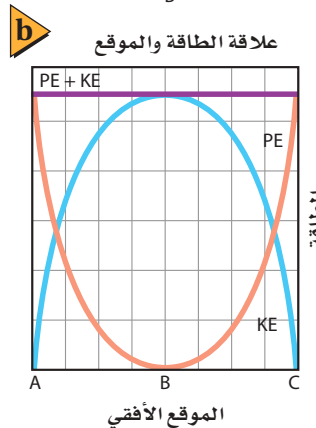
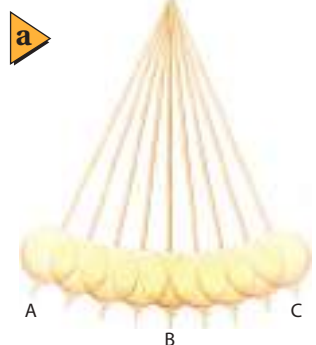
التزلج افترض أنك بدأت التزلج من السكون هابطاً منحدرًا شديد الانحدار. إن الطاقة الميكانيكية الكلية للنظام هي طاقة الوضع التي بدأت بها التزلج، وعند هبوطك المنحدر تتحول طاقة الوضع الجاذبية لديك إلى طاقة حركية، وكلما هبطت إلى أسفل تزداد سرعتك، حيث تتحول طاقة الوضع الجاذبية إلى طاقة حركية، وفي رياضة القفز عن المنحدرات الجليدية يُحدد ارتفاع قفزة اللاعب في الهواء مقدار الطاقة التي ستتحول لاحقاً إلى طاقة حركية عندما يبدأ تزلجه.

البندول تبهن الحركة التوافقية البسيطة للبندول على مبدأ حفظ الطاقة، حيث يتكون النظام من ثقل البندول المتذبذب والأرض شكل 11a-4، وعادة يختار مستوى الإسناد عند ارتفاع ثقل البندول وهو ساكن، أي عند أدنى نقطة في مسار البندول. إذا أثرت قوة خارجية في ثقل البندول فأزاحته إلى أحد الجانبين فإن القوة تبذل شغلاً يكسب النظام طاقة ميكانيكية. وفي اللحظة التي يُترك فيها البندول فإن الطاقة الكلية تتخذ شكل طاقة الوضع، وعندما يبدأ البندول أرجحته هابطاً إلى أدنى نقطة في مساره، تتحول طاقة النظام إلى طاقة حركية.



■ **الشكل 10-4** لا يؤثر المسار الذي يتبعه الجسم حتى يصل الأرض في مقدار الطاقة الحركية النهائية للجسم.

■ **الشكل 11-4** الحركة التوافقية البسيطة لرقاص البندول (a). الطاقة الميكانيكية هي مجموع طاقتي الحركة والوضع وهي مقدار ثابت (b).



■ طاقة الوضع.
■ طاقة الحركة.
■ الطاقة الكلية للنظام في أي موقع تساوي مقدار ثابت.

والشكل 11b-4 يوضح العلاقة البيانية لتغير طاقة الوضع وطاقة الحركة للبندول. فعندما يكون البندول عند أدنى نقطة في مساره تكون طاقة الوضع له صفراً، وتكون طاقته الحركية مساوية للطاقة الميكانيكية الكلية للنظام. لاحظ أن الطاقة الميكانيكية الكلية في النظام تبقى ثابتة على افتراض أن الاحتكاك معدوم.

فقدان الطاقة الميكانيكية نلاحظ في حياتنا اليومية أن تذبذب البندول يتوقف في نهاية المطاف، وأن الكرة المرتدة عن سطح الأرض تؤول إلى السكون، كما أن الارتفاع الذي تصل إليه عربة التزلج يقل تدريجياً، فأين تذهب الطاقة في هذه الأنظمة؟ يتعرض أي جسم يتحرك في الهواء لقوة مقاومة الهواء، كما تتعرض عربة قطار الملاهي لتأثير قوة الاحتكاك بين عجلات العربة والسكة.

وعندما ترتد الكرة عن سطح الأرض، لا تتحول جميع طاقة الوضع المرونية المخزنة فيها إلى طاقة حركية بعد الارتداد، بل يتحول جزء من هذه الطاقة إلى طاقة حرارية وطاقة صوتية، وفي حالتي البندول وعربة التزلج تتحول بعض الطاقة الميكانيكية الابتدائية في النظام إلى أشكال أخرى من الطاقة، إما إلى طاقة داخل أجزاء النظام أو خارجه، كما في مقاومة الهواء. وترفع عادة هذه الطاقة درجة حرارة الجسم تدريجياً، وستعرف المزيد عن هذا النوع من الطاقة المسمى الطاقة الحرارية في الفصل 5. وستساعدك الاستراتيجيات الآتية على حل المسائل المتعلقة بحفظ الطاقة.

تجربة عملية

هل الطاقة محفوظة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

استراتيجية حل المسائل

حفظ الطاقة

استعن بالاستراتيجيات الآتية عند حل المسائل المتعلقة بحفظ الطاقة:

1. حدّد النظام بدقة، وتأكد أنه مغلق (تذكر أن النظام المغلق لا يدخل إليه أو يخرج منه أي جسم).
2. عين أشكال الطاقة في النظام.
3. حدّد الوضع الابتدائي والنهائي للنظام.
4. هل النظام معزول؟

a. إذا لم تكن هناك قوة خارجية تؤثر في النظام يكون النظام معزولاً ويكون مجموع الطاقة الكلية فيه ثابتاً.

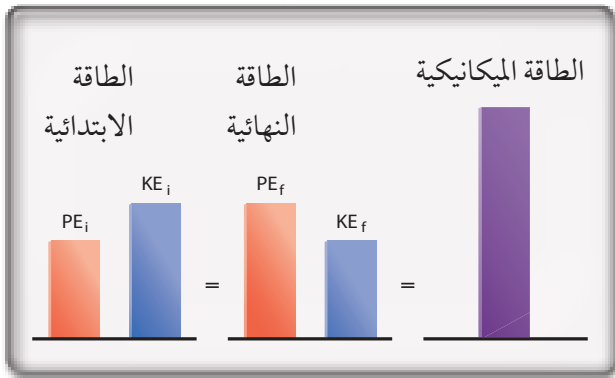
$$E_{\text{قبل}} = E_{\text{بعد}}$$

b. إذا كان هناك قوة خارجية تؤثر في النظام فإن $E_{\text{قبل}} + W = E_{\text{بعد}}$

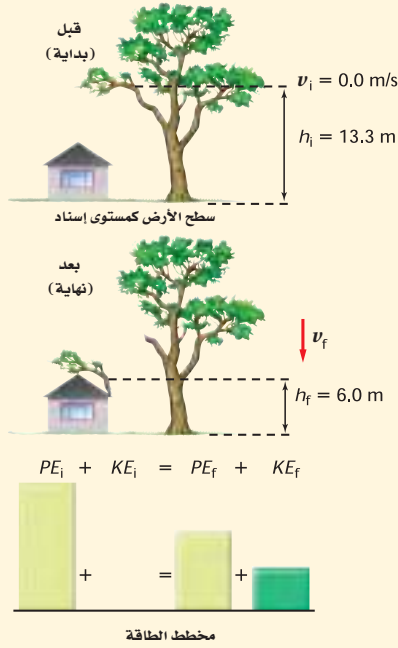
5. إذا كانت الطاقة الميكانيكية محفوظة فحدّد مستوى إسناد لحساب طاقة الوضع، ومثل بيانياً بالاعتماد على كلٍّ من

الطاقة الابتدائية والطاقة النهائية، كما في الشكل المرفق.

مخطط الطاقة



حفظ الطاقة الميكانيكية خلال إعصار، سقط غصن شجرة كبيرة كتلته 22.0 kg ومتوسط ارتفاعه عن سطح الأرض 13.3 m



على سقف كوخ يرتفع 6.0 m عن سطح الأرض. احسب مقدار:

a. الطاقة الحركية للغصن عندما يصل إلى السقف، وذلك بإهمال مقاومة الهواء.

b. سرعة الغصن عندما يصل إلى السقف.

1 تحليل المسألة ورسمها

• مثل الوضع الابتدائي والوضع النهائي.

• اختر مستوى الإسناد.

• مثل بياناً بالأعمدة.

المجهول

المعلوم

$$KE_f = ? \quad PE_i = ? \quad g = 9.80 \text{ m/s}^2, m = 22.0 \text{ kg}$$

$$v_f = ? \quad PE_f = ? \quad h_{\text{غصن}} = 13.3 \text{ m}, v_i = 0.0 \text{ m/s}$$

$$h_{\text{سقف}} = 6.0 \text{ m}, KE_i = 0.0 \text{ J}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. افترض أن مستوى الإسناد هو ارتفاع السقف، ثم أوجد الارتفاع الابتدائي للغصن بالنسبة للسقف.

$$\begin{aligned} h &= h_{\text{غصن}} - h_{\text{سقف}} \\ &= 13.3 \text{ m} - 6.0 \text{ m} \\ &= 7.3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{عوض مستخدماً } h_{\text{غصن}} = 13.3 \text{ m}, h_{\text{سقف}} = 6.0 \text{ m}$$

أوجد طاقة الوضع الابتدائية للغصن

$$\begin{aligned} PE_i &= mgh \\ &= (22.0 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)(7.3 \text{ m}) \\ &= 1.6 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{عوض مستخدماً } m=22.0 \text{ kg}, g=9.80 \text{ m/s}^2, h=7.3 \text{ m}$$

حدد الطاقة الحركية الابتدائية للغصن

غصن الشجرة في البداية ساكن

$$KE_i = 0.0 \text{ J}$$

الطاقة الحركية للغصن عندما يصل إلى السقف تساوي طاقة الوضع الابتدائية؛ لأن الطاقة محفوظة.

وبما أن الارتفاع صفر عند مستوى الإسناد فإن $PE_f = 0.0 \text{ J}$.

$$\begin{aligned} KE_f &= PE_i \\ &= 1.6 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

b. أوجد سرعة الغصن.

$$KE_f = \frac{1}{2}mv_f^2$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2KE_f}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(1.6 \times 10^3 \text{ J})}{22.0 \text{ kg}}}$$

$$= 12 \text{ m/s}$$

عوض مستخدماً $KE_f = 1.6 \times 10^3 \text{ J}$, $m = 22.0 \text{ kg}$

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ تقاس السرعة بوحدة m/s ، والطاقة بوحدة $\text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$.

• هل الإشارات منطقية؟ الطاقة الحركية (KE) ومقدار السرعة دائماً موجب.

مسائل تدريبية

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 بالدراجة، فاحسب الارتفاع الذي ستوقف عنده الدراجة بإهمال المقاومات.
15. افترض أن السائق في السؤال السابق استمر في الحركة عن طريق التدوير المستمر للبدالات (الدوَّاسات) ولم يتوقف، ففي أي نظام تعتبر الطاقة محفوظة؟ وأي أشكال الطاقة اكتسبت منها الدراجة طاقتها؟
16. بدأ متزلج بالانزلاق من السكون من قمة تل ارتفاعه 45.0 m يميل بزاوية 30° على الأفقي في اتجاه الوادي، ثم استمر 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؟
17. تقرر في إحدى مسابقات الغوص أن يكون الرابع هو من يثير أكبر كمية من رذاذ الماء عندما يغوص فيه. ولا تعتمد كمية الرذاذ على طريقة الغوص فقط، وإنما على مقدار الطاقة الحركية للغواص أيضاً. 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 رذاذاً مساوياً لما أثاره الغواص الأول؟

تحليل التصادمات Analyzing collisions

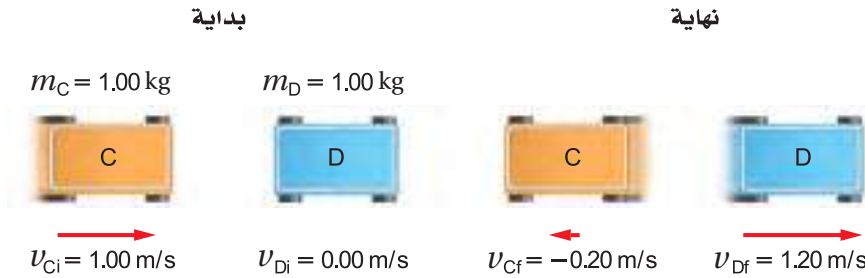
من الحالات الشائعة التي تُطرح في موضوعات الفيزياء التصادم بين السيارات، أو اللاعبين، أو الجسيمات المكونة للذرة، بعضها مع بعض. وعادة ما تكون تفاصيل التصادم معقدة جدًا في أثناء التصادم. لذلك تعتمد استراتيجية التعامل مع التصادم على دراسة حركة الأجسام قبل التصادم مباشرة، وبعده مباشرة. لكن ما الكميات الفيزيائية المحفوظة لنستخدم قوانينها عند تحليل النظام؟ إذا كان النظام معزولاً فإن الزخم والطاقة محفوظان، إلا أن طاقة الوضع أو الطاقة الحرارية في النظام يمكن أن تقل، أو تبقى ثابتة، أو تزداد؛ لذا لا نستطيع أن نقرر هل الطاقة الحركية محفوظة أم لا. ويبين الشكل 12-4 ثلاثة أنواع مختلفة من التصادمات. ففي الحالة 1 زخم النظام قبل التصادم وبعده يعبر عنه بالمعادلة:

$$p_i = p_{ci} + p_{Di} = (1.00 \text{ kg})(1.00 \text{ m/s}) + (1.00 \text{ kg})(0.00 \text{ m/s}) \\ = 1.00 \text{ kg.m/s}$$

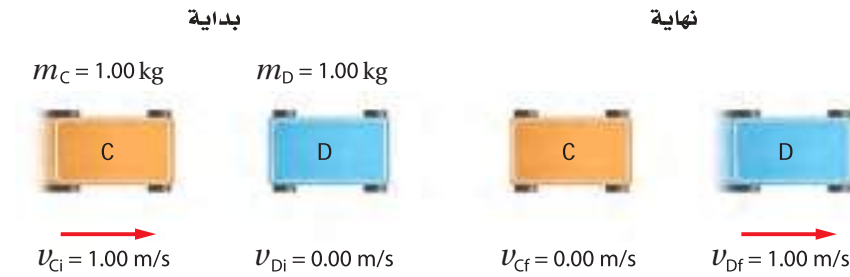
$$p_f = p_{cf} + p_{Df} = (1.00 \text{ kg})(-0.20 \text{ m/s}) + (1.00 \text{ kg})(1.20 \text{ m/s}) \\ = 1.00 \text{ kg.m/s}$$

لذا فإن الزخم في الحالة 1 محفوظ. انظر مجددًا الشكل 12-4، ويبيّن أن الزخم محفوظ في الحالتين 2 و 3.

الحالة 1



الحالة 2



الحالة 3



■ الشكل 12-4 يمكن أن يحدث جسمان متحركان تصادمات مختلفة، الحالة 1 يتباعد الجسمان في اتجاهين متعاكسين. الحالة 2 يتوقف الجسم المتحرك ويتحرك الجسم الساكن. وفي الحالة 3 يلتحم الجسمان ويتحركان كجسم واحد.



والآن لندرس الطاقة الحركية في النظام في كل حالة من الحالات الثلاث: ففي الحالة 1 يعبر عن الطاقة الحركية للنظام قبل التصادم وبعده بالمعادلة الآتية:

$$KE_{Ci} + KE_{Di} = \frac{1}{2} (1.00 \text{ kg}) (1.00 \text{ m/s})^2 + \frac{1}{2} (1.00 \text{ kg}) (0.00 \text{ m/s})^2 = 0.50 \text{ J}$$

$$KE_{Cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2} (1.00 \text{ kg}) (-0.20 \text{ m/s})^2 + \frac{1}{2} (1.00 \text{ kg}) (1.20 \text{ m/s})^2 = 0.74 \text{ J}$$

أي زادت الطاقة الحركية للنظام في الحالة 1. وإذا كانت الطاقة محفوظة في النظام فلا بد أن واحدًا أو أكثر من أشكال الطاقة قد قل، ربما انفلت نابض مضغوط في أثناء تصادم العربتين مما زود النظام بطاقة حركية، وهذا النوع من التصادم يُسمى **التصادم فوق المرن** superelastic أو الانفجاري explosive. أما الطاقة الحركية بعد التصادم في الحالة 2 فتساوي:

$$KE_{Ci} + KE_{Di} = \frac{1}{2} (1.00 \text{ kg}) (0.00 \text{ m/s})^2 + \frac{1}{2} (1.00 \text{ kg}) (1.0 \text{ m/s})^2 = 0.50 \text{ J}$$

أي أن الطاقة الحركية بعد التصادم كما هي قبل التصادم، ويسمى هذا النوع من التصادم الذي لا تتغير فيه الطاقة الحركية **التصادم المرن** elastic collision، وعادة ما تسمى التصادمات التي تحدث بين الأجسام المرنة الصلبة - ومنها الأجسام المصنوعة من الفولاذ والزرجاج أو البلاستيك الصلب - بالتصادمات شبه المرنة.

أما الطاقة الحركية بعد التصادم في الحالة 3 فهي

$$KE_{Ci} + KE_{Di} = \frac{1}{2} (1.00 \text{ kg}) (0.50 \text{ m/s})^2 + \frac{1}{2} (1.00 \text{ kg}) (0.50 \text{ m/s})^2 = 0.25 \text{ J}$$

أي أن الطاقة الحركية قلت لتحوّل جزء منها إلى طاقة حرارية. ويسمى هذا النوع من التصادم الذي تقل فيه الطاقة الحركية **بالتصادم العديم المرونة** inelastic collision، والأجسام المصنوعة من مواد ناعمة أو لزجة مثل الطين تتبع هذا النوع من التصادم.

يمكن تمثيل أنواع التصادم الثلاثة باستخدام التمثيل البياني بالأعمدة انظر إلى الشكل 13-4، كما يمكن أيضًا حساب الطاقة الحركية قبل التصادم وبعده، ويكون الفرق في الطاقة الحركية هو التغير في الأشكال الأخرى للطاقة، إذ تتحول الطاقة الحركية في تصادم السيارات إلى أنواع أخرى من الطاقة، منها الطاقة الحرارية والطاقة الصوتية.

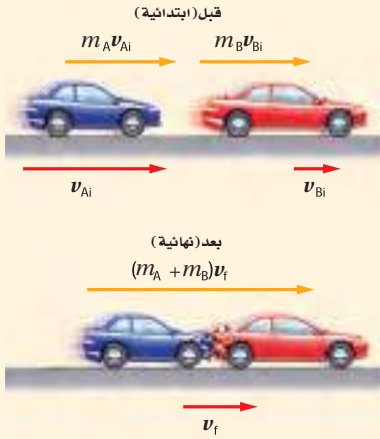


الطاقة الحركية تتحرك سيارة صغيرة كتلتها 575 kg بسرعة 15.0 m/s، ثم اصطدمت بمؤخرة سيارة أخرى كتلتها 1575 kg تتحرك بسرعة 5.00 m/s في الاتجاه نفسه.

a. ما السرعة النهائية للسيارتين إذا التحتما معًا وكوّنتا جسمًا واحدًا؟

b. ما مقدار الطاقة الحركية المفقودة نتيجة التصادم؟

c. ما نسبة الطاقة الحركية المفقودة إلى مقدار الطاقة الأصلية؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الوضع الابتدائي والوضع النهائي.
- مثل مخطط الزخم.

المعلوم

المجهول

$$v_f = ? , \Delta KE = KE_f - KE_i = ?$$

$$m_A = 575 \text{ kg}, m_B = 1575 \text{ kg}$$

$$\Delta KE / KE_i = ? \text{ نسبة الطاقة الحركية المفقودة}$$

$$v_{Ai} = 15.0 \text{ m/s}, v_{Bi} = 5.00 \text{ m/s}$$

$$v_{Af} = v_{Bf} = v_f$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 289

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم معادلة حفظ الزخم لإيجاد السرعة النهائية.

$$p_{Ai} + p_{Bi} = p_{Af} + p_{Bf}$$

$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = (m_A + m_B) v_f$$

$$v_f = \frac{(m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi})}{(m_A + m_B)}$$

$$= \frac{(575 \text{ kg})(15.0 \text{ m/s}) + (1575 \text{ kg})(5.00 \text{ m/s})}{(575 \text{ kg} + 1575 \text{ kg})}$$

$$= 7.67 \text{ m/s} \text{ في اتجاه الحركة نفسه قبل التصادم}$$

$$m_A = 575 \text{ kg}, v_{Ai} = 15.0 \text{ m/s} \text{ عوض مستخدمًا}$$

$$m_B = 1575 \text{ kg}, v_{Bi} = 5.00 \text{ m/s}$$

b. لتحديد التغير في الطاقة الحركية للنظام نحتاج إلى KE_i و KE_f

$$KE_f = \frac{1}{2} m v^2$$

$$= \frac{1}{2} (m_A + m_B) v_f^2$$

$$= \frac{1}{2} (575 \text{ kg} + 1575 \text{ kg}) (7.67 \text{ m/s})^2$$

$$= 6.32 \times 10^4 \text{ J}$$

$$m = m_A + m_B \text{ عوض مستخدمًا}$$

$$m_A = 575 \text{ kg}, m_B = 1575 \text{ kg}, v_f = 7.67 \text{ m/s} \text{ عوض مستخدمًا}$$

$$KE_i = KE_{Ai} + KE_{Bi}$$

$$= \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2$$

$$= \frac{1}{2} (575 \text{ kg}) (15.0 \text{ m/s})^2 + \frac{1}{2} (1575 \text{ kg}) (5.00 \text{ m/s})^2$$

$$= 8.44 \times 10^4 \text{ J}$$

$$KE_{Ai} = \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2, KE_{Bi} = \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2 \text{ عوض مستخدمًا}$$

$$m_A = 575 \text{ kg}, m_B = 1575 \text{ kg}, \text{ عوض مستخدمًا}$$

$$v_{Ai} = 15.0 \text{ m/s} \text{ و } v_{Bi} = 5.00 \text{ m/s}$$

أوجد التغير في الطاقة الحركية للنظام.

$$\Delta KE = KE_f - KE_i$$

$$= 6.32 \times 10^4 \text{ J} - 8.44 \times 10^4 \text{ J}$$

$$= -2.12 \times 10^4 \text{ J}$$

$$KE_f = 6.32 \times 10^4 \text{ J}, KE_i = 8.44 \times 10^4 \text{ J}$$

c. أوجد نسبة الطاقة الحركية المفقودة إلى الطاقة الحركية الأصلية.

$$\frac{\Delta KE}{KE_i} = \frac{-2.12 \times 10^4 \text{ J}}{8.44 \times 10^4 \text{ J}} = -0.251$$

$$\Delta KE = -2.12 \times 10^4 \text{ J}, KE_i = 8.44 \times 10^4 \text{ J}$$

نسبة الطاقة الحركية المفقودة إلى الطاقة الحركية الأصلية للنظام 25.1 %

3 تقويم الإجابة

- هل الوحدات صحيحة؟ تقاس السرعة بوحدة m/s، وتقاس الطاقة بوحدة J.
- هل الإشارات منطقية؟ السرعة موجبة، مما يتوافق مع السرعات الابتدائية.

مسائل تدريبية

18. انطلقت رصاصة كتلتها 8.00 g أفقيًا 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. ما مقدار السرعة الابتدائية للرصاصة؟
19. هدف مغناطيسي كتلته 0.73 kg معلق بخيط، أُطلق سهم حديدي كتلته 0.0250 kg أفقيًا في اتجاه الهدف، فاصطدم به، والتحما معًا، وتحركا كبدول ارتفع 12.0 cm فوق المستوى الابتدائي قبل أن يتوقف لحظيًا عن الحركة.
 - a. مثل الحالة (الوضع)، ثم اختر النظام.
 - b. حدّد الكمية الفيزيائية المحفوظة في كل جزء من أجزاء الحركة كلها، ثم فسر ذلك.
 - c. ما السرعة الابتدائية للسهم؟
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.
 - b. ما مقدار سرعة اللاعبين بعد التصادم؟
 - c. ما مقدار الطاقة المفقودة في التصادم؟



تحويل الطاقة

1. اختر كرات فولاذية مختلفة الحجم، ثم أوجد كتلتها.
2. ثبت عربة ميكانيكية ذات نابض رأسي على أن يكون نابضها متجهًا إلى أعلى.
3. ثبت مسطرة رأسيًا بجوار النابض لقياس ارتفاع الكرة.
4. ضع إحدى الكرات على الطرف العلوي للنابض، واضغط النابض إلى أسفل حتى تتلامس الكرة مع العربة.
5. اترك الكرة بسرعة ليدفعها النابض رأسيًا إلى أعلى.
6. كرر الخطوات عدة مرات للكرة ذاتها، ثم احسب متوسط الارتفاع.
7. قدّر ارتفاع الكرات الفولاذية المختلفة في الحجم.

التحليل والاستنتاج

8. رتب الكرات وفق الارتفاع الذي تصل إليه. ماذا تستنتج؟

يمكنك أن ترى أن هناك اختلافًا حقيقيًا بين الزخم والطاقة. فالزخم غالبًا ما يكون محفوظًا في التصادم أيًا كان نوعه، أما الطاقة فتكون محفوظة فقط في التصادمات المرنة، والزخم هو الذي يوقف الأجسام؛ فمثلاً جسم كتلته 10.0 kg، ويتحرك بسرعة 5.00 m/s يمكنه إيقاف جسم آخر كتلته 20.0 kg يتحرك بسرعة 2.5 m/s عندما يصطدمان، على الرغم من أن الطاقة الحركية للجسم الصغير الكتلة في هذه الحالة أكبر من الطاقة الحركية للجسم الكبير الكتلة، فالطاقة الحركية للجسم الأصغر هي: $KE = \frac{1}{2}(10.0 \text{ kg})(5.0 \text{ m/s})^2 = 125 \text{ J}$ ، أما الطاقة الحركية للجسم الأكبر فهي $KE = \frac{1}{2}(20.0 \text{ kg})(2.50 \text{ m/s})^2 = 62.5 \text{ J}$. ويمكنك اعتمادًا على نظرية الشغل - الطاقة أن تستنتج أنه لجعل الجسم الذي كتلته 10.0 kg يتحرك بسرعة 5.00 m/s فإنه يتطلب شغلًا أكبر من الشغل اللازم لجعل الجسم الذي كتلته 20.0 kg يتحرك بسرعة 2.50 m/s. في تصادم السيارات يؤدي الزخم إلى إيقافها، أما الطاقة فإنها تسبب الضرر (التحطم) الذي يلحق بها.

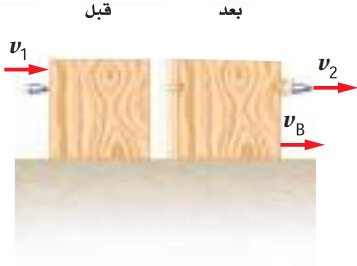
ومن الممكن إيجاد تصادم دون حدوث ارتطام فعلي بين الأجسام. فإذا وصلت عربتا مختبر بنابض مضغوط دون حركة على طاولة، يكون مجموع الزخم للعربتين صفرًا، وعند إفلات النابض تبتعد العربتان إحداهما عن الأخرى، حيث تتحول طاقة الوضع في النابض إلى طاقة حركية في العربتين. ولأن العربتين تبتعد إحداهما عن الأخرى فيكون مجموع الزخم صفرًا.

من المفيد ذكر مثالين لتصادمين بسيطين. المثال الأول لتصادم مرّن بين جسمين متساويين في الكتلة، مثل تصادم كرة بلياردو متحركة بسرعة متجهة v بكرة بلياردو أخرى ساكنة، حيث تتوقف الكرة الأولى بعد التصادم، وتتحرك الكرة الأخرى بالسرعة المتجهة نفسها v . ومن السهل إثبات مبدأ حفظ الزخم وحفظ الطاقة في هذا التصادم.

والمثال الثاني لتصادم يحدث بين متزلجين؛ المتزلج الأول كتلته m ، ويتحرك بسرعة متجهة v في اتجاه متزلج آخر ساكن له الكتلة ذاتها، فيصطدم به ويلتصقان معًا بعد التصادم ويتحركان كجسم واحد، ونتيجة لحفظ الزخم لا بد أن تكون سرعتها معًا $\frac{1}{2}v$. إن الطاقة الحركية النهائية للمتزلجين $KE = \frac{1}{2}(2m)(\frac{1}{2}v)^2 = \frac{1}{4}mv^2$ هي نصف الطاقة الحركية الابتدائية، وذلك لأن التصادم عديم المرونة.

لقد درست حالات طبقت فيها قانون حفظ الطاقة، وفي بعض الأحيان قانون حفظ الزخم لتحديد حركة الأجسام المكونة للنظام. إن فهم أنظمة الأجسام باستخدام قانون نيوتن الثاني في الحركة وحده قد يكون بالغ التعقيد. ولذلك يعد فهم أشكال الطاقة في النظام، وتحولاتها من شكل لآخر أحد أكثر المفاهيم فائدة في العلوم. ويظهر مفهوم حفظ الطاقة كثيرًا في البحوث العلمية والتطبيقات الكهربائية والتجارية، حيث يستخدمه العلماء لاستقصاء موضوعات أكثر تعقيدًا من تصادم كرات البلياردو.





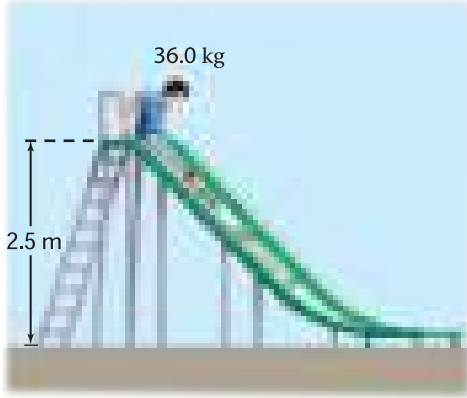
تحركت رصاصة كتلتها m بسرعة v_1 فاخترقت قطعة خشب ساكنة وخرجت منها بسرعة v_2 ، فإذا كانت كتلة القطعة الخشبية m_B ، وتحركت بعد التصادم بسرعة v_B ، فما مقدار:

1. السرعة النهائية لقطعة الخشب v_B ؟
2. الطاقة التي فقدتها للرصاصة؟
3. الطاقة التي فقدت بسبب الاحتكاك داخل القطعة الخشبية؟

4-2 مراجعة

كم مرة ستصطدم الكرة بالأرض حتى تصل إلى ارتفاع 4 m بعد الارتداد؟

26. **الطاقة** ينزل 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

27. **التفكير الناقد** سقطت كرة من ارتفاع 20.0 m وعندما وصلت إلى نصف الارتفاع، أي 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؟



21. **النظام المغلق** هل الأرض نظام مغلق ومعزول؟ دعم إجابتك.

22. **الطاقة** قفز طفل عن منصة القفز (منصة البهلوان)، ارسم تمثيلاً بيانياً بالأعمدة يبين أشكال الطاقة الموجودة في الأوضاع الآتية:

- 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؟

24. **الطاقة الحركية** تكون الكرة المستخدمة في تنس الطاولة كرة خفيفة جداً وصلبة، وتضرب بمضرب صلب (خشبي مثلاً). أما في التنس الأرضي فتكون الكرة أكثر ليونة، وتضرب بمضرب شبكي. فلماذا صُممت الكرة والمضرب في كل لعبة بهذه الطريقة؟ وهل تستطيع التفكير في كيفية تصميم كرة ومضرب تستخدمان في ألعاب رياضية أخرى؟

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.

مختبر الفيزياء

حفظ الطاقة Conservation of Energy

يوجد عدة أمثلة لحالات تكون فيها الطاقة محفوظة، منها سقوط صخرة من ارتفاع معلوم. فإذا سقطت الصخرة من السكون تكون طاقتها عند البدء طاقة وضع فقط، وفي أثناء السقوط تقل طاقة الوضع بتناقص الارتفاع، وفي الوقت نفسه تزداد الطاقة الحركية. ويبقى مجموع طاقتي الحركة والوضع ثابتاً إذا أهملنا الاحتكاك. وعند لحظة اصطدام الصخرة بالأرض فإن طاقة الوضع كلها تكون قد تحولت إلى طاقة حركية. ستصمم في هذه التجربة نموذجاً لإسقاط جسم من ارتفاع معين وتحسب سرعته عندما يرتطم بالأرض.

سؤال التجربة

كيف يوضح "تحول طاقة الوضع لجسم ما إلى طاقة حركية" مبدأ حفظ الطاقة؟

الخطوات

المواد

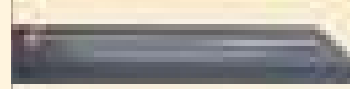
1. ثبت القطعتين ذواتي الأخدود كما في الشكل 1. وارفع طرف أحد المسارين ليرتكز على القطعة الخشبية، بحيث تبعد نقطة ارتكازه على الخشبة مسافة 5 cm عن طرف المسار. تأكد أنه يمكن للكرة التدحرج بسهولة عبر نقطة اتصال المسارين.
2. سجل طول الجزء الأفقي من المسار في جدول البيانات. وضع كرة على المسار فوق القطعة الخشبية مباشرة واترك الكرة لتتدحرج. شغل ساعة إيقاف عندما تصل الكرة إلى نهاية المسار الأفقي، ثم أوقفها عندما تصل الكرة إلى نهاية المسار الأفقي. وسجل الزمن اللازم للكرة لقطع المسافة الأفقية في جدول البيانات.
3. حرك القطعة الخشبية بحيث تصبح تحت نقطة منتصف الجزء المائل من المسار كما في الشكل 2. وضع الكرة على المسار فوق القطعة الخشبية مباشرة، ثم اترك الكرة لتتدحرج وقس الزمن اللازم لقطع الجزء الأفقي من المسار وسجله في جدول البيانات. ولاحظ أنه حتى لو ارتفع السطح المائل فإن الكرة تسقط من الارتفاع نفسه كما في الخطوة 2.
4. احسب سرعة الكرة على المسار الأفقي في الخطوتين 2 و3، وحرك القطعة الخشبية الآن إلى نقطة تشكّل ثلاثة أرباع طول السطح المائل كما في الشكل 3.
5. توقع الزمن اللازم لوصول الكرة إلى نهاية السطح الأفقي للمسار، وسجل توقعك ثم اختبره.

- تحسب سرعة الجسم الساقط عند لحظة ارتطامه بالأرض باستخدام النموذج.
- تفسر البيانات لإيجاد علاقة بين طاقة وضع الجسم الساقط وطاقته الحركية.



البيانات السلامة

شكل 1



شكل 2



شكل 3



أجهزة والأدوات

قطعتان خشبيتان أو بلاستيكيتان محفور فيهما أخدود (مسار) مستقيم يتكون من جزأين، ميزان إلكتروني، كرة فولاذية أو زجاجية، مسطرة مترية، ساعة إيقاف، آلة حاسبة بيانية، قطعة خشبية.

ملاحظة: يفضل استخدام بوابات إلكترونية لقياس السرعة على المسار الأفقي، أو المؤقت ذي الشريط الورقي، وفي حال عدم توافر أي منهما يجب أن لا يقل طول المسار الأفقي عن 1.5 m.

4. استخدم بيانات السرعة في الخطوة 9 عند ارتفاع السقوط 8 cm في حساب الطاقة الحركية للكرة في المستوى الأفقي للمسار. وتذكر أن وحدة قياس السرعة m/s والكتلة بوحدة kg.

الاستنتاج والتطبيق

- أوجد معادلة حساب السرعة y بدلالة الارتفاع x ، وابدأ من $PE_i = KE_f$.
- هل تتفق العلاقة المستنتجة في السؤال السابق مع العلاقة من الرسم البياني؟
- طبق العلاقة التي استنتجتها لحساب الارتفاع الذي يجب أن تسقط الكرة منه لتكون سرعتها على المسار الأفقي ضعف ما كانت عليه عندما أسقطت من ارتفاع 2 cm.
- وضح كيف تمثل هذه التجربة نموذجاً لسقوط الكرة مباشرة في اتجاه الأرض، ومن ثم تحديد الطاقة الحركية للكرة لحظة ارتطامها بالأرض.
- قارن** قارن بين طاقة الوضع للكرة قبل السقوط والطاقة الحركية للكرة على السطح الأفقي (الخطوتان 8، 9) ووضح لماذا تساوتا أو اختلفتا؟
- استخلص النتائج** هل تثبت هذه التجربة قانون حفظ الطاقة؟ وضح ذلك.

التوسع في البحث

ما مصادر الخطأ في هذه التجربة؟ وكيف تستطيع التقليل منها؟

التعميم والتطبيق

كيف توضح حركة العربات على المسارات المتعرجة في مدينة الملاهي مبدأ حفظ الطاقة بتحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركية؟

جدول البيانات

ارتفاع نقطة السقوط (m)	المسافة الأفقية (m)	الزمن (s)	السرعة (m/s)
0.05			
0.05			
0.05			
0.01			
0.02			
0.03			

- ضع القطعة الخشبية بصورة ثابتة عند منتصف السطح المائل كما في الشكل 2، ثم حدد نقطة على السطح المائل على أن ترتفع 1 cm عن المستوى الأفقي للمسار، وليس 1 cm فوق سطح الطاولة.
- دع الكرة تتدحرج من هذه النقطة، وقس الزمن اللازم لقطع طول المسار الأفقي وسجله في جدول البيانات.
- حدد نقطة على السطح المائل باستخدام مسطرة على أن ترتفع هذه النقطة 2 cm فوق السطح الأفقي للمسار، ودع الكرة تتدحرج من هذه النقطة، ثم قس الزمن اللازم لقطع طول المسار الأفقي وسجله في جدول البيانات.
- أعد الخطوة 8 من ارتفاع 6 cm، 5 cm، 4 cm، 3 cm، 8 cm، 7 cm، وسجل الزمن.

التحليل

- استدل** ما أثر تغير ميل السطح المائل في سرعة الكرة على السطح الأفقي للمسار في الخطوات 6-2؟
- حلل** ارسم رسماً بيانياً يمثل سرعة الكرة على المسار الأفقي (y) مقابل الارتفاع الذي سقطت منه الكرة (x). هل العلاقة خطية؟ ثم ارسم رسماً بيانياً يمثل مربع السرعة مقابل الارتفاع. هل العلاقة خطية الآن؟
- استخدم المعلومات في الخطوة 9 عند ارتفاع السقوط 8 cm لإيجاد طاقة الوضع للكرة قبل سقوطها مباشرة. استخدم الميزان الإلكتروني لإيجاد كتلة الكرة، ولا حظ أن الارتفاع يجب أن يكون مقيساً بوحدة m ، والكتلة بوحدة kg .



التقنية والمجتمع

Running Smarter

تقنيات ذكية للجري

حذاء الجري يزيد الأداء يؤثر نظام وسادة الامتصاص في الحذاء في استهلاك الطاقة؛ فالعظام والعضلات والأربطة والأوتار تشكل نظام امتصاص طبيعي، ولكن استخدام هذا النظام الطبيعي يستهلك قدرًا من طاقة الجسم، وعند استخدام نظام الامتصاص في الحذاء يتمكن الجسم من تحويل هذه الطاقة المخزنة للاستخدام في انقباض العضلات، حيث يستغلها اللاعب في الجري بسرعة أكبر.

توظف الأحذية الرياضية قانون حفظ الطاقة؛ فهي مزودة بنعل داخلي ذي بطانة مرنة يعيد للاعب أكبر مقدار ممكن من الطاقة التي يستهلكها، حيث تتحول الطاقة الحركية للاعب إلى طاقة وضع مرونية وطاقة حرارية عندما تضرب قدم اللاعب أرضية الملعب. وإذا استطاع اللاعب التقليل من الطاقة الحرارية الضائعة تتحول طاقة الوضع المرونية مرة أخرى إلى طاقة حركية مفيدة.



وتستخدم عادة المواد المرنة والليونة والمطاطية التي تقاوم التحطم في صناعة بطانة النعل الداخلي للحذاء، ومن أمثلتها لبادة جل السليكون، ونظم الموائع المعقدة والنوابض.

الفيزياء والأحذية الرياضية أصبحت أحذية الجري اليوم ذات تقنية عالية ومدهشة، وقد تحسّن أدائها بصورة رائعة، بحيث تحمي الجسم وتعمل عمل ماص للصدمات. كيف يساعدك حذاء الجري على الفوز في المسابقة؟ يقلل حذاء الجري من استهلاك الطاقة كما يجعلك توظفها بفاعلية أكبر.

ويكون الحذاء الرياضي الجيد مرناً بصورة كافية للانحناء مع قدمك في أثناء الجري، ويدعم قدميك ويثبتها في مكانها، وهو خفيف الوزن يشدّ قدميك ويمنعها من الانزلاق.

حذاء الجري ماص للصدمة هناك اهتمام كبير بتقنيات وسادة الامتصاص في حذاء الجري، وتطوير دوره الأساسي بوصفه ماصاً للصدمات وتحسين عمله. يدفع حذاء لاعب الجري الأرض، وفي الوقت نفسه تؤثر الأرض في الحذاء بمقدار القوة نفسه في الاتجاه المعاكس. ويساوي مقدار هذه القوة أربعة أمثال وزن اللاعب تقريباً. كما تسبب هذه القوة الألم والجهد، والتهاب عضلة الساق، وتؤدي الكاحل والركبة خلال الجري لمسافات طويلة.

وتستخدم وسادة الامتصاص في حذاء الجري لتقليل القوة التي يمتصها اللاعب؛ فعندما تضرب قدم اللاعب الأرض وتتوقف يتغير زخمها. ويعبر عن التغير في الزخم بـ $\Delta p = F\Delta t$ ، حيث F القوة المؤثرة في الجسم، Δt زمن تأثير القوة. وتعمل البطانة هنا على جعل زمن التغير في الزخم طويلاً، مما يقلل من تأثير قوة دفع القدم للأرض، وهذا يقلل أيضاً من الضرر الذي يلحق بجسم اللاعب.

التوسع في البحث

1. **فسر علمياً** استخدم المفاهيم الفيزيائية لتفسير سبب وضع المصانع وسادة امتصاص في أحذية الجري.
2. **حلّل** أي الأسطح الآتية يعطي اللاعب مرونة أكثر عند الركض: الملعب العشبي أم أرضية المشاة؟ وضع إجابتك.
3. **ابحث** لماذا يفضل بعض الناس الجري وهم حفاة، حتى في سباق الماراثون؟

دليل مراجعة الفصل

الفصل 4

4-1 الأشكال المتعددة للطاقة The many Forms of Energy

المفردات

- طاقة الحركة الدورانية
- طاقة وضع الجاذبية
- مستوى الإسناد
- طاقة الوضع المرونية

المفاهيم الرئيسية

- تتناسب الطاقة الحركية لجسم طردياً مع كتلته و مربع سرعته.
- يمكن أن تكون الطاقة الحركية خطية أو دورانية.
- عندما تشكّل الأرض جزءاً من نظام معزول فإن الشغل المبذول من الجاذبية الأرضية يستبدل به طاقة الوضع الجاذبية.
- تعتمد طاقة الوضع الجاذبية لجسم ما على وزن الجسم وعلى ارتفاعه عن سطح الأرض.

$$PE = mgh$$

- يكون موقع مستوى الإسناد في النقطة التي نفترض عندها طاقة الوضع الجاذبية الأرضية صفراً.
- يمكن أن تُخزن طاقة الوضع المرونية في جسم نتيجة تغير شكل الجسم.
- يقول أينشتاين: إن للكتلة نفسها طاقة وضع، وتُسمى هذه الطاقة بالطاقة السكونية.

$$E_0 = mc^2$$

4-2 حفظ الطاقة Conservation of Energy

المفردات

- قانون حفظ الطاقة
- الطاقة الميكانيكية
- الطاقة الحرارية
- التصادم فوق المرن
- (الانفجاري).
- التصادم المرن
- التصادم العديم المرونة

المفاهيم الرئيسية

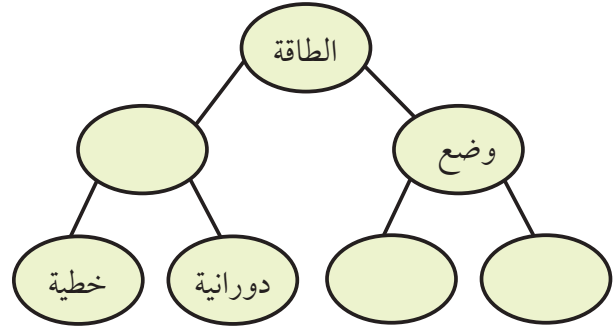
- يُسمى مجموع طاقتي الوضع والحركة الطاقة الميكانيكية $E = KE + PE$
- إذا لم يدخل أي جسم إلى النظام أو يخرج منه فإن هذا النظام يعدّ نظاماً مغلقاً.
- إذا لم تؤثر قوة خارجية في النظام فإن هذا النظام يعدّ نظاماً معزولاً.
- مجموع الطاقة في النظام المغلق المعزول ثابت داخل النظام الواحد، حيث تتغير الطاقة من شكل إلى آخر، ويبقى مجموعها ثابتاً؛ لذا فالطاقة محفوظة.

$$KE_{\text{قبل}} + PE_{\text{قبل}} = KE_{\text{بعد}} + PE_{\text{بعد}}$$

- يُسمى التصادم الذي تزيد فيه الطاقة الحركية بعد التصادم عنها قبل التصادم بالتصادم فوق مرن
- يُسمى التصادم الذي تكون الطاقة الحركية بعده أقل منها قبله التصادم العديم المرونة.
- يُسمى التصادم الذي تكون الطاقة الحركية قبله مساوية لما بعده التصادم المرن.
- إذا كانت القوة الخارجية المؤثرة صفراً، فالزخم محفوظ في التصادم. أما بالنسبة للطاقة الحركية فقد تبقى محفوظة أو تقل نتيجة التصادم، حيث يعتمد ذلك على نوع التصادم (مرناً أم عديم المرونة).

خريطة المفاهيم

28. أكمل خريطة المفاهيم بالمصطلحات الآتية: طاقة الوضع الجاذبية، طاقة الوضع المرونية، الطاقة الحركية.



إتقان المفاهيم

في جميع المسائل اللاحقة، افترض أن مقاومة الهواء مهملة، إلا إذا أعطيت قيمتها.

29. وضح العلاقة بين الشغل المبذول والتغير في الطاقة. (4-1)

30. ما نوع الطاقة في ساعة تعمل بضغط النابض؟ وما نوع الطاقة في الساعة الميكانيكية؟ وماذا يحدث للطاقة عندما تتوقف الساعة عن العمل؟ (4-1)

31. وضح كيفية ارتباط تغير الطاقة مع القوة؟ (4-1)

32. أسقطت 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 وفقاً لمستوى الإسناد في الحالات الآتية؟ (4-1)

a. طاقة وضع الكرة عند أي نقطة.

b. التغير في طاقة وضع الكرة نتيجة السقوط.

c. الطاقة الحركية للكرة عند أي نقطة.

33. هل هناك حالة يمكن أن تكون فيها الطاقة الحركية لكرة البيسبول سالبة؟ (4-1)

34. هل هناك حالة يمكن أن تكون فيها طاقة الوضع لكرة البيسبول سالبة؟ وضح ذلك دون استخدام معادلات. (4-1)

35. إذا زادت سرعة عداء إلى ثلاثة أضعاف سرعته الابتدائية،

فما معامل تزايد طاقته الحركية؟ (4-1)

36. ما تحولات الطاقة عندما يقفز لاعب الوثب بالزانة؟ (4-2)

37. لماذا تتغير الوثبة كثيراً في رياضة الوثب بالزانة عندما تستبدل بالعصا الخشبية القاسية عصا مرنة أو عصا مصنوعة من الألياف الزجاجية؟ (4-2)

38. عندما قذفت كرة طينية في اتجاه قرص الهوكي المطاطي الموضوع على الجليد التحمت الكرة المندفعة وقرص الهوكي المطاطي معاً، وتحركا ببطء. (4-2)

a. هل الزخم محفوظ في التصادم؟ وضح ذلك.

b. هل الطاقة الحركية محفوظة في التصادم؟ وضح ذلك.

39. مثل بيانياً بالأعمدة كلاً من العمليات الآتية: (4-2)

a. انزلاق مكعب من الجليد، بادئاً حركته من السكون، على سطح مائل عديم الاحتكاك.

b. انزلاق مكعب من الجليد صاعداً أعلى سطح مائل عديم الاحتكاك، ثم توقفه لحظياً.

40. صف تحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع وبالعكس لشخص يركب في الأفغوانية جولة كاملة. (4-2)

41. صف كيفية فقدان طاقة الحركة وطاقة الوضع المرونية عند ارتداد كرة مطاطية، وصف ما يحدث لحركة الكرة. (4-2)

تطبيق المفاهيم

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 عجلات السيارة تتدحرج دون انزلاق.

b. انزلقت عجلات السيارة عندما استخدمت الكوابح.

43. تسير سيارة صغيرة وشاحنة كبيرة بالسرعة نفسها. أيهما يبذل شغلاً أكبر: محرك السيارة أم محرك الشاحنة؟



تقويم الفصل 4

50. أعط أمثلة محددة توضح العمليات الآتية:
- بُذل شغل على نظام ما فازدادت الطاقة الحركية ولم تتغير طاقة الوضع.
 - تحول طاقة الوضع إلى طاقة حركية دون أن يُبذل شغل على النظام.
 - بُذل شغل على النظام، فازدادت طاقة الوضع ولم تتغير الطاقة الحركية.
 - بذل النظام شغلاً فقلّت الطاقة الحركية ولم تتغير طاقة الوضع.

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؟
52. قُدّت كرتان متماثلتان من قمة منحدر عالٍ، إحداهما رأسياً إلى أعلى، والأخرى رأسياً إلى أسفل وكان لها مقدار السرعة الابتدائية نفسه. قارن بين طاقتيهما الحركية، وسرعتيهما عندما ترتطمان بالأرض؟

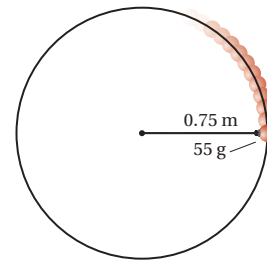
إتقان حلّ المسائل

1-4 الأشكال المتعددة للطاقة

53. تتحرك سيارة كتلتها 1600 kg بسرعة 12.5 m/s. ما طاقتها الحركية؟
54. ما مقدار الطاقة الحركية لسيارة سباق كتلتها 1525 kg، عندما تكون سرعتها 108 km/h؟
55. مجموع كتلتي خيل ودراجته 45.0 kg. فإذا قطع خيل 1.80 km خلال 10.0 min بسرعة ثابتة، فما مقدار طاقته الحركية؟

44. **المنجنيق** استخدمت جيوش المسلمين مدفع المنجنيق في فتوحاتهم. حيث يعمل بعض هذه الأنواع باستخدام جبل مشدود، وعندما يُرَخى الحبل ينطلق ذراع المنجنيق. ما نوع الطاقة المستخدمة عند قذف الصخرة بالمنجنيق؟
45. تصادمت سيارتان وتوقفتا تماماً بعد التصادم، فأين ذهبت طاقتاهما؟
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.
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.
48. **الترزج** يتحرك متزلجان مختلفان في الكتلة بالسرعة نفسها وفي الاتجاه نفسه، فإذا أثر الجليد في المتزلجين بقوة الاحتكاك نفسها فقارن بين مسافة التوقف لكل منهما.
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 4-15

- فما مقدار الشغل المبذول على الجسم من قوة الشد في الخيط في دورة واحدة؟
- وهل تتفق إجابتك في الفرع (a) مع نظرية الشغل - الطاقة؟ وضح ذلك.



الشكل 4-15



تقويم الفصل 4

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؟

b. الشغل المبذول على العربة؟

c. المسافة التي ستتحركها العربة خلال تأثير القوة؟

61. يتسلق عليّ حبلًا في صالة اللعب مسافة 3.5 m . ما مقدار

طاقة الوضع التي يكتسبها إذا كانت كتلته 60.0 kg ؟

62. **البولنج** احسب الزيادة في طاقة الوضع لكرة بولنج

كتلتها 6.4 kg عندما ترفع 2.1 m إلى أعلى نحو رف

الكرات.

63. احسب التغير في طاقة الوضع لخديجة عندما تهبط

من الطابق العلوي إلى الطابق السفلي مسافة

5.50 m ، علماً بأن وزنها 505 N ؟

64. **رفع الأثقال** يرفع لاعب أثقالاً كتلتها 180 kg مسافة

1.95 m . فما الزيادة في طاقة وضع الأثقال؟

65. أطلق صاروخ تجريبي كتلته 10.0 kg رأسياً 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؟

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؟

67. صُمم 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؟

56. كتلة خالد 45 kg ويسير بسرعة 10.0 m/s .

a. أوجد طاقته الحركية.

b. إذا تغيرت سرعة خالد إلى 5.0 m/s ، فاحسب

طاقته الحركية الآن.

c. أوجد نسبة الطاقة الحركية في الفرع a إلى الطاقة

الحركية في الفرع b. وفسر ذلك.

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؟

b. ما نسبة كتلتيهما معًا إلى كتلة أسماء؟

c. ما نسبة طاقتيهما الحركية معًا إلى الطاقة الحركية

لأسماء؟ فسر إجابتك.

58. **القطار** في فترة الخمسينيات من القرن الماضي، استُخدم

قطار تجريبي كتلته $2.5 \times 10^4 \text{ kg}$ ، وقد تحرك في

مسار مستو بمحرك نفاث يؤثر بقوة دفع مقدارها

$5.00 \times 10^5 \text{ N}$ خلال مسافة 509 m . فما مقدار:

a. الشغل المبذول على القطار؟

b. التغير في الطاقة الحركية للقطار؟

c. الطاقة الحركية النهائية للقطار إذا بدأ حركته من

السكون؟

d. السرعة النهائية للقطار إذا أهملنا قوى الاحتكاك؟

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 عجلات السيارة والطريق تساوي

7100 N فما المسافة التي تتحركها السيارة قبل أن تتوقف؟



■ الشكل 16-4

تقويم الفصل 4

c. احسب مقدار القوة التي أثرت في مقدمة السيارة لمسافة 50.0 cm.

71. أثرت مجموعة من القوى على 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؟

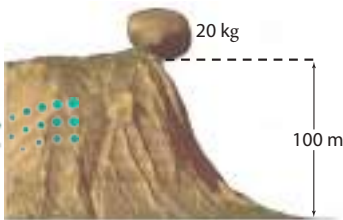
4-2 حفظ الطاقة

72. رُفع كيس حبوب وزنه 98.0 N إلى غرفة تخزين ارتفاعها 50.0 m فوق سطح الأرض باستخدام رافعة الحبوب.

- ما مقدار الشغل المبذول؟
- ما مقدار الزيادة في طاقة وضع كيس الحبوب عند هذا الارتفاع؟
- 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؟

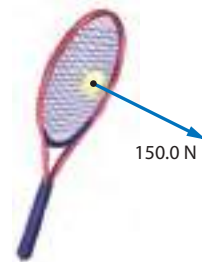
73. تستقر صخرة كتلتها 20 kg على حافة منحدر ارتفاعه 100 m كما في الشكل 4-19.

- ما مقدار طاقة وضعها بالنسبة لقاعدة الجرف؟
- إذا سقطت الصخرة فما مقدار الطاقة الحركية للصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟
- ما مقدار سرعة الصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟



الشكل 4-19

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 ولا مست 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.

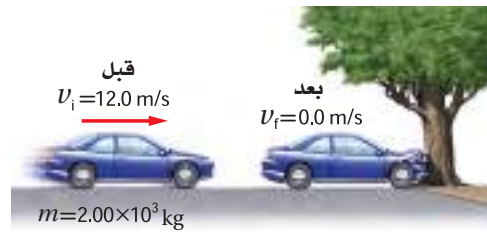


الشكل 17-4

69. يحمل طارق صاروخ دفع نفث، ويقف على سطح جليدي عديم الاحتكاك. فإذا كانت كتلة طارق 45 kg وزود الصاروخ طارقاً بقوة ثابتة لمسافة 22.0 m فاكسب طارق سرعة مقدارها 62.0 m/s.

- ما مقدار الطاقة الحركية النهائية لطارق؟
- ما مقدار القوة؟

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

- ما مقدار التغير في الطاقة الحركية للسيارة؟
- ما مقدار الشغل المبذول عندما ترتطم مقدمة السيارة بالشجرة؟

تقويم الفصل 4

78. أي ارتفاع يجب أن تسقط منه سيارة صغيرة حتى يكون لها الطاقة الحركية نفسها عندما تسير بسرعة $1.00 \times 10^2 \text{ km/h}$ ؟

79. تزن عير 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. ما مقدار سرعة عير عندما تمر بالنقطة الأقل ارتفاعاً عن سطح الأرض في مسارها؟

b. إذا مرت عير بالنقطة الأقل ارتفاعاً عن سطح الأرض بسرعة 2.0 m/s ، فما مقدار شغل الاحتكاك المبذول على الأرجوحة؟

80. أسقطت ليلي رأسياً 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؟

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؟

82. يتسلق شخص وزنه 635 N سُلماً رأسياً ارتفاعه 5.0 m. أجب عما يأتي معتبراً أن الشخص والأرض يشكلان نظاماً واحداً.

a. مثل بياناً بالأعمدة الطاقة في النظام قبل بدء الشخص في التسلق، وبعد وصوله إلى أقصى ارتفاع. هل تتغير الطاقة الميكانيكية؟ وإذا كان كذلك، فما مقدار التغير؟

b. من أين جاءت الطاقة؟

83. يتأرجح شمبازي من شجرة لأخرى في غابة. إذا تعلّق

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 اختزنّت الطاقة كلها في السهم، فما سرعة انطلاق السهم من القوس؟

b. إذا انطلق السهم رأسياً إلى أعلى، فما الارتفاع الذي يصل إليه؟

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؟

76. سقط كتاب فيزياء مجهول الكتلة من ارتفاع 4.50 m. ما مقدار سرعة الكتاب لحظة ارتطامه بالأرض؟

77. عربية القطار اصطدمت عربة قطار كتلتها $5.0 \times 10^5 \text{ kg}$ بعربة أخرى ساكنة لها الكتلة نفسها، وتحركت العربتان معاً بعد التصادم كجسم واحد بسرعة 4.0 m/s كما في الشكل 4-20.

a. فإذا كانت سرعة العربة الأولى قبل التصادم 8.0 m/s ، فاحسب زخمها؟

b. ما مقدار الزخم للعربتين معاً بعد التصادم؟

c. ما مقدار الطاقة الحركية للعربتين قبل التصادم وبعده؟

d. أين ذهبت الطاقة الحركية التي خسرتها العربتان؟

$$m = 5.0 \times 10^5 \text{ kg}$$

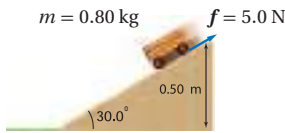
$$v = 4.0 \text{ m/s}$$



الشكل 4-20

تقويم الفصل 4

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

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؟

التفكير الناقد

91. تطبيق المفاهيم تستقر كرة جولف كتلتها 0.046 kg على الحامل الخاص بها. فإذا ضربت بمضرب كتلته 0.220 kg فانطلقت الكرة بسرعة 44 m/s ، فاحسب سرعة الكرة لحظة انطلاقها على افتراض أن التصادم مرن.

92. تطبيق المفاهيم يعد اصطدام طائر بالزجاج الأمامي لسيارة متحركة مثلاً على تصادم جسمين كتلة أحدهما عدة أضعاف كتلة الآخر، ومن ناحية أخرى يعد تصادم كرتي بلياردو مثلاً على تصادم جسمين متساويين في الكتلة، فكيف تتحول الطاقة في هذه التصادمات؟ ادرس تصادمًا مرئيًا بين كرة بلياردو كتلتها m_1 وسرعتها v_1 بكرة أخرى ساكنة كتلتها m_2 .

a. إذا كانت $m_1 = m_2$ ، فما النسبة بين الطاقة المتحركة

إلى m_2 والطاقة الابتدائية؟

بغصن متدلاً طوله 13 m ثم بدأ تأرجحه بزاوية تميل عن الرأس بمقدار 45° ، فما سرعة الشمبانزي عندما يكون الغصن المتدلي رأسياً تماماً؟

مراجعة عامة

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؟

85. انقصر بالزانة السجل العالمي للقفز بالزانة (الوثب العالي) للرجال 2.45 m تقريباً. ما أقل مقدار من الشغل يجب أن يبذل لدفع لاعب كتلته 73 kg عن سطح الأرض حتى يصل إلى هذا الارتفاع؟

86. كرة القدم تصادم لاعب كتلته 110 kg بلاعب آخر كتلته 150 kg ، وتوقف اللاعبان تماماً بعد التصادم. فأی اللاعبين كان زخمه قبل التصادم أكبر؟ وأيها كانت طاقته الحركية قبل التصادم أكبر؟

87. عربتا مختبر كتلتاهما على الترتيب 1.0 kg ، 2.0 kg رُبطتا معاً بنهايتي نابض مضغوط. وتحركتا معاً 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 ذات الكتلة 1.0 kg إلى الأمام. ما مقدار الطاقة التي أعطاها النابض للعربتين؟

88. تأرجح لاعب سيرك كتلته 55 kg بحبل بادئاً من منصة ارتفاعها 12.0 m ، وفي أثناء نزوله حمل قرداً كتلته 21.0 kg ليضعه على منصة أخرى، فما أقصى ارتفاع ممكن للمنصة؟

تقويم الفصل 4

ابحث في الأجسام المتحركة في كل شكل من أشكال الطاقة هذه، وكيف تحتزن الطاقة في هذه الأجسام؟

مراجعة تراكمية

97. تنطلق رصاصة كتلتها 5.00 g بسرعة 100.0 m/s

في اتجاه جسم صلب كتلته 10.0 kg مستقر على سطح مستوي عديم الاحتكاك. (الفصل 2)

a. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا استقرت داخل الجسم الصلب؟

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

c. في أي الحالتين السابقتين سيتحرك الجسم 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 (المسلطة) إلى 0.10 kN؟

b. إذا كانت فاعلية الرافعة 75 %، فما المسافة التي يجب أن تؤثر خلالها القوة لترفع السيارة مسافة 33 cm؟

b. إذا كانت $m_1 \gg m_2$ ، فما النسبة بين الطاقة المنقولة إلى m_2 والطاقة الابتدائية؟

c. يتم تبطئة النيوترونات في المفاعل النووي عن طريق تصادمها بالذرات (كتلة النيوترون تساوي تقريباً كتلة البروتون)، فأأي الذرات الآتية مناسبة لتحقيق الهدف: الهيدروجين، أم الكربون، أم الأرجون؟

93. **التحليل والاستنتاج** يكون كل من الزخم والطاقة الميكانيكية محفوظاً في التصادم التام المرونة. فإذا تصادمت كرتان كتلتاهما على الترتيب m_A ، m_B ، وسرعاتهما v_A ، v_B تتجهان إحداها نحو الأخرى. فاستنتج المعادلات المناسبة لحساب سرعة كل منهما بعد التصادم؟

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 الرأس، حيث توقفت لحظياً فاحسب v_1 ؟

الكتابة في الفيزياء

95. **الشمس مصدر طاقة** في أي شكل من أشكال الطاقة تصل إلينا الطاقة الشمسية لتجعلنا نحيا وتجعل مجتمعتنا يعمل؟ ابحث في الطرائق التي تتحول بها الطاقة الشمسية إلى أشكال يمكن لنا استخدامها. وأين تذهب الطاقة الشمسية بعد أن نستخدمها؟ وضح ذلك.

96. تصنف جميع أشكال الطاقة إلى طاقة حركية أو طاقة وضع. فكيف تصنف كلاً من الطاقة النووية، والكهربائية والكيميائية والبيولوجية والشمسية والضوئية؟ ولماذا؟



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. زادت سرعة دراجة هوائية من 4.0 m/s إلى 6.0 m/s.

فإذا كانت كتلة راكب الدراجة والدراجة 55 kg، فما

الشغل الذي بذله سائق الدراجة لزيادة سرعتها؟

55 J (C)

11 J (A)

550 J (D)

28 J (B)

2. يبين الشكل أدناه كرة كتلتها 4.0 kg معلقة بخيط، تتأرجح

بشكل حرّ في مستوى محدد. فإذا كانت مقاومة الهواء

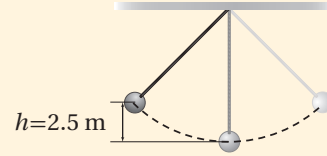
مهملة، فما أقصى سرعة تبلغها الكرة في أثناء تأرجحها؟

7.0 m/s (C)

0.14 m/s (A)

49 m/s (D)

98 m/s (B)



3. ما مقدار الطاقة اللازمة لرفع صندوق كتلته 4.5 kg من

الأرض إلى رف يرتفع 1.5 m فوق سطح الأرض؟

11 J (C)

9.0 J (A)

66 J (D)

49 J (B)

4. أسقطت كرة كتلتها 6.0×10^{-2} kg من ارتفاع 1.0 m فوق

سطح مستوي صلب، وعندما ضربت الكرة بالسطح فقدت

0.14 J من طاقتها، ثم ارتدت مباشرة إلى أعلى. ما مقدار

الطاقة الحركية للكرة لحظة ارتدادها عن السطح المستوي؟

0.45 J (C)

0.20 J (A)

0.73 J (D)

0.59 J (B)

5. عند رفع جسم كتلته 2.5 kg من رف يرتفع 1.2 m عن

سطح الأرض إلى رف يرتفع 2.6 m فوق سطح الأرض،

فما مقدار التغير في طاقة وضع الجسم؟

3.5 J (C)

1.4 J (A)

34 J (D)

25 J (B)

6. تتحرك كرة كتلتها m بسرعة v_1 على سطح أفقي عندما

اصطدمت بحائط مبطن، ثم ارتدت عنه في الاتجاه المعاكس.

فإذا أصبحت طاقتها الحركية نصف ما كانت عليه قبل

التصادم، وأهملنا الاحتكاك، فأَي مما يأتي يعبر عن سرعة

الكرة بعد التصادم بدلالة سرعتها قبل التصادم؟

$\sqrt{2} v_1$ (C)

$\frac{1}{2} v_1$ (A)

$2v_1$ (D)

$\frac{\sqrt{2}}{2} v_1$ (B)

7. يبين الشكل أدناه كرة على مسار منحني، فإذا تحركت الكرة

بدءاً من السكون في أعلى المسار ووصلت إلى السطح الأفقي

في أسفله على الأرض بسرعة 14 m/s، وأهملنا الاحتكاك،

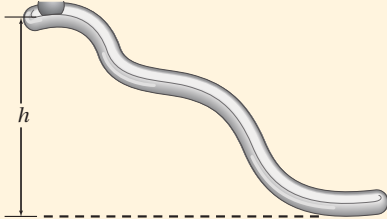
فما الارتفاع h من سطح الأرض حتى أعلى نقطة في المسار؟

10 m (C)

7 m (A)

20 m (D)

14 m (B)



الأسئلة الممتدة

8. وضع صندوق على نابض مضغوط على منصة، وعند

إفلات النابض زود الصندوق بطاقة مقدارها 4.9 J،

فاندفع الصندوق رأسياً إلى أعلى، فإذا كانت كتلة الصندوق

1.0 kg، فما أقصى ارتفاع يصل إليه الصندوق قبل أن

يبدأ في السقوط؟

إرشاد

استخدام عمليات الحذف

في أثناء الإجابة عن سؤال الاختيار من متعدد، هناك

طريقتان للوصول إلى الإجابة عن كل سؤال. إحداهما

اختيار الجواب الصحيح مباشرة، أو حذف الإجابات

التي تعرف بأنها غير صحيحة.

الطاقة الحرارية Thermal Energy

الفصل 5

ما الذي سنتعلمه في هذا الفصل؟

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

الأهمية

تعد الطاقة الحرارية أمراً حيوياً للمخلوقات الحية، وحدوث التفاعلات الكيميائية، وعمل المحركات.

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

أما خطة الطاقة (2030) والتي تبناها 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 بما لا يؤثر على البيئة.

فكر

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
2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

من أهداف الرؤية

٢٠٤٠ زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.



وزارة التعليم

Ministry of Education

2021 1443



ما الذي يحدث عند تزويد كأس ماء بطاقة حرارية عن طريق حملة؟

سؤال التجربة ما الذي يحدث لدرجة حرارة الماء في الكأس عندما تحملها بيديك؟

الخطوات

1. ستحتاج إلى استعمال دورق سعته 250 ml وكمية من الماء مقدارها 150 ml.
2. اسكب الماء في الدورق.
3. سجل درجة حرارة الماء الابتدائية بوضع مقياس الحرارة في الماء، على ألا يلامس مستودع المقياس قاعدة الدورق أو جوانبه.
4. أبعده مقياس الحرارة، وأمسك بدورق الماء مدة دقيقتين بكتلتا يديك، كما في الشكل.

5. دع زميلك في المختبر يسجل درجة حرارة الماء النهائية بوضع مقياس الحرارة في الدورق كما في الخطوة 3.

التحليل

احسب التغير في درجة حرارة الماء. وإذا كانت كمية الماء التي في الدورق أكبر، فهل يؤثر ذلك في تغير درجة الحرارة؟

التفكير الناقد فسر سبب تغير درجة حرارة الماء؟



1-5 درجة الحرارة والطاقة الحرارية Temperature and Thermal Energy

رابط الدرس الرقمي



www.iem.edu.sa

الأهداف

- تصف الطاقة الحرارية وتقارنها بطاقة الوضع والطاقة الحركية.
- تميز بين درجة الحرارة والطاقة الحرارية.
- تتعرف الحرارة النوعية.
- تحسب الحرارة المنقولة.

المفردات

الطاقة الحرارية
الحمل الحراري
التوصيل الحراري
الاشعاع الحراري
الاتزان الحراري
الحرارة النوعية
الحرارة

تسمى دراسة تحولات الحرارة إلى أشكال أخرى من أشكال الطاقة بالديناميكا الحرارية. وقد بدأت هذه الدراسات في القرن الثامن عشر عندما كان المهندسون يصنعون المحركات البخارية الأولى. حيث استخدمت هذه المحركات في تشغيل القطارات، والمصانع، ومضخات المياه في مناجم الفحم، وساهمت في شكل كبير في الثورة الصناعية في أوروبا والولايات المتحدة. ثم طور المهندسون مفاهيم جديدة حول كيفية ارتباط الحرارة مع الشغل المفيد في تصميم محركات أكثر كفاءة. وعلى الرغم من أن دراسة الديناميكا الحرارية بدأت في القرن الثامن عشر، إلا أنه لم يتم الربط بين مفاهيم الديناميكا الحرارية وحركة الذرات والجزيئات في المواد الصلبة والسوائل والغازات حتى عام 1900 تقريباً.

تُستخدم اليوم مفاهيم الديناميكا الحرارية على نطاق واسع في التطبيقات المختلفة، ويستخدم المهندسون قوانين الديناميكا الحرارية في تطوير أداء الثلاجات، ومحركات المركبات، والطائرات، وآلات أخرى.

الطاقة الحرارية Thermal Energy

درست سابقاً كيف تتصادم الأجسام وتتبادل طاقاتها الحركية. فعلى سبيل المثال، الجزيئات الموجودة في غازٍ ما لها طاقات حركية خطية ودورانية. وقد يكون للجزيئات طاقة وضع خلال اهتزازها وتربطها، فتتصادم مثلاً جزيئات الغاز بعضها ببعض ومع جدران الوعاء الذي يحويها؛ إذ تنتقل الطاقة فيما بينها خلال هذه العملية. وتتحرك عدة جزيئات بحرية في الغاز، مؤدية إلى عدة تصادمات؛ لذا يكون من المناسب مناقشة الطاقة الكلية للجزيئات، ومتوسط الطاقة لكل جزيء. وتسمى الطاقة الكلية للجزيئات **بالطاقة الحرارية**. ويرتبط متوسط الطاقة لكل جزيء بدرجة حرارة الغاز.

الأجسام الساخنة ما الذي يجعل الجسم ساخناً؟ عندما تملأ بالوناً بغاز الهيليوم يتمدد مطاط البالون بفعل تصادم ذرات الغاز بجدار البالون بشكل متكرر؛ إذ تصطدم كل ذرة من بلايين ذرات غاز الهيليوم التي في البالون بجداره المطاطي، ثم ترتد إلى الخلف لتتصادم بالطرف الآخر من البالون، كما هو موضح في الشكل 1-5، وقد تلاحظ أن البالون يصبح أكبر قليلاً إذا عرضته لأشعة الشمس؛ لأن طاقة أشعة الشمس تجعل ذرات الغاز تتحرك أسرع؛ لذا تصطدم بالجدار بمعدل أكبر. ويؤدي كل تصادم ذري إلى إحداث قوة أكبر على جدار البالون؛ ولذا يتمدد المطاط، مما يؤدي إلى تمدد البالون كلياً.

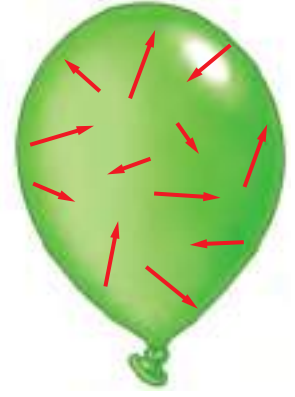
أما إذا بردت البالون فستلاحظ أنه ينكمش قليلاً؛ لأن خفض درجة الحرارة يبطئ من حركة ذرات الهيليوم. وهكذا فإن تصادماتها لا تنقل زخماً يكفي لجعل البالون يتمدد بصورة كافية. وعلى الرغم من أن البالون يحتوي عدد الذرات نفسه، إلا أنه ينكمش.

المواد الصلبة لذرات المواد الصلبة طاقة حركية أيضاً، ولكنها لا تتمكن من الحركة بحرية مثل ذرات الغاز. والطريقة الوحيدة لتصوير التركيب الجزيئي للمادة الصلبة، تكون برسم عدد من الذرات المرتبطة معاً بنواض تسمح لها بالحركة في صورة ارتدادات مختلفة الشدة إلى الأمام، وإلى الخلف. ويكون لكل ذرة بعض الطاقة الحركية، وطاقة الوضع من خلال النواض المرتبطة معها. فإذا وجدت مادة صلبة تحتوي العدد N من الذرات، فإن الطاقة الحرارية الكلية في المادة الصلبة تساوي متوسط طاقتي الحركة، والوضع لكل ذرة، مضروباً في العدد N .

الطاقة الحرارية ودرجة الحرارة

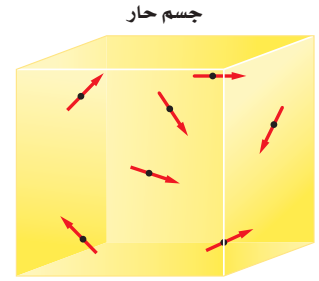
Thermal Energy and Temperature

للجسم الساخن طاقة حرارية أكبر من الجسم البارد المشابه له، كما هو موضح في الشكل 2-5، مما يعني أن الجزيئات في الجسم الساخن لها طاقة حرارية أكبر من الجزيئات في الجسم البارد. وهذا لا يعني أن جميع الجزيئات داخل الجسم لها كمية الطاقة نفسها؛ إنما لها مدى واسع من قيم الطاقة، ولجزيئات الجسم الساخنة متوسط طاقة أكبر من متوسط

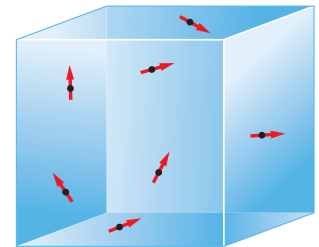


بالون هيليوم

■ الشكل 1-5 تصطدم ذرات الهيليوم في البالون بالجدار المطاطي، وتسبب تمدد البالون.



$KE_{\text{بارد}} < KE_{\text{حار}}$



جسم بارد

■ الشكل 2-5 طاقة الحركة والوضع لجزيئات الجسم الساخن أكبر منها لجزيئات الجسم البارد.

طاقة جزيئات الجسم البارد. ولفهم هذا افترض أنك تعرف أطوال طلاب الصف الثاني المتوسط والصف الثالث الثانوي مثلاً، وأنك تستطيع حساب متوسط الطول لطلاب الصف الثالث الثانوي. وهذا المتوسط يميل إلى أن يكون أكبر من متوسط الطول لطلاب الصف الثاني المتوسط، على الرغم من أنه يمكن أن يكون بعض طلاب الصف الثاني المتوسط أطول من بعض طلاب الصف الثالث الثانوي.

درجة الحرارة تعتمد درجة الحرارة على متوسط الطاقة الحركية للجزيئات في الجسم فقط. ولأن درجة الحرارة تعتمد على متوسط طاقة حركة الجزيئات، فإنها لا تعتمد على عدد الذرات في الجسم. ولفهم ذلك افترض وجود قالبين من الحديد، الأول: كتلته 1 kg، والثاني: كتلته 2 kg. فإذا كان للقالبين درجة الحرارة نفسها فإن متوسط الطاقة الحركية للجزيئات في أيٍّ منهما هي نفسها، على الرغم من أن القالب الثاني له ضعف كتلة القالب الأول. وبما أن القالب الثاني يحتوي ضعف عدد الجزيئات الموجودة في القالب الأول، فإن كمية الطاقة الحركية الكلية لجزيئات القالب الثاني تساوي ضعف كمية الطاقة الحركية الكلية لجزيئات القالب الأول. وتقسم الطاقة الحركية الكلية على عدد الجزيئات الموجودة في الجسم لحساب متوسط الطاقة الحركية؛ لذا تتناسب الطاقة الحرارية في الجسم مع عدد الجزيئات فيه، في حين أن درجة الحرارة لا تعتمد على عدد الجزيئات في الجسم.

الاتزان والقياس الحراري

Equilibrium and Thermometry

كيف تقيس درجة حرارة جسمك؟ إذا اشتبهت مثلاً في أنك مصاب بالحمى، فقد تضع مقياس حرارة في فمك وتنتظر دقيقتين إلى ثلاث دقائق قبل أن تنظر إلى قراءة درجة الحرارة على المقياس. إن النظرة المجهرية لعملية قياس درجة الحرارة تتضمن التصادمات وانتقالات الطاقة بين مقياس الحرارة وجسمك. وإن كان جسمك ساخناً مقارنة بمقياس الحرارة فذلك يعني أن الجزيئات في جسمك لها طاقة حرارية أكبر، وتحرك بسرعة أكبر من الجزيئات التي في المقياس. وعندما يلامس أنبوب المقياس الزجاجي البارد جلدك الأدفأ من الزجاج، فإن الجزيئات المتحركة بسرعة في جلدك تصطدم بالجزيئات المتحركة ببطء في الأنبوب الزجاجي، فتنتقل الطاقة عندئذ من جلدك إلى الزجاج عن طريق عملية **التوصيل الحراري**، والتي تعني انتقال الطاقة الحركية عندما تتصادم الجزيئات. أي أن الطاقة الحرارية للجزيئات المكوّنة لمقياس الحرارة تزداد، وفي الوقت نفسه تتناقص الطاقة الحرارية للجزيئات في الجلد.

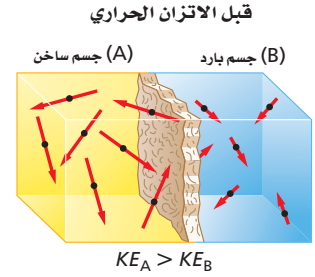
الاتزان الحراري في أثناء اكتساب جزيئات الزجاج المزيد من الطاقة فإنها تبدأ في إرجاع بعض هذه الطاقة إلى جزيئات جسمك. ويصبح معدل انتقال الطاقة من الزجاج إلى الجسم مساوياً لمعدل انتقال الطاقة من الجسم إلى الزجاج عند اللحظة التي تتساوى فيها درجتا حرارة الجسم ومقياس الحرارة. ويقال عندئذٍ: إن الجسم ومقياس الحرارة وصلا



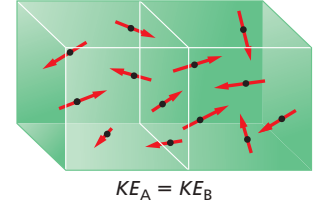
إلى **الاتزان الحراري**، أي أن حالة الاتزان الحراري هي الحالة التي يصبح عندها معدل تدفق الطاقة بين جسمين متساوي، ويكون لكلا الجسمين درجة الحرارة نفسها، كما يبين الشكل 3-5.

يعتمد عمل مقياس الحرارة على خاصية معينة، مثل الحجم، والذي يتغير بتغير درجة الحرارة. ويحتوي العديد من مقاييس الحرارة المنزلية على كحول ملون يتمدد عندما يسخن ويرتفع داخل أنبوب ضيق، وكلما زادت درجة حرارة الكحول تمدد حجمه أكثر فزاد ارتفاعه في الأنبوب، مشيرًا إلى درجة حرارة أعلى. وفي مقاييس الحرارة السائلة - البلورية، كما في الشكل 4-5، تستخدم مجموعة من السوائل البلورية المختلفة، بحيث ترتب بلورات الجزيئات لكل نوع عند درجة حرارة محددة، مما يؤدي إلى تغير لون البلورة. ومن ثم تشير إلى درجة الحرارة من خلال اللون. أمّا المقاييس الحرارية الطبية والمقاييس المستخدمة في محركات المركبات فإنها تستخدم دوائر إلكترونية حساسة للحرارة فتقيس درجات الحرارة بسرعة.

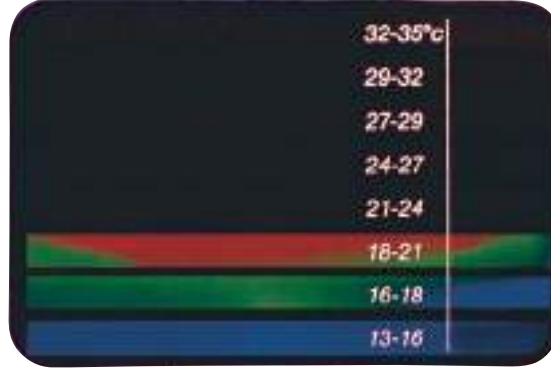
■ **الشكل 3-5** تنتقل الطاقة الحرارية من الجسم الساخن إلى الجسم البارد. وعند حدوث الاتزان الحراري يكون انتقال الطاقة بين الجسمين متساويًا.



بعد الاتزان الحراري



■ **الشكل 4-5** تستخدم مقاييس الحرارة التغير في الخصائص الفيزيائية لقياس درجة الحرارة، وفي مقاييس الحرارة السائلة - البلورية يتغير اللون بتغير درجة الحرارة.



مقياسا درجة الحرارة : السلسيوس والكلفن

Temperature Scales : Celsius and Kelvin

طور العلماء على مر السنين مقاييس لدرجة الحرارة حتى يتمكنوا من مقارنة قياساتهم بقياسات العلماء الآخرين. فلقد ابتكر عالم الفلك والفيزياء السويدي أندريه سلسيوس عام 1741 م مقياسًا يعتمد على خصائص الماء. ففي هذا المقياس - الذي يسمى الآن مقياس سلسيوس - تُعرّف نقطة تجمد الماء النقي لتكون 0 °C، ونقطة غليان الماء النقي عند مستوى سطح البحر لتكون 100 °C.

حدود درجة الحرارة يوضح الشكل 5-5 المدى الواسع لدرجات الحرارة الموجود في الكون. ولا يبدو أن هناك حدًا أعلى لدرجات الحرارة؛ فدرجة الحرارة داخل الشمس 1.5 × 10⁷ °C على الأقل. من جهة أخرى هناك حدّ أدنى لدرجات الحرارة؛ تتلخص المواد، عمومًا، عند تبريدها، فمثلاً إذا تم تبريد غاز مثالي مثل الهيليوم في اللون فإنه يتقلص،



الفضاء (بين النجوم)



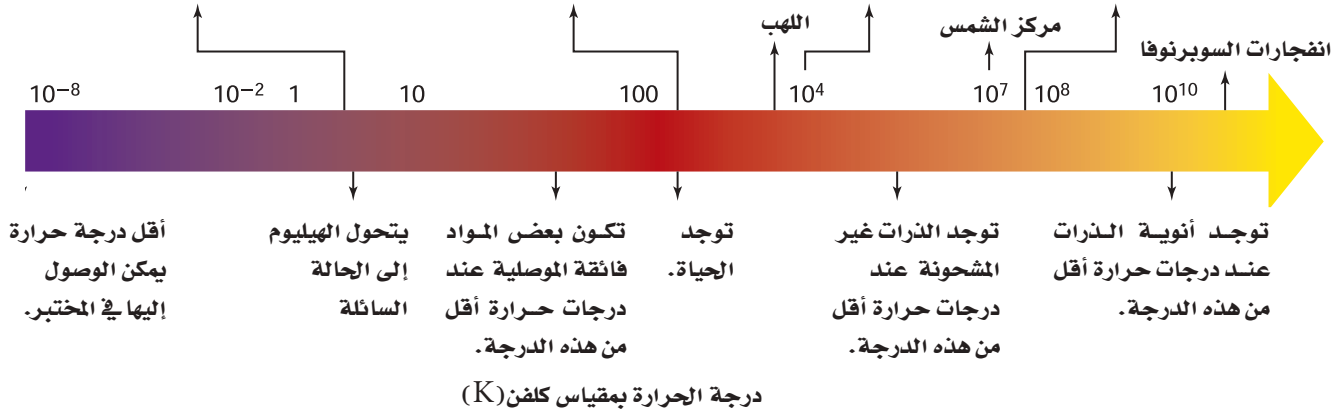
الجسم البشري



سطح الشمس



القنبلة النووية



■ الشكل 5-5 يوجد مدى واسع جداً

من درجات الحرارة في الكون. لاحظ أن مدى القياس تم توسيعه في المناطق ذات الأهمية الخاصة.

فإذا بلغت درجة حرارته -273.15°C يصبح حجمه مساوياً لحجم ذرات الهيليوم فقط، وتتلاشى الفراغات بين الذرات، وتفقد ذرات الغاز طاقتها الحرارية كاملة، ويصبح من المستحيل تخفيض درجة الحرارة إلى أقل من ذلك؛ لذا لا يكون هنالك درجة حرارة أقل من -273.15°C والتي تعرف بالصفء المطلق.

إن مقياس سلسيوس مفيد في القياسات اليومية لدرجة الحرارة، غير أن استخدامه في المسائل العلمية والهندسية غير عملي؛ لأنه يحتوي على درجات سالبة؛ إذ أن درجات الحرارة السالبة قد توحي بأن للجزيء طاقة حركية سالبة، وهذا غير ممكن؛ لأن الطاقة الحركية دائماً موجبة. والحل لهذه القضية يكون باستخدام تدرج قياس يبدأ من الصفء المطلق. ويسمى هذا المقياس الكلفن.

إن نقطة الصفء في مقياس كلفن تعرف بأنها الصفء المطلق. ووفقاً لمقياس كلفن فإن نقطة تجمد الماء (0°C) هي 273 K تقريباً، ونقطة غليان الماء هي 373 K تقريباً. وتسمى الدرجة الواحدة على هذا المقياس كلفن، وتساوي 1°C ، لذا يكون $T_{\text{C}} + 273 = T_{\text{K}}$. ويوضح الشكل 5-6 تمثيلاً لدرجات الحرارة في المقاييس الثلاثة الشائعة الاستخدام: الفهرنهايت، والسلسيوس، والكلفن.

■ الشكل 5-6 مقاييس درجة

الحرارة الثلاثة الشائعة وهي الكلفن، والسلسيوس، والفهرنهايت.

1. حوّل درجات الحرارة الآتية من مقياس كلفن إلى مقياس سلسيوس.

- | | | |
|----------|----------|----------|
| 115 K .a | 125 K .c | 425 K .e |
| 172 K .b | 402 K .d | 212 K .f |

2. احسب درجات الحرارة بالكلفن والسلسيوس لكل مما يأتي:

- a. درجة حرارة الغرفة
b. ثلاجة نموذجية
c. يوم صيفي حار في مدينة الرياض
d. إحدى ليالي الشتاء في مدينة تبوك

الحرارة وتدفق الطاقة الحرارية

Heat and the Flow of Thermal Energy

عندما يتلامس جسمان يتناقلان طاقة. وهذه الطاقة التي تنتقل بين الجسمين تسمى **الحرارة**. وتوصف الحرارة بأنها الطاقة التي تتدفق دائماً من الجسم الأسخن إلى الجسم الأبرد، ولا تنتقل الحرارة تلقائياً من الجسم الأبرد إلى الجسم الأسخن أبداً. ويستخدم الرمز Q لتمثيل كمية الحرارة، والذي له نفس وحدة أشكال الطاقة الأخرى، وهي الجول، وإذا كانت Q سالبة القيمة فذلك يعني أن الحرارة تنبعث من الجسم، أما إذا كانت Q موجبة القيمة فذلك يعني أن الجسم امتص الحرارة.

التوصيل الحراري إذا وضعت نهاية قضيب معدني في لُب إن جزيئات الغاز الحارة في اللهب ستوصل الحرارة إلى القضيب. ويصبح الطرف الآخر للقضيب دافئاً أيضاً خلال فترة زمنية قصيرة. لقد تم إيصال الحرارة؛ لأن الجزيئات في القضيب كانت تتلامس معاً مباشرة. **الحمل الحراري** يحدث انتقال للطاقة الحرارية حتى لو لم تكن الجزيئات في الجسم يلامس بعضها بعضاً مباشرة. فهل شاهدت مرة دورق ماء عند لحظة الغليان؟

يسخن الماء الموجود في القاع بفعل التوصيل ويصعد إلى أعلى، في حين ينزل الماء الأبرد من أعلى نحو قاع الدورق. وتتدفق الحرارة بين الماء الساخن الصاعد والماء البارد النازل. وتُسمى حركة المائع في المادة السائلة أو الغازية التي تحدث بسبب اختلاف درجة الحرارة **الحمل الحراري**. ويحدث الاضطراب الجوي بسبب الحمل الحراري للغازات الموجودة في الغلاف الجوي. وتعتبر العواصف الرعدية مثلاً على هذه الظاهرة. وتنتج التغيرات في أنماط الطقس أيضاً بسبب ظاهرة الحمل الحراري للتيارات المائية في المحيطات.

تطبيق الفيزياء

التدفئة بالبخار

في نظام التدفئة بالبخار لمبنى ما، يُحوّل الماء إلى بخار في مرجل موجود في منطقة الصيانة أو أسفل البناء. ثم يتدفق البخار داخل أنابيب معزولة ليصل إلى كل غرفة في المبنى. ويتكثف البخار داخل مشعاع حراري على شكل ماء، ثم يتدفق عائداً عبر الأنابيب إلى المرجل ليعاد تبخيره. يحمل البخار الساخن الحرارة من داخل المرجل، ثم تتحرر تلك الطاقة عندما يتكثف البخار داخل مشعاع الحرارة. ومن سلبيات نظام التدفئة بالبخار أنه يتطلب مراجل وأنابيب ذات تكلفة مرتفعة لتستطيع نقل البخار المضغوط. ►



الإشعاع الحراري هو الطريقة الثالثة للانتقال الحراري. وهو لا يشبه الطريقتين السابقتين؛ إذ لا يعتمد على وجود مادة. تعمل الشمس على تسخين الأرض من بُعد 150 مليون كيلومتر عن طريق **الإشعاع الحراري**، والذي يمثل انتقال الطاقة عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية. حيث تعمل الموجات على نقل الطاقة من الشمس الحارة خلال الفراغ الفضائي إلى الأرض الأكثر برودة.

الحرارة النوعية Specific Heat

تختلف الأجسام في اكتسابها للحرارة، فبعضها يكتسب الحرارة أسهل من غيرها. ففي يوم صيفي مشمس تعمل الشمس على تسخين ماء البحر و الرمل عند الشاطئ. وعلى الرغم من تعرضهما للطاقة الحرارية من المصدر نفسه (الشمس) وخلال الفترة الزمنية نفسها، إلا أن الرمل يصبح أكثر سخونة من ماء البحر. وعندما تنتقل الحرارة إلى داخل جسم ما؛ فإن كلاً من طاقته الحرارية ودرجة حرارته تزداد. ويعتمد مقدار الزيادة في درجة الحرارة على كتلة الجسم، ونوع مادته.

الجدول 1-5			
الحرارة النوعية للمواد الشائعة			
المادة	الحرارة النوعية (J / kg. K)	المادة	الحرارة النوعية (J / kg. K)
الألومنيوم	897	الرصاص	130
النحاس الأصفر	376	الميثانول	2450
الكربون	710	الفضة	235
النحاس	385	بخار الماء	2020
الزجاج	840	الماء	4180
الجليد	2060	الخلاصين	388
الحديد	450		

إن **الحرارة النوعية** للمادة هي كمية الطاقة التي يجب أن تكتسبها المادة لترتفع درجة حرارة وحدة الكتل من هذه المادة درجة سلسيوس واحدة. ويرمز للحرارة النوعية بالرمز C وتقاس بوحدات J / kg. K في نظام الوحدات العالمي، ويبين الشكل 1-5 قيم الحرارة النوعية لبعض المواد المعروفة، فعلى سبيل المثال، يجب نقل طاقة مقدارها 897 J إلى كتلة مقدارها 1 kg من الألومنيوم لرفع درجة حرارتها 1 K؛ لذا تكون الحرارة النوعية للألومنيوم 897 J / kg. K.



إن مقدار الحرارة التي يكتسبها جسم ما أو يفقدها عند تغير درجة حرارته يعتمد على كتلته، وعلى التغير في درجة حرارته، وعلى الحرارة النوعية لمادة الجسم. وتستطيع باستخدام المعادلة الآتية حساب كمية الحرارة Q ، اللازم نقلها لتغيير درجة حرارة الجسم.

$$Q = mC\Delta T = mC (T_f - T_i) \quad \text{كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة}$$

كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة تساوي كتلة الجسم مضروبة في حرارته النوعية وفي الفرق بين درجتي حرارته النهائية والابتدائية.

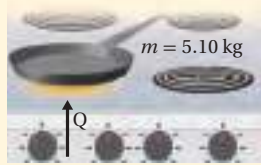
للماء السائل حرارة نوعية مرتفعة مقارنة بالمواد الأخرى في الجدول 1-5. ولذا فعندما ترتفع درجة حرارة 10.0 kg من الماء بمقدار 5.0 K فإن الطاقة الممتصة هي:

$$Q = (10.0 \text{ kg}) (4180 \text{ J/kg.K}) (5.0 \text{ K}) = 2.1 \times 10^5 \text{ J}$$

تذكر أن التدريج الواحد في مقياس كلفن يعادل تدريجاً واحداً بمقياس سلسيوس، ولهذا السبب تستطيع حساب ΔT بوحدتي الكلفن أو السلسيوس.

مثال 1

انتقال الحرارة إذا تم تسخين مقلاة من الحديد الصلب كتلتها 5.10 kg على موقد؛ فارتفعت درجة حرارتها من 295 K إلى 450 K، فما مقدار كمية الحرارة التي يكتسبها الحديد؟



$T_i = 295 \text{ K}$
 $T_f = 450 \text{ K}$

المجهول

$$Q = ?$$

المعلوم

$$C = 450 \text{ J/kg.K} \quad m = 5.10 \text{ kg}$$

$$T_f = 450 \text{ K} \quad T_i = 295 \text{ K}$$

1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم تدفق الحرارة نحو المقلاة من قمة الموقد.

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 287

$$Q = m C (T_f - T_i)$$

$$= (5.10 \text{ kg})(450 \text{ J/kg.K})(450 \text{ K} - 295 \text{ K}) \quad m=5.10\text{kg}, C=450\text{J/kg.K}, T_f=450\text{K}, T_i=295\text{K}$$

$$= 3.6 \times 10^5 \text{ J}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

عوض مستخدماً

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ تقاس كمية الحرارة بوحدتي J.

• هل الإشارات مهمة هنا؟ زادت درجة الحرارة؛ لذا تكون Q موجبة.

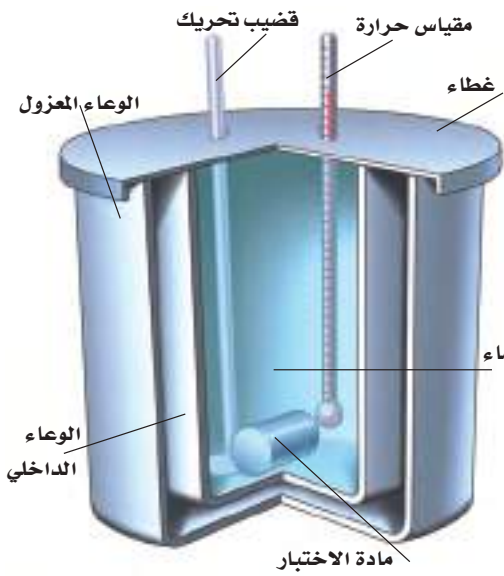


3. عندما تفتح صنبور الماء الساخن لغسل الأواني فإن أنابيب المياه تسخن. فما مقدار كمية الحرارة التي يمتصها أنبوب ماء نحاسي كتلته 2.3 kg عندما ترتفع درجة حرارته من 20.0°C إلى 80.0°C ؟
4. يحتوي نظام التبريد لسيارة على 20.0 L من الماء. علمًا بأن كتلة لتر واحد من الماء تساوي 1 kg.
- a. إذا اشتغل المحرك حتى حصل على 836.0 kJ من الحرارة، فما مقدار التغير في درجة حرارة الماء؟
- 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؟
- c. أيهما يُعد مبرّدًا أفضل، الماء أم الميثانول؟ فسر إجابتك.
5. تباع شركات الكهرباء الطاقة الكهربائية بوحدة kWh، حيث إن $1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$. 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 ؟

المسعر: Calorimeter

قياس الحرارة النوعية Measuring Specific Heat

إن المسعر البسيط كما في الشكل 5-7، أداة تستخدم لقياس التغير في الطاقة الحرارية. ويكون المسعر معزولاً تمامًا، بحيث يكون انتقال الطاقة إلى المحيط الخارجي أقل ما يمكن.



وتوضع كتلة مقيسة من مادة مسخنة عند درجة حرارة عالية داخل المسعر الذي يحتوي أيضًا على كتلة معروفة من الماء البارد وتكون درجة حرارة الماء معروفة أيضًا. فتنتقل الحرارة المفقودة من المادة إلى الماء البارد، ثم يحسب التغير في الطاقة الحرارية للمادة من خلال الزيادة الحاصلة في درجة حرارة الماء. وهناك أنواع أخرى من المسعرات تستعمل لقياس التفاعلات الكيميائية ومحتوى الأطعمة من الطاقة.

يعتمد عمل المسعر على مبدأ حفظ الطاقة في النظام المغلق والمعزول، بحيث لا تدخل الطاقة هذا النظام أو تغادره. ونتيجة لذلك، إذا ازدادت طاقة جزء معين من النظام فإن طاقة جزء آخر يجب أن تنقص بالمقدار نفسه. افترض أن النظام مكون من قالين من المعدن A و B، كما في الشكل 5-8a. فتكون الطاقة الكلية للنظام ثابتة، كما في المعادلة الآتية:

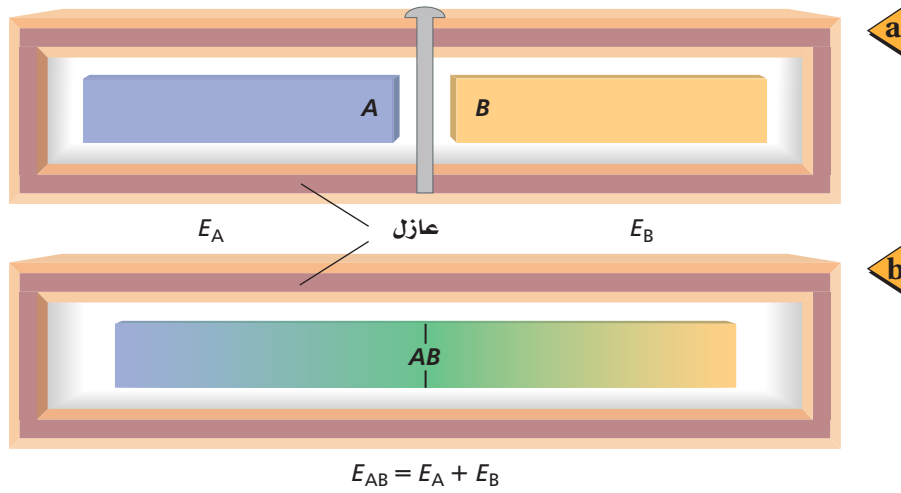
حفظ الطاقة

$$E_A + E_B = \text{ثابت}$$

الطاقة الحرارية في النظام المغلق والمعزول للجسم A مضافًا إليها الطاقة الحرارية للجسم B تساوي مقدارًا ثابتًا.

■ الشكل 5-7 يمثل المسعر النظام المغلق والمعزول، ويستخدم لقياس انتقال الطاقة الحرارية.





■ الشكل 5-8 نظام مكون من نموذجين لقالبين عند درجات حرارة مختلفة، وهما مفصولان في الحالة الابتدائية (a). وعندما يتلامس القالبان فإن الحرارة تتدفق من القالب الساخن إلى القالب الأبرد (b). وتبقى الطاقة الكلية ثابتة.

افترض في البداية أن القالبين منفصلان، ومن الممكن جعلهما يتلامسان. فإذا تغيرت الطاقة الحرارية للقالب A بمقدار ΔE_A فإن التغير في الطاقة الحرارية للقالب B يساوي ΔE_B ، كما يُمكن وصف التغير من خلال المعادلة، $\Delta E_A + \Delta E_B = 0$ ؛ لذا يكون $\Delta E_A = -\Delta E_B$. أي أن تغير الطاقة لأحد القالبين موجب، في حين يكون تغير الطاقة للقالب الآخر سالبًا. ويكون هنالك ازدياد في درجة حرارة القالب ذي التغير الموجب في طاقته الحرارية، ونقصان في درجة حرارة القالب ذي التغير السالب في طاقته الحرارية.

افترض أن درجتَي الحرارة الابتدائية للقالبين مختلفتان. عندما يتلامس القالبان، تتدفق الحرارة من القالب الأسخن إلى القالب الأبرد، كما في الشكل 5-8b. ويستمر تدفق الحرارة حتى يصبح القالبان في حالة اتزان حراري، وذلك عندما يكون للقالبين درجة الحرارة نفسها.

يكون التغير في الطاقة الحرارية لأحد مكونات النظام المغلق والمعزول مساويًا لكمية الحرارة المنقولة، وذلك ناجم عن عدم بذل أي شغل؛ لذا يعبر عن تغير الطاقة لكل قالب بالمعادلة الآتية:

$$\Delta E = Q = mC\Delta T$$

ولأن الزيادة في الطاقة الحرارية للقالب A تساوي النقصان في الطاقة الحرارية للقالب B فإن العلاقة الآتية صحيحة:

$$m_A C_A \Delta T_A + m_B C_B \Delta T_B = 0$$

إن التغير في درجة الحرارة هو الفرق بين درجتَي الحرارة الابتدائية والنهائية؛ أي أن

$$\Delta T = T_f - T_i$$



فإذا زادت درجة حرارة القالب فإن $T_f > T_i$ ، وتكون ΔT موجبة. وإذا نقصت درجة حرارة القالب فإن $T_f < T_i$ ، وتكون ΔT سالبة، ودرجتا الحرارة النهائية للقالبين متساويتين. وتمثل المعادلة الآتية انتقال الطاقة.

$$m_A C_A (T_f - T_A) + m_B C_B (T_f - T_B) = 0$$

حل المعادلة بالنسبة لـ T_f وذلك بفك الأقواس:

$$m_A C_A T_f - m_A C_A T_A + m_B C_B T_f - m_B C_B T_B = 0$$

$$T_f (m_A C_A + m_B C_B) = m_A C_A T_A + m_B C_B T_B$$

$$T_f = \frac{m_A C_A T_A + m_B C_B T_B}{m_A C_A + m_B C_B}$$

مثال 2

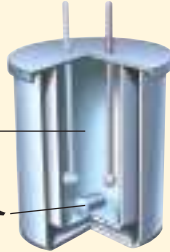
انتقال الحرارة في المسعر يحتوي مسعر على ماء كتلته 0.50 kg عند درجة حرارة 15°C ، فإذا وضع قالب من الخارصين كتلته 0.040 kg ودرجة حرارته 115°C في الماء. فما درجة الحرارة النهائية للنظام؟

قبل وضع قالب الخارصين



$m_B = 0.50 \text{ kg}$
 $T_B = 15^\circ\text{C}$

بعد وضع قالب الخارصين



$m_A = 0.040 \text{ kg}$
 $T_A = 115^\circ\text{C}$
 $T_f = ?$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 278، 279

1 تحليل المسألة ورسمها

• سمّ عينة الخارصين A، وعينة الماء B.

• ارسم انتقال الحرارة من الخارصين الساخن إلى الماء البارد

المجهول

$T_f = ?$

المعلوم

$m_A = 0.040 \text{ kg}$

$C_A = 388 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$T_A = 115^\circ\text{C}$

$m_B = 0.50 \text{ kg}$

$C_B = 4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$T_B = 15.0^\circ\text{C}$

2 إيجاد الكمية المجهولة

حدّد درجة الحرارة النهائية باستخدام المعادلة الآتية:

$$T_f = \frac{m_A C_A T_A + m_B C_B T_B}{m_A C_A + m_B C_B}$$

$$= \frac{(0.040 \text{ kg}) (388 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) (115^\circ\text{C}) + (0.50 \text{ kg}) (4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) (15.0^\circ\text{C})}{(0.040 \text{ kg}) (388 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) + (0.50 \text{ kg}) (4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})}$$

$$= 16^\circ\text{C}$$

عوض مستخدماً $m_A = 0.040 \text{ kg}$

$C_A = 388 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ، $T_A = 115^\circ\text{C}$

$C_B = 4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$m_B = 0.50 \text{ kg}$ ، $T_B = 15.0^\circ\text{C}$

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ قيس درجة الحرارة بوحدة سلسيوس.

• هل الجواب منطقي؟ تقع الإجابة بين درجتا الحرارة الابتدائية للعينتين، كما هو متوقع عند استخدام المسعر.



6. خلطت عينة ماء كتلتها 2.00×10^2 g ودرجة حرارتها 80.0°C مع عينة ماء أخرى كتلتها 2.00×10^2 g ودرجة حرارتها 10.0°C . مفترضاً عدم فقدان حرارة إلى المحيط الخارجي، ما درجة الحرارة النهائية للخليط؟
7. خلطت عينة ميثانول كتلتها 4.00×10^2 g ودرجة حرارتها 16.0°C مع عينة ماء كتلتها 4.00×10^2 g ودرجة حرارتها 85.0°C . مفترضاً عدم فقدان حرارة إلى المحيط الخارجي، ما درجة الحرارة النهائية للخليط؟
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 الحرارة النوعية للفلز في الأوزان؟
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 الحرارة النوعية لمادة القالب؟



■ الشكل 9-5 تنظم السحلية درجة حرارة جسمها من خلال الاختباء أسفل صخرة، عندما يكون الجو حاراً (a)، والتعرض لأشعة الشمس عندما يكون الجو بارداً (b).

تقسم الحيوانات إلى مجموعتين اعتماداً على درجات حرارة أجسامها. معظمها من متغيرة درجة الحرارة، وهي التي تتغير درجات حرارة أجسامها تبعاً للبيئة المحيطة. وبقية الحيوانات الثابتة درجة الحرارة، وهي التي تتحكم في درجات حرارة أجسامها داخلياً. أي أن الحيوانات الثابتة درجة الحرارة تبقى درجات حرارة أجسامها مستقرة بغض النظر عن درجة حرارة المحيط. أما الحيوانات المتغيرة درجة الحرارة فترفع درجة حرارة أجسامها عندما تكون درجة حرارة المحيط مرتفعة. وتنظم الحيوانات المتغيرة درجة الحرارة - ومنها السحلية في الشكل 9-5 - حرارة جسمها من خلال تنظيم تدفق الحرارة عن طريق الاختباء تحت صخرة أو في شق، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة جسمها. ويتصف البشر بثبات درجة حرارة أجسامهم؛ فدرجة حرارة جسم الإنسان تقريباً 37°C . ولينظم الحيوان الثابت درجة الحرارة درجة حرارة جسمه، فإنه يزيد أو يقلل من مستوى عمليات الأيض؛ لذا قد تلجأ بعض هذه الحيوانات إلى البيات الشتوي لتخفيض درجة حرارة أجسامها لتصل إلى درجة حرارة تجمد الماء.

الربط مع الأحياء

10. درجات الحرارة حوّل درجات الحرارة الآتية لأنظمة القياس المشار إليها:
- a. 5°C إلى كلفن. b. 34 K إلى سلسيوس.
- c. 212°C إلى كلفن. d. 316 K إلى سلسيوس.
11. التحويلات حوّل درجات الحرارة الآتية إلى كلفن.
- a. 28°C b. 154°C
- c. 568°C d. -55°C
- e. -184°C
12. الطاقة الحرارية هل يمكن أن تكون الطاقة الحرارية لكمية من الماء الساخن مساوية للطاقة الحرارية لكمية أخرى من الماء البارد؟ فسّر إجابتك.
13. انتقال الحرارة لماذا تبقى البطاطا المشوية ساخنة مدة أطول من أيّ طعام آخر في الطبق نفسه؟
14. الحرارة يكون بلاط أرضية الحمام في الشتاء باردًا عند لمسه بالقدم على الرغم أن باقي غرفة الحمام دافئة، فهل تكون الأرضية أبرد من سائر غرفة الحمام؟
15. الحرارة 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؟
16. الحرارة يستعمل كبار الطباخين في أغلب الأحيان مقالي طبخ مصنوعة من الألومنيوم السميك، فلماذا يعد الألومنيوم السميك أفضل من الرقيق للطبخ؟
17. الحرارة والطعام لماذا يتطلب شوي حبة البطاطس كاملة مدة أطول من قليها على شكل شرائح صغيرة؟
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؟





2-5 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية Changes of State & the Laws of Thermodynamics

الأهداف

- تُعرف الحرارة الكامنة للانصهار.
- تُعرف الحرارة الكامنة للتبخير.
- تُعرف القانونين الأول والثاني في الديناميكا الحرارية.
- تميز بين الحرارة والشغل.
- تُعرف الإنتروبي.

المفردات

- الحرارة الكامنة للانصهار
- الحرارة الكامنة للتبخير
- القانون الأول في الديناميكا الحرارية
- المحرك الحراري
- الإنتروبي
- القانون الثاني في الديناميكا الحرارية



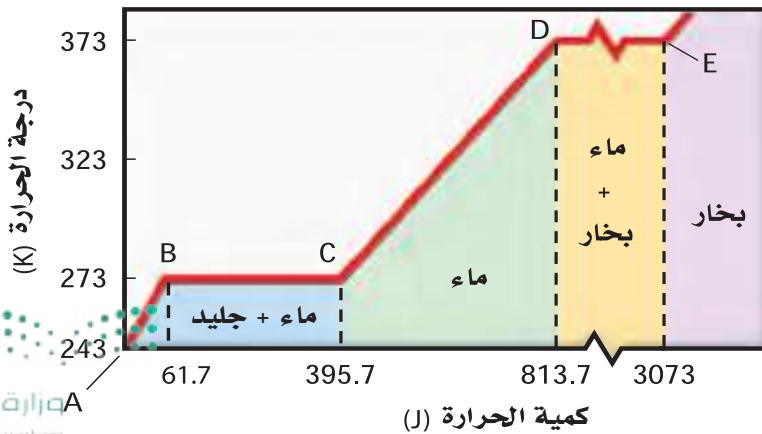
فاز ثلاثة علماء بريطانيين بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2016 تقديراً لأبحاثهم حول المادة التي أتاحت إحراز تقدم في الفهم النظري للأسرار الغامضة للمادة، وفتحت آفاقاً جديدة في تطوير مواد مبتكرة.

■ الشكل 10-5 تمثيل بياني للعلاقة بين درجة الحرارة وكمية h المكتسبة عندما يتحول 1g من الجليد إلى بخار. لاحظ أن المحور الأفقي منفصل بين النقطتين D و E، إشارة إلى تغير مقياس الرسم بين النقطتين.

استخدم صانعو المحرك البخاري في القرن الثامن عشر الحرارة لتحويل الماء الساخن إلى بخار، حيث يدفع البخار المكبس، لتشغيل المحرك، ثم يبرد البخار، ويتكثف فيصبح سائلاً مرة أخرى. إن إمداد الماء السائل بكمية من الطاقة الحرارية لا يُغير درجة حرارته فقط، بل يُغيّر بُنيته التركيبية أيضاً - ولكن دون تغيير البنية الجزيئية -. وستتعلم أن تغير حالة المادة يعني تغير الشكل، والطريقة التي تخزن بها الذرات الطاقة الحرارية.

تغير حالة المادة Changes of State

إن الحالات الثلاث الأكثر شيوعاً للمادة هي: الصلبة، والسائلة، والغازية. حيث تتغير حالة المادة الصلبة إلى السائلة عند رفع درجة حرارتها، وتصبح غازاً عند درجات حرارة أعلى. فكيف يمكن تفسير هذه التغيرات؟ افترض أن مادة ما في الحالة الصلبة اكتسبت كمية من الطاقة الحرارية؛ فما التغير الذي سيطرأ عليها؟ تزداد حركة جزيئاتها، كما تزداد درجة حرارتها. يبين الشكل 10-5 تمثيلاً بيانياً لتغيرات حالة المادة عند تزويد 1 g من الماء بطاقة حرارية بدءاً من درجة حرارة 243 K (جليد) حتى تصل درجة الحرارة إلى ما يزيد على 373 K (بخار). لقد سُخّن الجليد بين النقطتين A و B حتى أصبحت درجة حرارته 273 K، وعند نقطة معينة فإن الطاقة الحرارية المكتسبة تجعل جزيئات الماء تتحرك بسرعة كافية، للتغلب على القوى التي تعمل على تثبيت الجزيئات. وتبقى الجزيئات يلامس بعضها بعضاً، ولكنها تملك حرية حركة أكثر، وبازدياد الطاقة الحرارية المكتسبة تصبح الجزيئات أخيراً حرة على نحو كافٍ لتتزلق مبتعداً بعضها عن بعض.



درجة الانصهار تتغير المادة عند هذه الدرجة من الحالة الصلبة، إلى الحالة السائلة، وتسمى درجة الحرارة التي يحدث عندها هذا التغير درجة انصهار المادة. في أثناء انصهار المادة، تعمل الطاقة الحرارية المكتسبة كلها على التغلب على القوى التي تربط الجزيئات بعضها ببعض في الحالة الصلبة، ولكنها لا تؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية للجزيئات. وهذا يمكن مشاهدته بين النقطتين B و C في الشكل 10-5، حيث تؤدي الطاقة الحرارية المكتسبة إلى انصهار الجليد عند درجة الحرارة الثابتة 273 K. ولأن الطاقة الحركية للجزيئات لا تزداد بين النقطتين B و C فإن درجة الحرارة لا تزداد بينهما أيضاً، بل تبقى ثابتة.

درجة الغليان عندما تنصهر المادة الصلبة تماماً تتلاشى القوى التي تثبت الجزيئات في الحالة الصلبة، ويؤدي اكتساب المادة للمزيد من الطاقة الحرارية إلى زيادة طاقة حركة الجزيئات، وارتفاع درجة حرارة السائل. وتحدث هذه العملية على المخطط بين النقطتين C و D، ومع زيادة درجة الحرارة أكثر من ذلك، يكون لبعض الجزيئات في السائل طاقة كافية لتتحرر من الجزيئات الأخرى. وعند درجة حرارة محددة - تعرف بدرجة الغليان - تؤدي أي زيادة في الطاقة الحرارية إلى تغير حالة المادة إلى حالة أخرى. وكل الطاقة الحرارية المكتسبة تغير حالة المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية.

تبقى درجة الحرارة ثابتة عندما يغلي السائل كما هو الحال تماماً في حالة الانصهار. ويمثل هذا الانتقال بين النقطتين D و E في الشكل 10-5. وعندما تتحول المادة كلياً إلى غاز، فإن أي زيادة في الطاقة الحرارية مجدداً، تزيد من حركة الجزيئات، وترفع درجة الحرارة أعلى من النقطة E، فيسخن بخار الماء عند درجات حرارة أعلى من 373 K.

الحرارة الكامنة للانصهار H_f تسمى كمية الطاقة الحرارية اللازمة لانصهار 1 kg من مادة ما **بالحرارة الكامنة للانصهار** لهذه المادة. فعلى سبيل المثال، الحرارة الكامنة لانصهار الجليد هي $3.34 \times 10^5 \text{ J/kg}$. فإذا اكتسب 1 kg من الجليد عند درجة حرارة الانصهار 273 K، ما مقداره $3.34 \times 10^5 \text{ J}$ من الطاقة الحرارية فسيتحول الجليد إلى 1 kg من الماء عند درجة الحرارة نفسها؛ حيث تسبب الطاقة الحرارية المكتسبة تغيراً في الحالة وليس تغيراً في درجة الحرارة. وتصرف هذه الطاقة في إبعاد الجزيئات بضعها عن بعض دون زيادة في سرعتها. ويمثل الخط الأفقي بين النقطتين B و C في الشكل 10-5 الحرارة الكامنة للانصهار.

الحرارة الكامنة للتبخير H_v يغلي الماء عند درجة حرارة 373 K عند الضغط الجوي العادي. وتسمى كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتبخير 1 kg من السائل **بالحرارة الكامنة للتبخير**. فالحرارة الكامنة لتبخير الماء مثلاً تساوي $2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$. ويمثل الخط بين النقطتين D و E في الشكل 10-5 الحرارة الكامنة للتبخير. ولكل مادة حرارة كامنة للتبخير خاصة بها. ويوجد بين النقطتين A و B ميل واضح للخط مع ارتفاع درجة الحرارة.

الانصهار



1. ضع إشارة A وإشارة B على كأسين مصنوعتين من مادة جيدة العزل (مثل كؤوس الاستعمال مرة واحدة المصنعة من الفلين الصناعي).
2. اسكب في كل كأس 75 ml من الماء عند درجة حرارة الغرفة، وامسح أي ماء منسكب.
3. ضع مكعب جليد في الكأس A، وماء عند درجة التجمد في الكأس B حتى يتساوى مستوى الماء في الكأسين.
4. قس درجة حرارة الماء في كل كأس، وكرّر القياس بعد كل دقيقة حتى ينصهر الثلج.
5. سجل درجات الحرارة في جدول البيانات، ومثلها بيانياً.

التحليل والاستنتاج

6. هل تصل العينتان إلى درجة

الحرارة النهائية نفسها؟ ولماذا؟

الجدول 5-2

الحرارة الكامنة للانصهار والتبخير لبعض المواد الشائعة		
المادة	الحرارة الكامنة للانصهار H_f (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخير H_v (J/kg)
النحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
الزئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
الذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
الميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
الحديد	2.66×10^5	6.29×10^6
الفضة	1.04×10^5	2.36×10^6
الرصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
الماء (الجليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

ويمثل هذا الميل مقلوب الحرارة النوعية للجليد. في حين يمثل الميل بين النقطتين C و D مقلوب الحرارة النوعية للماء، كما يمثل الميل بعد النقطة E مقلوب الحرارة النوعية للبخر. لاحظ أن ميل الخط في حالة الماء أقل من ميله في حالتي الجليد والبخر. وهذا عائد إلى أن للماء حرارة نوعية أكبر مما للجليد والبخر. ويعبر عن كمية الحرارة Q اللازمة لصهر كتلة m من المادة الصلبة بالمعادلة الآتية:

$$Q = m H_f$$

كمية الحرارة اللازمة لصهر كتلة ما تساوي مقدار تلك الكتلة، مضروبة في الحرارة الكامنة لانصهار مادتها.

كما يعبر عن كمية الحرارة Q اللازمة لتبخير كتلة m من السائل بالمعادلة الآتية:

$$Q = m H_v$$

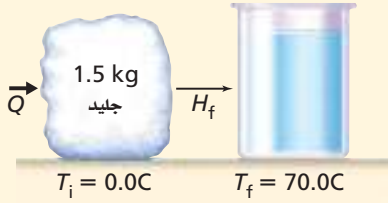
كمية الحرارة اللازمة لتبخير سائل ما تساوي كتلة السائل، مضروبة في الحرارة الكامنة لتبخير مادته.

وعندما يتجمد السائل، فإنه يفقد كمية من حرارته تساوي $Q = -m H_f$ وهي الطاقة التي يفقدها ليتحول إلى الحالة الصلبة. وتشير الإشارة السالبة إلى أن الحرارة تنتقل من المادة إلى المحيط الخارجي. وبالطريقة نفسها، عندما يتكثف بخار إلى سائل، فإنه يفقد كمية من الحرارة $Q = -m H_v$. وبين الجدول 5-2 بعض قيم الحرارة الكامنة للانصهار H_f ، والحرارة الكامنة للتبخير H_v لبعض المواد.



مثال 3

الحرارة افترض أنك تخيم في الجبال، وتحتاج إلى صهر 1.50 kg من الجليد عند درجة الحرارة 0.0 °C وتسخينه إلى درجة حرارة 70.0 °C لصنع شراب ساخن، فما مقدار كمية الحرارة التي يتطلبها ذلك؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم العلاقة بين الحرارة والماء في كل من حالتيه الصلبة والسائلة.
- ارسم انتقال الحرارة مع ازدياد درجة حرارة الماء.

المجهول

$$Q_{\text{صهر الجليد}} = ?$$

$$Q_{\text{تسخين الماء}} = ?$$

$$Q_{\text{الكلية}} = ?$$

المعلوم

$$m = 1.50 \text{ kg}$$

$$H_f = 3.34 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

$$T_f = 70.0^\circ\text{C}, T_i = 0.0^\circ\text{C}$$

$$C = 4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب كمية الحرارة اللازمة لصهر الجليد.

$$\begin{aligned} Q_{\text{صهر الجليد}} &= mH_f \\ &= (1.50 \text{ kg}) (3.34 \times 10^5 \text{ J/kg}) \\ &= 5.01 \times 10^5 \text{ J} \\ &= 5.01 \times 10^2 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$m = 1.50 \text{ kg}, H_f = 3.34 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

احسب تغير درجة الحرارة.

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_f - T_i \\ &= 70.0^\circ\text{C} - 0.0^\circ\text{C} \\ &= 70.0^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$T_f = 70.0^\circ\text{C}, T_i = 0.0^\circ\text{C}$$

احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء.

$$\begin{aligned} Q_{\text{تسخين الماء}} &= mC\Delta T \\ &= (1.50 \text{ kg}) (4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) (70.0^\circ\text{C}) \\ &= 4.39 \times 10^5 \text{ J} = 4.39 \times 10^2 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$m = 1.50 \text{ kg}, \Delta T = 70.0^\circ\text{C}, C = 4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

احسب كمية الحرارة الكلية اللازمة.

$$\begin{aligned} Q_{\text{الكلية}} &= Q_{\text{صهر الجليد}} + Q_{\text{تسخين الماء}} \\ &= 5.01 \times 10^2 \text{ kJ} + 4.39 \times 10^2 \text{ kJ} \\ &= 9.40 \times 10^2 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{صهر الجليد}} = 5.01 \times 10^2 \text{ kJ}, Q_{\text{تسخين الماء}} = 4.39 \times 10^2 \text{ kJ}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ وحدات الطاقة هي الجول.
- هل تدل الإشارة على شيء؟ Q موجبة عندما تكون الحرارة ممتصة.
- هل الجواب منطقي؟ إن كمية الحرارة اللازمة لصهر الجليد أكبر من كمية الحرارة اللازمة لزيادة درجة حرارة الماء إلى 70.0 °C؛ إذ يتطلب التغلب على القوى التي تبقي الجزيئات في الحالة الصلبة طاقة أكبر من تلك التي نحتاج إليها لرفع درجة حرارة الماء.

19. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لتحويل كتلة من الجليد مقدارها $1.00 \times 10^2 \text{ g}$ ودرجة حرارتها 20.0°C إلى ماء درجة حرارته 0.0°C ؟
20. إذا سخنت عينة ماء كتلتها $2.00 \times 10^2 \text{ g}$ ودرجة حرارتها 60.0°C فأصبحت بخارًا درجة حرارته 140.0°C ، فما مقدار كمية الحرارة الممتصة؟
21. احسب كمية الحرارة اللازمة لتحويل $3.00 \times 10^2 \text{ g}$ من جليد درجة حرارته 30.0°C إلى بخار ماء درجة حرارته 130.0°C ؟

القانون الأول في الديناميكا الحرارية

The First Law of Thermodynamics

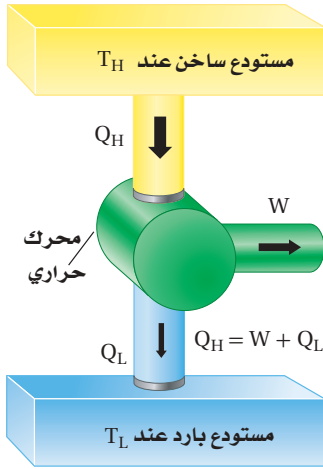
لقد اعتبرت دراسة الحرارة ودرجة الحرارة علمًا مستقلًا قبل فهم الارتباط بين الطاقة الحرارية وحركة الذرات. وكان القانون الأول بمثابة صيغة حول ماهية الطاقة الحرارية وكيفية انتقالها. وكما تعرف، فإنك تستطيع تسخين مسمار بوضعه فوق لهب أو طرقه بمطرقة. أي أنك تستطيع زيادة الطاقة الحرارية للمسمار إما بإضافة حرارة أو ببذل شغل عليه. ومن الجدير بالذكر أن المسمار يبذل شغلًا على المطرقة، لذا فإن الشغل المبذول بفعل المسمار على المطرقة يساوي سالب الشغل الذي تبذله المطرقة على المسمار. وينص **القانون الأول في الديناميكا الحرارية** على أن التغير في الطاقة الحرارية ΔU لجسم ما يساوي كمية الحرارة Q المضافة إلى الجسم مطروحًا منها الشغل W الذي يبذله الجسم. لاحظ أن الكميات كلها Q ، ΔU ، W مقيسة بوحدات الطاقة وهي الجول.

$$\Delta U = Q - W \quad \text{القانون الأول في الديناميكا الحرارية}$$

التغير في الطاقة الحرارية لجسم ما يساوي مقدار كمية الحرارة المضافة إلى الجسم مطروحًا منه الشغل الذي يبذله الجسم.

تتضمن الديناميكا الحرارية دراسة التغيرات في الخصائص الحرارية للمادة أيضًا. ويُعد القانون الأول في الديناميكا الحرارية عادة صياغة أخرى لقانون حفظ الطاقة، والذي ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، وإنما تتغير من شكل إلى آخر.

ومن الأمثلة الأخرى على تغير كمية الطاقة الحرارية في نظام ما، المضخة اليدوية المستخدمة في نفخ إطار الدراجة الهوائية؛ فعندما يقوم شخص بضغط المضخة فإن الهواء وأسطوانة المضخة يصبحان دافئين؛ حيث تتحول الطاقة الميكانيكية في المكبس المتحرك إلى طاقة حرارية للغاز. وبالمثل، فإن أشكالا أخرى من الطاقة يمكن أن تتحول إلى طاقة حرارية، ومنها الضوء والصوت والطاقة الكهربائية. فعلى سبيل المثال، تحول المحمصة الطاقة الكهربائية إلى حرارة عندما تحمص الخبز، وتدفع الشمس الأرض عن طريق الضوء من بُعد أكثر من 150 مليون كيلومتر.

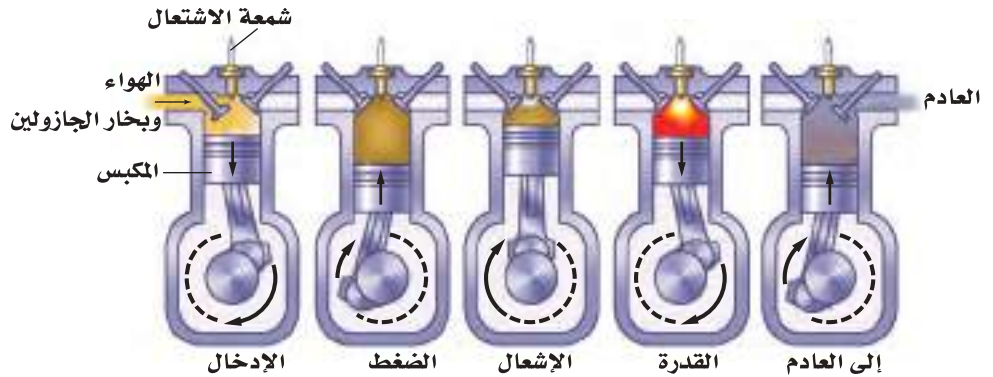


■ الشكل 11-5 محرك حراري يحول الحرارة عند درجة الحرارة المرتفعة إلى طاقة ميكانيكية وإلى حرارة ضائعة عند درجة حرارة منخفضة.

■ الشكل 12-5 تعمل الحرارة الناتجة بفعل احتراق الجازولين على تمدد الغازات الناتجة وبذل قوة وشغل على المكبس.

المحركات الحرارية إن الدفء الذي تشعر به عندما تفرك يديك إحداهما بالأخرى هو نتيجة تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية، ويحدث التحول من الطاقة الميكانيكية إلى الطاقة الحرارية بسهولة ويسر. أما العملية العكسية، وهي تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية، فتكون أكثر صعوبة. ويعد **المحرك الحراري** أداة ذات قدرة على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية بصورة مستمرة.

يتطلب المحرك الحراري مصدرًا ذا درجة حرارة مرتفعة لامتصاص الحرارة منه؛ ومستقبلًا ذا درجة حرارة منخفضة يمتص الحرارة ويسمى المصريف. كما يحتاج أيضًا إلى طريقة لتحويل الطاقة الحرارية إلى شغل. يوضح الشكل 11-5 رسمًا تخطيطيًا لمحرك حراري، وهو محرك احتراق داخلي، حيث يشتعل فيه بخار الجازولين المخلوط بالهواء لإنتاج شعلة ذات درجة حرارة مرتفعة. وتتدفق الحرارة (Q_H)، من اللهب إلى الهواء الموجود في الأسطوانة، ثم يتمدد الهواء ويدفع المكبس، محولاً بذلك الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية. وللحصول على طاقة ميكانيكية مستمرة، فإن المحرك يجب أن يعود إلى وضعه الابتدائي، حيث يطرد الهواء الحار ويحل محله هواء جديد، ويعود المكبس إلى أعلى الأسطوانة كما يبين الشكل 12-5.



وتتكرر هذه الدورة عدة مرات كل دقيقة. وتتحول الطاقة الحرارية من احتراق الجازولين إلى طاقة ميكانيكية، ولذا تتحرك السيارة.

لا تتحول جميع الطاقة الحرارية الناتجة عن الاشتعال في محرك السيارة إلى طاقة ميكانيكية، فعندما يشتغل المحرك تصبح الغازات الناتجة في العادم وأجزاء المحرك ساخنة، وينقل العادم الحرارة إلى الهواء الخارجي الملامس له، فترتفع درجة حرارة الهواء الخارجي، كما تنتقل الحرارة من المحرك إلى المبرد، فيمر الهواء الخارجي خلال المبرد، مما يرفع درجة حرارته أيضًا.

وتسمى الطاقة المنتقلة إلى خارج محرك المركبة بالحرارة الضائعة (Q_L)، وهي الحرارة غير المتحوّلة إلى شغل. فعندما يعمل المحرك بصورة دائمة فإن الطاقة الداخلية

للمحرك لا تتغير، أو $\Delta U = 0 = Q - W$. ومحصلة كمية الحرارة التي تدخل المحرك هي $Q = Q_H - Q_L$ ؛ لذا يكون الشغل الذي يبذله المحرك هو $W = Q_H - Q_L$. وتولد جميع المحركات الحرارية حرارة ضائعة (مفقودة)، ولذا لا يوجد محرك يحول الطاقة كلها إلى شغل أو حركة نافعة.

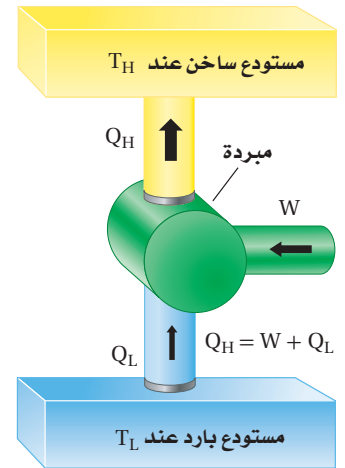
الكفاءة يتحدث المهندسون وبائعو السيارات عن كفاءة استهلاك الوقود في محركات المركبات، حيث يشيرون إلى كمية الحرارة الداخلة، Q_H ، التي تتحول إلى شغل نافع W . ويعبر عن الكفاءة الفعلية للمحرك بالنسبة W / Q_H . ومن الممكن أن تساوي الكفاءة مئة في المئة إذا تحولت الحرارة الداخلة كلها إلى شغل بفعل المحرك. ولكن بسبب وجود حرارة مفقودة دائماً، لا تصل كفاءة أغلب المحركات - حتى إن كانت ذات كفاءة عالية - إلى مئة في المئة.

تعمل بعض المحركات بالطاقة الشمسية فتُجمّع الحرارة في المجمعات الشمسية عند درجة حرارة عالية، ثم تستخدم لتشغيل المحركات، حيث تنتقل الطاقة الشمسية في صورة موجات كهرومغناطيسية تعمل على زيادة الطاقة الداخلية للمجمعات الشمسية، ثم تنتقل هذه الطاقة في صورة حرارة إلى المحرك. الذي يعمل على تحويلها إلى شغل نافع وحرارة مفقودة.

المبرّدات (الثلاجات) تتدفق الحرارة تلقائياً من الجسم الساخن إلى الجسم البارد. وعلى الرغم من ذلك، فإنه يمكن انتزاع الطاقة الحرارية من الجسم الأبرد وإضافتها إلى الجسم الأسخن ببذل شغل معين. ويعد المبرّد مثلاً على الآلة التي تحقّق هذا الانتقال باستخدام شغل ميكانيكي؛ حيث تعمل الطاقة الكهربائية على تشغيل محرك، فيبذل المحرك شغلاً على الغاز فيضغطه.

يعبر الغاز الذي ينقل الحرارة من داخل المبرّد (الثلاجة) عن طريق الضاغط إلى ملفات التكثيف الموجودة خارج المبرّد (خلف الثلاجة)، حيث يبرد متحولاً إلى سائل، وتنتقل الطاقة الحرارية المفقودة بسبب إرسالة الغاز إلى الهواء الموجود في الغرفة، ثم يعود السائل إلى داخل الثلاجة، فيتبخّر بعد أن يمتص الطاقة الحرارية مما يحيط به (أي من داخل الثلاجة)، ثم ينتقل بعد ذلك إلى الضاغط، وتكرر هذه العملية، ويكون التغير الكلي في الطاقة الحرارية للغاز يساوي صفراً؛ لذا واستناداً إلى القانون الأول في الديناميكا الحرارية، فإن مجموع الطاقة المأخوذة من محتويات المبردة والشغل المبذول بفعل المحرك يساوي الحرارة المنبعثة، كما يبين الشكل 5-13.

المضخات الحرارية إنّ المضخة الحرارية عبارة عن مبرّد يعمل في اتجاهين، فتتنزع المضخة في الصيف الحرارة من المنزل، ولذا يبرد المنزل. أمّا في الشتاء فتتنزع الحرارة من الهواء البارد الذي في الخارج وتنقلها إلى داخل المنزل لتدفّئه. وفي كلتا الحالتين، يتطلب ذلك طاقة ميكانيكية لنقل الحرارة من الجسم الأبرد إلى الجسم الأدفأ.



■ الشكل 5-13 يمتص المبرّد الحرارة Q_L من المستودع البارد ويبعث الحرارة Q_H إلى المستودع الساخن، ببذل شغل W على المبرّد.



22. يمتص بالون غاز 75 J من الحرارة. فإذا تمدد هذا البالون وبقي عند درجة الحرارة نفسها، فما مقدار الشغل الذي بذله البالون في أثناء تمدده؟
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؟
24. كم مرة يتعين عليك إسقاط كيس من الرصاص كتلته 0.50 kg من ارتفاع 1.5 m ؛ لتسخين الرصاص بمقدار 1.0°C ؟
25. عندما تحرك كوباً 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)
26. كيف يمكن استخدام القانون الأول في الديناميكا الحرارية لشرح كيفية تخفيض درجة حرارة جسم ما؟

القانون الثاني في الديناميكا الحرارية

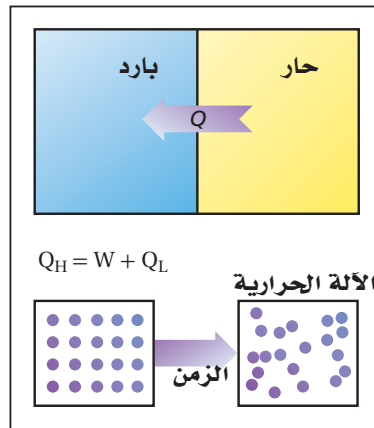
The Second Law of Thermodynamics

هناك العديد من العمليات التي تتفق مع القانون الأول في الديناميكا الحرارية، ولكن بعضها لم تشاهد وهي تحدث تلقائياً. فعلى سبيل المثال، لا يحظر القانون الأول في الديناميكا الحرارية تدفق الحرارة من الجسم البارد إلى الجسم الساخن، ومع ذلك لم يحدث أن أصبحت الأجسام الساخنة أكثر سخونة عند وضعها ملامسة لأجسام باردة، وبالمثل، لم تصبح الأجسام الباردة أكثر برودة عند ملامستها لأجسام ساخنة، انظر الشكل 14-5.

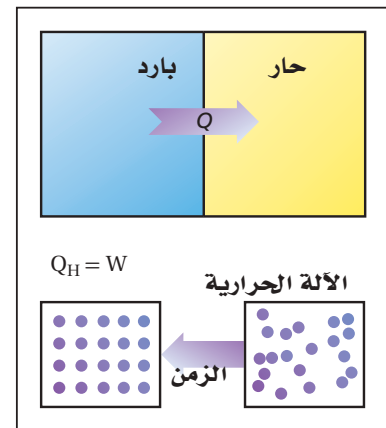
الانتروبي إذا حوّلت الآلات الحرارية الطاقة الحرارية بشكل كامل إلى طاقة ميكانيكية دون أي حرارة ضائعة (مفقودة) فإن القانون الأول في الديناميكا الحرارية يكون قد تحقق.

■ الشكل 14-5 العديد من العمليات التي تحقق القانون الأول في الديناميكا الحرارية لا تحدث تلقائياً. في حين تحقق العمليات التلقائية كلا القانونين الأول والثاني في الديناميكا الحرارية.

عمليات تحدث تلقائياً.



عمليات تتفق مع القانون الأول في الديناميكا الحرارية ولكن لا تحدث تلقائياً.



إلا أن الحرارة الضائعة تتولد دائماً، ولا تشاهد جزيئات الغاز الموزعة عشوائياً ترتب نفسها تلقائياً في أنماط معينة. وقد درس المهندس الفرنسي سادي كارنو قدرة الآلات على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية في القرن التاسع عشر، حيث قدم إثباتاً منطقياً على أن الآلات كلها - حتى المثالية منها - ستولد بعض الحرارة الضائعة (المفقودة). وتوصف نتيجة كارنو على نحو أفضل بدلالة كمية تُسمى **الإنتروبي**، وهي عبارة عن قياس لعدم الانتظام (الفوضى) في النظام.

عندما تسقط كرة بيسبول بفعل الجاذبية الأرضية، يكون لها طاقة وضع، وطاقة حركية تؤديان إلى إنجاز شغل. إلا أنه عندما تسقط الكرة خلال الهواء تصطدم بالعديد من جزيئات الهواء التي تمتص بعضاً من طاقة الكرة. وهذا يؤدي إلى تحرك جزيئات الهواء في اتجاهات، وسرعات عشوائية، حيث تؤدي الطاقة المكتسبة من الكرة إلى زيادة الفوضى بين الجزيئات. فكلما كان مدى سرعة الجزيئات أكبر كان عدم الانتظام (الفوضى) أكبر، والذي يزيد بدوره الإنتروبي. ومن المستبعد جداً أن تعود الجزيئات التي اضطربت، وتشتتت في جميع الاتجاهات إلى وضعها السابق معاً، مانحةً بذلك طاقتها للكرة ومسببة ارتفاعها عن سطح الأرض.

إنّ الإنتروبي محتوى داخل الجسم، مثله في ذلك مثل الطاقة الحرارية، وعند إضافة حرارة إلى الجسم، فإنّ الإنتروبي يزداد، وإذا انتزعت حرارة من الجسم فإنّ الإنتروبي ينقص، أما إذا بذل الجسم شغلاً دون أن تتغير درجة الحرارة فإنّ الإنتروبي لا يتغير ما دام الاحتكاك مهملاً. ويعبر عن التغير في الإنتروبي ΔS بالمعادلة الآتية (حيث تكون وحدة الإنتروبي هي J/K وتكون درجات الحرارة مقيسة بالكلفن):

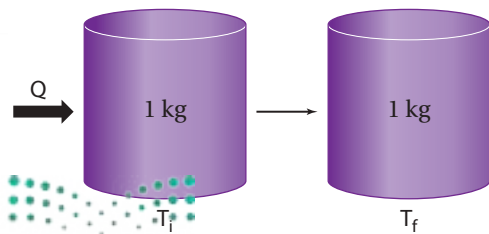
$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

التغير في الإنتروبي

التغير في الإنتروبي لجسم ما يساوي مقدار كمية الحرارة المضافة إلى الجسم مقسومة على درجة حرارة الجسم بالكلفن.

مسألة تحفيز

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.
2. تسخين 1 kg من الماء من 353 K إلى 354 K.
3. صهر 1 kg من الجليد بشكل كامل عند 273 K.
4. تسخين 1 kg من الرصاص من 273 K إلى 274 K.

ينص **القانون الثاني في الديناميكا الحرارية** على أن العمليات الطبيعية تجري في اتجاه المحافظة على الإنتروبي الكلي للكون أو زيادته. أي أن الأشياء كلّها ستصبح أكثر عشوائية، وأقل انتظاماً ما لم يُتخذ إجراء معين يحافظ على انتظامها وترتيبها. ويمكن التفكير في زيادة الإنتروبي، وفي القانون الثاني في الديناميكا الحرارية على أنّها عبارات تصف احتمال وقوع الأحداث. ويبين الشكل 15-5 زيادة الإنتروبي؛ حيث كانت جزيئات صبغة الطعام منفصلة عن الماء في بداية الأمر، ثم أصبحت مختلطة بجزيئات الماء بعد فترة زمنية. من جهة أخرى، يوضح الشكل 16-5 مثلاً على قانون الديناميكا الحرارية الثاني، الذي قد يكون مألوفاً للعديد من الطلاب.



■ الشكل 15-5 يُعد الاختلاط التلقائي لصبغة الطعام بالماء مثلاً على القانون الثاني في الديناميكا الحرارية.



■ الشكل 16-5 يصل الإنتروبي تلقائياً إلى قيمة كبيرة إذا لم يُبدّل شغل على النظام.

يتوقع من خلال القانون الثاني في الديناميكا الحرارية أن الحرارة تنتقل تلقائياً من الجسم الساخن إلى الجسم البارد فقط. افترض وجود قضيب حديدي ساخن وكأس ماء بارد، فسيكون متوسط سرعة حركة جزيئات الحديد كبيراً جداً، في حين أن متوسط سرعة حركة جزيئات الماء أقل منه في الحديد. وعند وضع القضيب في الماء والوصول إلى حالة الاتزان الحراري، فإن متوسط الطاقة الحركية للجزيئات في الحديد والماء تصبح متماثلة. وفي هذه الحالة فإن عدداً كبيراً من الجزيئات، أصبحت حركتها العشوائية أكبر مما كانت عليه في البداية، وهذه الحالة النهائية تكون أقل ترتيباً من الحالة الابتدائية. ولا تبقى الجزيئات السريعة مقتصرة على الحديد فحسب، كما لم تعد الجزيئات الأبطأ مقتصرة على الماء فقط؛ إذ إن السرعات جميعها موزعة بانتظام. ويكون الإنتروبي للحالة النهائية أكبر منه للحالة الابتدائية.

مخالفات للقانون الثاني إننا نعتبر العديد من الأحداث اليومية التي تحدث تلقائياً، أو طبعياً، في اتجاه واحد من الأمور البديهية؛ وسوف نندهش إذا وقعت الأحداث نفسها بشكل معكوس تلقائياً. فمثلاً، لن تندهش عندما تُسخن ملعقة معدنية من أحد طرفيها، فتصبح ساخنة بأكملها بانتظام. ولكن تخيل ردة فعلك، إذا كانت لديك ملعقة مستقرة على طاولة، وفجأة أصبح أحد طرفيها ساخناً ومحمراً، والطرف الآخر متجمداً وبارداً!

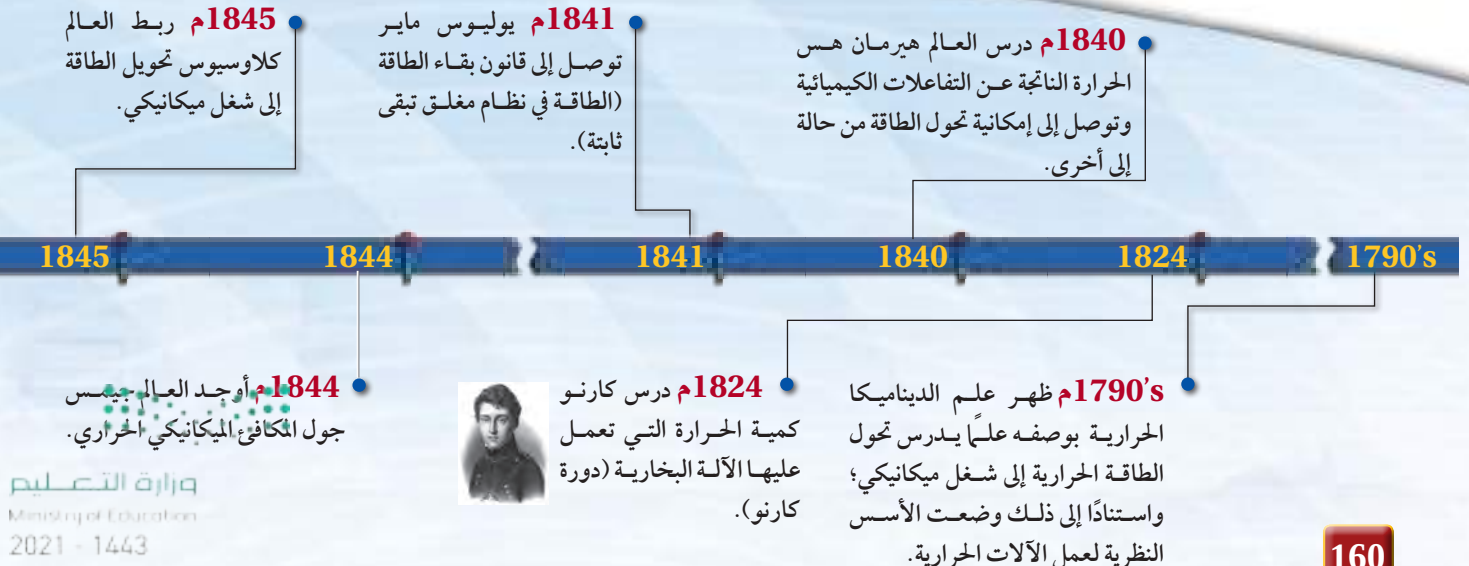


وإذا غُصَّت في بركة سباحة فسوف تتوقع بديهيًا أنك ستدفع جزيئات الماء بعيدًا عند دخولك إلى الماء، ولكنك ستندهش إذا عملت الجزيئات كلها على قذفك تلقائيًا إلى منصة الغطس. لن يخالف أي من هذه العمليات الافتراضية المعكوسة القانون الأول في الديناميكا الحرارية. وتعد ببساطة أمثلة على الأحداث التي لا تحدث ولا حصر لها؛ لأن عملياتها تخالف القانون الثاني في الديناميكا الحرارية.

يقدم القانون الثاني في الديناميكا الحرارية وزيادة الإنتروبي معنى جديدًا لما يسمّى أزمة الطاقة. وتشير أزمة الطاقة إلى المشاكل الناجمة عن الاستخدام المستمر للمصادر المحدودة من الوقود الأحفوري، مثل الغاز الطبيعي، والنفط. فأنت عندما تستخدم مصدرًا مثل الغاز الطبيعي لتدفئة منزل، فإنك لا تستهلك الطاقة التي في الغاز، وإنما تحول الطاقة الكيميائية الكامنة في جزيئات الغاز إلى طاقة حرارية في اللهب، ثم تنتقل الطاقة الحرارية التي في اللهب إلى طاقة حرارية في الهواء داخل المنزل، ولا تفنى الطاقة حتى لو تسرب هذا الهواء الدافئ إلى الخارج؛ فالطاقة لم تستهلك. أما الإنتروبي فقد ازداد.

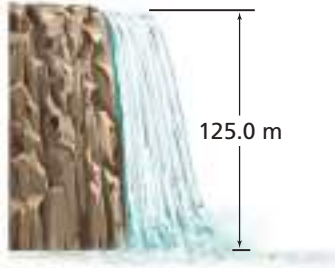
إنّ التركيب الكيميائي للغاز الطبيعي منظم جدًّا، وكما تعلمت، عندما تصبح مادة أكثر سخونة، فإن متوسط الطاقة الحركية للجزيئات داخل المادة يزداد، أمّا الحركة العشوائية للهواء الدافئ فتصبح غير منتظمة. ورغم أنه من الممكن رياضياً لترتيب الكيميائي الأصلي أن يُعاد تشكيله، إلا أن احتمال حدوث ذلك بالتأكيد معدومة. ولهذا السبب، يُستخدم الإنتروبي غالبًا بوصفه مقياسًا لعدم توافر طاقة مفيدة. فالطاقة التي في الهواء الدافئ في المنزل غير متوافرة لتنجز شغلًا ميكانيكيًا أو لتنقل الحرارة إلى أجسام أخرى، كما هو الحال بالنسبة لجزيئات الغاز الأصلية. وإن نقص الطاقة القابلة للاستخدام هو فعليًا فائض في الإنتروبي. وأخيرًا يمكن القول بأن علم الديناميكا الحرارية ظهر بوصفه علمًا يدرس تحول الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي في أواخر القرن الثامن عشر وكان أساسًا لعمل الآلات الحرارية. ويبين الشكل 17-5 إسهامات بعض العلماء فيه.

الشكل 17-5 خط زمني يبين إسهامات بعض العلماء في تطور علم الديناميكا الحرارية وتطبيقاتها.



2-5 مراجعة

32. **الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية** تتدفق مياه شلال يرتفع 125.0 m كما في الشكل 18-5. احسب الفرق في درجة حرارة الماء بين قمة الشلال وقاعه إذا تحولت كل طاقة وضع الماء إلى طاقة حرارية.



الشكل 18-5

33. **الإنتروبي** لماذا ينتج عن تدفئة المنزل عن طريق الغاز الطبيعي زيادة في كمية الفوضى أو العشوائية؟
34. **التفكير الناقد** إذا كان لديك أربع مجموعات من بطاقات فهرسة، لكل مجموعة لون محدد. 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؟

27. **الحرارة الكامنة للتبخير** يرسل النظام القديم للتدفئة بخارًا داخل الأنابيب في كل غرفة من المنزل، ويتكثف هذا البخار في داخل المبرد ليصبح ماءً. حلّل هذه العملية، وشرح كيف تعمل على تدفئة الغرفة؟

28. **الحرارة الكامنة للتبخير** 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 ؟

29. **الحرارة الكامنة للتبخير** ما مقدار الطاقة اللازمة لتسخين 1.0 kg من الزئبق عند درجة حرارة 10.0°C إلى درجة الغليان وتبخيره كاملاً؟ علماً بأن الحرارة النوعية للزئبق هي $140\text{ J/Kg}\cdot 0.0^\circ\text{C}$ ، ودرجة غليان الزئبق هي 357°C .

30. **الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية** قاس جيمس جول الفرق في درجة حرارة الماء عند قمة شلال ماء وعند قاعه بدقة. فلماذا توقع وجود فرق؟

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.

1875-1878م أثبت ويلارد غيبس ما توصل إليه هلمولتز من حيث الربط بين الطاقة الكهربائية للبطارية والطاقة الكيميائية والحرارية الناتجة عن التفاعلات فيها.

1850م استنتج بولتزمان إمكانية حدوث التغير العكوس في نظام مغلق.

1999

1945

1878-1875

1862

1850

1999م قدم العالم البيوت ليب منظومة الترموديناميكا لتفسير الإنتروبي.

1945م اقترح سيلسيوس أن تكون درجة الصفر هي درجة تجمد الماء ودرجة 100 هي درجة غليانه.

1862م توصل مارسين برتلوت إلى إمكانية الحصول على قوة دافعة من الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية.

مختبر الفيزياء

التسخين والتبريد

عند وضع دورق ماء على صفيحة ساخنة فإن الحرارة تنتقل في البداية إلى الدورق ثم إلى الماء في قاع الدورق بالتوصيل، ثم ينقل الماء الحرارة من القاع إلى أعلى خلال تحريك الماء الساخن للقمة عن طريق الحمل الحراري. وعند إزالة أو فصل مصدر الحرارة، يشع الماء طاقة حرارية حتى يصل إلى درجة حرارة الغرفة. وتعتمد السرعة التي يسخن بها الماء على كمية الحرارة المضافة، وكتلة الماء، وسعته الحرارية النوعية.

سؤال التجربة

كيف يمكن أن تؤثر الزيادة المستمرة الثابتة للطاقة الحرارية في درجة حرارة الماء؟

المطلوب

1. شغل السخان الكهربائي على أعلى درجة حرارة ممكنة، أو كما يرشدك المعلم، وانتظر عدة دقائق حتى تسخن.
2. قس كتلة الدورق الفارغ.
3. املاً الدورق بمقدار 150 ml من الماء، ثم قس كتلة الدورق والماء.
4. احسب كتلة الماء في الدورق وسجلها.
5. اعمل جدولاً للبيانات.
6. سجل درجة الحرارة الابتدائية للماء والهواء في الغرفة. على ألا يلامس قاع مقياس الحرارة قاع الدورق أو جوانبه، أو الطاولة أو اليدين.
7. ضع الدورق على صفيحة السخان الكهربائي، وسجل درجة الحرارة كل دقيقة مدة 5 دقائق.
8. ارفع الدورق عن الصفيحة بحذر، وسجل درجة الحرارة كل دقيقة مدة عشر دقائق.
9. سجل درجة حرارة الهواء في نهاية الفترة.
10. افصل قابس السخان الكهربائي.
11. اترك الأدوات عند الانتهاء حتى تبرد، وتخلص من الماء وفق إرشادات المعلم.

الأهداف

- تقيس درجة الحرارة والكتلة بالوحدات الدولية.
- ترسم الرسوم البيانية وتستخدمها للمساعدة على وصف تغير درجة حرارة الماء عند تسخينه وتبريده.
- تفسر أوجه التشابه والاختلاف بين هذين التغيرين.

إجراءات السلامة



- احذر عند التعامل مع صفيحة السخان الكهربائي الحارة.

الأدوات والمواد

- سخان كهربائي (أو لهب بنسن)
- دورق زجاجي حراري سعته 250 ml
- (50-200)g من الماء
- مقياساً درجة حرارة (غير زئبقيين)
- ساعة إيقاف



جدول البيانات		
كتلة الماء		
درجة حرارة الهواء الابتدائية		
درجة حرارة الهواء النهائية		
التغير في درجة حرارة الهواء		
الزمن (دقائق)	درجة الحرارة (°C)	تسخين أو تبريد

5. **كُونْ فرضية** أين ذهبت الطاقة الحرارية للماء عندما بدأ الماء يبرد؟ ادمع فرضيتك.

التوسع في البحث

1. هل يؤدي وضع مقياس الحرارة في أعلى الماء داخل الدورق إلى إعطاء قراءة مختلفة عما إذا وضع في قاع الدورق؟ فسّر ذلك.
2. كُونْ فرضية لاستنتاج التغيرات في درجة الحرارة إذا كان لديك الكميات الآتية من الماء في الدورق: 250 ml ، 50 ml
3. افترض أنك عزلت الدورق المستخدم، فكيف تتأثر قابلية الدورق للتسخين أو التبريد؟

التعميم في البحث

1. افترض أنك استخدمت زيتاً نباتياً بدلاً من الماء في الدورق. كُونْ فرضية حول تغيرات درجة الحرارة إذا اتبعت الخطوات نفسها ونفذت التجربة.
2. إذا أخذت كمية حساء عند درجة حرارة الغرفة، وسختها في فرن ميكروويف مدة 3 دقائق، فهل يعود الحساء إلى درجة حرارة الغرفة في 3 دقائق؟ فسّر ذلك.

التطبيق

1. احسب التغير في درجة حرارة الهواء لتحديد ما إذا كانت درجة حرارة الهواء متغيراً خارجياً.
2. مثل بيانياً العلاقة بين درجة الحرارة (المحور الرأسي) والزمن (المحور الأفقي). واستخدم الحاسوب أو الآلة الحاسبة لرسم المنحنى إذا أمكن ذلك.
3. **احسب** ما التغير في درجة حرارة الماء في حالة التسخين؟
4. **احسب** ما الانخفاض في درجة حرارة الماء بعد إبعاد مصدر الحرارة؟
5. احسب متوسط ميل المنحنى البياني لارتفاع درجة الحرارة من خلال قسمة التغير في درجة الحرارة على زمن تسخين الماء.
6. احسب متوسط ميل المنحنى البياني لانخفاض درجة الحرارة من خلال قسمة التغير في درجة الحرارة على الزمن من لحظة إبعاد مصدر الحرارة.

الاستنتاج والتطبيق

1. **لخص** ما التغير الذي طرأ على درجة حرارة الماء عند وضع مصدر الحرارة؟
2. **لخص** ما التغير الذي طرأ على درجة حرارة الماء بعد إبعاد مصدر الحرارة مباشرة؟
3. ما الذي يحدث لدرجة حرارة الماء بعد الدقائق العشر الآتية؟ وهل تستمر في الانخفاض إلى الأبد؟
4. أيهما بدأ أسرع: تسخين الماء أم تبريده؟ ولماذا تعتقد ذلك؟ تلميح: تفحص قيم الميل التي حسبته.



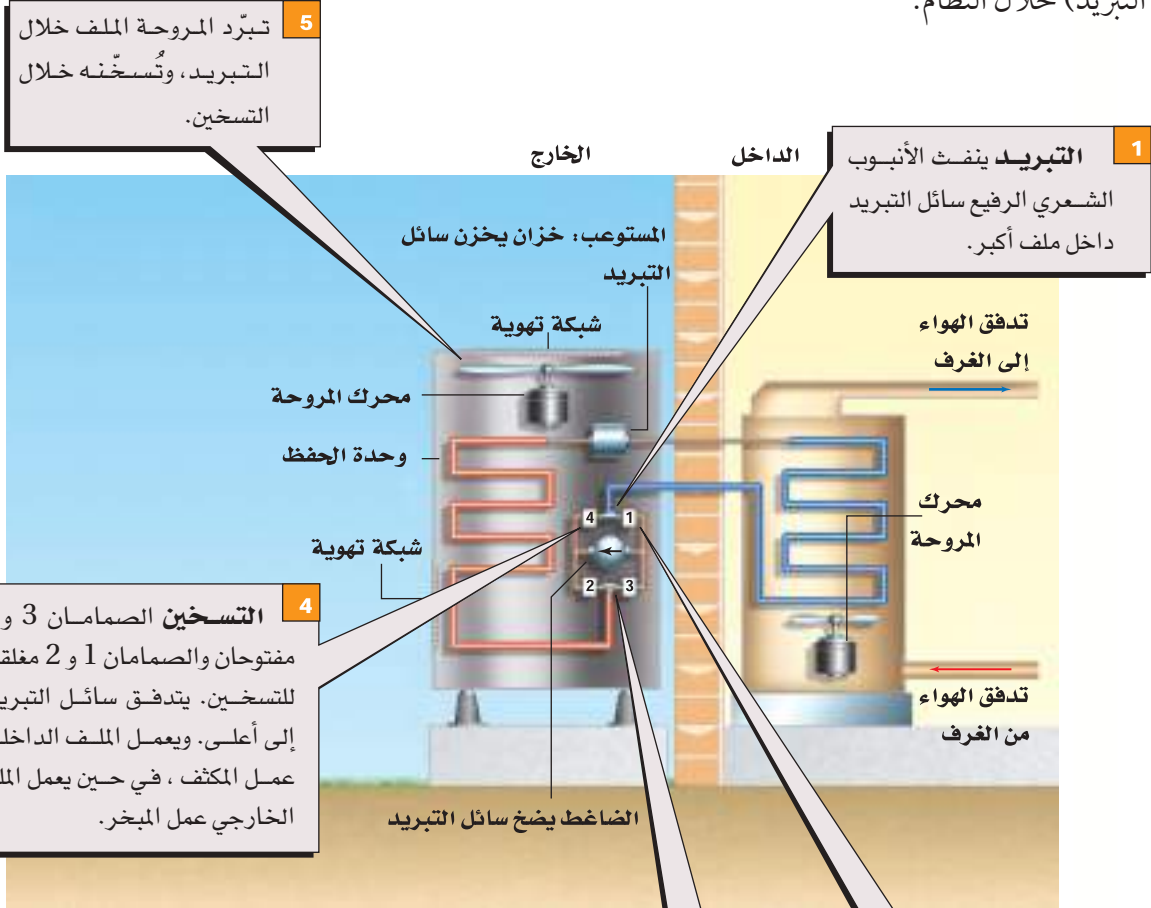
كيف

تعمل

The Heat Pump

مضخة الحرارة؟

اخترعت مضخات الحرارة عام 1940 م، ويُطلق عليها أيضًا مكيفات الهواء العكسية، وهي تستخدم لتدفئة وتبريد المنازل وغرف الفنادق. وتتحول مضخات الحرارة من مدافئ إلى مكيفات هواء عن طريق عكس اتجاه انتقال الحرارة (تدفق التبريد) خلال النظام.



التفكير الناقد

1. **لاحظ** تتبع تدفق سائل التبريد خلال النظام في حالتي التسخين والتبريد، مبتدئاً من المضاغط.
2. **حلّل** هل تكون مضخة الحرارة قادرة على التسخين داخل المنزل عندما تنخفض درجة الحرارة الخارجية إلى مستويات باردة جداً؟

دليل مراجعة الفصل

1-5 درجة الحرارة والطاقة الحرارية Temperature and Thermal Energy

المفردات

- الطاقة الحرارية
- التوصيل الحراري
- الاتزان الحراري
- الحرارة
- الحمل الحراري
- الإشعاع الحراري
- الحرارة النوعية

المفاهيم الرئيسية

- تتناسب درجة حرارة الغاز طرديًا مع متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته.
- الطاقة الحرارية هي مقياس للحركة الداخلية لجزيئات الجسم.
- يصل مقياس الحرارة إلى الاتزان الحراري مع الجسم الملامس له، ثم تشير خاصية للمقياس - تعتمد على الحرارة - إلى درجة الحرارة.
- يستخدم مقياسًا درجة الحرارة سلسيوس وكلفن في البحث العلمي. وكل تغير بمقدار 1 K يساوي تغيرًا بمقدار 1 °C.
- لا يمكن انتزاع أي طاقة حرارية من المادة عندما تكون درجة حرارتها صفرًا مطلقًا.
- الحرارة هي الطاقة المنتقلة بسبب اختلاف درجات الحرارة.

$$Q = mC\Delta T = mC (T_f - T_i)$$

- الحرارة النوعية هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1kg من المادة بمقدار 1k.
- يمكن أن تتدفق الحرارة في النظام المغلق والمعزول، وينتج عن ذلك تغير الطاقة الحرارية لأجزاء النظام، ولكن الطاقة الكلية للنظام تبقى ثابتة. $E_A + E_B = \text{ثابت}$

2-5 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية Changes of State and The Laws of Thermodynamics

المفردات

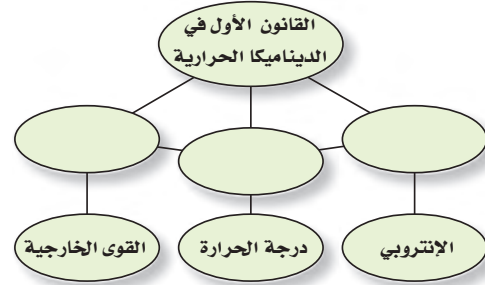
- الحرارة الكامنة
- للانصهار
- الحرارة الكامنة
- للتبخير
- القانون الأول في
- الديناميكا الحرارية
- المحرك الحراري
- الإنتروبي
- القانون الثاني في
- الديناميكا الحرارية

المفاهيم الرئيسية

- الحرارة الكامنة للانصهار هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1kg من المادة الصلبة إلى حالتها السائلة عند نقطة انصهارها. $Q = mH_f$
- الحرارة الكامنة للتبخير هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 kg من المادة السائلة إلى حالتها الغازية عند نقطة غليانها. $Q = mH_v$
- انتقال الحرارة خلال تغير حالة المادة لا يغير درجة حرارتها.
- إن التغير في طاقة جسم ما هو مجموع الطاقة المضافة إليه مطروحًا منه الشغل الذي يبذله الجسم. $\Delta U = Q - W$
- يحوّل المحرك الحراري الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية باستمرار.
- تستخدم مضخة الحرارة والمبردة (الثلاجة) الطاقة الميكانيكية لنقل الحرارة من الحيز الذي درجة حرارته أقل إلى الحيز الذي درجة حرارته أكبر.
- الإنتروبي هو مقياس للفوضى في النظام.
- يعرف التغير في الإنتروبي لجسم ما على أنه مقدار الحرارة المضافة إلى الجسم مقسومة على درجة حرارته بالكلفن. $\Delta S = \frac{Q}{T}$

خريطة المفاهيم

35. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الحرارة، الشغل، الطاقة الداخلية.



إتقان المفاهيم

36. وضح الاختلافات بين الطاقة الميكانيكية لكرة ما، وطاقتها الحرارية، ودرجة حرارتها. (5-1)
37. هل يمكن وجود درجة حرارة للفراغ؟ وضح ذلك. (5-1)
38. هل جميع الجزيئات أو الذرات في السائل لها السرعة نفسها؟ (5-1)
39. هل يُعد جسم الإنسان مقياساً جيداً لدرجة الحرارة؟ تشعر في يوم شتاء بارد، أن مقبض الباب المعدني أبرد من المقبض الخشبي. فسر ذلك. (5-1)
40. عند تدفق الحرارة من جسم ساخن ملاس لجسم بارد، هل يحدث للجسمين التغير نفسه في درجات الحرارة؟ (5-1)
41. هل تستطيع إضافة طاقة حرارية إلى جسم دون زيادة درجة حرارته؟ فسر ذلك. (5-2)
42. عندما يتجمد الشمع، هل يمتص طاقة أم يبعث طاقة؟ (5-2)
43. فسر لماذا يبقى الماء في القربة المحاطة بقماش رطب بارداً أكثر من حالة عدم وجود القماش؟ (5-2)
44. أي العمليات تحدث في ملفات مكيف الهواء الموجودة داخل المنزل: التبخر أم التكثف؟ وضح ذلك. (5-2)

تطبيق المفاهيم

45. **الطبخ** تطهو امرأة اللحم في قدر ماء يغلي. فهل ينضج اللحم أسرع عند غلي الماء بشدة أو غليه بهدوء (على نار هادئة)؟

46. أي السائلين يبرّده مكعب من الثلج أسرع: الماء أم الميثانول؟ وضح ذلك.
47. سُخِنَت كتلتان متساويتان من الألومنيوم والرصاص بحيث أصبحتا عند درجة الحرارة نفسها، ثم وضعت القطعتان على لوحين متماثلين من الجليد. أيهما يصهر جليداً أكثر؟ وضح ذلك.
48. لماذا يشعر الشخص ببرودة السوائل السريعة التبخر على الجلد، ومنها الأسيتون والميثانول؟
49. أُسْقِطَ قالبان من الرصاص لهما درجة الحرارة نفسها في كأسين متماثلين من الماء متساويتين في درجة الحرارة. فإذا كانت كتلة قالب A ضعف كتلة قالب B، فهل يكون لكأسَي الماء درجات الحرارة نفسها بعد الوصول إلى حالة الاتزان الحراري؟ وضح ذلك.

إتقان حل المسائل

1-5 درجة الحرارة والطاقة الحرارية

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؟
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 الحرارة النوعية للمعدن.
52. **فنجان قهوة** وضع فنجان قهوة زجاجي كتلته 4.00×10^2 g ودرجة حرارته 20.0 °C في وعاء تسخين درجة حرارته 80.0 °C كما في الشكل 19-5. فأصبحت درجة حرارة الفنجان مساوية لدرجة حرارة الوعاء. احسب كمية الحرارة التي امتصها الفنجان؟ افترض أن كتلة وعاء التسخين كبيرة بما يكفي، فلا تتغير درجة حرارته بشكل ملحوظ.



الشكل 19-5

تقويم الفصل 5



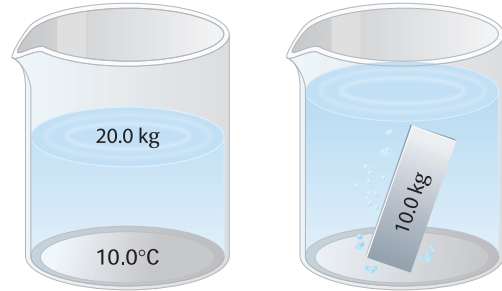
الشكل 5-21 ■

58. **محرك السيارة** يحتوي محرك سيارة حديد كتلته $2.50 \times 10^2 \text{ kg}$ 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 $4.40 \times 10^6 \text{ J}$ ؟

5-2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية

59. كانت إحدى طرائق التبريد قديماً تقتضي استخدام قالب من الجليد كتلته 20.0 kg يومياً في صندوق الجليد المنزلي. وكانت درجة حرارة الجليد 0.0°C عند استلامه. فما مقدار كمية الحرارة التي يمتصها القالب في أثناء انصهاره؟
60. كُتفت 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؟
61. 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؟
62. 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 ؟

53. وضعت كتلة من التنجستن مقدارها $1.00 \times 10^2 \text{ g}$ ، ودرجة حرارتها 100.0°C في $2.00 \times 10^2 \text{ g}$ من الماء عند درجة 20.0°C . فوصل الخليط إلى الاتزان الحراري عند درجة 21.6°C . احسب الحرارة النوعية للتنجستن.
54. خلطت عينة كتلتها $6.0 \times 10^2 \text{ g}$ من الماء عند درجة 90.0°C بعينة ماء كتلتها $4.0 \times 10^2 \text{ g}$ عند 22.0°C . فإذا افترضت عدم فقدان أي حرارة للمحيط، فما درجة الحرارة النهائية للخليط؟
55. وضعت قطعة خارصين في وعاء ماء كما في الشكل 5-20. 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 5-20 ■

56. إن الطاقة الحركية لسيارة صغيرة تتحرك بسرعة 100 km/h هي $2.9 \times 10^5 \text{ J}$. لتكون انطباعاً جيداً عن مفهوم الطاقة، احسب حجم الماء (بالتر) الذي ترتفع حرارته من درجة حرارة الغرفة (20.0°C) إلى درجة الغليان (100.0°C) إذا اكتسب طاقة مقدارها $2.9 \times 10^5 \text{ J}$.
57. **سخان الماء** يستخدم سخان ماء قدرته $3.0 \times 10^5 \text{ W}$ لتسخين قذح ماء كما في الشكل 5-21. ما مقدار الزمن اللازم لجعل الماء يغلي، إذا كان القذح مصنوعاً من الزجاج وكتلته $3.0 \times 10^2 \text{ g}$ ويحتوي 250 g من الماء عند 15°C ؟ افترض أن درجة حرارة القذح مساوية لدرجة حرارة الماء، وأنه لن يفقد الحرارة إلى الهواء.

68. **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؟

69. وضع قالب من النحاس عند 100.0°C ملامسًا قالبًا من الألومنيوم عند 20.0°C ، كما في الشكل 22-5. ما الكتل النسبية للقالين إذا كانت درجة الحرارة النهائية لهما 60.0°C ؟



الشكل 22-5

70. 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؟

71. 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؟

63. 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.

64. 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؟

مراجعة عامة

65. 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؟

66. **مكبس أختام** تبذل آلة أختام معدنية في مصنع 2100 J من الشغل في كل 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؟

67. 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؟



تقويم الفصل 5

التفكير الناقد

الكتابة في الفيزياء

76. 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، وقدر هل من الإنصاف تسمية وحدة الطاقة بالجول بدلاً من ثومسون؟

77. للماء حرارة نوعية كبيرة غير عادية، كما أن كلاً من الحرارة الكامنة لانصهاره وتبخره عالية. ويعتمد الطقس على الماء في حالاته الثلاث. تُرى كيف يكون العالم إذا كانت خصائص الماء الحرارية مثل خصائص المواد الأخرى كالميثانول مثلاً؟

مراجعة تراكمية

78. ترفع رافعة كتلة مقدارها 180 kg إلى ارتفاع 1.95 m. ما مقدار الشغل الذي تبذله الرافعة لرفع الكتلة؟ (الفصل 3)

79. 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؟ (الفصل 4)

72. **حلّ ثم استنتج** يتنزع محرك حراري معين 50.0 J من الطاقة الحرارية من مستودع حار عند درجة حرارة $T_H = 545 \text{ K}$ ، ويبعث 40.0 J من الحرارة إلى مستودع بارد عند درجة حرارة $T_L = 325 \text{ K}$. كما يعمل على نقل الإنتروبي من مستودع إلى آخر أيضاً خلال العملية.

a. كيف يعمل المحرك على تغيير الإنتروبي الكلي للمستودعين؟

b. ماذا سيكون تغير الإنتروبي الكلي في المستودعين إذا كانت $T_L = 205 \text{ K}$ ؟

73. **حلّ ثم استنتج** تزداد عمليات الأيض للاعب كرة القدم خلال اللعبة بمقدار 30.0 W. ما مقدار العرق الذي يجب أن يتبخر من اللاعب كل ساعة ليبدد هذه الطاقة الحرارية الإضافية؟

74. **حلّ ثم استنتج** يستخدم الكيميائيون المسعر لقياس كمية الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية. فعلى سبيل المثال، يذيب كيميائي 1.0×10^{22} جزيئاً من مسحوق مادة في مسعر يحتوي 0.5 kg من الماء، فتتخطم الجزيئات وتحرّر طاقة ربطها ليمتصها الماء، فتزداد درجة حرارة الماء إلى 2.3°C . ما مقدار طاقة الربط لكل جزيء مع هذه المادة؟

75. **تطبيق المفاهيم** تعد الشمس مصدر جميع أشكال الطاقة على الأرض. حيث تكون درجة حرارة سطح الشمس 10^4 K تقريباً. ماذا يحدث للعالم لو كانت درجة حرارة سطح الشمس 10^3 K ؟



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أي تحويلات درجات الحرارة الآتية غير صحيح؟

298 K = 571 °C (C) -273 °C = 0 K (A)

88 K = -185 °C (D) 273 °C = 546 K (B)

2. ما وحدات الإنتروبي؟

J (C) J / K (A)

kJ (D) K / J (B)

3. أي العبارات الآتية المتعلقة بالاتزان الحراري غير صحيح؟

(A) عندما يكون جسمان في حالة اتزان فإن الإشعاع

الحراري بين الجسمين يستمر في الحدوث.

(B) يستخدم الاتزان الحراري في توليد الطاقة في المحرك

الحراري.

(C) يستخدم مبدأ الاتزان الحراري في الحسابات المسعرية.

(D) عندما لا يكون جسمان في حالة اتزان فإن الحرارة

ستتدفق من الجسم الساخن إلى الجسم الأبرد منه.

4. ما كمية الحرارة اللازمة لتسخين 87 g من الميثانول

المتجمد عند 14 K إلى بخار عند 340 K؟ (درجة انصهاره

-97.6 °C، درجة غليانه 64.6 °C، افترض أن الحرارة

النوعية للميثانول ثابتة في جميع حالاته).

1.4 × 10² kJ (C) 17 kJ (A)

1.5 × 10² kJ (D) 69 kJ (B)

5. أي العبارات الآتية المتعلقة بالطاقة والإنتروبي وتغيرات

الحالة صحيح؟

(A) يزيد تجميد الماء من طاقته حيث يكتسب ترتيباً

جزيئياً باعتباره تحوّل إلى مادة صلبة.

(B) كلما كانت الحرارة النوعية للمادة أكبر زادت درجة

حرارة انصهارها.

(C) حالات المادة ذات الطاقة الحركية الأكبر يكون

لها إنتروبي أكبر.

(D) لا يمكن أن تزداد الطاقة والإنتروبي في الوقت نفسه.

6. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لتدفئة 363 ml من الماء

في زجاجة أطفال من 24 °C إلى 38 °C؟

121 kJ (C) 21 kJ (A)

820 kJ (D) 36 kJ (B)

7. تكون هناك دائماً كمية حرارة مفقودة في المحرك الحراري؛

لأن:

(A) الحرارة لا تنتقل من الجسم البارد إلى الجسم الساخن.

(B) الاحتكاك يعمل على إبطاء المحرك.

(C) الإنتروبي يزداد في كل مرحلة.

(D) مضخة الحرارة تستخدم طاقة.

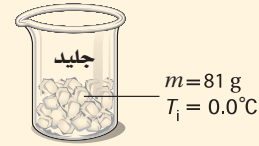


اختبار مقنن

8. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لصهر 81 g من الجليد عند درجة 0.0°C في دورق ويسخن إلى 10°C ؟

30 kJ (C) 0.34 kJ (A)

190 kJ (D) 27 kJ (B)



9. إذا بذلت 0.050 J من الشغل على القهوة في الفنجان في كل مرة تحركها، فما مقدار الزيادة في الإنتروبي في 125 ml من القهوة عند درجة 65°C عندما تحركها 85 مرة؟

0.095 J/K (C) 0.013 J/K (A)

4.2 J (D) 0.050 J (B)

الأسئلة الممتدة

10. ما الفرق بين كمية الحرارة اللازمة لصهر 454 g من الجليد عند 0.0°C ، وكمية الحرارة اللازمة لتحويل 454 g من الماء عند 100°C إلى بخار؟ وهل مقدار الفرق أكبر أم أقل من كمية الطاقة اللازمة لتسخين 454 g من الماء عند 0.00°C إلى 100.0°C ؟

إرشاد

تعلم من أخطائك

تكون الأخطاء التي ترتكبها قبل الاختبار مفيدة؛ لأنها تبين المواضيع التي تحتاج إلى تركيز أكبر. فعندما تحسب كمية الحرارة اللازمة لصهر مادة وتسخينها تذكر أن تحسب كمية الحرارة اللازمة لصهر المادة إضافة إلى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارتها.



ما الذي سنتعلمه في هذا الفصل؟

- تفسير تمدد 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 التمدد 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.

فكر

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

هل تطفو أم تغطس؟

سؤال التجربة كيف تقيس طفو الأجسام؟

الخطوات

1. أحضر عبوة صغيرة (مرفقة بغطاء أو سدادة) ومخبار مدرج 500 ml، وصل شريطاً مطاطياً بالعبوة؛ لتعليقها بميزان نابضي.
2. استخدم الميزان النابضي لإيجاد وزن العبوة، ثم استخدم الأسطوانة المدرجة لإيجاد حجم الماء الذي أزيح عن طريق العبوة المغلقة عندما طفت. وسجل كلتا القراءتين؛ وامسح أي سائل مسكوب.
3. ضع قطعة نيكل في العبوة ثم أغلقها جيداً. كرر الخطوة الثانية، ثم سجل وزن العبوة وقطعة النيكل، وحجم الماء المزاح. وسجل أيضاً هل طفت العبوة أم غطست.
4. كرر الخطوتين 2 و 3، وأضف في كل مرة

التحليل

استخدم المعلومات التي دَوَّنتها في حساب كثافة نظام العبوة - قطعة النيكل، ثم احسب كتلة الماء المزاح عن طريق النظام في كل مرة. كيف ترتبط الكثافة بالطفو؟



التفكير الناقد كيف ترتبط كتلة نظام العبوة - قطعة النيكل مع كتلة الماء المزاح عن طريق النظام؟ وهل تستمر هذه العلاقة بغض النظر عن طفو النظام؟

رابط المدرس الرقمي



www.iem.edu.sa

6-1 خصائص الموائع Properties of Fluids

الماء والهواء من أكثر المواد شيوعاً في حياة الإنسان اليومية، ونشعر بتأثيرهما عندما نشرب، وعندما نستحم، ومع كل هواء نستشقه.

في ضوء خبراتك اليومية، قد لا يبدو أن هناك خصائص مشتركة بين الماء والهواء، أما إذا فكّرت في طريقة أخرى فسوف تدرك أن لهما خصائص مشتركة؛ فكل من الماء والهواء يتدفقان وليس لأي منهما شكل محدد، على عكس المواد الصلبة. ولذرات المادة وجزيئاتها الغازية والسائلة حرية كبيرة لتحرك.

سوف تستكشف في هذا الفصل حالات المادة، مبتدئاً بالغازات والسوائل، وتتعلم المفاهيم التي توضح كيف تستجيب المادة لتغيرات الحرارة والضغط، وكيف تستطيع الأنظمة الهيدروليكية مضاعفة القوى، وكيف تستطيع السفن المعدنية الضخمة الطفو على سطح الماء. وستتعرف أيضاً خصائص المواد الصلبة، مكتشفاً كيف تتمدد وتقلص، ولماذا تكون بعض المواد الصلبة مرنة، ويكون بعضها كأنه في حالة بين الصلابة والسيولة.

الأهداف

- تصف كيف تُحدث الموائع الضغط.
- تحسب ضغط الغاز وحجمه وعدد مولاته.
- تقارن بين الغازات والبلازما.

المفردات

الموائع	قانون الغاز المثالي
الضغط	التمدد الحراري
باسكال	البلازما
القانون العام للغازات	

الضغط Pressure

افترض أنك وضعت مكعباً من الجليد في كوب فارغ ستلاحظ أن مكعب الجليد له كتلة معينة وشكل محدّد، ولا تعتمد هاتان الكميتان على حجم الكوب أو شكله. لكن ماذا يحدث عندما ينصهر مكعب الجليد؟ تبقى كتلته كما هي، ولكن شكله يتغير، ويتدفق الماء ليأخذ شكل الإناء الذي يحتويه، بحيث يتخذ السطح العلوي شكلاً محدّداً ومستوياً، كما في الشكل 1-6. من جهة أخرى، إذا غليت الماء، فسوف يتحول إلى الحالة الغازية في صورة بخار ماء، ويتنشر ليملاً الغرفة ولن يكون له سطح محدّد. وتترك كل من السوائل والغازات في كونها **موائع**؛ حيث إنها موادّ تتدفق، وليس لها شكل محدّد.

سنوجه اهتمامنا في الوقت الحالي لدراسة الموائع المثالية، التي يمكن التعامل معها على اعتبار أن جزيئاتها لا تشغل حيزاً، وليس لها قوى تجاذب تربطها بعضها مع بعض.

الضغط في الموائع لقد طبقت قانون حفظ الطاقة على الأجسام الصلبة، فهل يمكن تطبيق هذا القانون على الموائع؟ يمكن أن نعرّف كلاً من الشغل والطاقة باستخدام مفهوم **الضغط**، الذي يمثل القوة المؤثرة في سطح ما مقسومة على مساحة ذلك السطح. ولأن الضغط قوة تؤثر في السطح فإن أي شيء يولد ضغطاً لابد أن يكون قادراً على إحداث تغيير وإنجاز شغل.

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{الضغط}$$

الضغط يساوي القوة مقسومة على مساحة السطح.

ويعد الضغط P كمية قياسية (غير متجهة)، ويقاس الضغط وفقاً للنظام العالمي للمقاييس SI بوحدة **باسكال** (Pa) وهي تعادل 1 N/m^2 . ولأن الباسكال وحدة صغيرة فإن الكيلو باسكال (kPa) الذي يساوي 1000 Pa أكثر استخداماً وشيوعاً.

ويُفترض عادة أن القوة F المؤثرة في سطح ما عمودية على مساحة ذلك السطح A ، ما لم تتم الإشارة إلى غير ذلك. ويوضح الشكل 2-6 العلاقات بين القوة، والمساحة والضغط، حيث يؤدي الضغط الناتج عن وزن المركبة الفضائية إلى إحداث حفرة صغيرة في سطح القمر، أما الضغط الناتج عن وزن رائد الفضاء، فيكون قليلاً جداً. ويوضح الجدول 1-6 كيف يتغير الضغط في حالات مختلفة.

المواد الصلبة والسوائل والضغط تخيل أنك تقف على سطح بحيرة متجمدة، إن القوى التي تؤثر بها قدمك في الجليد تتوزع على مساحة حذاءك مولدة ضغطاً على الجليد. إن الجليد مادة صلبة تتكون من جزيئات الماء المتذبذبة، والقوى التي تحافظ على جزيئات الماء في مكانها تجعل الجليد يؤثر بقوى رأسية في قدميك إلى أعلى تساوي وزنك، أما إذا انصهر الجليد فإن معظم الروابط بين جزيئات الماء تصبح ضعيفة. وعلى الرغم من أن الجزيئات ستستمر في التذبذب وتبقى قريبة كل منها من الأخرى، إلا أنها



■ الشكل 1-6 مكعبات الجليد الصلبة لها شكل محدّد، في حين يأخذ الماء السائل (مائع) شكل الإناء الذي يحتويه. ما المائع الذي يملأ الفراغ فوق الماء؟

■ الشكل 2-6 إن رائد الفضاء ومركبته يولدان ضغطاً على سطح القمر. إذا كانت كتلة المركبة 7300 kg تقريباً، وتستقر على أربعة أقدم قطر كل منها 91 cm، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به على سطح القمر؟ وكيف تستطيع أن تقدر الضغط الذي يؤثر به رائد الفضاء.



ستصبح قادرة على الانزلاق بعضها فوق بعض، وتبعًا لذلك ستكون قادرًا على اختراق سطح الماء. من جهة أخرى، ستستمر جزيئات الماء المتحركة في التأثير بقوة في جسمك.

جزيئات الغاز والضغط إن الضغط الذي تؤثر به الغازات يمكن فهمه بتطبيق نظرية الحركة الجزيئية للغازات التي توضح خصائص الغاز المثالي. وعلى الرغم من أن جزيئات الغاز الحقيقي تحتل حيزًا من الفراغ، ولها قوة تجاذب جزيئية، إلا أن الغاز المثالي (غير الحقيقي) عبارة عن نموذج جيد للغاز الحقيقي تحت معظم الظروف، بحيث يمكن تطبيق قوانينه على الغازات الحقيقية، وتكون النتائج عالية الدقة.

بناءً على نظرية الحركة الجزيئية فإن جزيئات الغاز تتحرك عشوائيًا وبسرعة عالية، وتخضع لتصادمات مرنة بعضها ببعض. وعندما يرتطم جزيء الغاز بسطح الإناء فإنه يرد مغيرًا زخمه الخطي، أي أنه ينتج دفعًا، ويتولد ضغط للغاز عند السطح بفعل الدفع الذي تؤثر به التصادمات العديدة للجزيئات.

الضغط الجوي في كل سنتيمتر مربع من سطح الأرض يؤثر غاز الغلاف الجوي بقوة مقدارها 10 N تقريبًا عند مستوى سطح البحر. وتعاذل هذه القوة وزن جسم كتلته 1 kg. إن ضغط الغلاف الجوي على الجسم يتعاذل بصورة جيدة مع قوى الجسم المتجهة إلى الخارج، والتي نادرًا ما نلاحظها. ويشير هذا الضغط اهتمامنا فقط عندما تؤلمنا آذاننا نتيجة تغيرات الضغط. فعندما نصعد مبنى شاهق الارتفاع بالمصعد مثلاً، أو عندما ننتقل بالطائرة فإننا نشعر بذلك. إن الضغط الجوي يساوي 10 N لكل cm^2 ، والذي يساوي $1.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ أو 100 kPa تقريبًا.

هناك كواكب أخرى في المجموعة الشمسية لها أيضًا غلاف غازي، ويتباين الضغط الناتج عن أغلفتها الغازية كثيرًا، فمثلاً الضغط الجوي على سطح كوكب الزهرة أكبر من الضغط الجوي على سطح الأرض 92 مرة تقريبًا، في حين أن الضغط الجوي على سطح المريخ أقل مما على سطح الأرض بـ 1%.

الجدول 1-6	
بعض قيم الضغط النموذجية	
الموقع	الضغط (Pa)
مركز الشمس	2.44×10^{16}
مركز الأرض	4×10^{11}
أخدود المحيط الأكثر عمقًا	1.1×10^8
الضغط الجوي المعياري	1.01325×10^5
ضغط الدم	1.6×10^4
ضغط الهواء على قمة إفرست	3×10^4



مثال 1

حساب الضغط يجلس طفل وزنه 364 N على كرسي ثلاثي الأرجل يزن 41 N ، بحيث تلامس قواعد الأرجل سطح الأرض على مساحة مقدارها 19.3 cm^2 .



- a. ما متوسط الضغط الذي يؤثر به الطفل والكرسي في سطح الأرض؟
b. كيف يتغير الضغط عندما يميل الطفل وتلامس رجلان فقط من أرجل الكرسي الأرض؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الطفل والكرسي، وعرّن القوة الكلية التي يؤثران بها في سطح الأرض.
- حدد المتغيرات، متضمنة القوة التي يؤثر بها الطفل والكرسي في سطح الأرض والمساحة المرتبطة بكل من الحالة A حيث الارتكاز على ثلاث أرجل، والحالة B حيث الارتكاز على رجلين.

المجهول

$$P_A = ?$$

$$P_B = ?$$

المعلوم

$$F_{\text{الطفل}} = 364 \text{ N}$$

$$F_{\text{الكرسي}} = 41 \text{ N}$$

$$F_{\text{الكلية}} = F_{\text{الطفل}} + F_{\text{الكرسي}}$$

$$= 364 \text{ N} + 41 \text{ N}$$

$$= 405 \text{ N}$$

$$A_A = 19.3 \text{ cm}^2$$

$$A_B = \frac{2}{3} \times 19.3 \text{ cm}^2$$

$$= 12.9 \text{ cm}^2$$

دليل الرياضيات

حسابات الوحدات 291

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد قيمة كل ضغط باستخدام العلاقة: $P = \frac{F}{A}$

a. عوّض مستخدماً $F = F_{\text{الكلية}} = 405 \text{ N}$ ، $A = A_A = 19.3 \text{ cm}^2$

b. عوّض مستخدماً $F = F_{\text{الكلية}} = 405 \text{ N}$ ، $A = A_B = 12.9 \text{ cm}^2$

$$P_A = \left(\frac{405 \text{ N}}{19.3 \text{ cm}^2} \right) \frac{(100 \text{ cm})^2}{(1 \text{ m})^2}$$

$$= 2.1 \times 10^2 \text{ kPa}$$

$$P_B = \left(\frac{405 \text{ N}}{12.9 \text{ cm}^2} \right) \frac{(100 \text{ cm})^2}{(1 \text{ m})^2}$$

$$= 3.14 \times 10^2 \text{ kPa}$$

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ يجب أن تكون وحدات الضغط هي الباسكال Pa أو $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$



1. إذا كان الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر يساوي $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ تقريباً، فما مقدار القوة التي يؤثر بها الهواء عند مستوى سطح البحر في سطح مكتب طوله 152 cm وعرضه 76 cm؟
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؟
3. كتلة من الرصاص أبعادها $20.0 \text{ cm} \times 10.0 \text{ cm} \times 5.0 \text{ cm}$ تستقر على الأرض على أصغر وجه، فإذا علمت أن كثافة الرصاص 11.8 g/cm^3 ، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به كتلة الرصاص في سطح الأرض؟
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 هبوط مقدار 15% من الضغط الجوي المعياري؟ وفي أي اتجاه تؤثر القوة؟
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 صُممت لتحمل ضغطاً إضافياً مقداره $5.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ ، فما مساحة صفيحة الفولاذ الداعمة؟

قوانين الغاز The Gas Laws

عندما بدأ العلماء دراسة الغازات والضغط لاحظوا وجود بعض العلاقات المثيرة للاهتمام، وكانت أول علاقة يتم اكتشافها هي قانون بويل، نسبة للكيميائي والفيزيائي روبرت بويل، أحد أشهر علماء القرن السابع عشر. ينص قانون بويل على أن حجم عينة محددة من الغاز يتناسب عكسياً مع الضغط المؤثر عليه عند ثبوت درجة الحرارة، ولأن حاصل ضرب المتغيرات المتناسبة عكسياً ثابت، فيمكن كتابة قانون بويل على النحو الآتي:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ أو } PV = \text{ثابت}$$

إن الرموز السفلية التي تلاحظها في قانون الغاز تساعدك على تحديد مسار المتغيرات المختلفة - ومنها الضغط والحجم - عندما تتغير في المسألة. ويمكن إعادة ترتيب هذه المتغيرات لحل المسألة بالنسبة لضغط أو حجم مجهول. وكما يتضح من الشكل 3-6، فإن هناك علاقة بين ضغط الغاز وحجمه تتمثل في حجم الفقاعات الخارجة من المنظم، حيث يزداد حجم هذه الفقاعات في أثناء ارتفاعها في الماء؛ بسبب نقصان الضغط المؤثر فيها من الماء، مما قد يؤدي إلى انفجار كثير منها في أثناء ارتفاعها.

تم اكتشاف العلاقة الثانية بعد 100 سنة تقريباً من اكتشاف بويل على يد العالم جاك شارلز Jacques Charles. لاحظ العالم شارلز في أثناء تبريده للغاز أن حجمه يتقلص بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلي عند انخفاض درجة حرارته بمقدار درجة كلفن واحدة، أي أن العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته علاقة خطية. أراد العالم شارلز أن يعرف ما إذا كانت

■ الشكل 3-6 يكون الغاز ذا ضغط مرتفع في الأسطوانة المحمولة على ظهر الغواص؛ ويقوم منظم بتخفيض هذا الضغط ليتساوى ضغط الغاز الذي يستنشق الغواص مع ضغط الماء. وتستطيع أن ترى في الصورة، الفقاعات الخارجة من المنظم.



الضغط

ما مقدار الضغط الذي يؤثر به عندما تقف على إحدى رجليك؟ اطلب إلى زميلك رسم مخطط لقدمك، ثم استخدم ذلك المخطط لتقدير مساحة قدمك.

1. حدّد وزنك بوحدة النيوتن ومساحة مخطط قدمك بوحدة cm^2 .
2. احسب مقدار الضغط.

3. قارن بين الضغط الذي تؤثر به أنت في الأرض، والضغط الذي تؤثر به أجسام مختلفة. فمثلاً تستطيع أن تزن كتلة طوبة بناءً، ثم تحسب الضغط الذي يؤثر به عندما تستقر على أوجه مختلفة.

التحليل والاستنتاج

4. كيف يؤثر الحذاء ذو الكعب العالي الرفيع في قيمة الضغط الذي يؤثر به شخص في الأرض؟

هناك حدود دنيا لانخفاض درجات الحرارة، لكنه لم يستطع تبريد الغاز إلى درجات حرارة منخفضة جداً كما يحصل في المختبرات الحديثة الآن، ولذلك قام بمد المنحنى البياني لبياناته عند درجات الحرارة المنخفضة تلك، فتبين له من ذلك أنه إذا انخفضت درجة الحرارة إلى -273°C فإن حجم الغاز يصبح صفراً. وسميت درجة الحرارة التي يصبح عندها حجم الغاز يساوي صفراً بالصفء المطلق، والتي تمثل الآن الصفء بمقياس كلفن الحراري.

تشير التجارب إلى أنه عند ثبوت الضغط فإن حجم عينة الغاز يتغير طردياً مع درجة حرارتها، وتسمى هذه النتيجة بقانون شارلز، ويمكن صياغة قانون شارلز على النحو الآتي:

$$\frac{V}{T} = \text{أو ثابت} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

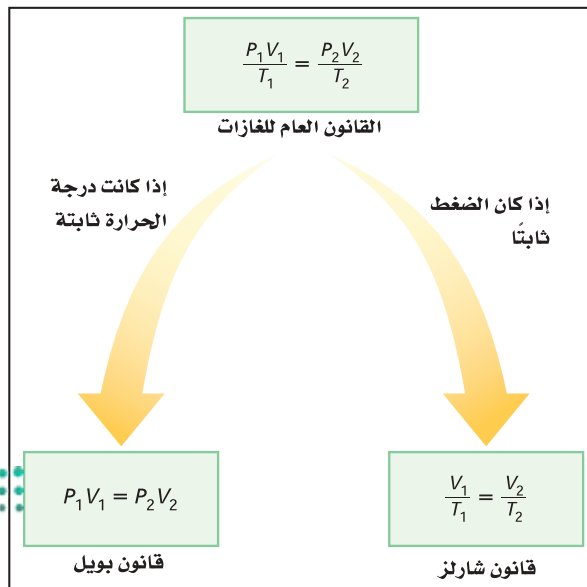
إن دمج كل من قانوني بويل وشارلز يربط بين الضغط، والحرارة، والحجم لكمية معينة من الغاز المثالي، والتي تقود إلى معادلة تسمى **القانون العام للغازات**.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{ثابت} \quad \text{القانون العام للغازات}$$

لكمية معينة من الغاز المثالي، يكون حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه مقسوماً على درجة حرارته بوحدة الكلفن يساوي قيمة ثابتة.

وكما يتضح من الشكل 4-6، فإن القانون العام للغازات يُختزل لقانون بويل عند ثبات درجة الحرارة، ويختزل أيضاً لقانون شارلز عند ثبات الضغط.

قانون الغاز المثالي تستطيع استخدام نظرية الحركة الجزيئية لتكتشف كيف أن الثابت في القانون العام للغازات يعتمد على عدد الجزيئات N . افترض أن حجم الغاز المثالي ودرجة حرارته ثابتان، فإذا ازداد عدد الجزيئات فسوف يزداد عدد التصادمات التي تؤثر بها الجزيئات في الإناء؛ لذا يزداد الضغط، وفي المقابل تقلل إزالة بعض الجزيئات من عدد



■ الشكل 4-6 تستطيع أن تستخدم القانون العام للغازات لاشتقاق كل من قانوني بويل وشارلز، فماذا يحدث إذا حافظت على الحجم ثابتاً؟

التصادمات؛ لذا يقل الضغط، كما تستطيع أن تستنتج أن الثابت في معادلة القانون العام للغازات يتناسب طردياً مع N .

$$\frac{PV}{T} = kN$$

ويسمى الثابت k بثابت بولتزمان، ويساوي $1.38 \times 10^{-23} \text{ Pa.m}^3/\text{K}$ ، وبالطبع فإن N الذي يمثل عدد الجزيئات هو عدد كبير جداً، لذلك بدلاً من استخدام N لجأ العلماء إلى استخدام وحدة تسمى المول (mole)، ويُختصر (mol) وتمثل في المعادلات بالحرف (n) ، والمول الواحد يساوي 6.022×10^{23} من الجزيئات، ويسمى هذا العدد بعدد أفوجادرو نسبة إلى العالم الإيطالي أميديو أفوجادرو.

يساوي عدد أفوجادرو عدد الجزيئات في عينة من المادة كتلتها تساوي الكتلة المولية (الكتلة الجزيئية) من المادة. وتستطيع أن تستخدم هذه العلاقة للتحويل بين الكتلة والعدد n (عدد المولات الموجودة). إن استخدام المولات عوضاً عن عدد الجزيئات يغير ثابت بولتزمان، ويختصر هذا الثابت بالحرف R ، وقيمته تساوي $8.31 \text{ Pa.m}^3/\text{mol.K}$. وبإعادة الترتيب تستطيع كتابة **قانون الغاز المثالي** بأكثر الصيغ شيوعاً.

$$PV = nRT$$

قانون الغاز المثالي

للغاز المثالي، يكون حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه يساوي عدد المولات مضروباً في الثابت R ودرجة حرارته بوحدة كلفن.

لاحظ أنه إذا كانت قيمة R معلومة فإن الحجم يجب أن يعبر عنه بوحدة m^3 ، ودرجة الحرارة بوحدة K والضغط بوحدة Pa . يتوقع قانون الغاز المثالي عملياً سلوك الغازات بصورة جيدة، ما عدا الحالات التي تكون تحت ظروف الضغط العالي أو درجات الحرارة المنخفضة.

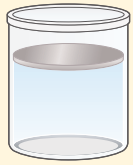
مثال 2

- قوانين الغازات** عينة من غاز الأرجون حجمها 20.0 L ، ودرجة حرارتها 273 K عند ضغط جوي مقداره 101.3 kPa ، فإذا انخفضت درجة الحرارة حتى 120 K ، وازداد الضغط حتى 145 kPa ،
- فما الحجم الجديد لعينة الأرجون؟
 - أوجد عدد مولات ذرات الأرجون في العينة؟
 - أوجد كتلة عينة الأرجون، إذا علمت أن الكتلة المولية M لغاز الأرجون 39.9 g/mol ؟

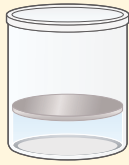
1 تحليل المسألة ورسمها

- وضح الحالة بالرسم.
- حدّد الشروط في وعاء غاز الأرجون قبل التغير في درجة الحرارة والضغط وبعده.
- عيّن المتغيرات المعلومة والمجهولة.





$T_1 = 273 \text{ K}$
 $P_1 = 101.3 \text{ kPa}$
 $V_1 = 20.0 \text{ L}$



$T_2 = 120 \text{ K}$
 $P_2 = 145 \text{ kPa}$
 $V_2 = ?$

المجهول

$V_2 = ?$
 = عدد مولات الأرجون (n)
 m عينة الأرجون = ?

المعلوم

$V_1 = 20.0 \text{ L}$, $P_1 = 101.3 \text{ kPa}$
 $T_1 = 273 \text{ K}$, $P_2 = 145 \text{ kPa}$
 $T_2 = 120 \text{ K}$
 $R = 8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{mol} \cdot \text{K}$
 $M_{\text{الأرجون}} = 39.9 \text{ g/mol}$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم القانون العام للغازات، وحل المعادلة بالنسبة للحجم V_2 .

عوض مستخدماً $P_1 = 101.3 \text{ kPa}$, $P_2 = 145 \text{ kPa}$

$V_1 = 20.0 \text{ L}$, $T_1 = 273 \text{ K}$, $T_2 = 120 \text{ K}$

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

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

$$= \frac{(101.3 \text{ kPa}) (20.0 \text{ L}) (120 \text{ K})}{(145 \text{ kPa}) (273 \text{ K})}$$

$$= 6.1 \text{ L}$$

b. استخدم قانون الغاز المثالي، وحل المعادلة لحساب n

عوض مستخدماً $P = 101.3 \times 10^3 \text{ Pa}$, $V = 0.0200 \text{ m}^3$

$R = 8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{mol} \cdot \text{K}$, $T = 273 \text{ K}$

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

$$= \frac{(101.3 \times 10^3 \text{ Pa}) (0.0200 \text{ m}^3)}{(8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{mol} \cdot \text{K}) (273 \text{ K})}$$

$$= 0.893 \text{ mol}$$

c. استخدم الكتلة المولية للتحويل من المولات لغاز الأرجون في العينة لكتلة العينة.

عوض مستخدماً $M = 39.9 \text{ g/mol}$, $n = 0.893 \text{ mol}$

$$m = Mn$$

$$m_{\text{عينة الأرجون}} = (39.9 \text{ g/mol}) (0.893 \text{ mol})$$

$$= 35.6 \text{ g}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ الحجم V_2 بوحدة اللترات، وكتلة العينة بوحدة الجرامات.
- هل الجواب منطقي؟ إن التغير في الحجم يتكافأ مع الزيادة في الضغط والانخفاض في درجة الحرارة. والكتلة المحسوبة لعينة الأرجون منطقية.



6. يُستخدم خزان من غاز الهيليوم ضغطه $15.5 \times 10^6 \text{ Pa}$ ، ودرجة حرارته 293 K ، لنفخ بالون على صورة دمية، فإذا كان حجم الخزان 0.020 m^3 ، فما حجم البالون إذا امتلأ عند 1.00 ضغط جوي، ودرجة حرارة 323 K ؟
7. ما مقدار كتلة غاز الهيليوم في المسألة السابقة إذا علمت أن الكتلة المولية لغاز الهيليوم 4.00 g/mol ؟
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؟
9. إن معدل الكتلة المولية لمكونات الهواء (ذرات الأكسجين الثنائية وذرات غاز النيتروجين الثنائية بشكل رئيس) 29 g/mol تقريباً. ما حجم 1.0 kg من الهواء عند ضغط يساوي الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 20.0°C ؟

التمدد الحراري Thermal Expansion

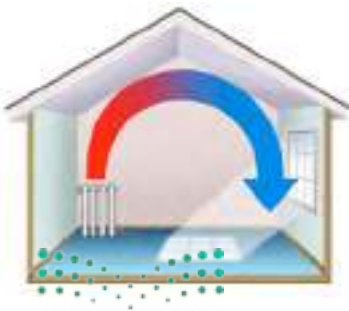
لعلك اكتشفت بعد تطبيق القانون العام للغازات أن الغازات تتمدد كلما ارتفعت درجة حرارتها. فعندما تسخن المادة في حالاتها الصلبة والسائلة والغازية تصبح أقل كثافة، وتتمدد لامتلاء حيزاً أكبر. وتسمى هذه الخاصية **التمدد الحراري**، ولها عدة تطبيقات مهمة، منها دوران الهواء في الغرفة.

عندما يُسخّن الهواء الملامس لأرضية الغرفة فإن قوة الجاذبية تسحب الهواء البارد الأكثر كثافة واللامس لسقف الغرفة إلى أسفل، فيدفع بدوره الهواء الأكثر سخونة إلى أعلى. ويُسمى دوران الهواء في الغرفة تيار الحمل. انظر الشكل 5-6 الذي يوضح تيارات الحمل في الغرفة. وتستطيع أن تشاهد أيضاً تيارات الحمل في وعاء ماء ساخن، دون درجة الغليان؛ فعندما يسخن الوعاء من القاع فإن الماء الأبرد ذا الكثافة الكبرى يهبط إلى أسفل، حيث يسخن، ثم يُدفع إلى أعلى عن طريق تدفق الماء الأبرد من أعلى.

يحدث التمدد الحراري في معظم السوائل، وليس هناك نموذج مثالي ينطبق عليها جميعاً، ولكن من المفيد أن تفكر في السائل كما لو كان مسحوقاً ناعماً لمادة صلبة، حيث تتحرك المجموعات المكونة من جسيمين أو ثلاثة جسيمات أو أكثر من ذلك معاً كما لو كانت قطعاً صغيرة جداً من المواد الصلبة. وعندما يسخن السائل، وتتمدد هذه المجموعات بفعل الحركة الجزيئية، تماماً كما تُدفع الجسيمات في المواد الصلبة فيبتعد بعضها عن بعض في أجزاء متفرقة، كما تزايد الفراغات بين المجموعات، ويتمدد السائل كله.

وعندما تتغير درجة الحرارة بصورة متساوية تتمدد السوائل بصورة أكبر كثيراً من المواد الصلبة، ولكن ليس بالقدر الذي تتمدد به الغازات.

■ **الشكل 5-6** تيارات الحمل الحراري أداة للتدفئة، إذ يرتفع الهواء الدافئ الأقل كثافة إلى أعلى ثم يبرد، وينخفض الهواء البارد الأعلى كثافة.



لماذا يطفو الجليد؟ لأن المادة تتمدد عند تسخينها فقد تتوقع أن الجليد أكثر كثافة من الماء، وفي ضوء توقعاتك لابد أن يغطس الجليد في الماء! لكن الحقيقة أنه عند رفع درجة حرارة الماء من 0°C إلى 4°C فإنه يتقلص بدلاً من أن يتمدد، وذلك بسبب تزايد قوى الترابط بين جزيئات الماء، وانهميار بلورات الجليد وضمورها. وهذه القوى التي بين جزيئات الماء قوى كبيرة والبلورات المكونة للجليد لها تركيب مفتوح بصورة كبيرة. عندما ينصهر الجليد تبقى بعض البلورات المتناهية في الصغر، ومع استمرار التسخين تأخذ البلورات المتبقية في الانصهار، ويتناقص حجم الماء حتى تصل إلى 4°C . لكن بمجرد أن ترتفع درجة حرارة الماء فوق 4°C يتزايد حجمه بسبب تزايد الحركة الجزيئية. والنتيجة أن الماء يكون أكبر كثافة عند 4°C ؛ لذا يطفو الجليد فوق الماء. وهذه الحقيقة مهمة جداً في حياتنا وفي البيئة من حولنا؛ فلو كان الجليد يغطس تحت الماء لبدأت تجمد البحيرات عند قيعانها بدلاً من سطوحها، وما انصهر العديد من البحيرات تماماً في فصل الصيف.

البلازما Plasma

إذا سخّنت مادة صلبة فإنها تنصهر لتكوّن سائلاً. ومع استمرار التسخين يتحول السائل إلى غاز، فماذا يحدث إذا استمر تسخين الغاز؟ تصبح التصادمات بين الجزيئات كبيرة إلى حدّ يكفي لانتزاع الإلكترونات من الذرات، وتنتج أيونات موجبة الشحنة. إن الحالة شبه الغازية للإلكترونات السالبة الشحنة والأيونات الموجبة الشحنة تسمى **البلازما**. وتعد البلازما حالة أخرى من حالات الموائع للمادة.

قد يبدو أن البلازما حالة غير شائعة، رغم أن معظم المواد في الكون في حالة البلازما؛ فمعظم مكونات النجوم بلازما في درجات حرارة عالية جداً، كما أن أكثر المواد الموجودة بين النجوم والمجرات تتكون من ذرات الهيدروجين الفعّالة النشطة التي لا تحتوي على إلكترونات، ويكون غاز الهيدروجين في حالة البلازما.

والفرق المبدئي بين الغاز والبلازما أن البلازما لها قدرة على التوصيل الكهربائي، في حين أن الغازات ليس لها هذه القدرة، والصواعق المضيئة تكون أيضاً في حالة البلازما. وإشارات النيون كما في الشكل 6-6 أعلاه، ومصابيح الفلورسنت، ومصابيح غاز الصوديوم تحتوي جميعها البلازما المتوهجة.



■ الشكل 6-6 تنتج التأثيرات الضوئية الملونة في إشارات النيون عن البلازما المضيئة المتكوّنة في الأنابيب الزجاجية.



13. **الكثافة ودرجة الحرارة** إذا كانت درجة الحرارة الابتدائية للماء 0°C ، فكيف تتغير كثافة الماء إذا سُخِّنَ إلى 4°C ، وإلى 8°C ؟

14. **الكتلة المولية المعيارية** ما حجم 1.00 mol من الغاز عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 273 K ؟

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 ؟

16. **التفكير الناقد** الجزيئات المكونة لغاز الهيليوم صغيرة جداً 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 العيتان في درجة الحرارة والضغط؟

10. **الضغط والقوة** افترض أن لديك صندوقين، أبعاد الأول $20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ ، وأبعاد الثاني $20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 40\text{ cm}$. قارن بين:

a. ضغطي الهواء في المحيط الخارجي لكل من الصندوقين.

b. مقداري القوة الكلية للهواء المؤثرة في كل من الصندوقين.

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 $0.82 \times 10^5\text{ Pa}$ ؟ افترض أن درجة الحرارة ثابتة لا تتغير.

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 $20.1 \times 10^5\text{ Pa}$ وحجم 0.0003 m^3 ، ما درجة الحرارة النهائية للهواء المضغوط؟





2-6 القوى داخل السوائل Forces within Liquids

الأهداف

- توضيح كيف تسبب قوى التماسك التوتر السطحي.
- توضيح كيف تسبب قوى التلاصق الخاصية الشعرية.
- مناقشة التبريد التبخري ودور التكثف في تكوّن السحب.

المفردات

- قوى التماسك
- قوى التلاصق

تعاملنا مع السوائل، حتى الآن، باعتبارها سوائل مثالية تمتاز جميع جزيئاتها بحرية الحركة، والانزلاق بعضها فوق بعض. ولكن خصوصية الماء في تمدده بين درجتي حرارة 0°C و 4°C تبين أنه في حالة السوائل الحقيقية تؤثر الجزيئات بعضها في بعض بقوى تجاذب كهرومغناطيسية تسمى قوى التماسك، تؤثر هذه القوى وغيرها في سلوك الموائع.

قوى التماسك Cohesive Forces

هل سبق أن لاحظت أن قطرات الندى على خيوط العنكبوت - وكذلك قطرات الزيت الساقطة - تتخذ شكلاً كروياً تقريباً؟ ماذا يحدث عندما يسقط المطر على سيارة مغسولة حديثاً ومشمعة؟ تتكوّن قطرات الماء وتتخذ أشكالاً كروية، كما في شبكة العنكبوت في الشكل 7-6.

تعد جميع الظواهر السابقة أمثلة على التوتر السطحي، وهي الخاصية المتمثلة في ميل سطح السائل إلى التقلص لأقل مساحة ممكنة. وخاصية التوتر السطحي ناجمة عن **قوى التماسك** بين جزيئات المائع.

لاحظ أن جميع جزيئات السائل الموجودة تحت سطحه تتأثر بقوى جذب متساوية المقدار تشدها إلى جميع الاتجاهات عن طريق الجزيئات المجاورة لها، كما تنجذب أيضاً إلى الجزيئات المكونة لجدار الإناء الذي يحتوي السائل كما في الشكل 8a-6، ونتيجة لذلك ليس هناك قوة محصلة تؤثر في أي من الجزيئات تحت سطح السائل. أما عند السطح فتتجذب الجزيئات إلى أسفل وفي اتجاه الجوانب، ولكن ليس إلى أعلى؛ لذا يكون هناك قوة محصلة إلى أسفل تؤثر في الطبقات العلوية، مما يؤدي إلى ضغط الطبقة العلوية قليلاً. وتعمل الطبقة السطحية في السائل كغشاء مطاطي مشدود، قوي بما يكفي لحمل الأجسام الخفيفة جداً ومنها صرصور الماء كما في الشكل 8b-6. ويكون التوتر السطحي للماء كبيراً بحيث يحمل مشبك ورق فولاذياً على الرغم من أن كثافة الفولاذ أكبر تسع مرات من كثافة الماء. جرّب ذلك.

لماذا يكون التوتر السطحي قطرات كروية؟ تدفع القوة الجزيئات السطحية بحيث يصبح السطح صغيراً قدر الإمكان، كما أن الشكل الكروي هو الشكل الذي له أقل مساحة سطح لحجم معين. وكلما زاد التوتر السطحي للسائل زادت ممانعة السائل لتحطم سطحه، فلسائل الزئبق مثلاً قوة تماسك أكبر من قوة تماسك الماء، ولهذا يشكّل الزئبق السائل قطرات كروية حتى عندما يوضع على سطح مصقول. وفي المقابل، بعض السوائل - ومنها الكحول والإيثر - لها قوى تماسك ضعيفة، ولذلك تتسطح قطراتها على السطح المصقول.

■ الشكل 7-6 تصطف قطرات صغيرة من مياه الأمطار على شبكة العنكبوت؛ لأن قطرات الماء لها خاصية التوتر السطحي.

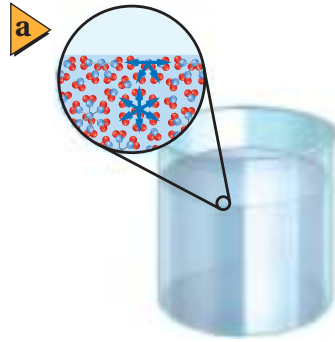


اللزوجة تسبب قوى التماسك والتصادمات بين جزيئات المائع في الموائع غير المثالية احتكاكًا داخليًا يعمل على إبطاء تدفق السائل، وتبديد الطاقة الميكانيكية. وتعد لزوجة السائل مقياسًا للاحتكاك الداخلي للسائل. ولزوجة الماء منخفضة، في حين أن زيت المحرك عالي اللزوجة؛ إذ يتدفق ببطء على الأجزاء المعدنية للمحرك، فيقلل من احتكاكها بعضها ببعض.

وتعد اللابة والصخور المنصهرة التي تتدفق من البركان وتتصاعد نحو سطح الأرض واحدة من أشد الموائع لزوجة، ولأنواع اللابة المتعددة لزوجات تتباين وفق تركيبها ودرجة حرارتها.

الربط مع علم الأرض

■ **الشكل 8-6** تنجذب الجزيئات في داخل السائل إلى كل الاتجاهات (a).
يمكن صرصور الماء من السير على سطح الماء؛ لأن جزيئات الماء عند السطح لها قوة تجاذب محصلة في اتجاه الداخل تولد التوتر السطحي (b).



قوى التلاصق Adhesive Forces

قوى التلاصق تشبه قوى التماسك؛ فهي عبارة عن قوى تجاذب كهرومغناطيسية تؤثر بين جزيئات المواد المختلفة. فإذا وضع أنبوب زجاجي نصف قطره الداخلي صغير في الماء فسيرتفع الماء داخل الأنبوب؛ لأن قوى التلاصق بين سطح الزجاج وجزيئات الماء أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء.

وتعرف هذه الخاصية بالخاصية الشعرية، ويستمر الماء في الارتفاع حتى يتوازن وزن الماء الذي ارتفع مع قوة التلاصق الكلية بين سطح الزجاج وجزيئات الماء. وإذا ازداد نصف قطر الأنبوب فإن كلاً من حجم الماء ووزنه سيتزايد طرديًا وبمقدار أسرع من المساحة السطحية للأنبوب. وعليه، فسيرتفع الماء في الأنبوب الضيق أكثر من ارتفاعه في الأنبوب الأكثر اتساعًا.

إن الخاصية الشعرية هي التي تسبب ارتفاع الوقود في فتيلة القنديل، كما تسبب أيضًا ارتفاع الماء من أسفل التربة إلى أعلاها وارتفاعه أيضًا في جذور النبات.

عندما يوضع أنبوب في وعاء من الماء يرتفع سطح الماء على السطح الخارجي للأنبوب كما في الشكل 9a-6؛ لأن قوى التلاصق بين جزيئات الزجاج وجزيئات الماء أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء. وفي المقابل، فإن قوى التماسك بين جزيئات الزئبق أكبر من قوى التلاصق بين الزئبق وسطح الزجاج؛ لذا لا يرتفع الزئبق في الأنبوب، وتسبب هذه القوى أيضًا انخفاضًا في سطح الزئبق حول الأنبوب الزجاجي كما في الشكل 9b-6.



a**b**

■ الشكل 9-6 يصعد الماء على جدار الأنبوب الزجاجي من الخارج (a)، في حين ينخفض سطح الزئبق حول الأنبوب (b)، إن قوى التجاذب بين ذرات الزئبق أقوى من قوى التلاصق بين الزئبق والزجاج.

التبخر والتكثف Evaporation and Condensation

لماذا يختفي الماء من بركة صغيرة في يوم حار وجاف؟ تتحرك جزيئات السائل بسرعات عشوائية، كما تعلمت سابقاً. وإذا استطاعت الجزيئات المتحركة بسرعة كبيرة أن تنفذ خلال الطبقة السطحية، فإنها ستنفذ من السائل، لكن وجود قوة تماسك محصلة إلى أسفل على السطح يعيق ذلك؛ لذا لا تفلت من السطح إلا الجزيئات التي لها طاقة كبيرة، ويسمى هروب الجزيئات التبخر.

التبريد بالتبخر لعملية التبخر أثر في خفض الحرارة (التبريد)؛ ففي الأيام الحارة يفرز الجسم عرقاً، وتبخر العرق يجعلك تشعر بالبرودة. ويؤدي التبخر في بركة الماء الصغيرة إلى تبريد الماء المتبقي. وكلما كانت الطاقة الحركية لجزيء ما أكبر من متوسط الطاقة الحركية لمجموع الجزيئات كانت فرصته في التحرر من الماء أكبر. وعند تحرره ينخفض متوسط الطاقة الحركية للجزيئات المتبقية. وكما تعلمت سابقاً، فإن الانخفاض في متوسط الطاقة الحركية يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة. وتستطيع أن تختبر أثر التبريد عند سكب كمية قليلة من الكحول وفركها براحة يديك؛ إذ تبخر جزيئات الكحول بسهولة؛ لأن قوى التماسك بينها قليلة جداً. وعندما تبخر الجزيئات يمكن ملاحظة أثر التبريد، وتسمى السوائل التي تبخر بسرعة السوائل المتطايرة.

لماذا تشعر أن الجو في الأيام الرطبة أكثر دفئاً منه في الأيام الجافة عند درجة الحرارة نفسها؟ في اليوم الرطب تكون كمية بخار الماء في الهواء مرتفعة، بسبب وجود الكثير من جزيئات الماء في الهواء، ويقل تبعاً لذلك احتمال تبخر جزيئات الماء في العرق. ويعد التعرق ميكانيكية التبريد الرئيسة في جسم الإنسان؛ لذا فإن الجسم لا يكون قادراً على تبريد نفسه بصورة فعالة في اليوم الرطب.

تطبيق الفيزياء

النباتات

تسمح قوى التماسك في السوائل بتمدها كما لو كانت شريطاً مطاطياً مرناً. ومن الصعب تحقيق حالة التمدد هذه في المختبر، ولكنها شائعة في النباتات.

وتحفظ شدة قوى التماسك الماء من أن ينقطع اتصاله ببعضه ببعض، أو يشكل فقائيع، عندما ينتقل إلى الأوراق عبر أنسجة النبات. ولولا هذه القوى ما تمكنت الأشجار من النمو أكثر من 10 أمتار. ►





■ الشكل 10-6 يرتفع الهواء الدافئ والرطب القريب من سطح الأرض حتى يصل إلى ارتفاع تكون درجة الحرارة عنده مساوية لدرجة تكثف بخار الماء، فتتشكل الغيوم عند هذا الارتفاع.

إن جزيئات السائل التي تبخرت في الهواء تستطيع العودة أيضًا إلى الحالة السائلة إذا انخفضت طاقتها الحركية أو درجة حرارتها، وتسمى هذه العملية التكثف.

ماذا يحدث عندما تحمل كأسًا باردة في منطقة حارة ورطبة؟ سيغطي السطح الخارجي للكأس بالماء المتكثف، وستتحرك جزيئات الماء عشوائيًا في الهواء المحيط بالكأس وترتطم بالسطح البارد، وإذا فقدت طاقة كافية فإن قوى التماسك تصبح قوية إلى درجة تمنعها من الإفلات.

يحتوي الهواء الواقع فوق أي مسطح مائي - كما موضح في الشكل 10-6 - على بخار ماء؛ فهو إذن ماء في الحالة الغازية. وإذا انخفضت درجة الحرارة يتكاثف بخار الماء حول جزيئات الغبار المتناهية في الصغر الموجودة في الهواء، ويكوّن قطيرات من الماء قطرها 0.01 mm. وتسمى السحابة المتكوّنة من هذه القطيرات الضباب. ويتكون الضباب غالبًا عندما يبرد الهواء الرطب عن طريق سطح الأرض البارد. ويمكن أن يتكون الضباب داخل المنزل؛ فعندما تفتح زجاجة مياه غازي يحدث انخفاض مفاجئ في الضغط يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الغاز في الزجاجة، مما يُكثّف بخار الماء المذاب في ذلك الغاز.

2-6 مراجعة

20. **التلاصق والتماسك** وضح لماذا يلتصق الكحول بـ سطح الأنبوب الزجاجي في حين لا يلتصق الزئبق.
21. **الطفو** كيف يمكن لمشبك الورق في المسألة 18 ألا يطفو؟
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 تجربها لتوضح لأختها من أين يأتي الماء.

17. **التبخير والتبريد** في الماضي، عندما يصاب طفل بالحمى كان الطبيب يقترح أن يُمسح الطفل بقطعة إسفنج مبللة بالكحول. كيف يمكن أن يُساعد هذا الإجراء؟
18. **التوتر السطحي** لمشبك الورق كثافة أكبر من كثافة الماء، ومع ذلك يمكن أن يطفو على سطح الماء. فما الخطوات التي يجب أن تتبعها لتحقيق ذلك؟ وضح إجابتك.
19. **اللغة والفيزياء** نستخدم في لغتنا العربية مصطلحات، منها "الشريط اللاصق" و"العمل كمجموعة متماسكة"، فهل استخدام المفردتين (التلاصق والتماسك) في سياق كلامنا مطابق لمعانيهما في الفيزياء؟



3-6 الموائع الساكنة و الموائع المتحركة Fluids at Rest and in Motion



تعلمت سابقاً أن الموائع تولد ضغطاً، هو القوة المؤثرة في وحدة المساحة. وتعلمت أيضاً أن الضغط الذي تولده الموائع يتغير، فمثلاً ينخفض الضغط الجوي كلما زاد ارتفاعك في أثناء تسلقك جبلاً. وستدرس في هذا الفصل القوى الناتجة عن الموائع الساكنة والموائع المتحركة.

الموائع الساكنة Fluids at Rest

إذا غطست في بركة سباحة أو بحيرة إلى عمق معين فستدرك عندئذٍ أن جسمك - وخصوصاً أذنك - حساس جداً لتغيرات الضغط. ومن المحتمل أنك لاحظت أن الضغط الذي شعرت به على أذنك لا يعتمد على وضع رأسك إذا كان مرفوعاً أو مائلاً إلى أسفل، ولكن يزداد الضغط إذا غطست إلى أعماق كبيرة.

مبدأ باسكال لاحظ عالم الفيزياء الفرنسي بليز باسكال أن الضغط في المائع يعتمد على عمق المائع، ولا علاقة له بشكل الوعاء الذي يحوي المائع، وقد اكتشف أيضاً أن أي تغير في الضغط المؤثر في أي نقطة في المائع المحصور ينتقل إلى جميع نقاط المائع بالتساوي، وتُعرف هذه الحقيقة **بمبدأ باسكال**.

ويظهر مبدأ باسكال في كل مرة تعصر فيها أنبوب معجون الأسنان، إذ ينتقل الضغط الذي تؤثر به أصابعك في مؤخرة الأنبوب إلى معجون الأسنان، بحيث يندفع المعجون خارجاً من مقدمة الأنبوب. وبطريقة مماثلة، إذا عصرت إحدى نهايتي بالون غاز الهيليوم فإن نهايته الأخرى تنتفخ.

وعندما تستخدم الموائع في الآلات بهدف مضاعفة القوى فإنك في هذه الحالة تطبق مبدأ باسكال، ففي النظام الهيدروليكي عموماً، يُحصر المائع في حجرتين متصلتين معاً، كما في الشكل 11-6، حيث يوجد في كل حجرة مكبس حر الحركة، ولكل من المكسبين مساحة سطح مختلفة، فإذا أثرت القوة F_1 في المكبس الأول الذي مساحته A_1 أمكن حساب الضغط P_1 ، المؤثر في المائع باستخدام المعادلة الآتية:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

والتي تمثل تعريف الضغط، حيث الضغط يساوي القوة المؤثرة في وحدة المساحة. ويمكن حساب الضغط الناتج عن المائع في المكبس الثاني الذي مساحته A_2 باستخدام المعادلة الآتية:

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

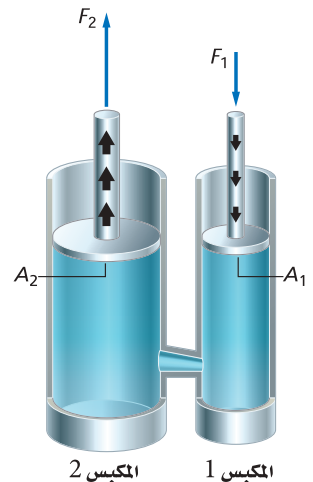
الأهداف

- تربط مبدأ باسكال بالآلات البسيطة وحالاتها.
- تطبق مبدأ أرخميدس للطفو.
- تطبق مبدأ برنولي لتدفق الهواء.

المفردات

- مبدأ باسكال
- قوة الطفو
- مبدأ أرخميدس
- مبدأ برنولي
- خطوط الانسياب

■ الشكل 11-6 ينتقل الضغط الناشئ عن تأثير القوة في المكبس الصغير خلال المائع، بحيث ينتج كقوة مضاعفة في المكبس الكبير.



واعتماداً على مبدأ باسكال، ينتقل الضغط دون تغيير خلال المائع؛ لذا فإن مقدار P_2 يساوي مقدار P_1 ، وتستطيع أن تحسب القوة المؤثرة في المكبس الثاني باستخدام العلاقة:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

وبحل المعادلة بالنسبة للقوة F_2 ، يمكن تحديد هذه القوة باستخدام المعادلة الآتية:

$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1} \quad \text{القوة الناتجة عن الرافعة الهيدروليكية}$$

القوة المؤثرة في المكبس الثاني تساوي القوة التي يؤثر بها المكبس الأول مضروبة في نسبة مساحة المكبس الثاني إلى مساحة المكبس الأول.

مسائل تدريبية

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؟
24. تؤثر آلة بقوة مقدارها 55 N في مكبس هيدروليكي مساحة مقطعه العرضي 0.015 m^2 ، فترفع سيارة صغيرة. فإذا كانت مساحة المقطع العرضي للمكبس الذي ترتكز عليه السيارة 2.4 m^2 ، فما وزن السيارة؟
25. يحقق النظام الهيدروليكي الهدف نفسه تقريباً الذي تحققه الرافعة ولعبة الميزان، وهو مضاعفة القوة. فإذا وقف طفل وزنه 400 N على أحد المكبين بحيث يتزن مع شخص بالغ وزنه 1100 N يقف على المكبس الثاني، فما النسبة بين مساحتي مقطعي المكبين العرضيين؟
26. تستخدم في محل صيانة للآلات رافعة هيدروليكية لرفع آلات ثقيلة لصيانتها. ويحتوي نظام الرافعة مكبساً صغيراً مساحة مقطعه العرضي $7.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ ، ومكبساً كبيراً مساحة مقطعه العرضي $2.1 \times 10^{-1} \text{ m}^2$ ، وقد وضع على المكبس الكبير محرك يزن $2.7 \times 10^3 \text{ N}$.
 - a. ما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير لرفع المحرك؟
 - b. إذا ارتفع المحرك 0.20 m، فما المسافة التي تحركها المكبس الصغير؟



السباحة تحت الضغط swimming under pressure

عندما تسبح تشعر أن ضغط الماء يتزايد كلما غطست إلى مسافة أعمق، وينشأ هذا الضغط حقيقة عن قوة الجاذبية الأرضية، التي ترتبط مع وزن الماء فوق الجسم. فإذا غطست إلى أعماق كبيرة فستكون كمية أكبر من الماء فوق جسمك؛ لذا سيكون الضغط عليك أكبر. إن ضغط الماء يساوي وزن عمود الماء F_g فوقك مقسوماً على مساحة المقطع العرضي لعمود الماء A . وعلى الرغم من أن قوة الجاذبية الأرضية تسحب فقط في الاتجاه الرأسي إلى أسفل فإن المائع ينقل الضغط في الاتجاهات جميعها، إلى أعلى وإلى أسفل وإلى الجوانب. وتستطيع أن تجد ضغط الماء بتطبيق العلاقة الآتية:

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

وزن عمود الماء $F_g = mg$ ، والكتلة تساوي كثافة الماء ρ مضروبة في حجمه، $m = \rho V$. وتعلم أيضاً أن حجم الماء يساوي مساحة قاعدة عمود الماء مضروبة في ارتفاعه $V = Ah$ ؛ لذا فإن $F_g = \rho Ahg$. عوض بـ ρAhg بدلاً من F_g في معادلة ضغط الماء فستجد أن $P = \frac{F_g}{A} = \frac{\rho Ahg}{A}$ ، ثم اختزل A من البسط والمقام للوصول إلى الصورة المبسطة لمعادلة الضغط الذي يؤثر به عمود الماء في جسم الغطاس.

$$P = \rho hg$$

ضغط الماء على الجسم

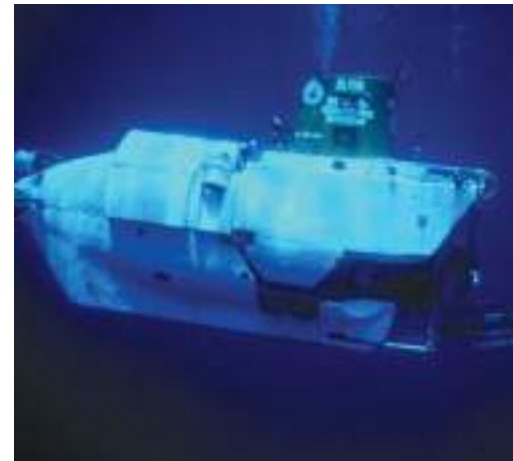
الضغط الذي يؤثر به عمود الماء في الجسم يساوي حاصل ضرب كثافة الماء في ارتفاع عمود الماء في تسارع الجاذبية الأرضية.

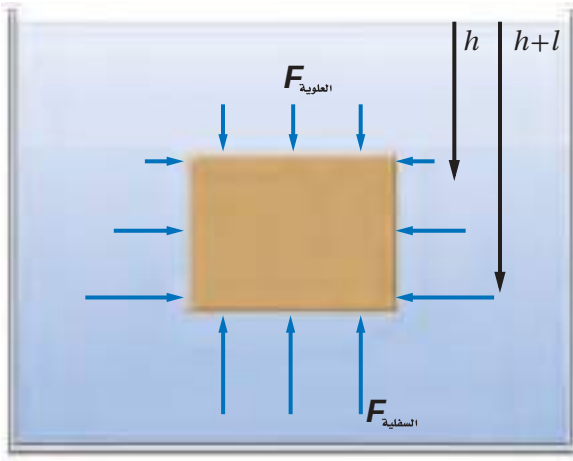
تطبق هذه المعادلة على الموائع جميعها، وليس فقط على حالة الماء. ويعتمد ضغط المائع الذي يؤثر في الجسم على كثافة المائع، وعمقه، و g . وإذا كان هناك ماء على سطح القمر فإن قيمة ضغطه عند أي عمق ستكون سُدس قيمته على الأرض. يوضح الشكل 12-6 غواصة تنتقل في أخاديد المحيط العميقة، وتتعرض لضغوط تزيد 1000 مرة على مقدار ضغط الهواء المعياري.

قوة الطفو ما الذي يولد القوة الرأسية إلى أعلى التي تسمح لك بالسباحة؟ إن زيادة الضغط الناجمة عن زيادة العمق تولد قوة رأسية إلى أعلى تسمى **قوة الطفو**. وبالمقارنة بين قوة الطفو المؤثرة في جسم ووزنه نستطيع أن نتوقع ما إذا كان الجسم سيغوص أم يطفو.

افترض أن صندوقاً ارتفاعه l ومساحة سطحه العلوي والسفلي A غمر في الماء، فيكون حجم الصندوق $V = IA$ ، ويؤثر ضغط الماء بقوى في كل جوانبه، كما هو موضح في الشكل 13-6. هل يغوص الصندوق أم يطفو؟ كما تعلم، يعتمد الضغط المؤثر في الصندوق على عمقه h . ولتعرف ما إذا كان الصندوق سيطفو على سطح الماء أم لا فإنك تحتاج أن تعين مقدار الضغط المؤثر في السطح العلوي للصندوق مقارنة بالضغط المؤثر في

■ الشكل 12-6 في عام 1960 م نزل طاقم الغطس تريست (Triste) إلى أعماق الأخدود مارياناس (Marianas) الذي يزيد عمقه على 10500 m. وتمكن أحد الغواصين من الغطس بأمان إلى عمق 4500 m في مياه المحيط.





قاع الصندوق. قارن بين المعادلتين الآتيتين:

$$F_{العلوية} = P_{العلوي} A = \rho h g A$$

$$F_{السفلية} = P_{السفلي} A = \rho (h+l) g A$$

إن القوى المؤثرة في الجوانب الأربعة الرأسية متساوية في جميع الاتجاهات؛ لذا ليس هناك قوة محصلة أفقية. والقوة الرأسية إلى أعلى المؤثرة في قاع الصندوق أكبر من القوة الرأسية إلى أسفل المؤثرة في سطحه العلوي؛ لذا فهناك قوة محصلة رأسية. ويمكن الآن حساب مقدار قوة الطفو.

$$\begin{aligned} F_{الطفو} &= F_{السفلية} - F_{العلوية} \\ &= \rho (h+l) g A - \rho h g A \\ &= \rho l g A = \rho V g \end{aligned}$$

وتبين هذه الحسابات أن القوة المحصلة الرأسية إلى أعلى تتناسب طرديًا مع حجم الصندوق، وهذا الحجم يساوي حجم المائع المزاح أو المدفوع خارجًا عن طريق الصندوق؛ لذا فإن مقدار قوة الطفو $\rho V g$ تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم.

قوة الطفو

$$F_{الطفو} = \rho_{المائع} V g$$

قوة الطفو المؤثرة في الجسم تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم، والتي تساوي كثافة المائع المغمور فيه الجسم مضروبًا في حجم الجسم وفي تسارع الجاذبية الأرضية.

الشكل 13-6 يؤثر المائع بقوة

إلى أعلى في قاع الجسم المغمور أكبر من القوة المؤثرة إلى أسفل في السطح العلوي للجسم. وتسمى محصلة القوة إلى أعلى بقوة الطفو.

تجربة عملية

لماذا تبدو الصخرة خفيفة في الماء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

اكتشف هذه العلاقة في القرن الثالث قبل الميلاد العالم الإغريقي أرخميدس، وينص مبدأ أرخميدس على أن الجسم المغمور في مائع تؤثر فيه قوة رأسية إلى أعلى تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم. ولا تعتمد القوة على وزن الجسم، ولكن تعتمد فقط على وزن المائع المزاح.

هل يغوص الجسم أم يطفو؟ إذا أردت أن تعرف ما إذا كان الجسم سيطفو أم يغوص فإنه يجب أن تأخذ بعين الاعتبار كل القوى المؤثرة في الجسم. فقوة الطفو تدفع الجسم إلى أعلى، ولكن وزن الجسم يسحبه إلى أسفل، ويحدد الفرق بين قوة الطفو ووزن الجسم ما إذا كان الجسم سيغوص أم يطفو.

افترض أنك غمرت ثلاثة أجسام في خزان مملوء بالماء ($\rho_{\text{ماء}} = 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)، وكان حجم كل جسم منها 100 cm^3 أو $1.00 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. فإذا كان الجسم الأول قالبًا فولاذيًا كتلته 0.90 kg ، والجسم الثاني عبوة صودا من الألومنيوم كتلتها 0.10 kg ، أما الجسم الثالث فمكعب من الجليد كتلته 0.090 kg ، فكيف يتحرك كل من الأجسام الثلاثة عندما تغمر في الماء؟



إن القوة الرأسية على الأجسام الثلاثة متساوية، انظر إلى الشكل 14-6، لأن كلاً منها قد أزاح الوزن نفسه من الماء، ويمكن حساب قوة الطفو على النحو الآتي:

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} Vg$$

$$= (1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) (1.00 \times 10^{-4} \text{ m}^3) (9.80 \text{ m/s}^2)$$

$$= 0.980 \text{ N}$$

إن وزن قالب الفولاذ يساوي 8.8 N وهو أكبر كثيراً من قوة الطفو. وتبعاً لذلك تكون القوة المحصلة الرأسية المؤثرة فيه إلى أسفل؛ لذا يغوص القالب. لاحظ أن القوة المحصلة الرأسية إلى أسفل هي وزن الجسم الظاهري، وهي أقل من وزنه الحقيقي، وكل الأجسام التي في سائل، - ومنها تلك التي تغوص - لها وزن ظاهري أقل من وزنها عندما تكون في الهواء. ويمكن التعبير عن الوزن الظاهري بالمعادلة الآتية:

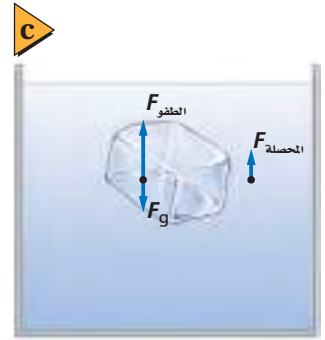
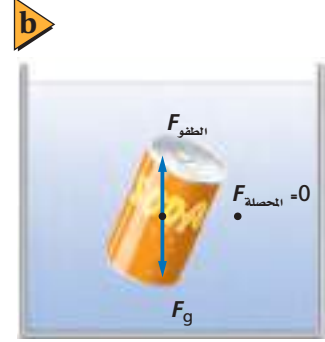
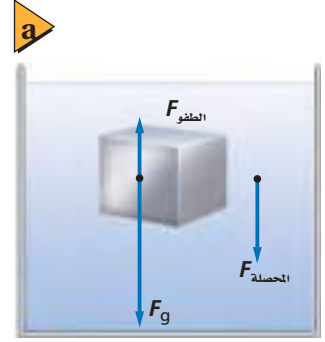
$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

وبالنسبة لقالب الفولاذ فإن وزنه الظاهري يساوي (8.8 N - 0.98 N) أو 7.8 N.

ووزن علبة الصودا يساوي 0.980 N، وهذا يماثل وزن الماء المزاح؛ لذا لا توجد قوة محصلة تؤثر في العبوة، ولذلك تبقى العبوة حيث توضع في الماء ولها قوة طفو متعادلة. وتوصف الأجسام ذات قوة الطفو المتعادلة بالأجسام العديمة الوزن، أي أن وزنها الظاهري صفر. إن هذه الخاصية مماثلة لتلك التي يعاني منها رواد الفضاء في الفضاء. وهذا يفسر تدريب رواد الفضاء أحياناً في برك السباحة.

أما وزن مكعب الجليد فيساوي 0.88 N، وهو أقل من قوة الطفو، ولذلك توجد قوة محصلة رأسية إلى أعلى؛ لذا يرتفع مكعب الجليد إلى أعلى. إن القوة المحصلة الرأسية إلى أعلى ستجعل جزءاً من مكعب الجليد خارج الماء. ونتيجة لذلك، تزداد كمية أقل من الماء وتقل القوة الرأسية إلى أعلى، ويطفو مكعب الجليد في الماء ويكون جزء منه داخل الماء والآخر خارجه حتى يتساوى وزن الماء المزاح مع وزن مكعب الجليد. وعموماً يطفو الجسم إذا كانت كثافته أقل من كثافة المائع المغمور فيه.

السفن يفسر مبدأ أرخميدس كيف يمكن للسفن المصنوعة من الفولاذ أن تطفو على سطح الماء، فإذا كان جسم السفينة مفرغاً وكبيراً بما يكفي فإن معدل كثافة السفينة يكون أقل من كثافة الماء، ولذلك تطفو.



■ الشكل 14-6 قالب من الفولاذ

(a)، عبوة ألومنيوم لمشروب الصودا

(b) ومكعب جليد (c) لكل منها الحجم نفسه، توزيع كمية متساوية من الماء، وتخضع لتأثير قوى طفو متماثلة. ولأن أوزانها مختلفة فإن محصلة القوى المؤثرة في الأجسام الثلاثة مختلفة أيضاً.



ويمكن أن تلاحظ أن السفينة المحملة بالبضائع تبحر بحيث تنخفض في الماء أكثر من السفينة الفارغة. وتستطيع توضيح هذا من خلال صنع قارب صغير من رقائق الألومنيوم، حيث يطفو هذا القارب بسهولة، وينغمر جزء أكبر منه في الماء إذا أضيف إليه حمولة من مشابك الورق. وإذا حطمت القارب وجمعت رقائق الألومنيوم التي تكونه على شكل كرة مصمتة، فإنها في هذه الحالة تغطس بسبب زيادة كثافتها.

وبطريقة مماثلة، تطفو القارات الأرضية فوق مواد ذات كثافة كبيرة تحت السطح، وحركة الانجراف للصفائح القارية هي المسؤولة عن الأشكال والمواقع الحالية للقارات.

الربط مع علم الأرض

وهناك أمثلة تطبيقية أخرى على مبدأ أرخميدس، منها الغواصات البحرية والأسماك؛ إذ توظف الغواصات مبدأ أرخميدس في عملها، فكلما ضُخ الماء داخل عدد من الحجرات المختلفة وخارجها يتغير متوسط كثافة الغواصة، مما يجعلها تطفو أو تغطس. أما بالنسبة للأسماك، فلدى بعضها انتفاخ غشائي للسباحة يسمى مثانة العوم، وهي تطبق مبدأ أرخميدس لتتحكم في العمق الذي توجد فيه، فالأسماك تنفخ مثانة العوم أو تقلصها كما ينفخ الإنسان خديه. فتنفخه لإزاحة كمية أكبر من الماء، وبذلك تزيد من قوة الطفو فترتفع، وفي المقابل تنزل إلى أسفل في الماء بتقليل حجم مثانة العوم.

تجربة عملية

لماذا تؤولك أذنك عندما تغوص في الماء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

مثال 3

مبدأ أرخميدس ينغمر قالب بناء من الجرانيت حجمه $(1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$ ، في الماء، فإذا كانت كثافة الجرانيت $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ، فما مقدار:

- قوة الطفو المؤثرة في قالب الجرانيت؟
- الوزن الظاهري لقالب الجرانيت؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم قالب جرانيت مغمورًا في الماء.
- بين قوة الطفو الرأسية إلى أعلى وقوة الجاذبية الأرضية الرأسية إلى أسفل اللتين تؤثران في القالب.

المجهول

$$F_{\text{الطفو}} = ?$$

$$F_{\text{الظاهري}} = ?$$

المعلوم

$$V = 1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{الجرانيت}} = 2.70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

- احسب قوة الطفو على قالب الجرانيت.

$$\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \text{ عوض مستخدماً}$$

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2 \text{ و } V = 1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} Vg$$

$$= (1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3)(9.80 \text{ m/s}^2)$$

$$= 9.80 \text{ N}$$

b. احسب وزن قالب الجرانيت، ثم أوجد وزنه الظاهري.

$$F_g = \rho_{\text{الجرانيت}} Vg$$

$$= (2.70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) (1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3) (9.80 \text{ m/s}^2)$$

$$= 26.5 \text{ N}$$

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

$$= 26.5 \text{ N} - 9.80 \text{ N}$$

$$= 16.7 \text{ N}$$

$$\rho_{\text{جرانيت}} = 2.70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ و } g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$M = 39.9 \text{ g/mol}, n = 0.893 \text{ mol}$$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تقاس كل من القوى والوزن الظاهري بوحدة النيوتن، كما هو متوقع.
- هل الجواب منطقي؟ قوة الطفو تساوي تقريباً ثلث وزن قالب الجرانيت، وهذه إجابة منطقية؛ لأن كثافة الماء تساوي ثلث كثافة الجرانيت تقريباً.

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؟
28. يطفو سباح في بركة ماء، بحيث يعلو رأسه قليلاً فوق سطح الماء. فإذا كان وزنه 610 N فما حجم الجزء المغمور من جسمه؟
29. ما مقدار قوة الشد في حبل يحمل كاميرا وزنها 1250 N مغمورة في الماء، إذا علمت أن حجم الكاميرا $16.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ؟
30. لوح من الفلين الصناعي كثافته تساوي 0.10 مرة من كثافة الماء تقريباً. ما أكبر وزن من قوالب القرميد تستطيع وضعها على لوح الفلين الصناعي الذي أبعاده $1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 0.10 \text{ m}$ ، بحيث يطفو اللوح على سطح الماء، وتبقى قوالب القرميد جافة؟
31. يوجد عادة في الزوارق الصغيرة قوالب من الفلين الصناعي تحت المقاعد؛ لتساعدها على الطفو في حال امتلاء الزورق بالماء. ما أقل حجم تقريبي من قوالب الفلين اللازمة ليطفو قارب وزنه 480 N ؟



Fluids in Motion : Bernoulli's Principle



■ الشكل 15-6 يوضح النفخ فوق سطح صفيحة من الورق مبدأ برنولي.

حاول تنفيذ التجربة الموضحة في الشكل 15-6. ضع قطعة من ورق دفتر ملاحظاتك أسفل شفتك السفلى قليلاً، ثم انفخ بقوة فوق سطحها العلوي. لماذا ترتفع قطعة الورق؟ يقلل نفخ الهواء الضغط فوق الورقة. وبسبب انخفاض الضغط أعلى الورقة فإن ضغط الهواء الساكن نسبياً أسفل الورقة يدفع الورقة إلى أعلى. إن العلاقة بين السرعة والضغط المؤثر عن طريق الموائع المتحركة يسمى مبدأ برنولي نسبة إلى العالم السويسري دانييل برنولي.

ينص **مبدأ برنولي** على أنه عندما تزداد سرعة المائع يقل ضغطه. وهذا المبدأ تمثيل لمبدأ حفظ الشغل والطاقة عند تطبيقه على الموائع. ويعتبر تدفق المائع عبر مقطع ضيق حالة من الحالات التي تزداد فيها سرعة المائع. فصنابير الماء في بعض خراطيم الحدائق يمكن أن تتسع أو تضيق؛ لذا تتغير سرعة تدفق الماء.

ولعلك لاحظت أن سرعة الماء تزايد في جدول الماء (الوادي) عندما يمر عبر مقطع ضيق في مجرى الجدول، وعموماً يغير اتساع أو ضيق مجرى المائع - كخرطوم الماء أو قناة جدول الماء - من سرعة المائع، بحيث يبقى معدل التدفق للمائع محفوظاً. وبالإضافة إلى الجداول وخراطيم الماء فإن ضغط الدم في دورتنا الدموية يعتمد جزئياً على مبدأ برنولي. كما تتضمن معالجة أمراض القلب إزالة الانسداد في الشرايين والأوردة، وتجنب حدوث تخثرات في الدم.

لنأخذ حالة أنبوب أفقي مملوء بمائع مثالي يتدفق بسهولة؛ فإذا عبرت كمية معينة من المائع في أحد طرفي الأنبوب، فإن الكمية نفسها يجب أن تخرج من الطرف الآخر. افترض الآن أن المقطع العرضي أصبح أضيق، كما في الشكل 16a-6، فيجب أن تزداد سرعة تدفق المائع للحفاظ على كتلته المنتقلة عبر المقطع الضيق خلال فترة زمنية ثابتة. لكن كلما ازدادت سرعة المائع ازدادت طاقته الحركية، وهذا يعني أن هناك محصلة شغل بُذلت على المائع السريع الحركة، وينتج هذا الشغل المحصل عن الفرق بين الشغل الذي بُذل لانتقال كمية من المائع داخل الأنبوب والشغل الذي بذل عن طريق المائع لدفع الكمية نفسها من المائع خارج الأنبوب. ويتناسب الشغل طردياً مع القوة المؤثرة في المائع، والتي تعتمد بدورها على الضغط. فإذا كانت محصلة الشغل موجبة وجب أن يكون ضغط المائع في المدخل عند بداية المقطع (حيث تكون سرعة المائع أقل) أكبر من الضغط في المخرج عند نهاية المقطع، حيث تكون سرعة المائع أكبر.

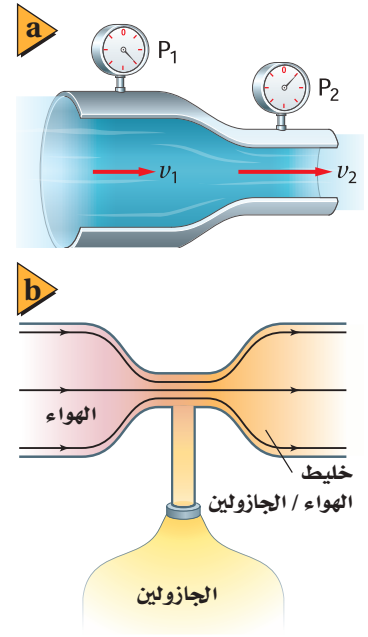
تطبيقات على مبدأ برنولي هناك بعض التطبيقات العملية الشائعة على مبدأ برنولي، ومنها مرش (بخاخ) الطلاء، ومرذاذ العطر. ويعمل المرذاذ البسيط في زجاجة العطر بنفخ الهواء عبر الجزء العلوي من الأنبوب المغمور في العطر، فينخفض الضغط عند قمة الأنبوب، بحيث يصبح أقل من الضغط داخل الزجاجة، ونتيجة لذلك، يندفع العطر عبر تيار الهواء.



يعد المازج (Carburetor) في محرك الجازولين، حيث يختلط الهواء بالجازولين، تطبيقاً شائعاً آخر على مبدأ برنولي. إن أحد أجزاء المازج عبارة عن أنبوب فيه ضيق في منطقة معينة، كما في الشكل 6-16b، ويكون الضغط على الجازولين في خزان الوقود مماثلاً للضغط في الجزء الأكثر اتساعاً في الأنبوب. لكن تدفق الهواء عبر المقطع الضيق من الأنبوب والموصول بخزان الوقود يجعل الضغط منخفضاً؛ لذا يندفع الوقود في منطقة تدفق الهواء. وتتغير كمية الوقود المزوجة بالهواء في الأنبوب تبعاً لتنظيم هذا التدفق. تتجه السيارات الحديثة إلى استخدام محقنة الوقود أو نفثه بدلاً من نظام المازج، ولكن لا تزال أنظمة المازج شائعة الاستخدام في السيارات القديمة، وفي الآلات ذات المحركات التي تدار بالجازولين ومنها آلات جز العشب.

خطوط الانسياب يستنفذ صانعو السيارات والطائرات الكثير من الوقت والجهد في اختبار تصاميم جديدة للسيارات والطائرات داخل أنفاق هوائية للتحقق من قدرتها على العمل بكفاءة عظمى في أثناء حركتها خلال الهواء. ويُمثل تدفق الموائع حول الأجسام **بخطوط الانسياب** الموضحة في الشكل 6-17. وتحتاج الأجسام إلى طاقة أقل لتحرك عبر تدفق منتظم من خطوط الانسياب.

يمكن توضيح خطوط الانسياب بصورة أفضل من خلال التمثيل البسيط الآتي: تخيل أنك تضيف بعناية قطرات صغيرة من صبغة الطعام داخل مائع ينساب بشكل منتظم، فإذا بقيت الخطوط الملونة التي تشكلت دقيقة ومحددة قيل عندئذ؛ إن التدفق انسيابي. لاحظ أنه إذا ضاق مجرى التدفق فإن خطوط الانسياب تتحرك مقتربة بعضها من بعض. وتشير خطوط الانسياب التي تفصلها مسافات قليلة إلى سرعة انسياب كبيرة؛ لذا يكون الضغط منخفضاً. من جهة أخرى إذا تحركت خطوط الانسياب حركة ملتفة كالدوامة بحيث أصبحت منتشرة، فعندئذ يقال: إن المائع مضطرب. ولا يطبق مبدأ برنولي في حالة التدفق المضطرب للموائع.



■ الشكل 6-16 يكون الضغط P_1 أكبر من P_2 ؛ لأن v_1 أقل من v_2 (a). يعمل الضغط المنخفض في الجزء الضيق من أنبوب المازج (carburetor) على سحب الوقود إلى مجرى الهواء (b).

■ الشكل 6-17 تدفق خطوط للهواء فوق سيارة جرى اختبارها في نفق رياح.



32. **الطفو والغطس** هل تطفو علبة شراب الصودا في الماء أم تغوص فيه؟ جرب ذلك. وهل يتأثر ذلك بكون الشراب خالياً من السكر أم لا؟ تحتوي جميع علب شراب الصودا على الحجم نفسه من السائل 354 ml، وتوزيع الحجم نفسه من الماء، فما الفرق بين العلبة التي تغوص والأخرى التي تطفو؟
33. **الطفو والكثافة** تُزوّد صنارة الصيد بقطعة فلين تطفو بحيث يكون عشر حجمها تحت سطح الماء. ما كثافة الفلين؟
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؟
35. **انتقال الضغط** صُمّمت لعبة قاذفة للصواريخ بحيث يدوس الطفل على أسطوانة من المطاط، مما يزيد من ضغط الهواء في أنبوب القاذف فيدفع صاروخاً خفيفاً من الرغاوي الصناعية في السماء، فإذا داس الطفل بقوة 150 N على مكبس مساحته $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ، فما القوة المنتقلة إلى أنبوب القذف الذي مساحة مقطعه $4.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ؟
36. **الضغط والقوة** رُفعت سيارة تزن $2.3 \times 10^4 \text{ N}$ عن طريق أسطوانة هيدروليكية مساحتها 0.15 m^2 .
- a. ما مقدار الضغط في الأسطوانة الهيدروليكية؟
- 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؟
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؟
- b. قالب ألومنيوم حجمه 10 cm^3 ، أم قالب رصاص حجمه 10 cm^3 ؟
38. **التفكير الناقد** اكتشفت في المسألة التدريبية رقم 4، أنه عندما يمر إعصار فوق منزل فإن المنزل ينهار أحياناً من الداخل إلى الخارج. فكيف يفسر مبدأ برنولي هذه الظاهرة؟ وماذا يمكن أن نفعّل لتقليل خطر اندفاع الباب أو الشباك إلى الخارج وتحطّمه؟





4-6 المواد الصلبة Solids

الأهداف

- تربط خصائص المواد الصلبة بتركيبتها.
- تفسر لماذا تتمدد المواد الصلبة وتقلص عندما تتغير درجة الحرارة.
- تحسب تمدد المواد الصلبة.
- توضح أهمية تمدد المواد بالحرارة.

المفردات

- الشبكة البلورية
- المواد الصلبة غير البلورية
- معامل التمدد الطولي
- معامل التمدد الحجمي

كيف تختلف المواد الصلبة عن السائلة؟ المواد الصلبة قاسية، ويمكن أن تقطع عدة قطع، وتحتفظ بشكلها، كما يمكنك دفع المادة الصلبة. أما السوائل فتتدفق، وإذا دفعت سائلاً، كالماء مثلاً، بإصبعك، فإن إصبعك يتحرك خلاله، فخصائص المواد الصلبة تختلف عن خصائص المواد السائلة، لكنك إذا شاهدت قطعة من الزبد تُسخن، وتفقد شكلها، فقد تتساءل عما إذا كان الحد الفاصل بين حالتي الصلابة والسيولة واضحاً ومحدداً دائماً.

الأجسام الصلبة Solid Bodies

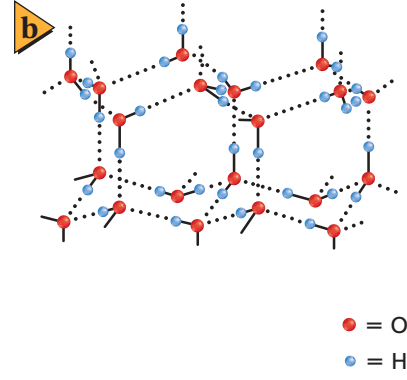
يصعب التفريق بين المواد الصلبة والسائلة تحت ظروف معينة، فمثلاً في أثناء تسخين عبوة زجاجية لصهرها، يتم التغير من حالة الصلابة إلى حالة السيولة بشكل تدريجي، بحيث يصعب معرفة الحالة في لحظة ما. وبعض المواد الصلبة (ومنها الكوارتز البلوري) يتكون من جزيئات مصطفة بأنماط مرتبة ومنظمة، وبعض المواد الصلبة الأخرى (ومنها الزجاج) مكونة من جزيئات ليس لها ترتيب منتظم، وحالتها في ذلك مشابه للسوائل. وكما ترى في الشكل 18-6، فالكوارتز والكوارتز غير البلوري (ويسمى أيضاً الكوارتز الزجاجي) متماثلان كيميائياً، ولكن خصائصهما الفيزيائية مختلفة تماماً.

فعندما تنخفض درجة حرارة السائل ينخفض متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وعندما تبدأ الجزيئات في التباطؤ تؤثر قوة التماسك بصورة أكبر. وتصبح جزيئات بعض المواد الصلبة متجمدة على نمط ثابت يُسمى **الشبكة البلورية**، الموضحة في الشكل 19-6. وعلى الرغم من أن قوة التماسك تحجز الجزيئات في مكانها إلا أن الجزيئات في المواد الصلبة البلورية لا تتوقف عن الحركة تماماً، بل تتذبذب حول أماكن ثابتة. وهناك مواد أخرى - منها الزبدة والزجاج - لا تشكل جزيئاتها نمطاً بلورياً ثابتاً ومحدداً. وهذه المواد التي ليس لها تركيب بلوري منتظم ولكن لها حجم وشكل محددان تُسمى **المواد الصلبة غير البلورية**، كما تصنف أيضاً على أنها سوائل لزجة أو بطيئة التدفق.



■ الشكل 18-6 تترتب الجزيئات في الشبكة البلورية في نمط منظم (a). تنصهر المواد الصلبة البلورية عند درجة حرارة معينة. الكوارتز غير البلوري متماثل كيميائياً مع الكوارتز البلوري، ولكن جزيئاته عشوائية الترتيب. وعندما ينصهر الكوارتز غير البلوري تتغير خصائصه ببطء على مدى معين من درجات الحرارة، مما يسمح بتشكيله بطريقة مشابهة للزجاج المعروف (b).

■ الشكل 19-6 الجليد هو الشكل الصلب للماء، وله حجم أكبر من الشكل السائل للكتلة نفسها من الماء (a)، التركيب البلوري للجليد على شكل شبكة بلورية (b).



مُنح البروفيسور كارل وإيمان جائزة الملك فيصل لعام ١٤١٧هـ / ١٩٩٧م لنجاحه، مع زميله الدكتور إريك كورنيل، في اكتشاف أن للمادة حالة جديدة لم تسبق مشاهدتها هي حالة التكاثف التي تحدث إذا انخفضت درجة حرارتها تحت مستوى معين.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل /
فرع العلوم

<http://kingfaisalprize.org/ar/science/>

الضغط والتجمد عندما يتحول سائل إلى مادة صلبة فإن جزيئاته عادة تُعيد ترتيب نفسها لتصبح قريبة من بعضها البعض أكثر مما كانت عليه في الحالة السائلة، مما يجعل المواد الصلبة أكثر كثافة من السوائل. وكما تعلمت سابقاً، فإن للماء حالة خاصة في تمدده؛ حيث تكون كثافته أكبر ما يمكن عند 4°C ، مما يجعله يتمدد عند تجمده، فإن الزيادة في الضغط تجبر الجزيئات على الاقتراب من بعضها البعض لتقاوم التجمد؛ لذا فإنه عند التعرض لضغط أكبر تنخفض درجة تجمد الماء على نحو طفيف.

كانت هناك فرضية مقترحة لتفسير تكون طبقة رقيقة من الماء السائل بين الزلاجات والجليد. تزعم الفرضية أن الضغط الناجم عن الزلاجات فوق سطح الجليد يخفض درجة التجمد، مما يؤدي إلى صهر بعض الجليد. لكن الحسابات الفعلية لمقدار الضغط الناتج عن الزلاجات (حتى الرفيعة منها) لا يكفي لصهر الجليد بسبب درجة حرارته المنخفضة جداً، وقد بينت القياسات الحديثة أن الاحتكاك بين الشفرات والجليد يولد طاقة حرارية كافية لصهر الجليد وتشكيل طبقة رقيقة من الماء. وقد عزز هذا التفسير عن طريق بعض القياسات التي بينت أن درجة حرارة رذاذ الجليد المتطاير أعلى بشكل ملحوظ من درجة حرارة الجليد نفسه، وعملية انصهار الجليد بالطريقة نفسها هي التي تحدث خلال التزلج على الثلج.

مرونة المواد الصلبة من الممكن أن تؤدي القوى الخارجية المؤثرة في الأجسام الصلبة إلى انحناء هذه الأجسام. وتسمى قدرة الأجسام الصلبة على العودة إلى شكلها الأصلي عندما يزول تأثير القوى الخارجية بمرونة المواد الصلبة. أما إذا حدث تشوه كبير جداً فإن الجسم لا يعود إلى شكله الأصلي؛ لأنه قد تجاوز حد مرونته. وتعتمد المرونة على القوى الكهرومغناطيسية التي تحافظ على بقاء جزيئات المادة معاً.

إن قابلية الطرق وقابلية السحب خاصيتان تعتمدان على تركيب المادة ومرونتها؛ فالذهب يمكن تشكيله على صورة رقائق دقيقة جداً، ولذلك يُقال: إنه قابل للطرق. والنحاس يمكن سحبه على شكل سلك، ولذلك يُقال: إنه قابل للسحب.



وزارة التعليم

Ministry of Education

2021

التمدد الحراري للمواد الصلبة Thermal Expansion of Solids

من الإجراءات المعتادة عند تصميم الجسور الخرسانية والفولاذية على الطرق السريعة، أن يترك المهندسون فجوات صغيرة (فواصل)، تسمى وصلات التمدد، بين أجزاء الجسور، وذلك للسماح بتمدد أجزاء الجسر في أيام الصيف الحارة. تتمدد الأجسام بمقدار يسير فقط عندما تتعرض للتسخين، ولكن هذا المقدار اليسير قد يكون عدة سنتيمترات في حالة جسر طوله 100 m، وإذا أُغفلت فجوات التمدد هذه في التصميم فقد يتقوس الجسر أو تتحطم أجزاؤه. وقد تحطم درجات الحرارة العالية كذلك مسارات السكك الحديدية التي تُغفل فيها وصلات التمدد، انظر الشكل 6-20. وتصمم بعض المواد - ومنها زجاج الأفران التي تستخدم في الطبخ في التجارب المخبرية لتمدّد بأقل ما يمكن. وتصنع مرايا التلسكوبات الكبيرة من مادة السيراميك، والتي تصمّم لتعمل دون تمدد حراري يذكر.

ولكي تفهم تمدد المواد الصلبة المسخنة، تصور المواد الصلبة مجموعة من الجزيئات المتصلة معاً من خلال نوابض، حيث تمثل النوابض قوى التجاذب بين الجزيئات؛ فعندما تصبح الجزيئات قريبة جداً بعضها من بعض فإن النابض يدفعها بعيداً. وعندما تسخن المادة الصلبة تزداد الطاقة الحركية لجزيئاتها وتبدأ في الاهتزاز السريع، وتتحرك مبتعدة بعضها عن بعض، مما يُضعف قوى التجاذب بين الجزيئات فتتهتز باضطراب أكثر من السابق؛ بسبب زيادة درجة الحرارة، ويزداد متوسط التباعد بين الجزيئات، فتتمدّد المادة الصلبة.

يتناسب التغير في طول المادة الصلبة طردياً مع التغير في درجة حرارتها، كما هو موضح في الشكل 6-21. فإذا ازدادت درجة حرارة جسم صلب بمقدار 20°C فإن تمدده يساوي ضعف تمدده عندما تكون الزيادة في درجات حرارته بمقدار 10°C . ويتناسب التمدد أيضاً طردياً مع طول الجسم؛ لذا يتمدد قضيب طوله 2 m ضعف تمدد قضيب طوله 1 m عند التغير نفسه في درجة الحرارة. ويمكن إيجاد الطول الجديد L_2 للمادة الصلبة عند درجة حرارة T_2 باستخدام المعادلة الآتية، حيث L_1 الطول عند درجة الحرارة T_1 ؛ أمّا ألفا α ، فتمثل معامل التمدد الطولي للمادة.

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

■ الشكل 6-20 لقد تسببت درجات الحرارة العالية أيام الصيف الحارة في تقوس مسارات سكة الحديد.



باستخدام مبادئ الجبر البسيطة، يمكنك حل المعادلة بالنسبة للمعامل α .

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

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

معامل التمدد الطولي

معامل التمدد الطولي يساوي التغير في الطول مقسومًا على الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

ووحدة معامل التمدد الطولي هي ($^{\circ}\text{C}^{-1}$ أو $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$). ولأن المواد الصلبة تتمدد في ثلاثة أبعاد فإن **معامل التمدد الحجمي** β ، يعادل ثلاثة أضعاف معامل التمدد الطولي.

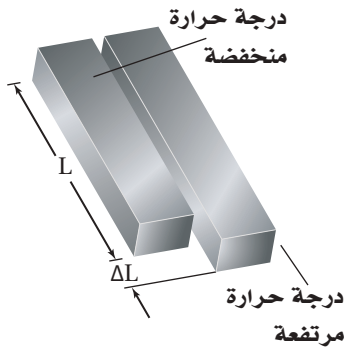
$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$$

معامل التمدد الحجمي

معامل التمدد الحجمي يساوي التغير في الحجم مقسومًا على الحجم الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

إن وحدة المعامل β هي ($^{\circ}\text{C}^{-1}$ أو $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$). ويبين الجدول 6-2 معاملي التمدد الحراري لمجموعة من المواد المختلفة.

الجدول 6-2		
معامل التمدد الحراري عند 20°C		
المادة	معامل التمدد الطولي α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	معامل التمدد الحجمي β ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
المواد الصلبة		
الألومنيوم	25×10^{-6}	75×10^{-6}
الزجاج (الناعم)	9×10^{-6}	27×10^{-6}
الزجاج (واقى الفرن)	3×10^{-6}	9×10^{-6}
الأسمنت	12×10^{-6}	36×10^{-6}
النحاس	16×10^{-6}	48×10^{-6}
السوائل		
الميثانول		1200×10^{-6}
البنزين		950×10^{-6}
الماء		210×10^{-6}



■ الشكل 21-6 يتناسب التغير في طول المادة طرديًا مع الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.



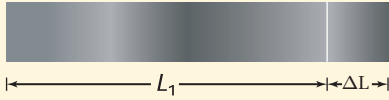
مثال 4

التمدد الطولي قضيب معدني طوله 1.60 m عند 21°C ، فإذا وضع هذا القضيب في فرن وسُخِّن إلى درجة حرارة 84°C ، وقيس طوله فوجد أنه ازداد بمقدار 1.7 mm، فما معامل التمدد الطولي للمادة المصنوع منها القضيب؟

1 تحليل المسألة ورسمها

• وضح بالرسم القضيب الذي ازداد طوله بمقدار 1.7 mm عند درجة حرارة 84°C وأصبح طوله أكبر مما كان عليه عند درجة حرارة 21°C .

• حدد الطول المبدئي للقضيب L_1 ، والتغير في الطول ΔL .



المجهول

$$\alpha = ?$$

المعلوم

$$L_1 = 1.60 \text{ m}$$

$$\Delta L = 1.7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$T_1 = 21^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 84^{\circ}\text{C}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب معامل التمدد الطولي مستخدماً الطول المعلوم، والتغير في كل من الطول ودرجة الحرارة.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

عوض مستخدماً $\Delta L = 1.7 \times 10^{-3} \text{ m}$ ، $L_1 = 1.60 \text{ m}$ ، $\Delta T = (T_2 - T_1) = 84^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1.7 \times 10^{-3} \text{ m}}{(1.60 \text{ m}) (84^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C})} \\ &= 1.7 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \end{aligned}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 278 ، 279

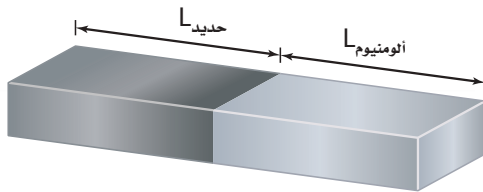
3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ تم التعبير عن الوحدات بطريقة صحيحة بوحدة $^{\circ}\text{C}^{-1}$.
- هل الجواب منطقي؟ إن مقدار المعامل قريب من القيمة المقبولة للنحاس.



39. قطعة من الألومنيوم طولها 3.66 m عند درجة حرارة 28°C . كم يزداد طول القطعة عندما تصبح درجة حرارتها 39°C ؟
40. قطعة من الفولاذ طولها 11.5 cm عند 22°C ، فإذا سُخِّنت حتى أصبحت درجة حرارتها 1221°C ، وهي قريبة من درجة حرارة انصهارها، فكم يبلغ طولها بعد التسخين؟ (معامل التمدد الطولي للفولاذ $12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
41. مُلئ وعاء زجاجي سعته 400 ml عند درجة حرارة الغرفة بهاء بارد درجة حرارته 4.4°C . ما مقدار الماء المسكوب من الوعاء عندما يسخن الماء إلى 30.0°C ؟
42. مُلئ خزان شاحنة لنقل البنزين سعته 45,725 L بالبنزين لينقله من مدينة الدمام نهاراً حيث كانت درجة الحرارة 38.0°C ، إلى مدينة تبوك ليلاً حيث درجة الحرارة -2.0°C .
- a. كم لترًا من البنزين سيكون في خزان الشاحنة في تبوك؟
b. ماذا حدث للبنزين؟
43. حُفِر ثقب قطره 0.85 cm في صفيحة من الفولاذ عند 30.0°C فكان الثقب يتسع بالضبط لقضيب من الألومنيوم له القطر نفسه. ما مقدار الفراغ بين الصفيحة والقضيب عندما يبردان لدرجة حرارة 0.0°C ؟
44. دُرِّجَت 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 -؟

مسألة تحفيز



تحتاج إلى صنع قضيب طوله 1.00 m يتمدد بازدياد الحرارة بالطريقة نفسها التي يتمدد بها قضيب من النحاس طوله 1.00 m. يشترط في القضيب المطلوب أن يكون مصنوعاً من جزأين، أحدهما من الفولاذ والآخر من الألومنيوم موصولين معاً، كما يبين الشكل. فكم يجب أن يكون طول كل منهما؟

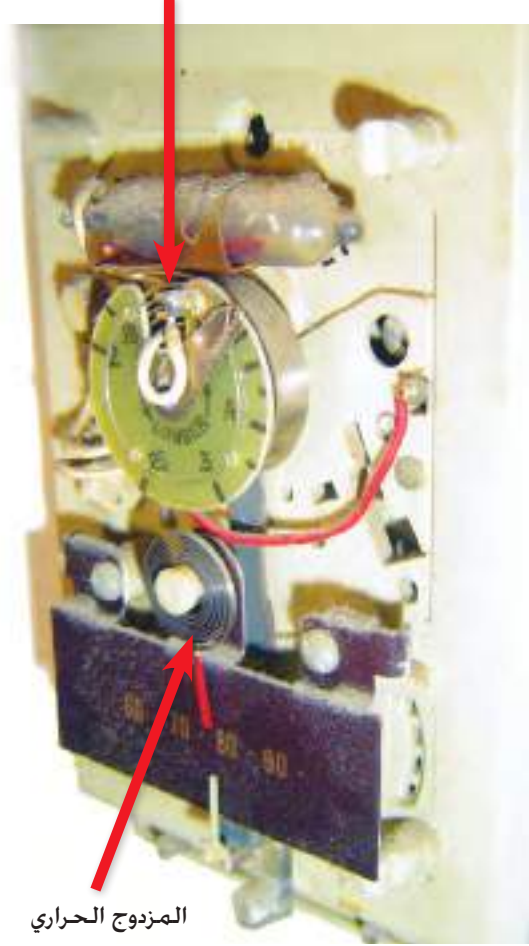


تطبيقات التمدد الحراري تتمدد المواد المختلفة بمعدلات مختلفة، كما أشير إليها بمعاملات التمدد المختلفة الموضحة في الجدول 2-6. وعلى المهندسين الأخذ بعين الاعتبار معدلات التمدد المختلفة هذه عند تصميم المباني. فمثلاً تستخدم القضبان الفولاذية غالباً لتقوية الأسمنت؛ لذا يجب أن يكون للفولاذ والأسمنت معامل التمدد نفسه، وإذا لم يكن كذلك فإن المبنى سيتصدع في الأيام الحارة. وبطريقة مماثلة، يكون على طيبب الأسنان استخدام المواد التي يحشو بها الأسنان بحيث تتمدد وتتقلص بالمعدل نفسه لتمدد مينا الأسنان.

إن المعدلات المتباينة للتمدّد لها تطبيقات مهمة؛ فمثلاً يستفيد المهندسون من هذه الاختلافات في صنع أداة مفيدة تُسمى المزدوج الحراري، وهي عبارة عن شريحة ثنائية الفلز تستخدم في منظمات الحرارة (أجهزة الثرموستات).

يتكون المزدوج الحراري من شريحتين من فلزين مختلفين، ملحومتين أو مثبتتين إحداهما إلى جوار الأخرى، وتكون إحداهما عادة من النحاس الأصفر، والأخرى من الحديد، وعند تسخينهما يتمدد النحاس الأصفر أكثر من الحديد. وعندما يُسخّن الشريط الثنائي الفلز (النحاس الأصفر والحديد)، يصبح جزء النحاس أطول من جزء الحديد، ونتيجة لذلك ينحني الشريط الثنائي الفلز بحيث يكون النحاس على السطح الخارجي للمنحنى، وعندما يبرد ينحني في الاتجاه العكسي، حيث يكون النحاس في الجزء الداخلي للمنحنى.

يُركَّب الشريط الثنائي الفلز في منظم الحرارة (الثرموستات) في أجهزة التدفئة المنزلية، كما في الشكل 22-6، بحيث ينحني في اتجاه نقطة التوصيل الكهربائي عندما تبرد الغرفة؛ فعندما تنخفض درجة حرارة الغرفة أقل من درجة الحرارة المحددة في جهاز الثرموستات ينحني الشريط الثنائي الفلز بمقدار كافياً لإحداث توصيل كهربائي مع المفتاح حيث يُشغّل المُسخّن، وحينما تصل درجة حرارة الغرفة إلى درجة الحرارة المحددة في جهاز الثرموستات تفتح الدائرة الكهربائية، ويتوقف المُسخّن عن العمل. أما في أجهزة التبريد فيصمم الشريط الثنائي الفلز بحيث ينحني لإحداث توصيل كهربائي يشغل المبرد إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى حد معين في جهاز الثرموستات، وعندما تنخفض الحرارة عن حد معين ينحني في الاتجاه المعاكس، فيوقف عمل المبرد.



المزدوج الحراري

■ الشكل 22-6 في منظم الحرارة (الثرموستات) المبين هنا، يتحكم شريط حلزوني الشكل مصنوع من فلزين (مزدوج حراري) في تدفق الزئبق لفتح الدوائر الكهربائية وإغلاقها.



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؟

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

45. **التقلص الحراري النسبي** إذا رُكِّبَت 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؟

46. **حالات المادة** لماذا يعد الشمع مادة صلبة؟ ولماذا يُعد أيضًا سائلًا لزجًا؟

47. **التمدد الحراري** هل يمكنك تسخين قطعة من النحاس بحيث يتضاعف طولها؟

48. **حالات المادة** هل يزودنا الجدول 2-6 بطريقة للتمييز بين المواد الصلبة والسوائل؟



مختبر الفيزياء

التبريد بالتبخّر

هل سبق أن سكبت كمية صغيرة من الكحول على جلدك؟ من المحتمل أنك قد شعرت بالبرودة. وقد تعلمت سابقاً أن هذه البرودة تكون نتيجة التبخر. ستختبر في هذه التجربة المعدلات التي تتبخر بها أنواع مختلفة من الكحول. إن الكحول مادة مكونة من مجموعة الهيدروكسيل الوظيفية ($-OH$) مرتبطة مع الكربون أو مع سلسلة كربونية. وستستنتج من خلال ملاحظاتك عن التبريد بالتبخّر الشدة النسبية لقوى التماسك في الكحول الخاضع للاختبار.

سؤال التجربة

ما الفرق بين معدلات تبخر أنواع مختلفة من الكحول؟ وما أوجه الشبه بينها؟

المواد والأدوات

- ميثانول (كحول الميثيل)
- إيثانول (كحول إيثيلي)
- 2 - بروبانول (كحول)
- إيزوبروبيل (كحول)
- مقياس حرارة (غير زئبقي)
- ورق ترشيح (ثلاث قطع $2.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm}$)
- رباطات مطاطية صغيرة
- شريط لاصق (قطعتان)

الخطوات

1. غلّف مقياس الحرارة بقطعة مربعة من ورق الترشيح، وثبتها جيداً برباط مطاطي صغير. ولتنفيذ ذلك ضع الرباط المطاطي أولاً على مقياس الحرارة، ثم لف الورقة حول مقياس الحرارة، ولف الرباط المطاطي حول الورقة، واحرص على أن تكون الورقة ملفوفة بإحكام حول نهاية مقياس الحرارة.
2. أحضر إناءً صغيراً فيه ميثانول، وضع نهاية مقياس الحرارة المغطاة بالورقة فيه. ولا تدع الإناء ينقص، واترك مقياس الحرارة في الإناء دقيقة واحدة.

3. سجّل بعد دقيقة واحدة درجة الحرارة التي يقرأها مقياس الحرارة في جدول البيانات في العمود T_1 . حيث تمثل هذه القراءة درجة الحرارة الابتدائية للميثانول.



الخطوات

- تجمع البيانات حول تبخر أنواع مختلفة من الكحول وتنظمها.
- تقارن بين معدلات تبخر أنواع مختلفة من الكحول.
- تحلّل سبب تبخر بعض أنواع الكحول بمعدل أكبر مقارنة بالأنواع الأخرى.
- تستنتج العلاقة بين قوى التماسك ومعدلات التبخر.

إجراءات السلامة



- المواد الكيميائية المستخدمة في هذه التجربة قابلة للاشتعال وسامة، فلا تستنشق الأبخرة المتصاعدة من هذه الكيماويات، ولا تترك مصدراً مشتعلاً بالقرب من هذه المواد، واستخدم هذه المواد في غرفة جيدة التهوية أو تحتوي على جهاز طرد الغازات.
- احذر ملامسة هذه المواد لجلدك أو ملابسك، وأخبر معلمك فوراً إذا وقع حادث أو انسكبت إحدى هذه المواد.
- اغسل يديك جيداً بعد إنهاء التجربة.

جدول البيانات			
$\Delta T (^{\circ}C)$	$T_1 (^{\circ}C)$	$T_2 (^{\circ}C)$	سائل
			الكحول الميثيلي
			الكحول الإيثيلي
			الكحول الأيزوبروبيلي

الاستنتاج والتطبيق

1. استخدم معدلات التبخر للكحول التي درستها، كيف يمكن أن تحدد أي أنواع الكحول قوة تماسكه أكبر؟
2. أي أنواع الكحول قوة تماسكه أقل؟
3. ما العلاقة العامة التي وجدتها بين التغير في درجة الحرارة (ΔT) والكتلة المولية للكحول؟
4. **كُونْ فرضية** هل يؤدي تشغيل مروحة في المختبر إلى تغيير درجة حرارة الغرفة؟ وهل يغير قيمة ΔT التي راقبتها؟ وضح ذلك.

التوصية بالبحث

توقع مقدار ΔT لكحول 1- بيوتانول الذي صيغته الكيميائية $C_4H_{10}OH$ بالنسبة إلى قيم ΔT لأنواع الكحول التي اختبرتها.

التعليقات على البحث

بدأت دائرة الأرصاد الجوية الأمريكية في استخدام دليل برودة الرياح عام 2001م، وكانت خرائط الطقس القديمة تعتمد على البيانات المستخلصة من تجارب تجمد الماء التي أجريت في منطقة القطب الجنوبي سنة 1940م. وضح كيف ترتبط برودة الرياح مع التبريد بالتبخير؟ ولماذا تعد هذه الظاهرة مهمة في الطقس البارد؟ وما التعديل الذي أضافته الخرائط الحديثة للخرائط القديمة؟

4. أزل مقياس الحرارة من الميثانول وضعه على حافة الطاولة بحيث يمتد طرف مقياس الحرارة 5 cm تقريباً خلف الحافة. واستخدم الشريط اللاصق لتثبيت مقياس الحرارة في مكانه.

5. راقب درجة الحرارة خلال التجربة، وبعد مضي أربع دقائق راقب، ثم سجل درجة الحرارة في جدول البيانات في العمود T_2 .

6. أزل الرباط المطاطي من مقياس الحرارة، وتخلص من ورقة الترشيح حسب تعليمات المعلم.

7. كرر الخطوات من 1 إلى 6، متخذاً الإيثانول سائلاً في هذه الحالة، وسجل النتائج في جدول البيانات.

8. كرر الخطوات من 1 إلى 6، متخذاً كحول الأيزوبروبيل سائلاً في هذه الحالة، وسجل النتائج في جدول البيانات.

التحليل

1. **فسر النتائج** هل أظهر مقياس الحرارة في أثناء محاولتك ارتفاعاً في درجة الحرارة أم انخفاضاً؟ ولماذا؟

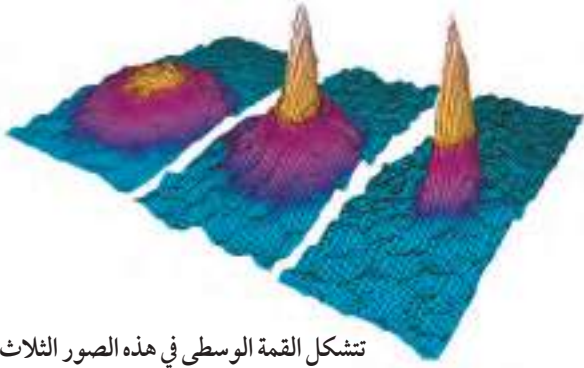
2. احسب ΔT لكل من السوائل، وذلك بإيجاد الفرق بين درجة الحرارة النهائية ودرجة الحرارة الابتدائية للسوائل ($T_2 - T_1$).

3. استخدم الصيغ الكيميائية للميثانول (CH_3OH)، والإيثانول (C_2H_5OH)، وكحول الأيزوبروبيل (C_3H_7OH)؛ لتحديد الكتلة المولية لكل من المحاليل التي تم اختبارها. ستحتاج إلى الرجوع للجدول الدوري لحساب الكتلة المولية.

4. **استنتج** ماذا تستنتج من قيمة ΔT في كل محاولة بالنسبة لمعدل التبخر للأنواع المختلفة من الكحول؟

5. **التفكير الناقد** لماذا وُضع الورق على مقياس الحرارة بدلاً من استخدام مقياس الحرارة وحده؟





تتشكل القمة الوسطى في هذه الصور الثلاث عند تكثف الذرات لتكوين BEC.

درجة حرارة العينة، ولكن أشعة الليزر لن تُبرّد العينة إذا لم يتم ضبطها بدقة عالية. وعندما تُضبط أشعة الليزر عند التردد المناسب فإن النتيجة تكون عبارة عن عينة ذراتها باردة جدًا. تُحفظ هذه المادة المتكوّنة في حيزٍ يحده شعاع الليزر مع المجال المغناطيسي، ولا تُحفظ في وعاء ماديّ لمنع حدوث تماسٍ حراري يكسبها حرارة.

تُبرّد هذه العينة عن طريق الليزر إلى درجة حرارة $\frac{1}{10000}K$ تقريبًا، لكنها بذلك لن تكون باردة بما يكفي لتكوين BEC؛ لذا يستخدم العلماء التبريد بالتبخير لإنجاز الخطوة النهائية للوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة. وتتم عملية التبريد بالتبخير كالآتي:

يتم احتجاز الذرات في وعاء ثم يطبق عليه مجال مغناطيسي قوي جدًا، يؤثر هذا المجال عليها بقوة فيسمح للذرات ذات الطاقة الأعلى بالانطلاق تاركة الذرات ذات الطاقة المتدنية جدًا، وهذه هي الذرات التي تتكثف فجأة لتكوين BEC.

التوسع

1. **قُوم** الصعوبات التي يمكن أن تواجه العلماء للتغلب على إيجاد تطبيقات لحالة BEC.
2. **قارن** هل عملية التبريد بالتبخير التي توجد حالة BEC هي العملية نفسها التي تساعدك على الحفاظ على برودتك في يوم حار؟ وضح ذلك

المادة العجيبة A Strange Matter

أصبحت حالات المادة الأربع الأكثر شيوعًا (الصلبة، والسائلة، والغازية، والبلازما) مألوفة لديك، ولكن هل علمت أن هناك حالة خامسة للمادة؟ تعرّف تكثف بوز - أينشتاين (BEC).

ما تكثف بوز - أينشتاين؟ إن بدايات BEC كانت عام 1920م من خلال الدراسات التي قام بها ستندراناث بوز على قوانين فيزياء الكم التي تخضع لها طاقات الفوتونات. فقد طبق أينشتاين معادلات بوز على الذرات، وأظهرت المعادلات أنه إذا كانت درجة الحرارة للذرات معينة منخفضة فإن معظم الذرات ستكون في مستوى الطاقة الكمي نفسه. وبعبارة أخرى، عند درجات الحرارة المنخفضة جدًا تهبط الذرات التي تحتل مستويات مختلفة للطاقة فجأة إلى أقل مستوى ممكن للطاقة. وعند درجات الحرارة هذه - والتي لا توجد في الطبيعة، ولكن يمكن إيجادها في المختبر باستخدام تقنية متقدمة جدًا - لا يمكن التمييز بين ذرات BEC كما تكون مواقعها متماثلة.

كيف نشأت BEC؟ تمكن العالمان إيرك كورنيل وكارل وايمان من التوصل إلى أول حالة BEC في عام 1995م، ولإيجاد BEC استخدم العالمان ذرات عنصر الروبيديوم. وكان عليهما أن يقررا كيفية تبريد هذه الذرات إلى درجة حرارة أخفض من أي درجة تم الوصول إليها حتى تلك اللحظة. وقد تدهش عندما تعلم أن إحدى الخطوات المهمة للوصول إلى درجات حرارة منخفضة جدًا هي استخدام أشعة الليزر لتبريد ذرات الروبيديوم. يمكن لليزر صهر الفلز، ويمكنه أيضًا تبريد عينة من الذرات إذا ضُبط؛ لكي ترتد فوتوناته عن الذرات، وفي هذه الحالة ستحمل الفوتونات جزءًا من طاقة الذرات مما يؤدي إلى انخفاض

1-6 Properties of fluids خصائص الموائع

المفردات

- الموائع
- الضغط
- باسكال
- القانون العام للغازات
- قانون الغاز المثالي
- التمدد الحراري
- البلازما

المفاهيم الرئيسية

- من خصائص المواد في الحالة السائلة القدرة على التدفق وعدم ثبات الشكل.
- الضغط يساوي القوة مقسومة على المساحة التي تؤثر فيها القوة. $P = \frac{F}{A}$
- يمكن استخدام القانون العام للغازات لحساب التغير في الحجم، ودرجة الحرارة، وضغط الغاز المثالي.

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

- يمكن كتابة قانون الغاز المثالي على النحو الآتي: $PV = nRT$

2-6 Forces within Liquids القوى داخل السوائل

المفردات

- قوى التماسك
- قوى التلاصق

المفاهيم الرئيسية

- قوى التماسك هي قوى التجاذب التي تؤثر بها الجزيئات المتماثلة بعضها في بعض، وينتج كل من التوتر السطحي واللزوجة عن قوى التماسك.
- قوى التلاصق هي قوى تجاذب تؤثر بها جزيئات المواد المختلفة بعضها في بعض، وتنتج الخاصية الشعرية عن قوى التلاصق.

3-6 Fluids at Rest and in Motion الموائع الساكنة والموائع المتحركة

المفردات

- مبدأ باسكال
- قوة الطفو
- مبدأ أرخميدس
- مبدأ برنولي
- خطوط الانسياب

المفاهيم الرئيسية

- ينتقل التغير في الضغط، دون نقصان، خلال السائل اعتماداً على مبدأ باسكال. $F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$
- يتناسب الضغط عند عمق معين طردياً مع وزن المائع عند ذلك العمق. $P = \rho h g$
- قوة الطفو تساوي وزن المائع المزاح عن طريق جسم اعتماداً على مبدأ أرخميدس.

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المائع}} V g$$

- ينص مبدأ برنولي على أن ضغط المائع ينخفض كلما ازدادت سرعته.

4-6 Solids المواد الصلبة

المفردات

- الشبكة البلورية
- المواد الصلبة غير البلورية
- معامل التمدد الطولي
- معامل التمدد الحجمي

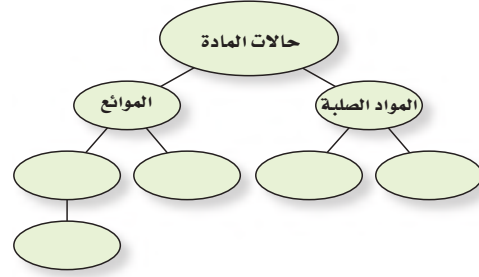
المفاهيم الرئيسية

- تترتب الجزيئات في المواد الصلبة البلورية وفق نمط منتظم، أما المواد الصلبة غير البلورية فلا يوجد لجزيئاتها نمط منتظم.
- يتناسب التمدد الحراري طردياً مع التغير في درجة الحرارة والحجم الأصلي، ويعتمد ذلك على نوع المادة.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \quad \beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$$

خريطة المفاهيم

51. أكمل خريطة المفاهيم أدناه مستخدماً المصطلحات الآتية: الكثافة، اللزوجة، المرونة، الضغط. ويمكن استخدام المفهوم الواحد أكثر من مرة.



إتقان المفاهيم

52. كيف تختلف القوة عن الضغط؟ (6-1)
 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؟ (6-1)
 54. ما أوجه التشابه والاختلاف بين الغازات والبلازما؟ (6-1)

55. تتكون الشمس من البلازما، فكيف تختلف بلازما الشمس عن تلك التي على الأرض؟ (6-1)
 56. **البحيرات** تنصهر البحيرات المتجمدة خلال فصل الربيع، فما تأثير ذلك في درجة حرارة الهواء فوق البحيرة؟ (6-2)

57. **الكشافة** تُغطي المطّارات التي يستخدمها الكشافة أحياناً بكيس من قماش الكتّان. إذا رطبت الكيس الذي يغطي المطرة فإن الماء في المطرة سيبرد. فسر ذلك. (6-2)

58. ماذا يحدث للضغط عند قمة الإناء إذا ازداد الضغط عند قاعه اعتماداً على مبدأ باسكال؟ (6-3)

59. ينتقل تيار مائي خلال خرطوم ويخرج من فوهته. فماذا يحدث لضغط الماء عندما تزداد سرعته؟ (6-3)

60. بم تجربك الأواني المستطرقة الموضحة في الشكل 6-24 عن الضغط المؤثر بواسطة السائل؟ (6-3)



الشكل 6-24

61. قارن بين ضغط الماء على عمق 1 m تحت سطح بركة صغيرة وضغط الماء عند العمق نفسه تحت سطح بحيرة؟ (6-3)

62. كيف يختلف ترتيب الذرات في المادة البلورية عن ترتيبها في المادة غير البلورية؟ (6-4)

63. هل يعتمد معامل التمدد الطولي على وحدة الطول المستخدمة؟ فسر ذلك. (6-4)

تطبيق المفاهيم

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؟

65. يبين أن وحدة الباسكال تكافئ وحدة $\text{kg/m} \cdot \text{s}^2$.

66. **شحن البضائع** أيهما تغطس لمسافة أعمق في الماء: باخرة مملوءة بكرات تنس الطاولة أم باخرة فارغة مماثلة لها؟ فسر إجابتك.

67. ما عمق وعاء من الماء الضغط عند قاعه يساوي قيمة الضغط في قاع وعاء مملوء بالزئبق، وعمقه 10.0 cm ، علماً بأن كثافة الزئبق تزيد 13.55 مرة على كثافة الماء؟



تقويم الفصل 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.

إتقان حل المسائل

1-6 خصائص الموائع

73. **الكتاب المقرر** كتاب فيزياء كتلته 0.85 kg ، وأبعاد سطحه $24.0 \text{ cm} \times 20.0 \text{ cm}$ ، يستقر على سطح طاولة.

a. ما القوة التي يؤثر بها الكتاب في الطاولة؟
b. ما الضغط الذي يؤثر به الكتاب؟

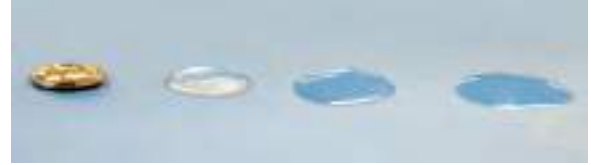
74. أسطوانة مصممة كتلتها 75 kg وطولها 2.5 m ونصف قطر قاعدتها 7.0 cm تستقر على إحدى قاعدتيها. ما مقدار الضغط الذي تؤثر به؟

75. ما مقدار القوة الرأسية الكلية أسفل الغلاف الجوي التي تؤثر في قمة رأسك الآن؟ افترض أن مساحة قمة رأسك 0.025 m^2 تقريباً.

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 تقريباً 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 ؟
b. وما كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون الموجودة في زجاجة صودا سعتها 2 L ؟

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

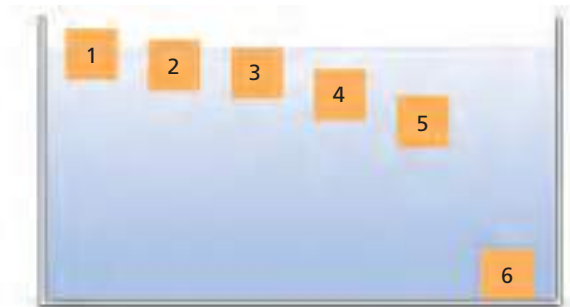
69. يتبخر الكحول بمعدل أسرع من تبخر الماء عند درجة الحرارة نفسها، ماذا تستنتج من هذه الملاحظة عن خصائص الجزيئات في كلا السائلين؟

70. افترض أنك استخدمت مثقباً لإحداث ثقب دائري في صفيحة من الألومنيوم. إذا سخنت الصفيحة، فهل يزداد حجم الثقب أم يقل؟ فسر ذلك.

71. وضعت خمسة أجسام في خزان من الماء كثافتها على النحو الآتي:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| a. 0.85 g/cm^3 | d. 1.15 g/cm^3 |
| b. 0.95 g/cm^3 | e. 1.25 g/cm^3 |
| c. 1.05 g/cm^3 | |

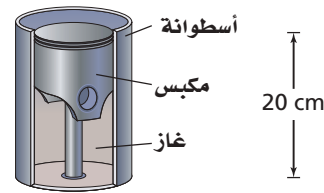
وكثافة الماء 1.00 g/cm^3 . ويوضح الشكل 26-6 ستة مواقع محتملة لهذه الأجسام، اختر المواقع من 1 إلى 6 لكل من الأجسام الخمسة. (ليس من الضروري اختيار المواقع كلها)



■ الشكل 26-6

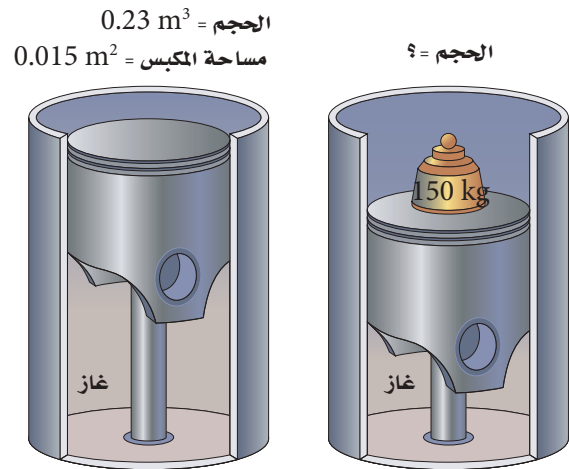
تقويم الفصل 6

77. كما هو موضح في الشكل 6-27، يتكوّن 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 6-27 ■

78. يُحصَر مكبس مساحته 0.015 m^2 كمية ثابتة من الغاز في أسطوانة حجمها 0.23 m^3 . فإذا كان الضغط الابتدائي للغاز $1.5 \times 10^5\text{ Pa}$ ، ووضع جسم كتلته 150 kg على المكبس، فتتحرك المكبس في اتجاه الأسفل إلى موقع جديد كما موضح في الشكل 6-28، فما الحجم الجديد للغاز داخل الأسطوانة؟، علماً بأن درجة الحرارة ثابتة؟



الشكل 6-28 ■

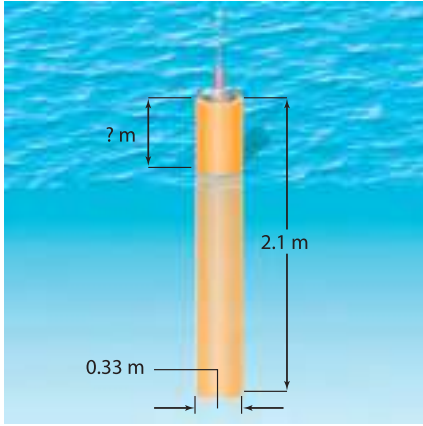
79. المركبات يصمم إطار سيارة معينة ليستخدم عند ضغط معايير مقداره 30.0 psi، أو 30.0 باوند لكل إنش مربع (واحد باوند لكل إنش مربع يساوي $6.90 \times 10^3\text{ Pa}$) ومصطلح ضغط معايير يعني الضغط الأعلى من الضغط الجوي. إن الضغط الحقيقي داخل الإطار يساوي $1.01 \times 10^5\text{ Pa} + (30.0\text{ psi}) (6.90 \times 10^3\text{ Pa / psi}) = 3.08 \times 10^5\text{ Pa}$ ، 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 لغاية 310 K وازداد الحجم ليصبح 0.58 m^3 .
a. ما مقدار الضغط الجديد في الإطار؟
b. ما الضغط المعايير الجديد؟

3-6 الموائع الساكنة والموائع المتحركة

80. الخزان إذا كان عمق الماء خلف سد 17m، فما ضغط الماء عند المواقع المختلفة الآتية؟
a. عند قاعدة السد.
b. على عمق 4.0 m من سطح الماء.
81. يستقر أنبوب اختبار رأسياً على حامل أنابيب اختبار، ويحتوي على زيت ارتفاعه 2.5cm وكثافته 0.81 g/cm^3 ، وماء ارتفاعه 6.5 cm. ما مقدار الضغط المؤثر للسائلين عند قاع أنبوب الاختبار؟
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 كلياً في الماء.
a. أوجد حجم التمثال.
b. هل تمثال الطائر مصنوع من الذهب

المطلبي بالذهب ($\rho = 19.3 \times 10^3\text{ kg/m}^3$) أم مصنوع من الألومنيوم ($\rho = 2.7 \times 10^3\text{ kg/m}^3$)؟

تقويم الفصل 6



الشكل 29-6 ■

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؟

b. أزيل الحجر من الحوض، وعدلت كمية الماء حتى

عادت قراءة الميزان ثانية 195 N، فإذا أُضيفت

سمكة وزن 2 N إلى الحوض، فما قراءة الميزان في

حالة وجود السمكة في الحوض؟

84. ما مقدار قوة الطفو المؤثرة في كرة وزنها 26.0 N إذا

كانت تطفو على سطح ماء عذب؟

85. ما مقدار أقصى وزن يستطيع أن يرفعه في الهواء بالون

مملوء بحجم 1.00 m^3 من غاز الهيليوم؟ افترض أن كثافة

الهواء 1.20 kg/m^3 وكثافة غاز الهيليوم 0.177 kg/m^3 .

وأهمل كتلة البالون.

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؟

87. **جغرافية المحيطات** انظر إلى الشكل 29-6، تستخدم

عوامة كبيرة لحمل جهاز يستخدم في دراسة جغرافية

المحيطات، وكانت العوامة مصنوعة من خزان

أسطوانى مجوف. فإذا كان ارتفاع الخزان 2.1 m،

ونصف قطره 0.33 m، والكتلة الكلية للعوامة

وجهاز البحث 120 kg تقريباً. ويجب على العوامة

أن تطفو بحيث يكون أحد طرفيها فوق سطح الماء؛

وذلك لحمل جهاز بث راديوي.

افترض أن العوامة تحوي الجهاز، وأن كتلتها موزعة

بانتظام، فكم يكون ارتفاع العوامة فوق سطح الماء

عندما تطفو؟

4-6 المواد الصلبة

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؟

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 تغيراً في درجة الحرارة مقداره

1.0 K، فكم يجب أن تكون دقة قياس طول القضيب؟

90. **الجسور** جسر أسمنتى 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 ؟

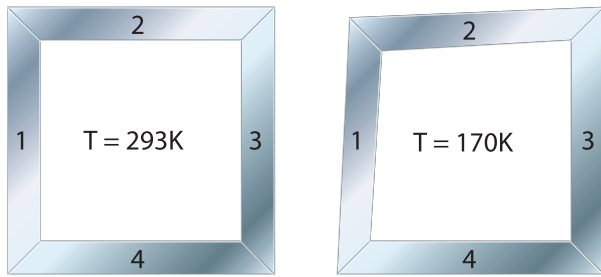
91. أنبوب من النحاس طوله 2.00 m عند 23°C . ما مقدار

التغير في طوله إذا ارتفعت درجة حرارته إلى 978°C ؟



تقويم الفصل 6

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 المبنية في الشكل مصنوعة من الفولاذ، وأيها مصنوعة من الألومنيوم؟



الشكل 30-6 ■

مراجعة عامة

- 100.** ما مقدار الضغط المؤثر في جسم الغواصة عند عمق 65 m؟
- 101.** **جهاز الغطس** يسبح غطّاس مستخدمًا جهاز الغطس على عمق 5.0 m تحت الماء مطلقًا $4.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ من فقاعات الهواء. ما حجم تلك الفقاعات قبل وصولها إلى سطح الماء تمامًا؟
- 102.** تطفو كرة بولنج وزنها 18 N بحيث ينغمر نصفها فقط في الماء.

a. ما مقدار قطر كرة البولنج؟

b. ما الوزن الظاهري تقريبًا لكرة بولنج تزن 36 N؟

- 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؟

- 92.** ما التغير في حجم قالب من الأسمنت حجمه 1.0 m^3 إذا ارتفعت درجة حرارته بمقدار 45°C ؟
- 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 لمسار 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 ؟
- 94.** خزان مصنوع من الفولاذ نصف قطره 2.000 m وارتفاعه 5.000 m مملئ 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؟
- 95.** سُخِّنت 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 ؟
- 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 ؟
- 97.** صفيحة من الفولاذ مربعة الشكل طول ضلعها 0.330 m ، سُخِّنت من 0°C حتى أصبحت درجة حرارتها 95°C .
- a. ما مقدار تغير طول جوانب المربع؟
- b. ما نسبة التغير في مساحة المربع؟
- 98.** مكعب من الألومنيوم حجمه 0.350 cm^3 عند درجة حرارة 350.0 K ، فإذا بُرِّد إلى 270.0 K فما مقدار:
- a. حجمه عند درجة 270.0 K ؟
- b. طول ضلع المكعب عند درجة 270.0 K ؟

تقويم الفصل 6

b. ما كثافة الهواء عند ذلك الضغط بالنسبة لكثافته فوق سطح المحيط؟

التفكير الناقد

108. تطبيق المفاهيم إذا كنت تغسل الأواني في حوض، فطفأ أحد الأواني، فملأته بماء الحوض فغطس إلى القاع، فهل ارتفع مستوى الماء في الحوض أم انخفض عندما انغمر الإناء؟

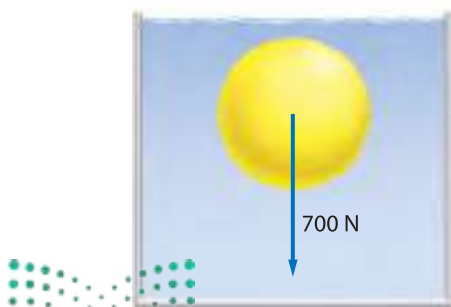
109. تطبيق المفاهيم إن الأشخاص الملازمين للسريير أقل احتمالاً للإصابة بمرض تقرُّح الفراش إذا استخدموا فرشاة الماء بدلاً من الفرشات العادية. فسّر ذلك.

110. حلّ 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؟

111. حلّ واستنتج يلزم قوة رأسية إلى أسفل مقدارها 700 N لغمر كرة من البلاستيك كلياً كما في الشكل 31-6. إذا علمت أن كثافة البلاستيك 95 kg/m^3 ، فما مقدار: **a.** النسبة المئوية للجزء المغمور من الكرة إذا تُركت تطفو بحرية؟

b. وزن الكرة في الهواء؟

c. حجم الكرة؟



الشكل 31-6

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 ؟

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 $3.0 \times 10^4 \text{ N}$.

a. فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير لرفع وزن مقداره ثلاثة أطنان؟

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؟

106. المنطاد يحتوي منطاد الهواء الساخن على حجم ثابت من الغاز. عندما يُسخَّن الغاز يتمدد ويطرد بعض الغاز خارجاً 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؟

107. عالم الأحياء تستطيع بعض النباتات والحيوانات العيش تحت ضغط مرتفع جداً.

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 .

تقويم الفصل 6

112. **تطبيق المفاهيم** تُوضع الأسماك الاستوائية التي تُربى في أحواض السمك المنزلية عند شرائها في أكياس بلاستيكية شفافة مملوءة جزئياً بالماء. إذا وضعت سمكة في كيس مغلق داخل الحوض، فأى الحالات المبينة في الشكل 6-32 تمثل أفضل ما يمكن أن يحدث؟ فسر استدلالك.



الشكل 6-32

الكتابة في الفيزياء

113. تتمدد بعض المواد الصلبة عندما تبرد، ومن أكثر الأمثلة شيوعاً تتمدد الماء عند انخفاض درجة حرارته بين 4°C و 0°C ، ولكن تتمدد الأربطة المطاطية أيضاً عند تبريدها، ابحث عن سبب هذا التمدد.

114. بحث العالم جاي-لوساك في قوانين الغاز، فكيف ساهم إنجاز جاي-لوساك في اكتشاف صيغة الماء؟

مراجعة تراكمية

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 معاً بعد التصادم، بحيث يكون الزخم الخطي محفوظاً. (الفصل 2)

a. مثل الحالة بالرسم، معيناً محاور الإحداثيات ومحددًا الحالة قبل التصادم وبعده.

b. أوجد سرعة حطام السيارتين مقدارًا واتجاهًا بعد

التصادم مباشرة، وتذكر أن الزخم كمية متجهة.

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؟

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)



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. غاز حجمه 10.0 L محصور في أسطوانة قابلة للتمدد، فإذا تضاعف الضغط ثلاث مرات وازدادت درجة الحرارة 80.0 % عند قياسها بمقياس كلفن، فما الحجم الجديد للغاز؟

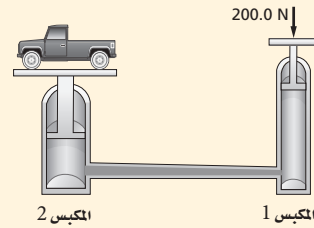
- (A) 2.70 L (B) 6.00 L
(C) 16.7 L (D) 54.0 L

2. حجم عينة من غاز النيتروجين يساوي 0.080 m^3 عند ضغط جوي معياري 101.3 kPa، فإذا كان يوجد 3.6 mol من الغاز، فما مقدار درجة الحرارة؟

- (A) 0.27 K (B) 270 K
(C) 0.27°C (D) 270°C

3. يؤثر عامل بقوة مقدارها 200.0 N في مكبس مساحته 5.4 cm^2 ، فإذا كان هذا المكبس هو المكبس الأول لرافعة هيدروليكية، كما هو موضح في الرسم أدناه، فما مقدار الضغط المؤثر في المائع الهيدروليكي؟

- (A) $3.7 \times 10^1 \text{ Pa}$ (B) $2.0 \times 10^3 \text{ Pa}$
(C) $3.7 \times 10^3 \text{ Pa}$ (D) $3.7 \times 10^5 \text{ Pa}$



4. إذا كان المكبس الثاني في الرسم أعلاه يؤثر بقوة مقدارها 41000 N، فما مساحة المكبس الثاني؟

- (A) 0.0049 m^2 (B) 0.026 m^2
(C) 0.11 m^2 (D) 11 m^2

5. ما مقدار الوزن الظاهري لنموذج مصنوع من خشب خاص كثافته 1.10 g/cm^3 ، إذا أزيح 786 ml ماءً،

عندما غُمر في بحيرة من الماء العذب؟

- (A) 0.770 N (B) 0.865 N
(C) 7.70 N (D) 8.47 N

6. ما مقدار قوة الطفو لجسم كتلته 17 kg إذا أزيح 85 L من الماء؟

- (A) $1.7 \times 10^2 \text{ N}$ (B) $8.3 \times 10^2 \text{ N}$
(C) $1.7 \times 10^5 \text{ N}$ (D) $8.3 \times 10^5 \text{ N}$

7. أي الأجسام الآتية لا يحتوي على مادة في حالة البلازما؟

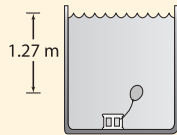
- (A) إضاءة النيون (B) النجوم
(C) البرق (D) المصابيح العادية

8. ما كتلة عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون حجمها 365 ml عند 3.0 ضغط جوي ($1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa}$) ودرجة حرارة 24°C ، إذا علمت أن الكتلة المولية لثاني أكسيد الكربون 44.0 g/mol ؟

- (A) 0.045 g (B) 2.0 g
(C) 45 g (D) 2.0 kg

الأسئلة الممتدة

9. بالون مملوء بالهواء حجمه 125 ml عند ضغط جوي معياري 101.3 kPa. فإذا استقر البالون على عمق 1.27 m تحت سطح الماء في بركة سباحة، كما في الشكل، فما الحجم الجديد للبالون؟



إرشاد

مَرْنُ العضلة الضعيفة، وحافظ على العضلة القوية

إذا كنت تحضّر لاختبار نهائي، فقد يكون من الصعب أحياناً أن تركز على الموضوعات كلها؛ لذا ركّز معظم طاقتك على المواضيع التي تكون فيها ضعيفاً، وراجع المواضيع التي تكون فيها قوياً باستمرار.

الاهتزازات والموجات

Vibrations and Waves

الفصل 7

ما الذي سنتعلمه في هذا الفصل؟

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

الأهمية

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

"جسر جالوينج 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.

فكر

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



كيف تنتقل الموجات في نابض؟

سؤال التجربة كيف تنتقل النبضات التي ترسل عبر نابض عندما يكون طرفه الآخر ثابتاً؟

الخطوات

1. شدّ نابضاً لولبياً دون مبالغة في ذلك، ثم اطلب إلى أحد زملائك تثبيت أحد طرفي النابض، بينما يحرك زميل آخر الطرف الحر للنابض باتجاه طوله وبالعكس ليولد نبضات فيه. راقب النبضات خلال انتقالها في النابض إلى أن تصل الطرف المثبت، وسجل ملاحظاتك.
2. كرّر الخطوة 1، بتوليد نبضات أكبر، وسجل ملاحظاتك.
3. وُلد نبضات مختلفة في النابض بتحريكه جانبياً من أحد طرفيه، وسجل ملاحظاتك.

4. وُلد نوعاً ثالثاً من النبضات عن طريق ليّ (لف) أحد طرفي النابض، ثم تركه، وسجل ملاحظاتك.

التحليل

ماذا يحدث للنبضات في أثناء انتقالها خلال النابض؟ وماذا يحدث عندما ضربت النبضات الطرف الثابت من النابض؟ وكيف كانت النبضة المتولدة في الخطوة 1 مقارنة بالنبضة المتولدة في الخطوة 2؟

التفكير الناقد اذكر بعض الخصائص التي تبدو أنها تتحكم في حركة النبضة خلال النابض.



7-1 الحركة الدورية Periodic Motion

لعلك شاهدت بندول ساعة يتأرجح ذهاباً وإياباً، ولاحظت أن كل تأرجح يتبع المسار نفسه، وتحتاج كل رحلة ذهاب وإياب إلى المقدار نفسه من الزمن. تعتبر هذه الحركة مثالاً على الحركة الاهتزازية. ومن الأمثلة الأخرى على ذلك تذبذب جسم فلزي مثبت بنابض إلى أعلى وإلى أسفل. هذه الحركات التي تتكرر في دورة منتظمة أمثلة على **الحركة الاهتزازية (الدورية)**.

ويكون للجسم في تلك الأمثلة كلها موضع واحد، تكون عنده القوة المحصلة المؤثرة في الجسم تساوي صفراً، ويكون الجسم في ذلك الموضع في حالة اتزان. وعند سحب الجسم بعيداً عن موضع اتزانه تصبح القوة المحصلة المؤثرة في النظام لا تساوي صفراً، وتعمل هذه القوة المحصلة على إعادة الجسم في اتجاه موضع الاتزان. وإذا كانت القوة التي تعيد الجسم إلى موضع اتزانه تتناسب طردياً مع إزاحة الجسم فإن الحركة الناتجة تُسمى **حركة توافقية بسيطة**.

هناك كميّتان تصفان الحركة التوافقية البسيطة، هما: **الزمن الدوري** T ؛ وهو الزمن الذي يحتاج إليه الجسم ليكمل دورة كاملة من الحركة ذهاباً وإياباً، و**سعة الاهتزازة** A ؛ وهي أقصى مسافة يتحركها الجسم مبتعداً عن موضع الاتزان.

الأهداف

- تصف القوة في نابض مرّن.
- تحدّد الطاقة المخزنة في نابض مرّن.
- تقارن بين الحركة التوافقية البسيطة وحركة بندول.

المفردات

- الحركة الاهتزازية (الدورية)
- الحركة التوافقية البسيطة
- الزمن الدوري
- سعة الاهتزازة
- قانون هوك
- البندول البسيط
- الرنين



الكتلة المعلقة بنابض The Mass on a Spring

كيف يتفاعل النابض مع القوة المؤثرة فيه؟ يبين الشكل 7-1a دعامة معلقة بها نابض دون تعليق أي شيء في نهايته. والنابض في هذا الموضع لا يستطيل؛ لأنه لا يوجد قوة خارجية تؤثر فيه. أما الشكل 7-1b فيبين النابض نفسه معلقاً في نهايته جسم وزنه mg ، وقد استطال النابض إزاحة x ؛ بحيث تُوازن قوة النابض المؤثرة إلى أعلى قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة إلى أسفل. ويبين الشكل 7-1c استطالة أو تمدد النابض نفسه بإزاحة مقدارها $2x$ ؛ وذلك عند تعليق ضعف الوزن السابق $2mg$ في نهايته. وهذا يتفق مع **قانون هوك** الذي ينص على أن القوة التي يؤثر بها نابض طردياً مع مقدار استطالته، والنوابض التي تنطبق عليها هذه الحالة تسمى نوابض مرنة وتحقق قانون هوك، المعبر عنه بالعلاقة الآتية:

$$F = -kx \quad \text{قانون هوك}$$

القوة التي يؤثر بها نابض تساوي حاصل ضرب ثابت النابض في الإزاحة التي يستطيلها أو ينضغطها النابض عن موضع اتزانها.

في هذه المعادلة تمثل k ثابت النابض الذي يعتمد على صلابة النابض وخصائص أخرى له، وتمثل x الإزاحة التي يستطيلها أو ينضغطها النابض عن موضع اتزانها.

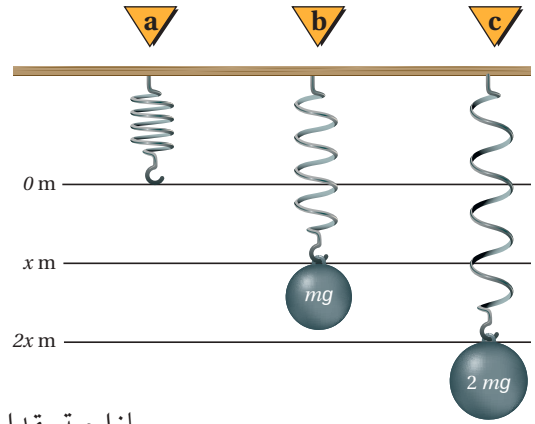
طاقة الوضع عندما تؤثر قوة ما لاستطالة نابض، مثل تعليق جسم في نهايته، فسيكون هناك علاقة طردية خطية بين القوة المؤثرة واستطالة النابض، كما يوضح الشكل 7-2، حيث يمثل ميل الخط البياني ثابت النابض، مقاساً بوحدة N/m . وتمثل المساحة تحت المنحنى الشغل المبذول لاستطالة النابض، وهي تساوي طاقة الوضع المرونية المخزنة فيه نتيجة لهذا الشغل. وتمثل قاعدة المثلث الإزاحة x ، أما ارتفاع المثلث فيمثل مقدار القوة التي تساوي kx وفق قانون هوك؛ لذا يُعبر عن طاقة الوضع المرونية المخزنة في النابض بالمعادلة الآتية:

$$PE_{sp} = \frac{1}{2} kx^2 \quad \text{طاقة الوضع المرونية في نابض}$$

طاقة الوضع المرونية في نابض تساوي نصف حاصل ضرب ثابت النابض في مربع إزاحته.

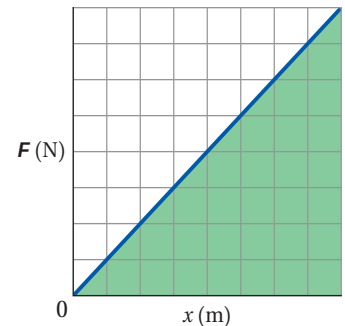
وستكون وحدة طاقة الوضع "N.m" أو جول J.

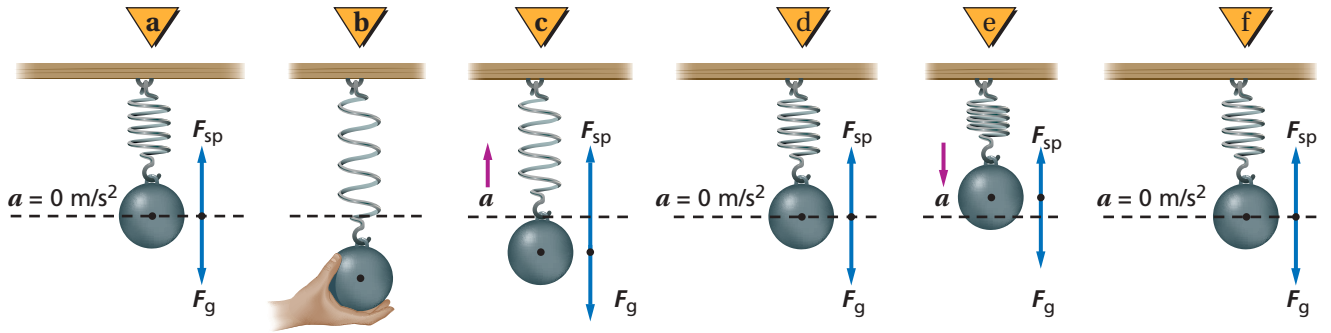
كيف تعتمد القوة المحصلة على الموضع؟ عند تعليق جسم بنهاية نابض يستطيل النابض حتى تُوازن القوة الرأسية إلى أعلى F_{sp} وزن الجسم F_g كما في الشكل 7-3a، وسيكون الجسم عندئذ في موضع اتزانها. وإذا سحبت الجسم المعلق إلى أسفل كما في الشكل 7-3b تزداد قوة النابض، منتجةً قوة محصلة إلى أعلى تساوي قوة السحب عن طريق يدك. إضافة إلى وزن الجسم. وعندما تترك الجسم حرراً فإنه يتسارع إلى أعلى كما في الشكل 7-3c. وعند حركة الجسم، إلى أعلى تتناقص استطالة النابض؛ لذا تتناقص القوة المنتجة إلى أعلى.



■ الشكل 7-1 تتناسب القوة التي يؤثر بها نابض طردياً مع الإزاحة التي يستطيلها.

■ الشكل 7-2 يمكن تحديد ثابت النابض من العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة وإزاحة النابض.





وفي الشكل 3d-7 تتساوى قوة النابض إلى أعلى مع وزن الجسم، وتصبح القوة المحصلة

صفرًا، فلا يتسارع النظام، ويستمر الجسم في حركته إلى أعلى فوق موضع الاتزان. وفي الشكل 3e-7 تكون القوة المحصلة معاكسة لاتجاه إزاحة الجسم، وتتناسب طرديًا معها؛ لذا يتحرك الجسم حركة توافقية بسيطة، ويعود إلى موضع اتزانه كما في الشكل 3f-7.

■ الشكل 3-7 توضيح الحركة التوافقية البسيطة من خلال اهتزاز جسم معلق بنابض.

مثال 1

ثابت النابض والطاقة المخزنة فيه استطال نابض إزاحة 18 cm عندما علّق بنهايته كيس بطاطس وزنه 56 N، احسب مقدار:

- ثابت النابض.
- طاقة الوضع المرونية المخزنة في النابض والناجمة عن هذه الاستطالة.

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الوضع
- بيّن الإزاحة التي استطالها النابض وموضع اتزانه، وحددهما.

المجهول

المعلوم

$$k = ? \quad x = 18 \text{ cm}$$

$$PE_{sp} = ? \quad F = 56 \text{ N}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم $F = -kx$ ، ثم أوجد قيمة k

يمكن حذف إشارة السالب؛ لأنها تعني أن القوة قوة إرجاع فقط.

$$F = 56 \text{ N}, x = 0.18 \text{ m}$$

b.

$$k = 310 \text{ N/m}, x = 0.18 \text{ m}$$

$$k = \frac{F}{x}$$

$$= \frac{56 \text{ N}}{0.18 \text{ m}} = 310 \text{ N/m}$$

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

$$= \frac{1}{2} (310 \text{ N/m})(0.18 \text{ m})^2$$

$$= 5.0 \text{ J}$$

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ N/m هي الوحدة الصحيحة لثابت النابض. والوحدة الصحيحة للطاقة هي

$$(\text{N/m})(\text{m}^2) = \text{N}\cdot\text{m} = \text{J}$$

• هل الجواب منطقي؟ ثابت النابض متناسق مع القيم المستخدمة في ميزان البقالة مثلاً. الطاقة 5.0 J تساوي القيمة

التي نحصل عليها من $W = Fx = mgh$ ، عندما يكون متوسط القوة المؤثرة 28 N.

1. ما مقدار استطالة نابض عند تعليق جسم وزنه 18 N في نهايته إذا كان ثابت النابض له يساوي 56 N/m ؟
2. ما مقدار طاقة الوضع المرونية المخزنة في نابض عند ضغطه بإزاحة مقدارها 16.5 cm ، إذا كان ثابت النابض له يساوي 144 N/m ؟
3. ما الإزاحة التي يستطيلها نابض حتى يخزن طاقة وضع مرونية مقدارها 48 J ، إذا كان ثابت النابض له يساوي 256 N/m ؟

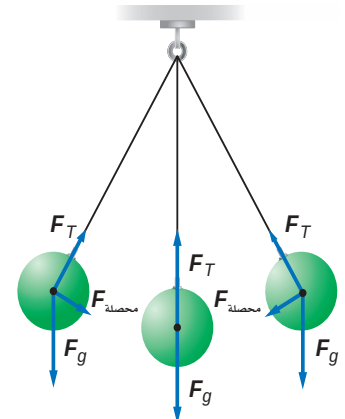
عندما تُحرر القوة الخارجية الجسم الذي كانت تُمسكه، كما في الشكل 3c-7 تكون القوة المحصلة المؤثرة في الجسم والتسارع أكبر ما يمكن، أما السرعة المتجهة فتساوي صفراً. وعندما يمر الجسم بنقطة الاتزان - كما في الشكل 3d-7 - تصبح القوة المحصلة المؤثرة فيه صفراً، وكذلك التسارع. فهل يتوقف الجسم؟ لا؛ لأن الجسم يحتاج إلى أن تؤثر فيه قوة محصلة إلى أسفل لإبطاء حركته، وهذا لن يحدث ما لم يرتفع الجسم فوق موضع الاتزان. وعندما يصل الجسم إلى أعلى نقطة في اهتزازه تعود القوة المحصلة والتسارع إلى قيمتيهما العظميين، وتصبح السرعة المتجهة صفراً، فيتحرك الجسم إلى أسفل ماراً بموضع الاتزان إلى نقطة البداية، ويستمر في الحركة بهذه الطريقة الاهتزازية. ويعتمد الزمن الدوري للاهتزاز T على مقدار كل من كتلة الجسم ومرونة النابض.

السيارات تعد طاقة الوضع المرونية عاملاً مهماً في تصميم السيارات الحديثة وصناعتها، ففي كل سنة تختبر تصاميم جديدة للسيارات؛ لتحديد مدى قدرتها على تحمل الصدمات والاحتفاظ بهيكلها، ويعتمد ذلك على مقدار الطاقة الحركية للسيارة قبل التصادم والتي تتحول إلى طاقة وضع مرونية في الهيكل بعد التصادم. وتحتوي معظم ماصات الصدمات على نوابض خاصة تخزن الطاقة عندما تصدم السيارات حاجزاً بسرعات قليلة. وبعد توقف السيارة وانضغاط النوابض، فإنها تعود إلى مواضع اتزانها، وترتد السيارة عن الحاجز.

البندول البسيط Simple Pendulums

يمكن توضيح الحركة التوافقية البسيطة أيضاً من خلال حركة تأرجح البندول. حيث يتكون **البندول البسيط** من جسم صلب كثافته عالية يُسمى ثقل البندول، معلق بخيط طوله l . وعند سحب ثقل البندول جانباً وتركه فإنه يتأرجح جيئةً وذهاباً، كما في الشكل 4-7، حيث يؤثر الخيط بقوة شد F_T في ثقل البندول وتؤثر الجاذبية الأرضية أيضاً في الثقل بقوة F_g ، والجمع الاتجاهي لهاتين القوتين يمثل القوة المحصلة، وقد تم تمثيلها في ثلاثة مواضع مختلفة في الشكل 4-7. ففي الموضعين الأيمن والأيسر في الشكل 4-7 تكون القوة المحصلة المؤثرة في ثقل البندول وتسارعه أكبر ما يمكن، بينما سرعته المتجهة صفراً. وفي الموضع الوسط (الاتزان) في الشكل نفسه تكون القوة المحصلة والتسارع صفراً، بينما السرعة المتجهة أكبر

■ الشكل 4-7 محصلة F ، المجموع المتجه لـ F_T و F_g ، هي القوة المعيدة (الإرجاع) في البندول.



ما يمكن. يمكنك أن تلاحظ أن القوة المحصلة هي قوة إرجاع؛ حيث تكون دائمًا معاكسة لاتجاه إزاحة ثقل البندول، وتعمل على إرجاع الثقل إلى موضع اتزانه. وعندما تكون زاوية انحراف الخيط صغيرة (أقل من 15° تقريبًا)، فإن قوة الإرجاع تتناسب طرديًا مع الإزاحة، ويطلق على هذه الحركة حينئذٍ حركة توافقية بسيطة. ويحسب الزمن الدوري للبندول باستخدام المعادلة الآتية:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

الزمن الدوري للبندول يساوي 2π مضروبة في الجذر التربيعي لحاصل قسمة طول خيط البندول على تسارع الجاذبية الأرضية.

لاحظ أن الزمن الدوري للبندول البسيط يعتمد فقط على طول خيط البندول وتسارع الجاذبية الأرضية، ولا يعتمد على كتلة ثقل البندول أو سعة الاهتزازة. ومن التطبيقات على البندول استخدامه في حساب g التي تتغير قليلًا من موقع إلى آخر على سطح الأرض.

مثال 2

استخدام البندول لحساب g إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 36.9 cm يساوي 1.22 s، فما مقدار تسارع الجاذبية الأرضية g عند موقع البندول؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الوضع
 - وضح طول البندول على الرسم.
- المعلوم** $l = 36.9 \text{ cm}$
المجهول $g = ?$
 $T = 1.22 \text{ s}$

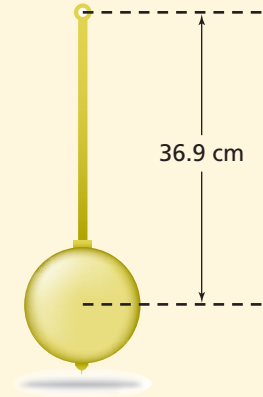
2 إيجاد الكمية المجهولة

حل المعادلة لحساب g .

عوّض مستخدمًا $l = 0.369 \text{ m}$ ، $T = 1.22 \text{ s}$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ m/s^2 هي الوحدة الصحيحة للتسارع.
- هل الجواب منطقي؟ قيمة g المحسوبة كانت قريبة جدًا من القيمة المعيارية 9.80 m/s^2 ، وبالتالي يكون البندول في منطقة أعلى من مستوى سطح البحر.



دليل الرياضيات

فصل المتغير 289

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$g = \frac{(2\pi)^2 l}{T^2}$$

$$= \frac{4\pi^2 (0.369 \text{ m})}{(1.22 \text{ s})^2} = 9.78 \text{ m/s}^2$$

4. ما طول بندول موجود على سطح القمر حيث $g = 1.6 \text{ m/s}^2$ حتى يكون الزمن الدوري له 2.0 s؟

5. إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 0.75 m يساوي 1.8 s على سطح أحد الكواكب، فما مقدار g على هذا الكوكب؟

- 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 ثابتته يساوي k (N/m) مصمّم على أن يوقف السيارة بأقل الأضرار.
1. بين أقصى إزاحة x ينضغطها النابض عندما تصطدم به السيارة بدلالة m و h و k و g .
 2. كم ينضغط النابض إذا هبطت السيارة من قمة تل ارتفاعه ضعف ارتفاع التل السابق؟
 3. ماذا يحدث بعد أن تتوقف السيارة؟

تطبيق الفيزياء

بندول فوكو

Foucault Pendulum

يتكون بندول فوكو من سلك طوله 16 m معلق بنهايته كتلة كبيرة مقدارها 109 kg. ووفق القانون الأول لنيوتن في الحركة يستمر البندول المتأرجح في الحركة في الاتجاه نفسه ما لم يُسحب أو يُدفع في اتجاه آخر. وبما أن الأرض تدور تحت البندول كل 24 ساعة، فإن اتجاه ذبذبة البندول يظهر متغيراً بالنسبة للمشاهد. ولبيان ذلك قم بما يلي: رتب أوتاداً خشبية في دائرة على الأرض تحت البندول المتأرجح على أن يضربها ثقل البندول ويوقعها مع دوران الأرض. ويدور البندول عند القطب الشمالي ظاهرياً بمعدل $15^\circ/h$.

الرنين Resonance

لكي تجعل أرجوحة تتأرجح وأنت جالس عليها قم بدفعها بالانحناء إلى الخلف وسحب الحبل (أو السلسلة) من النقطة نفسها في كل شوط، أو أن يدفعك زميلك دفعات متكررة في اللحظات المناسبة. ويحدث **الرنين** عندما تؤثر قوى صغيرة في جسم متذبذب أو مهتز في فترات زمنية منتظمة، بحيث تؤدي إلى زيادة سعة الاهتزازة أو الذبذبة، وتكون الفترة الزمنية الفاصلة بين تطبيق القوة على الجسم المهتز مساوية للزمن الدوري للذبذبة. ومن الأمثلة الشائعة على الرنين أرجحة السيارة إلى الأمام والخلف من أجل تحرير عجلاتها من الرمل عندما تنغمر فيه، والقفز المتواتر عن لوح القفز أو الغوص. وقد ينتج عن السعة الكبيرة الناتجة عن الرنين شعور بالإجهاد.

ويعد الرنين شكلاً مميزاً للحركة التوافقية البسيطة؛ حيث تؤدي زيادات بسيطة في مقدار القوة في أزمنة محددة في أثناء حركة الجسم إلى زيادة أكبر في الإزاحة. فالرنين الناتج عن حركة الرياح مثلاً بتوافقها مع تصميم دعائم الجسر قد يكون السبب وراء انهيار جسر مضيق تاكوما.

7-1 مراجعة

8. **طاقة النابض** ما الفرق بين الطاقة المخزنة في نابض استطال 0.40 m والطاقة المخزنة في النابض نفسه عندما يستطيل 0.20 m؟
9. **الرنين** إذا كانت عجلات سيارة غير متوازنة فسوف تهتز السيارة بقوة عند سرعة محددة، ولا يحدث ذلك عند سرعات أقل أو أكبر من هذه السرعة. فسّر ذلك.
10. **التفكير الناقد** ما أوجه الشبه بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة؟ وما أوجه الاختلاف بينهما؟

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 - اعتماداً على الرسم البياني - ما إذا كان الشريط المطاطي يحقق قانون هوك أم لا؟
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؟



7-2 خصائص الموجات Waves Properties

الأهداف

- تحدّد كيف تنتقل الموجات الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط.
- تميّز بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية.
- تربط بين سرعة الموجة وطولها الموجي وترددها.

المفردات

- الموجة
- نبضة موجية
- الموجة الدورية
- الموجة المستعرضة
- الموجة الطولية
- الموجة السطحية
- القاع
- القمة
- الطول الموجي
- التردد

تحمل كل من الجسيمات المادية والموجات طاقة، ولكن هناك اختلافًا مهمًا بينهما في كيفية حمل الطاقة. إن الكرة جسيم مادي، فإذا قذفتها نحو زميلك فسوف تنتقل من يدك إلى يده حاملة معها طاقة. أما إذا أمسكت أنت وزميلك بطرفي حبل وهزّزت الطرف الذي تمسكه بسرعة، فسيبقى الحبل بيدك ولا تنتقل مادته إلى زميلك، ولكن الطاقة تنتقل في الحبل خلال الموجة التي أحدثتها. وتُعرف **الموجة** بأنها اضطراب يحمل الطاقة خلال المادة أو الفراغ.

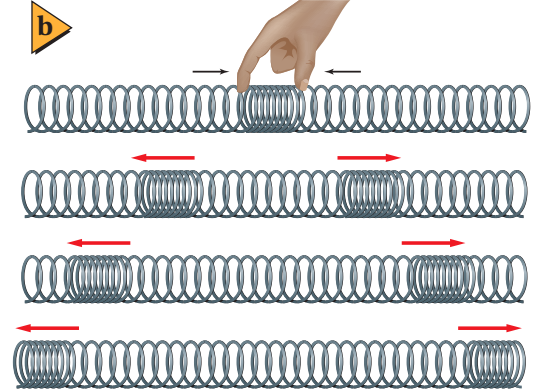
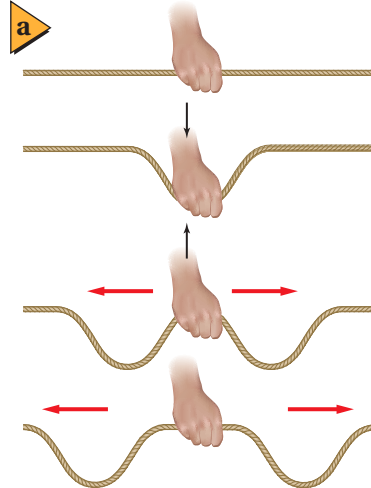
الموجات الميكانيكية Mechanical Waves

تُعد موجات الماء وموجات الصوت والموجات التي تنتقل خلال حبل أو نابض أشكالاً للموجات الميكانيكية. وتحتاج الموجات الميكانيكية إلى وسط ناقل مثل الماء أو الهواء أو الحبال أو النوابض. ولأن كثيراً من الموجات الأخرى لا يمكن مشاهدتها مباشرة، لذا يمكن اعتبار الموجات الميكانيكية بمنزلة نموذج للموجات.

الموجات المستعرضة يبين الشكل 5a-7 اضطرابين يسميان نبضات موجية. **والنبضة الموجية** ضربة مفردة أو اضطراب ينتقل خلال الوسط. وإذا انتشرت الموجة إلى أعلى وإلى أسفل بالمعدل نفسه تتولّد **موجة دورية**. لاحظ الشكل 5a-7 حيث يتحرك الحبل رأسياً، في حين تنتقل النبضة أفقياً. وتُسمى الموجة التي لها هذا النمط من الحركة موجة مستعرضة، ويمكن تعريف **الموجة المستعرضة** بأنها الموجة التي تنبذب عمودياً على اتجاه انتشار الموجة.

الموجات الطولية يمكنك توليد نبضة موجية في ملف نابض الألعاب بطريقة مختلفة؛ فإذا ضغمت (ضغطت) عدة لفات من النابض بعضها إلى بعض بشكل متراس ثم تركتها فجأة فستتحرك نبضتان - تتكون كل منهما من لفات متقاربة معاً - في اتجاهين متعاكسين، كما في الشكل 5b-7، وتُسمى هذه الموجات **الموجات الطولية**، وهي اضطراب ينتقل في اتجاه حركة الموجة نفسه؛ أي موازياً لها. والموجات الصوتية مثال على ذلك.

■ الشكل 5-7 يولّد الاهتزاز السريع باتجاه عمودي على محور الحبل نبضات موجة مستعرضة في الاتجاهين (a). يولّد ضمّ لفات نابض بعضها إلى بعض ثم تركها نبضات موجة طولية في الاتجاهين (b).





الموجات السطحية الموجات في أعماق البحيرات والمحيطات موجات طولية، بينما تتحرك الجسيمات على سطح الماء في اتجاه مواز وعمودي على اتجاه حركة الموجة، كما في الشكل 6-7. وكل موجة من هذه الموجات هي **موجة سطحية** لها خصائص كل من الموجات المستعرضة والموجات الطولية. إن مصدر طاقة موجات الماء يأتي عادة من العواصف البعيدة التي بدورها استمدت طاقتها من تسخين الأرض بالطاقة الشمسية. وهذه الطاقة انتقلت بدورها من الشمس إلى الأرض بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية المستعرضة.

قياس الموجة Measuring a Wave

هناك طرائق عديدة لوصف الموجة أو قياسها؛ إذ تعتمد بعض خصائص الموجة على كيفية توليدها، في حين تعتمد خصائصها الأخرى على الوسط الذي تنتقل خلاله.

السرعة ما السرعة التي تتحرك بها الموجة؟ يمكن إيجاد سرعة انتقال النبضة - الموضحة في الشكل 7-7 - بالطريقة نفسها التي نحدد بها سرعة انتقال سيارة. قس أولاً إزاحة قمة الموجة Δd ، ثم اقسم الناتج على الفترة الزمنية Δt لتجد السرعة $v = \Delta d / \Delta t$. ويمكن إيجاد سرعة الموجة الدورية بالطريقة نفسها. وتعتمد سرعة الموجة في معظم الموجات الميكانيكية المستعرضة والطولية على الوسط الذي تنتقل خلاله فقط.

السعة كيف تختلف النبضة المتولدة عند هز الحبل برفق عن تلك النبضة الناتجة عن الهز العنيف له؟ يشبه الاختلاف بينهما الفرق بين موجات حوض السباحة الخفيفة وموجات المحيط القوية، حيث تختلف سعات كل منهما. وسعة الموجة هي الإزاحة القصوى للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها. ويوضح الشكل 8-7 موجتين متشابهتين، لكنهما تختلفان في السعة.

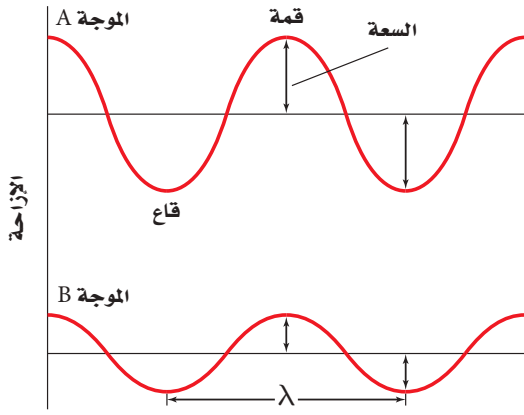
تعتمد سعة الموجة على كيفية توليدها، ولا تعتمد على سرعتها. ويجب أن يُبذل شغل أكبر لتوليد موجة سعتها كبيرة. فمثلاً، تولّد الرياح القوية موجات ماء سعتها أكبر من سعة الموجات الناتجة عن النسائم اللطيفة. وتنقل الموجة ذات السعة الكبيرة طاقة أكبر؛ فالموجة ذات السعة القليلة تحرك الرمل ستمترات عدة على الشاطئ، أما الموجة ذات السعة الكبيرة فيمكنها اقتلاع الأشجار وتحريكها من مكان إلى آخر. وإذا تحركت الموجات بالسرعة نفسها فإن معدل نقلها للطاقة يتناسب طردياً مع مربع سعتها. لذا فمضاعفة سعة إحدى الموجات يضاعف الطاقة التي تنقلها أربع مرات في الثانية الواحدة.



■ الشكل 6-7 للموجات السطحية خصائص الموجات المستعرضة والموجات الطولية (a). مسارات الجسيمات المفردة دائرية (b).

■ الشكل 7-7 تم التقاط هاتين الصورتين بفارق زمني 0.20 s، وخلال هذه الفترة تحركت القمة مسافة 0.80 m، فتكون السرعة المتجهة للموجة 4.0 m/s.



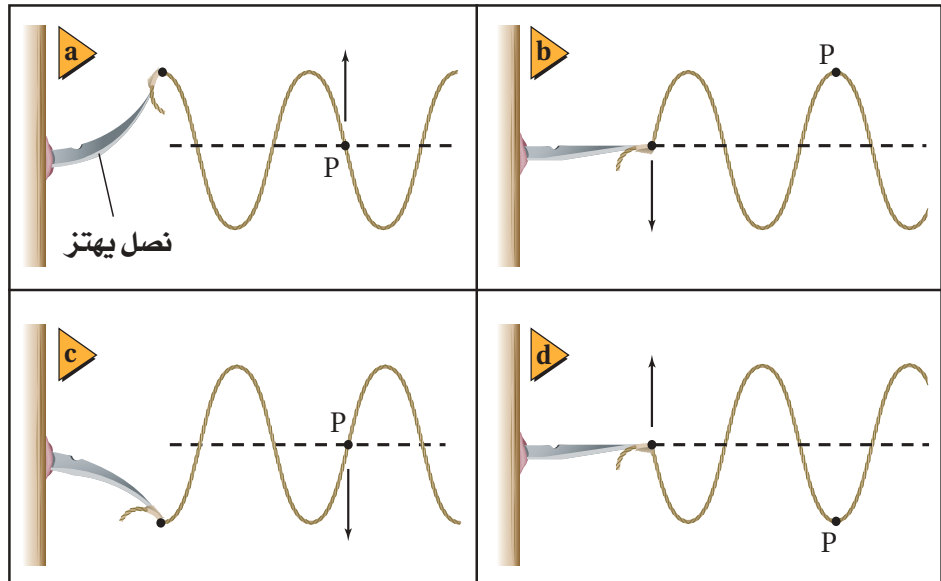


الطول الموجي تخيل أنك التقطت صورة فوتوغرافية للموجة كاملة بدلاً من التركيز على نقطة واحدة عليها بحيث ترى موجة كاملة في لحظة ما. ويبين الشكل 7-8 النقاط السفلية التي تُسمى **قاع** الموجة، والنقاط العلوية التي تسمى **قمة** الموجة. ويطلق على أقصر مسافة بين أي نقطتين يتكرر فيها نمط الموجة نفسه اسم **الطول الموجي**. فالمسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتالين تساوي الطول الموجي، ويرمز للطول الموجي لموجة ما بالحرف اللاتيني λ (لدا).

الطور أي نقطتين في الموجة تكونان في الطور نفسه إذا كانت المسافة بينهما تساوي طولاً موجياً واحداً أو مضاعفاته. ويُعد جسيما في وسط ما في الطور نفسه أيضاً إذا كان لهما الإزاحة نفسها عن موضع الاتزان، ولهما السرعة المتجهة نفسها. أما إذا كان الجسيما في الوسط متعاكسين في الإزاحة وفي السرعة المتجهة فإنهما يكونان مختلفين في الطور بـ 180° . فمثلاً هناك اختلاف في الطور بين القمة والقاع بـ 180° . وأي نقطتين في الموجة يمكن أن تختلفا في الطور بين 0° و 180° إحداهما بالنسبة إلى الأخرى.

الزمن الدوري والتردد يمكن استخدام سرعة الموجة وسعتها لوصف أي موجة. أما الزمن الدوري T والتردد f فيطبقان فقط على الموجات الدورية. ودرست سابقاً أن الزمن الدوري للحركة التوافقية البسيطة (كما في حركة البندول) هو الزمن الذي يحتاج إليه الجسم المهتز حتى يكمل دورة كاملة. وعادة يكون مثل هذا الجسم هو مصدر الموجة الدورية أو المسبب لها. ويكون الزمن الدوري للموجة مساوياً الزمن الدوري للمصدر. وتوضح الأشكال من 7-9a إلى 7-9d أن الزمن الدوري T يساوي 0.04 s ؛ وهو الزمن الذي يحتاج إليه المصدر حتى يكمل دورة كاملة، وهو أيضاً الزمن نفسه الذي تتطلبه نقطة مثل P على الحبل حتى تعود إلى طورها الابتدائي.

■ الشكل 7-9 يهتز أحد طرفي نابض متصل بنصل 25 اهتزازة في الثانية، وعليه قطعة من شريط لاصق عند النقطة P. لاحظ تغير موضع النقطة P مع الزمن.





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

أما **تردد الموجة** f فهو عدد الاهتزازات الكاملة التي يُتمّها الجسم المهتز في الثانية الواحدة، ويُقاس بوحدة هرتز Hz، والمهتز الواحد هو اهتزازة واحدة في الثانية. وبناءً عليه فإن العلاقة التي تربط بين الزمن الدوري للموجة وترددها هي:

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

تردد الموجة يساوي مقلوب زمنها الدوري.

ويعتمد الزمن الدوري للموجة وترددها على مصدرها فقط، ولا يعتمدان على الوسط الذي تنتقل خلاله أو على سرعة الموجة.

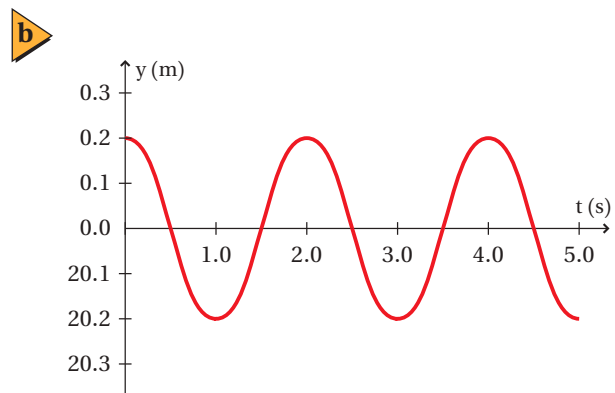
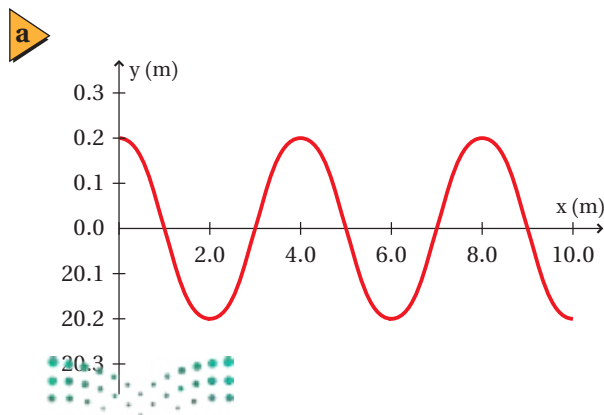
وتتحرك الموجة خلال فترة زمنية تساوي زمنًا دوريًا واحدًا مسافة تساوي طولًا موجيًا واحدًا، لذا فالطول الموجي يساوي سرعة الموجة مضروبًا في الزمن الدوري، $\lambda = vT$. ولأن الحصول على التردد يكون عادة أسهل من الحصول على الزمن الدوري فإن هذه المعادلة تكتب على الشكل الآتي:

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

الطول الموجي للموجة يساوي سرعتها مقسومة على ترددها.

تمثيل الموجات إذا التقطت صورة فوتوغرافية لموجة مستعرضة في حبل، فستجدها مشابهة لإحدى الموجتين الموضحتين في الشكل 7-8. ويمكن وضع هذه الصورة على ورقة رسم بياني للحصول على مزيد من المعلومات عن الموجة، كما هو موضح في الشكل 7-10a. وبالمثل إذا رصدت حركة جسيم واحد، مثل حركة النقطة P في الشكل 7-9، أمكنك تمثيل هذه الحركة بيانيًا على ورق رسم بياني، بحيث ترسم الإزاحة بوصفها متغيرًا مع الزمن، كما في الشكل 7-10b، والذي يمكن من خلاله إيجاد الزمن الدوري، كما يمكن تمثيل الموجات الطولية بيانيًا على ورق رسم بياني، بحيث يتم تمثيل التضاضعات على المحور y مثلاً.

■ **الشكل 7-10** يمكن تمثيل الموجات بيانيًا، فالطول الموجي لهذه الموجة **(a)** 4.0 m، والزمن الدوري **(b)** 2.0 s. الإزاحة أو السعة في كلا الرسمين تساوي 0.2 m فإذا مثل هذان الرسمان البيانيان الموجة نفسها، فما سرعتها؟



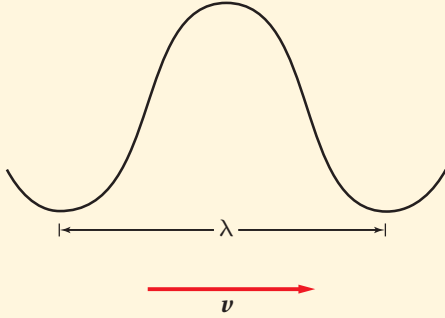
مثال 3

خصائص الموجة قطعت موجة صوتية ترددها 192 Hz ملعب كرة قدم طوله 91.4 m خلال 0.271 s، احسب مقدار:

- a. سرعة الموجة. b. الطول الموجي للموجة. c. الزمن الدوري للموجة. d. الطول الموجي والزمن الدوري، إذا أصبح تردد الموجة 442 Hz.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نموذجًا للموجة.
- مثل متجه السرعة.



المجهول

$$v = ?$$

$$\lambda = ?$$

$$T = ?$$

المعلوم

$$f = 192 \text{ Hz}$$

$$d = 91.4 \text{ m}$$

$$t = 0.271 \text{ s}$$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. أوجد السرعة v .

$$d = 91.4 \text{ m}, t = 0.271 \text{ s}$$

b. أوجد طول الموجة λ .

$$v = 337 \text{ m/s}, f = 192 \text{ Hz}$$

c. أوجد الزمن الدوري T .

$$f = 192 \text{ Hz}$$

d. أوجد الطول الموجي الجديد.

$$v = 337 \text{ m/s}, f = 442 \text{ Hz}$$

أوجد الزمن الدوري الجديد.

$$f = 442 \text{ Hz}$$

3 تقويم الجواب

• هل الوحدات صحيحة؟ الهرتز Hz هو نفسه s^{-1} ، لذا فإن $s = m$ و $\frac{m/s}{Hz} = \frac{m}{s}$ وهذا صحيح.

• هل الجواب منطقي؟ السرعة القياسية لموجات الصوت في الهواء 343 m/s تقريبًا، لذا فالجواب 337 m/s منطقي، وكذلك التردد والزمن الدوري منطقيان بالنسبة لموجات الصوت، فالتردد 442 Hz قريب من التردد 440 Hz وهو التردد القياسي لموجات الصوت.

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 278، 279

$$v = \frac{d}{t} = \frac{91.4 \text{ m}}{0.271 \text{ s}} = 337 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{337 \text{ m/s}}{192 \text{ Hz}} = 1.76 \text{ m}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{192 \text{ Hz}} = 0.00521 \text{ s}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{337 \text{ m/s}}{442 \text{ Hz}} = 0.762 \text{ m}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{442 \text{ Hz}} = 0.00226 \text{ s}$$

11. أطلق فادي صوتاً عالياً في اتجاه جرف رأسي يبعد 465 m عنه، وسمع الصدى بعد 2.75 s. احسب مقدار:

a. سرعة صوت فادي في الهواء.

b. تردد موجة الصوت إذا كان طولها الموجي يساوي 0.750 m.

c. الزمن الدوري للموجة.

12. إذا أردت زيادة الطول الموجي لموجات في حبل فهل تهز الحبل بتردد كبير أم بتردد صغير؟

13. ولّد مصدرٌ في حبل اضطراباً تردده 6.00 Hz، فإذا كانت سرعة الموجة المستعرضة في الحبل 15.0 m/s، فما طولها الموجي؟

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؟

توصلت إلى أن الموجات تحمل طاقة مما يمكنها من إنجاز شغل، وربما شاهدت الأضرار الهائلة الناجمة عن العواصف الشديدة والأعاصير القوية، أو التآكل البطيء للمنحدرات والشواطئ الناجم عن الموجات الضعيفة اليومية. ومن المهم أن تتذكر أن سعة الموجة الميكانيكية هي التي تحدّد مقدار الطاقة التي تحملها الموجة، بينما يحدّد الوسط وحده سرعة الموجة.

7-2 مراجعة

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؟

18. **الموجات الطولية** صِف الموجات الطولية. وما أنواع الأوساط التي تنقل الموجات الطولية؟

19. **التفكير الناقد** إذا سقطت قطرة مطر في بركة فستولّد موجات ذات سعات صغيرة. أما إذا قفز سباح في البركة فسيولّد موجات ذات سعات كبيرة. فلماذا لا تولّد الأمطار الغزيرة في أثناء الغواصف الرعدية موجات ذات سعات كبيرة؟

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.

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؟



7-3 سلوك الموجات Waves Behavior

الأهداف

- تربط بين سرعة الموجة وطبيعة الوسط الذي تتحرك فيه.
- تصف كيفية انعكاس الموجات وانكسارها عند الحد الفاصل بين وسطين.
- تطبق مبدأ التراكب على ظاهرة التداخل.

المفردات

- موجة ساقطة
- موجة منعكسة
- مبدأ التراكب
- التداخل
- العقدة
- البطن
- الموجة الموقوفة (المستقرة)
- مقدمة الموجة
- الشعاع
- العمود المقام
- قانون الانعكاس
- الانكسار

عندما تصل موجة إلى الحد الفاصل بين وسطين فإنها غالباً تنعكس وترتد إلى الخلف داخل الوسط نفسه. وفي حالات أخرى تمر الموجة كلها أو جزء منها خلال الحد الفاصل إلى وسط آخر، ويتغير اتجاهها عند الحد الفاصل. بالإضافة إلى أن العديد من خصائص سلوك الموجة، ماهي إلا نتيجة الحقيقة التي تنص على أنه: يمكن أن تكون هناك موجتان أو أكثر في الوسط نفسه خلال الزمن نفسه؛ بخلاف الجسيمات المادية؛ إذ لا يمكن لجسمين شغل الحيز نفسه خلال الزمن نفسه.

الموجات عند الحواجز Waves at Boundaries

تذكر من القسم السابق أن سرعة الموجة الميكانيكية تعتمد فقط على خصائص الوسط الذي تمر خلاله، ولا تعتمد على سعة الموجة أو ترددها. فمثلاً، يؤثر عمق الماء في سرعة موجات الماء المتكونة فيه، كما تؤثر درجة حرارة الهواء في سرعة موجات الصوت التي تنتشر فيه، وتعتمد سرعة موجات النابض على مقدار قوة شدّه وعلى كتلة وحدة أطواله.

بيّن ماذا يحدث عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين وسطين كما في نابضين مختلفي السمك ومتصلي الطرفين. يبين الشكل 11-7 نبضة تتحرك من النابض الأكبر سمكاً إلى النابض الأقل سمكاً، حيث تسمى الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين النابضين **الموجة الساقطة**. لاحظ أن هناك اختلافاً في سرعة النبضة التي تنتقل من النابض الأسمك إلى النابض الأقل سمكاً، كما تبقى نبضة الموجة المنتقلة متجهةً إلى أعلى.

ينعكس جزء من طاقة نبضة الموجة الساقطة إلى الخلف في اتجاه النابض السمك على شكل موجة مرتدة تسمى **الموجة المنعكسة**. وتحدد خصائص كلا النابضين ما إذا كان اتجاه الموجة المنعكسة معتدلاً أو مقلوباً. فعلى سبيل المثال، تنقلب الموجة المنعكسة إذا كانت سرعة الموجات في النابض الأقل سمكاً أكبر؛ لأنه أثقل أو أكثر صلابة.

■ الشكل 11-7 تمثل نقطة الاتصال بين طرفي النابضين الحد الفاصل بين الوسطين. فعندما تصل النبضة إلى الحد الفاصل (a) ينعكس جزء من النبضة وينفذ جزء آخر (b).



a



b



ماذا يحدث لو كان الحد الفاصل حائطاً وليس نابضاً آخر؟ عندما تُطلق موجة في نابض مثبت في حائط صلب مصقول تنعكس هذه الموجة عن الحائط إلى الخلف كما في الشكل 7-12، ويكون الحائط هو الحد الفاصل لوسط جديد حاولت الموجة المرور خلاله، حيث تنعكس الموجة عن الحائط بدلاً من مرورها خلاله، وتساوي سعة الموجة المرتدة تقريباً سعة الموجة الساقطة. لذا تنعكس معظم طاقة الموجة إلى الخلف، والقليل منها ينتقل إلى الحائط. ولاحظ أيضاً أن الموجة انقلبت إلى أسفل، أما لو كان النابض متصلاً بحلقة حرة الحركة حول قضيب - حد فاصل حر الحركة - فإن الموجة لن تنقلب.

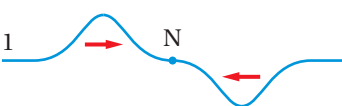
■ الشكل 7-12 تقترب الموجة من الحائط الصلب (a)، وتنعكس عنه مرتدة إلى الخلف (b). لاحظ أن سعة الموجة المنعكسة تساوي تقريباً سعة الموجة الساقطة، إلا أنها مقلوبة.

تراكُّب الموجات Superposition of Waves

افترض أن نبضة تنتقل في نابض وقابلت نبضة منعكسة. ما الذي يحدث في هذه الحالة؟ سيكون هناك نبضتان في الوسط في المكان والزمان نفسيهما، وتؤثر كل من النبضتين في الوسط بصورة مستقلة. وينص **مبدأ التراكُّب** على أن الإزاحة الحادثة في الوسط، الناتجة عن نبضتين أو أكثر، تساوي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة عن كل نبضة على حدة؛ أي أنه يمكن اتحاد نبضتين أو أكثر لتكوين نبضة واحدة جديدة. وإذا انتقلت النبضتان في اتجاهين متعاكسين فإما أن تلغي كل منهما تأثير الأخرى، أو تنتج نبضة لها سعة أكبر أو أصغر من سعة كل منهما. ويسمى الأثر الناتج عن تراكُّب نبضتين أو أكثر **التداخل**.

■ الشكل 7-13 عندما تلتقي نبضتان متساويتان تتكون نقطة تُسمى العقدة (N)؛ حيث يبقى الوسط دون اضطراب (a). وينتج التداخل البناء في أكبر صورة له عند تكون بطن الموجة (A) (b). وإذا كانت سعتا النبضتين المتعاكستين غير متساويتين فسيكون الهدم غير تام (c).

a



b



c



تداخل الموجات



يمكنك باستعمال نابض حلزوني توليد موجة تضاغية متغيرة في سعتها وسرعتها واتجاهها، كما في الموجة المستعرضة.

1. صمّم تجربة لاختبار ما يحدث عند التقاء موجتين من اتجاهين مختلفين.

2. نفذ التجربة وسجّل ملاحظتك.

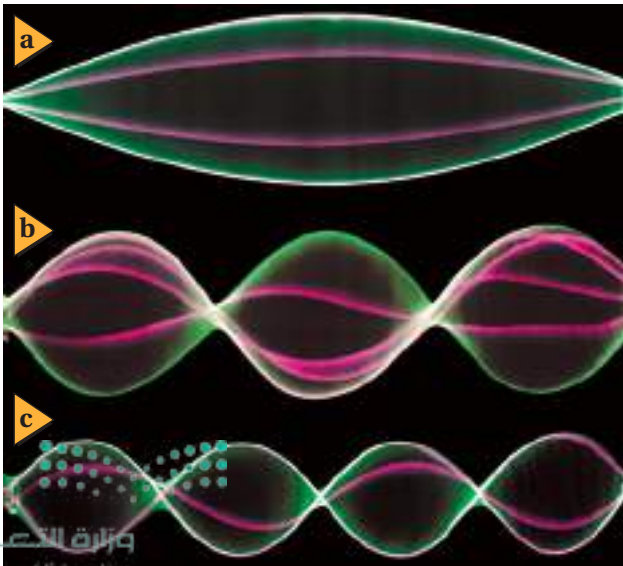
التحليل والاستنتاج

3. هل تغيرت سرعة أي موجة منهما؟

4. هل تتردّ هاتان الموجتان إحداها عن الأخرى؟ أم تمر كل منهما خلال الأخرى؟

■ الشكل 14-7 يُنتج التداخل موجات

موقوفة في الحبل، وبزيادة التردد يزداد عدد العقد والبطون، كما هو واضح من أعلى الشكل إلى أسفله.



تداخل الموجات يوجد التداخل على شكلين: فيكون تداخلاً بناءً، أو تداخلاً هداماً. فعندما تلتقي نبضتان لهما السعة نفسها ولكن في اتجاهين متعاكسين - أي قمة من الموجة الأولى مع قاع من الموجة الثانية - تقل إزاحة الوسط عند النقاط كلها في منطقة التداخل، ويكون التداخل هداماً. وإذا كانت سعتا الموجتين متساويتين كما في الشكل 13a-7 فإن مقدار الإزاحة سيساوي صفراً. وتُسمى النقطة N التي لم تتحرك مطلقاً **العقدة**. وتواصل النبضتان حركتهما بعد التداخل، وتستعيدان شكلهما الأصلي.

ينتج التداخل البناء عندما تكون إزاحات الموجات في الاتجاه نفسه، وتكون النتيجة موجة لها سعة أكبر من سعة أي من الموجات منفردة. ويبين الشكل 13b-7 تداخلاً بناءً لنبضتين متساويتين، حيث تتكون نبضة ذات سعة أكبر عند النقطة A عندما تلتقي النبضتان، وتُسمى هذه النبضة الناتجة **البطن**، وتكون إزاحتها هي الأكبر. وتمر النبضتان بعد ذلك إحداهما خلال الأخرى دون أي تغير في شكلهما أو حجميهما. وإذا كانت سعتا النبضتين غير متساويتين فإن النبضة الناتجة من التداخل تساوي المجموع الجبري لإزاحتي النبضتين، كما في الشكل 13c-7.

الموجات الموقوفة (المستقرة) يمكنك تطبيق مفهوم تراكب الموجات للتحكم في تكوين موجات ذات سعة كبيرة. فإذا ثبت أحد طرفي حبل أو نابض حلزوني في نقطة ثابتة مثل مقبض باب، ثم بدأت بهز الطرف الآخر فإن الموجات تنطلق من يدك متحركة في اتجاه الطرف الآخر الثابت، ثم تتردّد عند هذه النهاية الثابتة وتنقلب من جديد، وتعود إلى يدك ثانية. وعندما تصل الموجة المرتدة إلى يدك تنعكس وتنقلب من جديد وتتحرك إلى الخلف مرة أخرى. وتكون إزاحة الموجة عندما تنطلق من يدك للمرة الثانية في الاتجاه نفسه الذي انطلقت منه أول مرة.

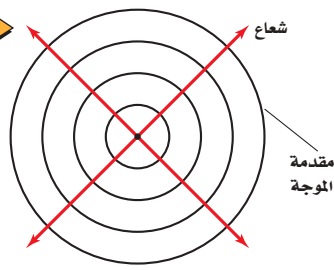
ماذا تفعل لو أردت زيادة سعة الموجة التي ولّدها؟ افترض أنك ضبطت حركة يدك بحيث يكون الزمن الدوري لاهتزازها مساوياً للزمن الذي تحتاج إليه النبضة حتى تكمل دورة كاملة: من يدك إلى الباب ثم العودة. عندئذٍ سوف تضاف الإزاحة التي تولدها

يدك في كل مرة إلى إزاحة الموجة المنعكسة. والنتيجة أن اهتزاز الحبل سيكون أكبر من حركة يدك، ويمكن توقع ذلك استناداً إلى معرفتك بالتداخل البناء. وتعتبر هذه الاهتزازة ذات السعة الكبيرة مثالاً على الرنين الميكانيكي. وتكون العقدتان عند طرفي الحبل، في حين يكون البطن في وسط النبضة، كما في الشكل 14a-7. وتبدو الموجة موقوفة ولذا تسمى **الموجة الموقوفة أو المستقرة**؛ أي أن الموجة الموقوفة هي تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين. وإذا ضاعفت تردد الاهتزاز تتولّد عقدة جديدة وبطن جديد في الحبل، ويظهر الحبل مهتزاً في قسمين. وعند زيادة التردد أكثر تتولّد عقد وبطون أكثر، كما في الشكلين 14b-7، 14c-7.

a



b



■ الشكل 15-7 تنتشر الموجات الدائرية إلى الخارج بعيداً عن مصدرها (a). ويمكن تمثيل الموجة بدوائر ترسم عند قمم الموجات الدائرية (b). لاحظ أن الأشعة متعامدة مع مقدمة الموجة.

الموجات في بعدين Waves in Two Dimensions

درست الموجات في حبل أو نابض، عندما تنعكس عن حاجز صلب، حيث تصبح السعة صفراً نتيجة التداخل الهدام. هذه الموجات الميكانيكية تتحرك في بُعد واحد. أما الموجات على سطح الماء فتتحرك في بعدين، وستدرس لاحقاً الموجات الكهرومغناطيسية وموجات الصوت التي تتحرك في ثلاثة أبعاد. فكيف يمكن توضيح الموجات في بعدين؟

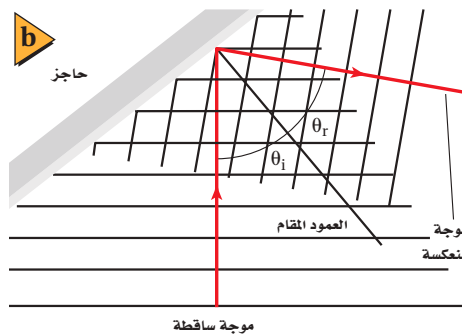
تمثيل الموجات في بعدين عندما ترمي حجراً صغيراً في بركة ماء ساكنة، ترى قمم وقيعان الموجات الدائرية الناتجة تنتشر إلى الخارج في جميع الاتجاهات. ويمكن تمثيل هذه الموجات برسم دوائر تُعبّر عن قمم هذه الموجات. فعندما تضع رأس إصبعك في الماء وتحركه بتردد ثابت ستنتج دوائر متتالية متحدة في مراكزها، ويكون إصبعك مركز تلك الدوائر التي تُسمى مقدمات الموجة. **مقدمة الموجة** هي الخط الذي يمثل قمة الموجة في بعدين. ويمكن استعمال مقدمة الموجة لتوضيح الموجات بأي شكل كانت، ومن ذلك الموجات الدائرية والموجات المستقيمة. ويوضح الشكل 15a-7 الموجات الدائرية في الماء، بينما يوضح الشكل 15b-7 مقدمات هذه الموجات. وتُرسّم مقدمات الموجات بمقياس رسم يبيّن الطول الموجي لهذه الموجات، ولكن لا يبين سعاتها.

ومهما يكن شكل الموجات التي تتحرك في بعدين فإنها تتحرك في اتجاه متعامد مع مقدماتها، ويُمثل هذا الاتجاه **بشعاع** على شكل خط يصنع زاوية قائمة مع قمة الموجة. وإذا أردت بيان اتجاه انتقال الموجة فقط فمن الملائم أن ترسم أشعة بدلاً من مقدمات الموجات. **انعكاس الموجات في بعدين** يستعمل حوض الموجات لبيان خصائص الموجات المنتشرة في بعدين؛ إذ يحتوي على طبقة ماء ضحلة، وألواح اهتزاز تولّد نبضات موجية، كما موضح في الشكل 16a-7، أو تولّد موجات ماء تتحرك بتردد ثابت. وعند إضاءة المصباح الموجود فوق الحوض يتكون ظل تحت الحوض يبين موقع قمم الموجات وقيعانها. وعندما تنتشر موجة نحو حاجز ما، فإنها تنعكس عنه في اتجاه محدد.

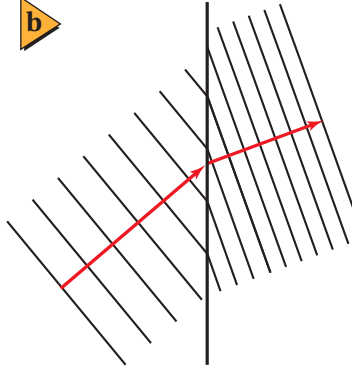
a



b



■ الشكل 16-7 نبضة موجة مرتدة عن حاجز في حوض الموجات (a). يوضّح المخطط الشعاعي التسلسل الزمني لاقتراب الموجة من الحاجز وانعكاسها عنه إلى اليمين (b).



الشكل 17-7 عندما تتحرك موجات الماء فوق منطقة الماء الضحلة، حيث يوجد لوح الزجاج في حوض الموجات تتباطأ ويقل طولها الموجي (a). ويمكن تمثيل الانكسار بمخطط مقدمات الموجات والأشعة (b).

ويمكن تمثيل اتجاه انتشار الموجات بالمخطط الشعاعي المبين في الشكل 16b-7، حيث يُمثّل الشعاع المتجه إلى أعلى الموجة الساقطة، في حين يُمثّل الشعاع المتجه إلى اليمين الموجة المنعكسة. أما الحاجز فيمثّل بخط مستقيم يفصل بين الوسطين، والخط المتعامد مع الحاجز عند نقطة السقوط يُسمى **العمود المقام**. وتسمى الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام زاوية السقوط. أما الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام فتسمى زاوية الانعكاس. وينص **قانون الانعكاس** على أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

انكسار الموجات في بعدين يمكن استخدام حوض الموجات كذلك لتمثيل سلوك الموجات عندما تنتقل من وسط إلى آخر. ويوضح الشكل 17a-7 لوحًا زجاجيًا موضوعًا في حوض الموجات، وسمك طبقة الماء فوقه أقل من سمك طبقة الماء في بقية الحوض؛ حيث يؤثر ذلك وكأنه وسط مختلف. وبانتقال الموجة من منطقة الماء العميق إلى منطقة الماء الضحل تقل سرعتها ويتغير اتجاهها. ولأن الموجات في منطقة الماء الضحلة تولدت من الموجات القادمة من منطقة الماء الأعمق فإن ترددها لن يتغير. واستنادًا إلى المعادلة $\lambda = v/f$ فإن تناقص سرعة الموجات يعني أن الطول الموجي يكون أقصر في منطقة الماء الضحلة. ويعرف التغير في اتجاه انتشار الموجات عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين **بالانكسار**. ويبين الشكل 17b-7 مقدمة الموجة ونموذج المخطط الشعاعي للانكسار، وعندما تدرس انعكاس الضوء وانكساره في الفصول القادمة ستتعرف قانون الانكسار المعروف بقانون سنل.

قد تعلم أن سبب الصدى هو انعكاس الصوت عن سطح صلب مثل حائط كبير، أو انعكاسه عن جرف صخري بعيد، وأن الانكسار مسؤول جزئيًا عن تكون قوس المطر؛ فعندما يمر الضوء الأبيض خلال قطرات المطر تعمل هذه القطرات على تحليل الضوء الأبيض إلى ألوانه (ألوان الطيف المرئي السبعة) بفعل الانكسار.

7-3 مراجعة

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.

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؟

21. **انكسار الموجات** لاحظ الشكل 17a-7، وبين كيف يتغير اتجاه الموجة عندما تمر من وسط إلى آخر. وهل يمكن أن تعبر موجة في بعدين حدًا فاصلاً بين وسطين دون أن يتغير اتجاهها؟ وضح ذلك.

22. **الموجات الموقوفة** ما العلاقة بين عدد العقد وعدد البطون في موجة موقوفة في نابض مثبت الطرفين؟

مختبر الفيزياء

تذبذب البندول Pendulum Vibrations

يمكن أن يوفر البندول البسيط نموذجًا لاستقصاء خصائص الموجات. ستصمّم في هذه التجربة طريقة لاستعمال البندول لإيجاد سعة موجة، وزمنها الدوري، وترددها. وستحدد أيضًا تسارع الجاذبية الأرضية باستعمال البندول البسيط.

سؤال التجربة

كيف يوضح البندول البسيط خصائص الموجات؟

الخطوات

الأهداف

1. صمّم بندولًا باستعمال المواد والأدوات المتوفرة لديك. وتحقق من فحص المعلم لتصميمك إذا كان ملائمًا أم لا، وذلك قبل المضي قدمًا في إجراء التجربة.
2. يكون طول البندول في هذا الاستقصاء مساويًا لطول الخيط مضافًا إليه نصف طول ثقل البندول. والسعة هي البعد بين النقطة التي سُحب إليها ثقل البندول ونقطة اتزانه. والتردد هو عدد دورات ثقل البندول في الثانية. أما الزمن الدوري فهو الزمن الذي يتطلبه ثقل البندول حتى يعمل دورة واحدة. وعند جمع البيانات حول الزمن الدوري يتعين عليك إيجاد الزمن الذي يحتاج إليه البندول حتى يكمل عشر دورات، ثم تجد بعد ذلك الزمن الدوري بوحدة ثانية (s). كما يتعين عليك عدّ الدورات التي تحدث في 10 s، ومنها تجد التردد بوحدة s^{-1} .
3. صمّم طريقة بحيث تبقى كتلة ثقل البندول وسعة حركته ثابتتين، في حين تُغيّر طول البندول، ثم تحدّد تردده وزمنه الدوري. سجّل نتائجك في جدول البيانات، وكرّر المحاولات مع أطوال مختلفة للبندول لجمع البيانات.
4. صمّم طريقة بحيث تبقى طول البندول وسعته ثابتين، بينما تغيّر كتلة ثقل البندول، ثم حدد تردده وزمنه الدوري. سجّل نتائجك في جدول البيانات. وكرّر المحاولات لجمع البيانات.
5. صمّم طريقة أخرى بحيث تبقى طول البندول وثقله ثابتين، في حين تغيّر سعة حركته، ثم حدد تردده وزمنه الدوري. سجّل نتائجك في جدول البيانات، وكرّر المحاولات لجمع البيانات.

- تحدّد المتغيرات التي تؤثر في الزمن الدوري للبندول.
- تستقصي تردّد البندول وزمنه الدوري وسعة اهتزازه.
- تقيس قيمة تسارع الجاذبية الأرضية g .

احتياطات السلامة



المواد والأدوات

- | | |
|----------------|--------------------------|
| خيط طوله 1.5 m | ثلاثة أثقال رصاصية صغيرة |
| مشبك ورق | حامل حلقي |
| ساعة إيقاف | |



جدول البيانات 1						
جدول البيانات هذا مصمم للخطوات 2-5						
التردد (s ⁻¹)	الزمن الدوري (s)	المتوسط	المحاولة 3	المحاولة 2	المحاولة 1	
	_____					الطول 1
_____						الطول 2
						الطول 3
	_____					الكتلة 1
_____						الكتلة 2
						الكتلة 3
	_____					الامتداد 1
_____						الامتداد 2
						الامتداد 3

جدول البيانات 2						
جدول البيانات هذا مصمم للخطوة 6، لإيجاد قيمة g						
طول الخيط (m)	الزمن الدوري (s)	المتوسط	المحاولة 3	المحاولة 2	المحاولة 1	
						الطول 1
						الطول 2
						الطول 3

6. صمّم طريقة باستعمال البندول لحساب تسارع الجاذبية الأرضية g ، مستخدماً المعادلة الآتية: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ حيث T تمثل الزمن الدوري، و l طول خيط البندول، تذكر تنفيذ عدة محاولات لجمع البيانات.
3. **حلّل** لماذا يفضل تكرار الخطوة ثلاث مرات أو أكثر لإيجاد التردد والزمن الدوري للبندول؟
4. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة حركية؟
5. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة وضع؟

التوسع في البحث

افترض أن لديك بندولاً طويلاً، ما الملاحظات التي تتوقعها على حركة هذا البندول مدة يوم كامل؟

التجريبية في البحث

يستعمل البندول في تشغيل بعض أنواع الساعات. استعن بملاحظاتك خلال هذه التجربة لتحديد مشكلات التصميم الموجودة في بندولك عند استعماله أداة لضبط الوقت.

التحليل

1. **رخص** ما العلاقة بين سعة حركة البندول وزمنه الدوري؟
2. **رخص** ما العلاقة بين كتلة ثقل البندول وزمنه الدوري؟
3. **قارن** كيف يرتبط الزمن الدوري للبندول مع طوله؟
4. **حلّل** أوجد مقدار g من البيانات في الخطوة 6.
5. **تحليل الخطأ** ما النسبة المئوية للخطأ في التجربة عند إيجاد قيمة g ؟ وما الأسباب المحتملة لوجود فرق بين القيمة التجريبية لـ g والقيمة المقبولة لها؟

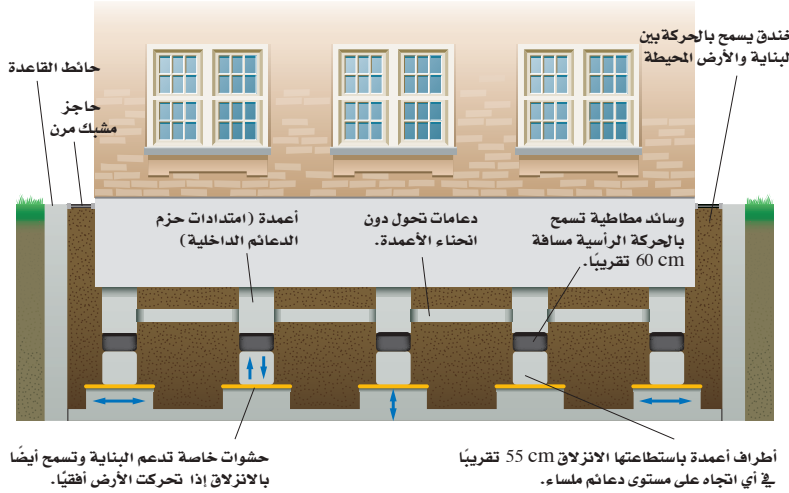
الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** ما المتغير أو المتغيرات التي تؤثر في الزمن الدوري للبندول؟
2. **قارن** كيف تكون حركة البندول مشابهة لحركة الموجه؟



التقنية والمجتمع

Earthquake Protection الحماية من الزلازل



تقلل التصاميم الحديثة للأبنية الدمار الناتج عن الهزات الأرضية

والقوي. كما يمكن التقليل من الاهتزاز الجانبي بوضع دعائم انزلاقية تحت أعمدة البناء، تحفظ هيكل البناء ثابتاً إذا تحركت الأرض تحته إلى جانب من الجوانب.

أما التراكيب البنائية الطويلة - ومنها الأنفاق والجسور - فيجب أن تبنى بحيث تبقى رأسية أو أفقية إذا حدث قص أو صدع في الأرض أسفلها. فالجسر الذي يربط مملكة البحرين بالمملكة العربية السعودية له وصلات وروابط مرنة تجعله ثابتاً.

الزلازل يعادل انفجاراً شديداً وعنيفاً في مكان ما تحت سطح الأرض. وتكون الموجات الميكانيكية المنتشرة من الزلازل موجات مستعرضة وموجات طولية. فتعمل الموجات المستعرضة على هز المباني أفقياً، في حين تهز الموجات الطولية المباني رأسياً. ولا يمكن توقع وقت حدوث الزلازل أو منع حدوثها حتى الآن، وما دام الأمر كذلك فكيف يمكن اتقاء أضرارها؟

نتيجة المعرفة المتزايدة حول الزلازل، بعد

الاكتشافات الحديثة للكيفية التي تسبب بها

الزلازل، تدمير المنشآت المختلفة، يجب أن تصمم المباني بحيث تصمد في وجه الزلازل وتكون قادرة على مقاومة آثارها التدميرية، بالإضافة إلى تحديث المباني القائمة.

تقليل الدمار تبنى معظم الجسور والممرات المنحدرة باستعمال طبقات خرسانية مدعومة بالفولاذ بعضها فوق بعض، وتحافظ قوة الجاذبية الأرضية عليها في مكانها. وتكون هذه التراكيب والمباني قوية جداً في ظل الظروف العادية. ولكنها تهتز جزئياً إذا تعرضت لزلازل قوية. لذا تتطلب قواعد البناء الحديثة ربط أجزاء المبنى معاً بواسطة قطع فولاذية ثقيلة وقوية.

ويمكن الحد من الأضرار التي يسببها الزلازل للمباني عن طريق السماح بحدوث كمية صغيرة من الحركة المسيطر عليها بين هيكل البناء وقواعده. ولتقليل الاهتزاز الرأسي للبناء توضع نوابض رأسية داخل الأجزاء الرأسية لهيكل البناء، وتصنع هذه النوابض من مُركَّب مطاطي قوي مضغوط داخل أسطوانات مصنوعة من الفولاذ الثقيل

التوسع

1. **ابحث** ما المواد التي يتركَّب منها بناء مدرستك؟ وكيف بُنيت قواعد هذا البناء؟
2. **لاحظ** ابحث عن بناء فيه تصدع أو تشقق في أحد جدرانه، ويبيِّن سبب حدوثه، ولماذا اتخذ ذلك الشكل أو المسار؟ وماذا يحدث للبناء إذا تعرّض لزلازل؟

دليل مراجعة الفصل

الفصل 7

7-1 الحركة الدورية Periodic Motion

المفردات

- الحركة الدورية
- الحركة التوافقية البسيطة
- الزمن الدوري
- السعة
- قانون هوك
- البندول البسيط
- الرنين

المفاهيم الرئيسية

- الحركة الدورية هي أي حركة تتكرر في دورة منتظمة، وفي أزمنة متساوية.
- تنتج الحركة التوافقية البسيطة عندما تتناسب قوة الإرجاع المؤثرة في الجسم طردياً مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان. وتحقق هذه القوة قانون هوك.

$$F = -kx$$

- تحسب طاقة الوضع المرورية المخزنة في نابض يحقق قانون هوك بالمعادلة الآتية:

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

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

- يمكن حساب الزمن الدوري لبندول بسيط بالمعادلة الآتية:

7-2 خصائص الموجات Waves Properties

المفردات

- الموجة
- نبضة موجية
- الموجة الدورية
- الموجة المستعرضة
- الموجة الطولية
- القاع - القمة
- الطول الموجي

المفاهيم الرئيسية

- تنقل الموجة الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط.
- تكون إزاحة الوسط في الموجة المستعرضة متعامدة مع اتجاه حركة الموجة، أما في الموجة الطولية فتكون الإزاحة موازية لاتجاه حركة الموجة.
- التردد هو عدد الدورات في الثانية، ويرتبط بالزمن الدوري من خلال المعادلة الآتية:

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

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

- يمكن حساب طول موجة منتشرة باستخدام المعادلة الآتية:

7-3 سلوك الموجات Waves Behavior

المفردات

- الموجة الساقطة
- الموجة المنعكسة
- مبدأ التراكب
- التداخل - العقدة
- بطن الموجة
- الموجة الموقوفة
- مقدمة الموجة
- قانون الانعكاس
- الشعاع - الانكسار

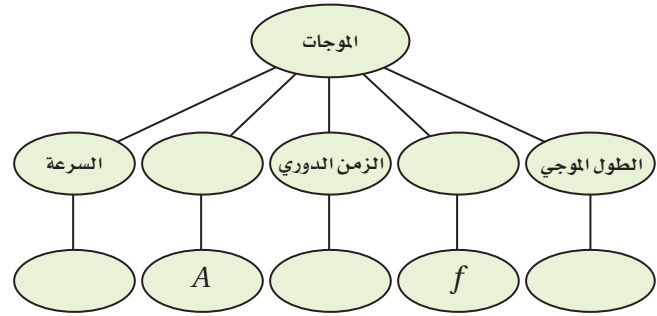
المفاهيم الرئيسية

- عندما تعبر موجة خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين ينفذ جزء منها وينعكس الجزء الآخر.
- ينص مبدأ التراكب على أن الإزاحة الحادثة في الوسط، والناجمة عن موجتين أو أكثر تساوي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة عن كل موجة على حدة.
- يحدث التداخل عندما تتحرك موجتان أو أكثر في الوسط ذاته وفي الوقت نفسه.
- إذا انعكست موجة في بُعدين عن حد فاصل بين وسطين فإن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.
- الانكسار هو تغير اتجاه الموجات عند حد فاصل بين وسطين مختلفين.



خريطة المفاهيم

24. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز الآتية: السعة، التردد، T ، λ ، v .



إتقان المفاهيم

25. ما الحركة الدورية؟ أعط ثلاثة أمثلة عليها (7-1).

26. ما الفرق بين الزمن الدوري والتردد؟ وكيف يرتبطان؟ (7-1)

27. إذا حقق نابض قانون هوك؛ فكيف يكون سلوكه؟ (7-1)

28. كيف يمكن أن نستخلص من رسم بياني للقوة والإزاحة لنابض ما قيمة ثابت النابض؟ (7-1)

29. كيف يمكن أن نستخلص من الرسم البياني للقوة والإزاحة طاقة الوضع في نابض ما؟ (7-1)

30. هل يعتمد الزمن الدوري للبندول على كتلة ثقله؟ وهل يعتمد على طول خيطه؟ وعلام يعتمد الزمن الدوري للبندول أيضاً؟ (7-1)

31. ما الطرائق العامة لانتقال الطاقة؟ أعط مثالين على كل منها (7-2).

32. ما الفرق الرئيس بين الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية؟ (7-2)

33. ما الفروق بين كلٍّ من: الموجة المستعرضة، والموجة الطولية والموجة السطحية؟ (7-2)

34. ما الفرق بين النبضة الموجية والموجة الدورية؟ (7-2)

35. انتقلت موجات خلال نابض طوله ثابت. أجب عن السؤالين الآتيين: (7-2)

a. هل تتغير سرعة الموجات في النابض؟ وضح ذلك.

b. هل يتغير تردد الموجة في النابض؟ وضح ذلك.

36. افترض أنك ولدت نبضة خلال حبل، فكيف تقارن موضع نقطة على الحبل قبل وصول النبضة بموضعها بعد مرور النبضة؟ (7-2)

37. افترض أنك ولدت موجة مستعرضة بهزّ أحد طرفي نابض جانبياً، فكيف يكون تردد يدك مقارنة بتردد الموجة؟ (7-2)

38. متى تكون النقاط في موجة في الطور نفسه؟ ومتى تكون في حالة اختلاف في الطور؟ أعط مثلاً على كل حالة (7-2).

39. صف العلاقة بين سعة موجة والطاقة التي تحملها (7-2).

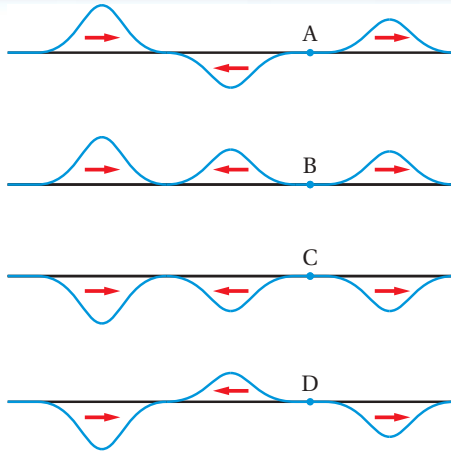
40. عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين حبل رفيع وآخر سميك، كما في الشكل 18-7، ستغير سرعتها وطولها الموجي، ولن يتغير ترددها. فسر لماذا يبقى التردد ثابتاً (7-3).



الشكل 18-7

41. تُبث شريحة فلزية رقيقة من مركزها، وتُثر عليها سكر. فإذا نقر على قوس بالقرب منها فإن أحد طرفيها يبدأ في الاهتزاز، ويبدأ السكر في التجمع في مساحات محدّدة، ويتحرك مبتعداً عن مساحات أخرى. صف هذه المناطق بدلالة الموجات الموقوفة. (7-3)

تقويم الفصل 7

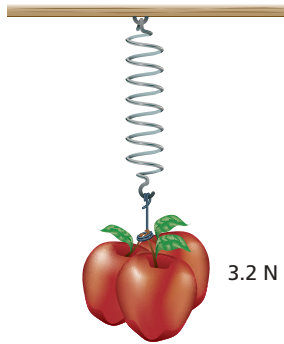


الشكل 19-7 ■

إتقان حل المسائل

1-7 الحركة الدورية

50. **ماصات الصدمات** إذا كان ثابت كل نابض من نوابض سيارة وزنها 1200 N يساوي 25000 N/m . فكم ينضغط كل نابض إذا حُمِلَت السيارة برّبع وزنها؟
51. إذا استطال نابض إزاحة 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 ■

52. **قاذفة الصواريخ** تحتوي لعبة قاذفة الصواريخ على نابض ثابتة يساوي 35 N/m . ما الإزاحة التي يجب أن ينضغطها النابض حتى يخزن طاقة مقدارها 1.5 J ؟

42. إذا اهتز جبل مشكلاً أربعة أجزاء أو أقسام فإنك تستطيع أن تلمس عددًا من النقاط عليه دون أن تُحدث اضطراباً في حركته. بيّن عدد هذه النقاط (3 - 7).
43. مرّت مقدمات موجات بزاوية من وسط إلى آخر، وتحركت فيه بسرعة مختلفة. صفّ تغيرين في هذه المقدمات، وما الذي لم يتغير؟ (3 - 7)

تطبيق المفاهيم

44. تهتز كرة إلى أعلى وإلى أسفل عند طرف نابض مثبت رأسياً. صفّ تغيرات الطاقة التي تحدث خلال دورة كاملة. وهل تغيرت الطاقة الميكانيكية الكلية؟
45. هل يمكن استخدام ساعة بندول في محطة فضائية دولية تتحرك في مدارها؟ وضح ذلك.
46. افترض أنك أمسكت قضيباً فلزياً طوله 1 m وضربت أحد طرفيه بمطرقة، في اتجاه مواز لطوله أولاً، ثم في اتجاه يصنع زاوية قائمة مع طوله ثانياً. صفّ الموجات المتولّدة في الحالتين.
47. افترض أنك غمست إصبعك بشكل متكرّر في حوض مملوء بالماء لتوليد موجات دائرية، فماذا يحدث لطول الموجة إذا حركت إصبعك بسرعة؟
48. افترض أنك أحدثت نبضة واحدة في نابض مشدود، فما الطاقة التي يتطلبها إحداث نبضة لها ضعف السعة؟
49. تكون النبضة اليسرى في كل واحدة من الموجات الموضحة في الشكل 19-7 هي النبضة الأصلية، وتتحرك إلى اليمين، وتكون النبضة التي في المركز هي النبضة المنعكسة، بينما تكون النبضة اليمنى هي النبضة النافذة. صفّ صلابة الحد الفاصل عند النقاط A، B، C، D.

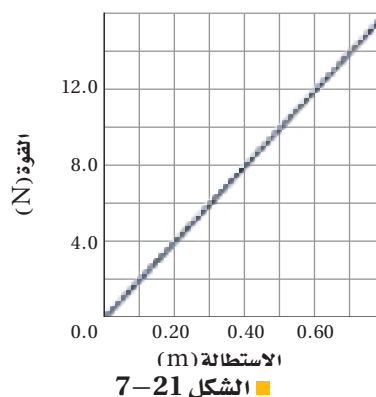
تقويم الفصل 7

53. ما مقدار طاقة الوضع المخزنة في نابض عندما يستطيل بإزاحة 16 cm علمًا بأن مقدار ثابتته يساوي 27 N/m ؟

54. يبين الشكل 7-21 العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة في نابض ومقدار استطالته. احسب مقدار:

a. ثابت النابض.

b. الطاقة المخزنة في النابض عندما يستطيل ويصبح طوله 0.50 m



7-2 خصائص الموجات

55. موجات المحيط إذا كان طول موجة محيطية 12.0 m، وتكرر بموقع ثابت كل 3.0 s، فما سرعة الموجة؟

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.

b. الطول الموجي لهذه الموجات.

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.

b. الزمن الدوري للإشارة في الماء.

c. الزمن الدوري للإشارة في الهواء.

58. جلس عمر وطارق بعد السباحة على شاطئ بركة، وقدرا 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.

59. الزلازل إذا كانت سرعة الموجات المستعرضة الناتجة عن زلزال 8.9 km/s وسرعة الموجات الطولية 5.1 km/s، وسجل جهاز السيزموجراف زمن وصول الموجات المستعرضة قبل وصول الموجات الطولية بـ 68 s، فكم يبعد مركز الزلزال؟

7-3 سلوك الموجات

60. إذا كانت سرعة الموجة في وتر طوله 63 cm تساوي 265 m/s، وقد حركته 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؟

b. هل يكون الوتر أعلى موضع سكونه أم أسفله عندما تعود النبضتان؟

c. إذا حركت الوتر من نقطة تبعد 15 cm عن أحد طرفيه فأين تلتقي النبضتان؟

مراجعة عامة

61. ما الزمن الدوري لنبول طوله 1.4 m ؟

62. موجات الراديو تبث إشارات راديو AM بترددات

بين 550 kHz و 1600 kHz وتنتقل بسرعة

تقويم الفصل 7

b. طاقة الوضع الإضافية المخزنة في كل من النابضين الخلفيين بعد تحميل صندوق السيارة.

التفكير الناقد

66. حل واستنتج إذا لزمتم قوة مقدارها 20 N لإحداث

استطالة في نابض مقدارها 0.5 m، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار ثابت النابض؟

b. ما مقدار الطاقة المخزنة في النابض؟

c. لماذا لا يكون الشغل المبذول لإطالة النابض

مساوياً لحاصل ضرب القوة في المسافة، أو 10 J؟

67. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها علّقت عدة كتل في

نهاية نابض، وقيست الزيادة في طول النابض. وبيّن

الجدول 1-7 المعلومات التي تم الحصول عليها:

الجدول 1-7	
الأوزان المعلقة في النابض	
الاستطالة x (m)	القوة F (N)
0.12	2.5
0.26	5.0
0.35	7.5
0.50	10.0
0.60	12.5
0.71	15.0

a. مثل بيانياً القوة المؤثرة في النابض مقابل

الاستطالة فيه، على أن ترسم القوة على المحور y .

b. احسب ثابت النابض من الرسم البياني.

c. استخدم الرسم البياني في إيجاد طاقة الوضع

المرونية المخزنة في النابض عندما يستطيل

إزاحة 0.50m

68. تطبيق المفاهيم تتكون تموجات ترابية في الغالب

على الطرق الترابية، ويكون بعضها متباعدًا عن

بعض بصورة منتظمة، كما تكون هذه التموجات

$3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ ، أجب عما يأتي:

a. ما مدى الطول الموجي لهذه الإشارات؟

b. إذا كان مدى ترددات FM بين 88 MHz

(ميغا Hz) و 108 MHz وتنتقل بالسرعة

نفسها، فما مدى الطول الموجي لموجات FM؟

63. القفز بالجبل المطاطي قفز لاعب من منطاد على

ارتفاع عالٍ بواسطة حبل نجاة قابل للاستطالة

طوله 540 m، وعند اكتمال القفزة كان اللاعب معلقاً

بالحبل الذي أصبح طوله 1710 m. ما مقدار ثابت

النابض لحبل النجاة إذا كانت كتلة اللاعب 68 kg؟

64. تأرجح جسر يتأرجح طارق وحسن على جسر

بالحبال فوق أحد الأنهار، حيث يربطان حبالهما

عند إحدى نهايتي الجسر، ويتأرجحان عدة دورات

جيدة وذهاباً، ثم يسقطان في النهر. أجب عن الأسئلة

الآتية:

a. إذا استخدم طارق حبالاً طوله 10.0 m، فما

الزمن الذي يحتاج إليه حتى يصل قمة الدورة

في الجانب الآخر من الجسر؟

b. إذا كانت كتلة حسن تزيد 20 kg على كتلة

طارق، فكم تتوقع أن يختلف الزمن الدوري

لحسن عما هو لطارق؟

c. أي نقطة في الدورة تكون عندها KE أكبر ما يمكن؟

d. أي نقطة في الدورة تكون عندها PE أكبر ما يمكن؟

e. أي نقطة في الدورة تكون عندها KE أقل ما يمكن؟

f. أي نقطة في الدورة تكون عندها PE أقل ما يمكن؟

65. نابض السيارات إذا أُضيفت حمولة مقدارها

45 kg إلى صندوق سيارة صغيرة جديدة، ينضغط

النابض الخلفيان إزاحة إضافية مقدارها 1.0 cm،

احسب مقدار:

a. ثابت النابض لكل من النابضين الخلفيين.

الكتابة في الفيزياء

69. **بحث** درس العالم كرسيتيان هويجنز الموجات، وحدث خلاف بينه وبين نيوتن حول طبيعة الضوء. قارن بين تفسير كل منهما لظواهر الانعكاس والانكسار. أي النموذجين تؤيد؟ ولماذا؟

مراجعة تراكمية

70. تقطع سيارة سباق كتلتها 1400 kg مسافة 402 m خلال 9.8 s . فإذا كانت سرعتها النهائية 112 m/s ، فأجب عما يأتي: (الفصل 4)
- ما مقدار الطاقة الحركية النهائية للسيارة؟
 - ما أقل مقدار من الشغل بذله محرك السيارة؟ ولماذا لا يمكنك حساب مقدار الشغل الكلي المبذول؟
 - ما مقدار التسارع المتوسط للسيارة؟

عمودية على الطريق كما في الشكل 7-22. 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 ، وتحرك السيارات على هذا الطريق بسرعة 5 m/s ، فما تردد اهتزاز نوابض السيارة؟



■ الشكل 7-22



اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ما قيمة ثابت نابض يخزن طاقة وضع مقدارها 8.67 J عندما يستطيل إزاحة 247 mm؟

142 N/m (C) 70.2 N/m (A)

284 N/m (D) 71.1 N/m (B)

2. ما مقدار القوة المؤثرة في نابض له ثابت مقداره 275 N/m ويستطيل بإزاحة 14.3 cm؟

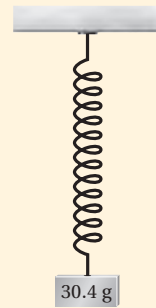
39.3 N (C) 2.81 N (A)

3.93 × 10³⁰ N (D) 19.2 N (B)

3. إذا علقت كتلة في نهاية نابض فاستطال 0.85 m كما في الشكل أدناه، فما مقدار ثابت النابض؟

26 N/m (C) 0.25 N/m (A)

3.5 × 10² N/m (D) 0.35 N/m (B)



4. يسحب نابض بآباً لكي يغلقه. ما مقدار الشغل المبذول عندما يسحب النابض الباب بسرعة ثابتة بحيث تتغير استطالة النابض من 85.0 cm إلى 5.0 cm، علماً بأن ثابت النابض 350 N/m؟

224 N.m (C) 112 N.m (A)

1.12 × 10³ J (D) 130 J (B)

5. ما الترتيب الصحيح لمعادلة الزمن الدوري لبندول بسيط لحساب طوله؟

$l = \frac{T^2 g}{(2\pi)^2}$ (C) $l = \frac{4\pi^2 g}{T^2}$ (A)

$l = \frac{Tg}{2\pi}$ (D) $l = \frac{gT}{4\pi^2}$ (B)

6. ما تردد موجة زمنها الدوري 3 s؟

$\frac{\pi}{3}$ Hz (C) 0.3 Hz (A)

3 Hz (D) 30 Hz (B)

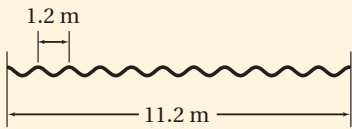
7. أي الخيارات الآتية يصف الموجة الموقوفة؟

الموجات	الاتجاه	الوسط
متطابقة	نفسه	(A)
غير متطابقة	متعاكس	(B)
متطابقة	متعاكس	(C)
غير متطابقة	نفسه	(D)

8. تحركت موجة طولها 1.2 m مسافة 11.2 m في اتجاه جدار، ثم ارتدت عنه وعادت ثانية خلال 4 s، فما تردد الموجة؟

5 Hz (C) 0.2 Hz (A)

9 Hz (D) 2 Hz (B)



9. ما طول بندول بسيط زمنه الدوري 4.89 s؟

24.0 m (C) 5.94 m (A)

37.3 m (D) 11.9 m (B)

الأسئلة الممتدة

10. استخدم تحليل الوحدات للمعادلة $kx = mg$ لاشتقاق وحدة k .

إرشاد

تدرّب، تدرّب، تدرّب

تدرّب لتحسين أدائك في الاختبار المقنن، ولا تقارن نفسك بالآخرين.

ما الذي سنتعلمه 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. وحديثاً تعد موجاته إحدى وسائل المعالجة.

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

فكر

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



كيف يمكن لكأس زجاجية أن تصدر أصواتاً مختلفة؟

سؤال التجربة كيف يمكنك استخدام كؤوس زجاجية لإصدار أصوات مختلفة؟ وكيف تختلف الأصوات الصادرة عن الكؤوس ذات السيقان عن الأصوات الصادرة عن الكؤوس التي بلا سيقان؟

الخطوات

1. اختر كأساً زجاجية ذات ساق ولها حافة رقيقة.
2. **حضر** تفحص بحذر الحافة العلوية للكأس؛ حتى لا يكون هناك حواف حادة، وأخبر معلمك إذا وجدت أي حواف حادة، وتحقق من تكرار الفحص في كل مرة تختار فيها كأساً مختلفة.
3. ضع الكأس أمامك على الطاولة، وثبت قاعدة الكأس بإحدى يديك، ثم بلل إصبعك وحكها.

- ببطء حول الحافة العلوية للكأس. تحذير: تعامل مع الزجاج بحذر؛ لأنه هش.
4. سجّل مشاهداتك، ثم زد أو قلّل سرعة إصبعك قليلاً. ماذا يحدث؟
 5. اختر كأساً ذات ساق أطول أو أقصر من الكأس الأولى، وكرّر الخطوات 2-4.
 6. اختر كأساً بلا ساق، وكرّر الخطوات 2-4.



التحليل

لخص مشاهداتك، ما الكؤوس التي لها المقدرة على إصدار أصوات: ذات السيقان، أم التي لا سيقان لها، أم كلا النوعين؟ وما العوامل التي تؤثر في الأصوات الصادرة؟

التفكير الناقد اقترح طريقة لإصدار أصوات مختلفة من الكأس نفسها، واختبر طريقتك، ثم اقترح اختباراً لاستقصاء خصائص الكؤوس التي يمكن استعمالها في إصدار أصوات.

1-8 خصائص الصوت والكشف عنه Properties and Detection of Sound

الأهداف

- تبين الخصائص المشتركة بين الموجات الصوتية والموجات الأخرى.
- تربط الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية بإدراكنا للصوت.
- تحدّد بعض التطبيقات على تأثير دوبلر.

المفردات

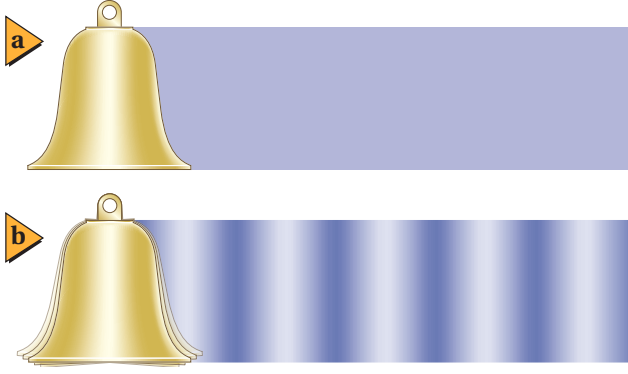
- الموجة الصوتية
- حدة الصوت
- علو الصوت
- مستوى الصوت
- الديسبل
- تأثير دوبلر



www.ien.edu.sa

الصوت جزء مهم في حياة العديد من المخلوقات الحية؛ إذ تستخدم الحيوانات الصوت للصيد والتزاوج والتحذير من اقتراب الحيوانات المفترسة. يزيد صوت صفارة الإنذار من القلق لدى الناس، في حين تساعد أصوات أخرى - ومنها صوت الأذان أو تلاوة القرآن - على التهدئة وإراحة النفس. ولقد أصبح مألوفاً لديك - من خلال خبرتك اليومية - العديد من خصائص الصوت، ومنها علوه ونغمته وحدته. ويمكنك استخدام هذه الخصائص وغيرها لتصنيف العديد من الأصوات التي تسمعها. فعلى سبيل المثال، تعد بعض أنماط الصوت من مميزات الكلام، في حين يعد غيرها من مميزات فرق النشيد. وستدرس في هذا الفصل المبادئ الفيزيائية للموجات الصوتية.

درست في الفصل السابق وصف الموجات بدلالة السرعة، والتردد، والطول الموجي، والسعة. كما استكشفت كيفية تفاعل الموجات بعضها مع بعض وتفاعلها مع المادة. ولأن الصوت أحد أنواع الموجات فإنه يمكنك وصف بعض خصائصه وتفاعلاته. والسؤال الذي تحتاج إلى إجابته أولاً هو: ما نوع موجة الصوت؟



الموجات الصوتية Sound Waves

ضع أصابعك على حنجرتك وأنت تتكلم أو تُنشد. هل تشعر بالاهتزازات؟ هل حاولت مرة وضع يدك على سماعة مسجل؟ يوضح الشكل 1-8 جرسًا يهتز، وهو يشبه أوتار ك الصوتية أو سماعة المسجل أو أي مصدر للصوت؛ فعندما يهتز الجرس إلى الخلف وإلى الأمام، تصدم حافة الجرس جزيئات الهواء، وتتحرك جزيئات الهواء إلى الأمام عندما تتحرك الحافة إلى الأمام؛ أي أن جزيئات الهواء ترتد عن الجرس بسرعة كبيرة. وعندما تتحرك الحافة إلى الخلف، ترتد جزيئات الهواء عن الجرس بسرعة أقل.

ويُنتج عن تغيرات سرعة اهتزاز الجرس ما يأتي: تُؤدي حركة الجرس إلى الأمام إلى تشكّل منطقة يكون ضغط الهواء فيها أكبر قليلاً من المتوسط، في حين تؤدي حركته إلى الخلف إلى تشكّل منطقة يكون ضغط الهواء فيها أقل قليلاً من المتوسط. وتؤدي التصادمات بين جزيئات الهواء إلى انتقال تغيرات الضغط بعيداً عن الجرس في الاتجاهات جميعها. وإذا ركّزت على بقعة واحدة فستشاهد ارتفاع ضغط الهواء وانخفاضه، بخلاف سلوك البندول. وبهذه الطريقة تنتقل تغيرات الضغط خلال المادة.

وصف الصوت يسمى انتقال تغيرات الضغط خلال مادة **موجة صوتية**. وتنتقل موجات الصوت خلال الهواء؛ لأن المصدر المهتز ينتج تغيرات أو اهتزازات منتظمة في ضغط الهواء. وتتصادم جزيئات الهواء، وتنقل تغيرات الضغط بعيداً عن مصدر الصوت. ويتذبذب ضغط الهواء حول متوسط الضغط، كما في الشكل 2-8. ويكون تردد الموجة هو عدد اهتزازات قيمة الضغط في الثانية الواحدة. أمّا الطول الموجي فيمثل المسافة بين مركزي ضغط مرتفع أو منخفض متتاليين. ويُعد الصوت موجة طولية؛ لأن جزيئات الهواء تهتز موازية لاتجاه انتشار الموجة.

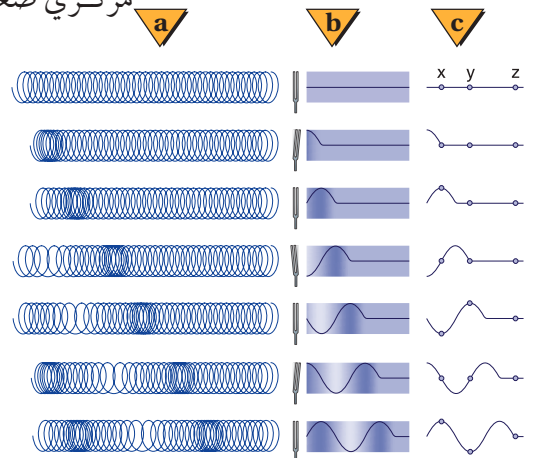
تعتمد سرعة الصوت في الهواء على درجة الحرارة؛ حيث تزداد سرعته في الهواء 0.6 m/s لكل زيادة في درجة حرارة الهواء مقدارها 1°C . فمثلاً، تتحرك موجات الصوت خلال هواء له درجة حرارة الغرفة، 20°C ، عند مستوى سطح البحر بسرعة 343 m/s . وينتقل الصوت خلال المواد الصلبة والموائع أيضاً. وتكون سرعة الصوت عموماً في المواد الصلبة أكبر منها في السائلة، وأكبر منها في الغازات. ويبين الجدول 1-8 سرعات موجات الصوت في أوساط متعددة. ولا ينتقل الصوت في الفراغ؛ وذلك لعدم وجود جزيئات تتصادم وتنقل الموجة.

الشكل 1-8 يكون الهواء حول

الجرس قبل قرعه ذا ضغط متوسط (a). وعند قرعه تحدث الحافة المهتزة مناطق ذات ضغط مرتفع، وأخرى ذات ضغط منخفض؛ حيث تمثل المساحات الداكنة مناطق الضغط المرتفع، وتمثل المساحات الفاتحة مناطق الضغط المنخفض (b). ويبين الرسم التخطيطي تحرك المناطق في اتجاه واحد للتبسيط، في حين أن الموجات تتحرك فعلياً من الجرس في الاتجاهات جميعها.

يُبين الشكل 2-8 نمذجة تضاعفات

وتخلخلات موجة صوت باستخدام نابض (a). يرتفع ضغط الهواء وينخفض مع انتشار الموجة الصوتية خلال الهواء (b). ويمكنك استعمال منحني الجيب وحده لتعبّر عن تغيرات الضغط. لاحظ أن المواضع X، Y، Z تبين أن الموجة هي التي تتحرك إلى الأمام وليست المادة (c).



الجدول 1-8	
سرعة الصوت في أوساط متعددة	
الموسط	m/s
الهواء (0 °C)	331
الهواء (20 °C)	343
الهيليوم (0 °C)	972
الماء (25 °C)	1493
ماء البحر (25 °C)	1533
النحاس (25 °C)	3560
الحديد (25 °C)	5130

تشارك الموجات الصوتية مع الموجات الأخرى في خصائصها العامة، مثل انعكاسها عن الأجسام الصلبة، كجدران غرفة مثلاً. وتُسمى موجات الصوت المنعكسة عند وصولها إلى مصدرها الصّدى. ويمكن استخدام الزمن الذي يحتاج إليه الصدى حتى يعود إلى مصدر الصوت في إيجاد المسافة بين مصدر الصوت والجسم الذي انعكس عنه. ويستخدم هذا المبدأ الخفافيش، وبعض الكاميرات، وبعض السفن التي تستخدم السونار. ومن الممكن أن تتداخل موجتان صوتيتان مما يؤدي إلى نشوء بقع تدعى البقع الميتة، ويكون موقعها عند العقد، حيث يكون الصوت عندها ضعيفاً جداً. ويرتبط تردد الموجة وطولها الموجي بسرعتها، كما درست في الفصل السابق، من خلال المعادلة الآتية: $\lambda = v / f$

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).
2. إذا وقفت عند طرف وإد وصرخت، وسمعت الصدى بعد مرور 0.80 s، فما عرض هذا الوادي؟
3. تنتقل موجة صوتية ترددها 2280 Hz وطولها الموجي 0.655 m، في وسط غير معروف. حدّد نوع الوسط.

الكشف عن موجات الضغط Detection of Pressure Waves

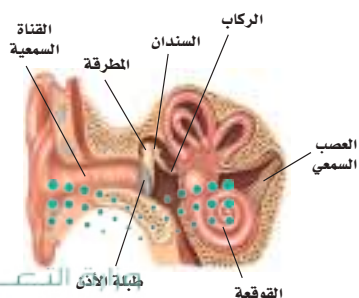
تحول كاشفات الصوت الطاقة الصوتية - الطاقة الحركية لجزيئات الهواء المهتزة - إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. ويُعد الميكروفون أحد الكاشفات الشائعة؛ حيث يحول طاقة الموجات الصوتية إلى طاقة كهربائية. ويتكوّن الميكروفون من قرص رقيق يهتز استجابة للموجات الصوتية، وينتج إشارة كهربائية. وستدرس عملية التحويل هذه في المقررات اللاحقة، خلال دراستك لموضوع الكهرباء والمغناطيسية.

الأذن البشرية تعد الأذن البشرية، كما في الشكل 3-8، كاشفاً يستقبل موجات الضغط، ويحوّلها إلى نبضات كهربائية؛ حيث تدخل الموجات الصوتية القناة السمعية، وتسبب اهتزازات لغشاء طبلة الأذن، ثم تنقل ثلاثة عظام دقيقة هذه الاهتزازات إلى سائل في القوقعة. وتلتقط شعيرات دقيقة تبطن القوقعة الحزونية ترددات معينة في السائل المتذبذب، فتُشّط هذه الشعيرات الخلايا العصبية، والتي ترسل بدورها نبضات - سيالات عصبية - إلى الدماغ، وتولد الإحساس بالصوت.

تستشعر الأذن الموجات الصوتية لمدى واسع من الترددات، وهي حساسة لمدى كبير جداً من السعات. كما يستطيع الإنسان التمييز بين أنواع مختلفة من الأصوات. لذا يتطلب فهم آلية عمل الأذن معرفة بالفيزياء والأحياء. ويعد تفسير الأصوات في الدماغ أمراً معقداً، وما زالت الأبحاث مستمرة لفهمه بصورة تامة.

الربط مع الأحياء

■ **الشكل 3-8** تُعد الأذن البشرية أداة إحساس معقدة؛ إذ تترجم اهتزازات الصوت إلى سيالات عصبية ترسل إلى الدماغ لتفسيرها. وهناك ثلاثة عظام في الأذن الوسطى، هي: المطرقة، والسندان، والركاب.



إدراك (تمييز) الصوت Perceiving Sound

حدة الصوت كان مارن ميرسن وجاليليو أول من توصلوا إلى أن **حدة الصوت** الذي نسمعه تعتمد على تردد الاهتزاز. ولا تكون الأذن حساسة بالتساوي للترددات جميعها؛ فأغلب الأشخاص لا يستطيعون سماع أصوات تردداتها أقل من 20 Hz أو أكبر من 20,000 Hz. ويكون إحساس الأشخاص الأكبر سنًا بالترددات الأكبر من 10000 Hz أقل مقارنة بالأشخاص الأصغر سنًا. ولا يتمكن أغلب الناس عند عمر 70 سنة تقريبًا، من سماع أصوات تردداتها أكبر من 8000 Hz، مما يؤثر في قدرتهم على فهم الحديث.

علو الصوت التردد والطول الموجي خاصيتان فيزيائيتان للموجات الصوتية. ومن الخصائص الأخرى لموجات الصوت السعة؛ وهي مقياس لتغير الضغط في الموجة. وتعد الأذن البشرية كاشفًا للصوت، وتنقله إلى الدماغ ليتم تفسيره هناك. ويعتمد **علو الصوت** - عند إدراكه بحاسة السمع - على سعة موجة الضغط في المقام الأول.

إن الأذن البشرية حساسة جدًا لتغيرات الضغط في الموجات الصوتية، والتي تمثل سعة الموجة. فإذا علمت أن 1 atm من الضغط يساوي 1.01×10^5 Pa، فإن الأذن تستطيع تحسّس سعات موجات ضغط قيمها أقل من واحد من المليار من الضغط الجوي، أو 2×10^{-5} Pa. أما الحد الأقصى للمدى المسموع فإن تغيرات الضغط المقاربة لـ 20 Pa أو أكثر تسبب الألم للأذن. ومن المهم تذكر أن الأذن تتحسّس تغيرات الضغط عند ترددات معينة فقط. فالصعود إلى الجبل يغير الضغط على أذنيك بمقدار الآلاف من الباسكال، ولكن هذا التغير لا يعد ذا أهمية أو تأثير في الترددات المسموعة.

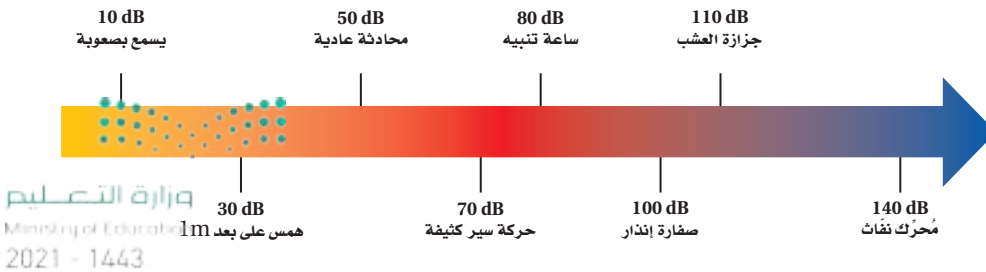
ولأن البشر يستطيعون تحسّس مدى واسع من تغيرات الضغط فإن هذه السعات تُقاس على مقياس لوغاريتمي يُسمّى **مستوى الصوت**، ووحدة قياسه هي **الديسبل** (dB). حيث يعتمد مستوى الصوت على نسبة تغير الضغط لموجة صوتية معينة إلى تغير الضغط في أضعف الأصوات المسموعة، ويساوي 2×10^{-5} Pa. ومثل هذه السعة لها مستوى صوت يعادل 0 dB. ويكون مستوى الصوت الذي سعة ضغطه أكبر عشر مرات من 2×10^{-4} Pa مساويًا لـ 20 dB، ومستوى صوت سعة ضغطه أكبر عشر مرات من ذلك هو 40 dB. ويدرك أغلب الأشخاص زيادة بمقدار 10 dB في مستوى الصوت وكأنها مضاعفة لعلو الصوت الأصلي بمقدار مرتين. ويبين الشكل 4-8 مستوى الصوت للعديد من الأصوات. وبالإضافة إلى وصفها تغيرات الضغط، تستعمل مقاييس الديسبل أيضًا لوصف قدرة موجات الصوت وشدها.

إن التعرض للأصوات الصاخبة يسبب فقدان الأذن لحساسيتها، وخصوصًا للترددات العالية. وكلما تعرض الشخص للأصوات الصاخبة فترة أطول كان التأثير أكبر. ويستطيع

تجربة
عملية

ما الديسبل؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين



الشكل 4-8 يبين مقياس الديسبل

هذا مستويات الصوت لبعض الأصوات

المألوفة.



■ الشكل 5-8 قد يؤدي التعرض

المستمر للأصوات الصاخبة إلى ضعف في السمع أو فقدانه تمامًا. وعلى العاملين في بعض المهن مثل مراقب الطيران استعمال أداة لحماية السمع.

الشخص التخلص من أثر التعرض لفترة قصيرة للصوت الصاخب خلال ساعات معدودة، ولكن يمكن أن يستمر أثر التعرض لفترة طويلة إلى أيام أو أسابيع. ويؤدي التعرض الطويل إلى مستوى صوت 100 dB أو أكبر من ذلك إلى ضرر دائم.

وقد ينتج ضعف السمع عن الأصوات الصاخبة في سماعات الرأس الموصولة بالراديو أو مشغلات الأقراص المدججة. وفي بعض الحالات يغفل المستمعون عن مستويات الصوت المرتفعة. وللتقليل من الأضرار الناجمة عن الأصوات الصاخبة تم استعمال سدّادات الأذن القطنية التي تُخفّض مستوى الصوت بمقدار 10 dB فقط. وقد تحتزل بعض الملحقات الخاصة بالأذن 25 dB. فيما تُخفّض سدّادات الأذن والملحقات الأخرى المصمّمة بصورة محدّدة، كما يبين الشكل 5-8 مستوى الصوت بمقدار 45 dB.

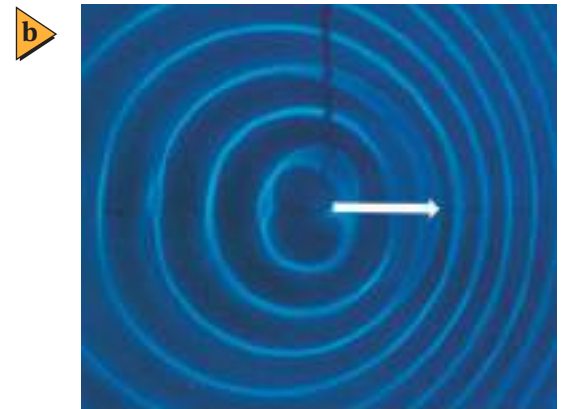
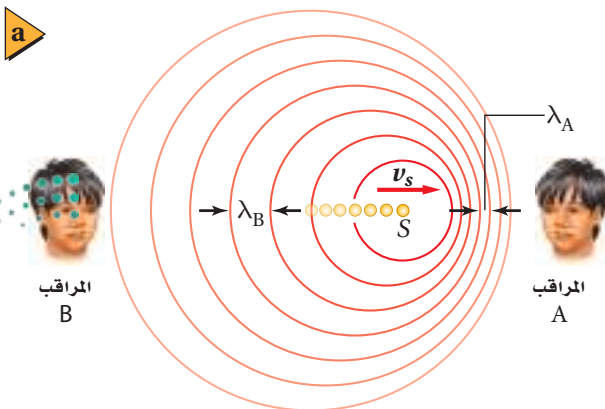
لا يتناسب علو الصوت طرديًا مع تغيرات الضغط في موجات الصوت عند إحساسه بالأذن البشرية؛ حيث تعتمد حساسية الأذن على كلّ من حدّة الصوت وسعته. كما أن إدراك الأصوات النقية بالأذن يختلف عن إدراك الأصوات المختلطة.

تأثير دوبلر The Doppler Effect

هل لاحظت أن حدّة صوت سيارة الإسعاف أو الإطفاء أو صفارة الشرطة تتغير مع مرور المركبة بجانبك؟ تكون حدّة الصوت أعلى عندما تتحرك المركبة في اتجاهك، ثم تتناقص حدّة الصوت لتصبح أقل عندما تتحرك المركبة مبتعدةً عنك. ويُسمى انزياح أو تغيير التردد **تأثير دوبلر**، كما هو موضح في الشكل 6-8. حيث يتحرك مصدر الصوت S إلى اليمين بسرعة v_s ، وتنتشر الموجات المنبعثة من المصدر في دوائر مركزها المصدر، في الوقت الذي تنتج فيه هذه الموجات. ومع تحرك المصدر في اتجاه كاشف الصوت، الذي هو المراقب A في الشكل 6a-8، فإن العديد من الموجات تتقارب في المنطقة بين المصدر والمراقب، لذا يقل الطول الموجي ويصبح λ_A . ولأن سرعة الصوت ثابتة في الوسط الواحد فإن قِمَمًا أكثر تصل أذن المراقب في كل ثانية، مما يعني أن تردد الصوت عند المراقب A قد ازداد. في حين يزداد الطول الموجي عند تحرك المصدر بعيدًا عن الكاشف، وهو المراقب B في الشكل 6a-8، ويصبح λ_B ، ويقل تردد الصوت عند المراقب B . ويبين الشكل 6b-8 تأثير دوبلر لمصدر صوتي متحرك في موجات الماء داخل حوض الموجات. ويحدث تأثير دوبلر أيضًا إذا كان الكاشف متحركًا والمصدر ثابتًا، إذ ينتج تأثير دوبلر في هذه الحالة عن السرعة المتجهة النسبية لموجات الصوت والمراقب. فمع اقتراب المراقب من المصدر الثابت تصبح السرعة المتجهة النسبية أكبر، مما يؤدي إلى زيادة في قِمَم الموجات

■ الشكل 6-8 يقل الطول الموجي مع

تحرك مصدر الصوت في اتجاه المراقب A ، ويصبح λ_A ؛ ويزداد الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت بعيدًا عن المراقب B ، ويصبح λ_B (a). وتوضح حركة مصدر الموجات الصوتية تأثير دوبلر في حوض الموجات (b).



التي تصل إليه في كل ثانية. ومع ابتعاد المراقب عن المصدر تقل السرعة المتجهة النسبية، مما يؤدي إلى نقصان في قيم الموجات التي تصل إليه في كل ثانية. يمكن حساب التردد الذي يسمعه المراقب إذا كان المصدر وحده متحركاً، أو المراقب وحده متحركاً، أو كان كلاهما متحركين، وذلك باستخدام المعادلة الآتية:

$$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right) \quad \text{تأثير دوبلر}$$

التردد الذي يدركه مراقب يساوي السرعة المتجهة للمراقب بالنسبة إلى السرعة المتجهة للموجة، مقسوماً على السرعة المتجهة للمصدر بالنسبة إلى السرعة المتجهة للموجة، وكله مضروب في تردد الموجة.

تمثل v في معادلة تأثير دوبلر السرعة المتجهة لموجة الصوت، و v_d السرعة المتجهة للمراقب، و v_s السرعة المتجهة لمصدر الصوت، و f_s تردد الموجة المنبعثة من المصدر، و f_d التردد الذي يستقبله المراقب. وتطبق هذه المعادلة عند حركة المصدر، أو حركة المراقب، أو عند حركة كليهما. عند حل المسائل باستخدام المعادلة السابقة، تأكد من تعريف نظام الإحداثيات، بحيث يكون الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب. وتصل الموجات الصوتية إلى المراقب من المصدر، لذا تكون السرعة المتجهة للصوت موجبة دائماً. حاول رسم مخططات للتحقق من أن المقدار $(v - v_d) / (v - v_s)$ يعطي نتائج كما تتوقع، اعتماداً على ما تعلمته حول تأثير دوبلر. ولاحظ أنه بالنسبة إلى مصدر يتحرك في اتجاه المراقب (الاتجاه الموجب، الذي ينتج مقام أصغر مقارنة بالمصدر الثابت)، ولمراقب يتحرك في اتجاه المصدر (الاتجاه السالب، الذي ينتج زيادة البسط مقارنة بمراقب ثابت) فإن التردد الذي يستقبله المراقب f_d يزداد. وبالمثل إذا تحرك المصدر بعيداً عن المراقب، أو إذا تحرك المراقب بعيداً عن المصدر فإن f_d تقل. اقرأ الرياضيات في الفيزياء أدناه لترى كيف تُختصر معادلة تأثير دوبلر عندما يكون المصدر أو المراقب ثابتاً.

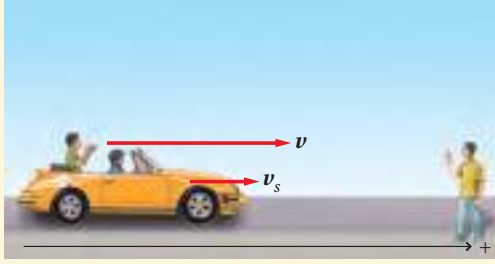
الرياضيات في الفيزياء

اختصار المعادلات عندما يساوي عنصر ما صفراً في معادلة معقدة فإن المعادلة قد تُختصر في صورة أكثر سهولة للاستخدام.

مراقب ثابت، المصدر متحرك: $v_s = 0$	مراقب ثابت، المصدر متحرك: $v_d = 0$
$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$ $= f_s \left(\frac{v - v_d}{v} \right)$ $= f_s \left(\frac{\frac{v}{v} - \frac{v_d}{v}}{\frac{v}{v}} \right)$ $= f_s \left(\frac{1 - \frac{v_d}{v}}{1} \right)$ $= f_s \left(1 - \frac{v_d}{v} \right)$	$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$ $= f_s \left(\frac{v}{v - v_s} \right)$ $= f_s \left(\frac{\frac{v}{v}}{\frac{v}{v} - \frac{v_s}{v}} \right)$ $= f_s \left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \right)$

مثال 1

تأثير دوبلر يركب شخص سيارة تسير في اتجاهك بسرعة 24.6 m/s ، ويصدر صوتاً تردده 524 Hz . ما التردد الذي ستسمعه، مع افتراض أن درجة الحرارة تساوي 20°C ؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثل الحالة.
- أسس محاور إحداثيات، وتحقق أن الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب.
- بين السرعة المتجهة لكل من المصدر والمراقب.

المجهول

المعلوم

$$f_d = ? \quad v = +343 \text{ m/s}, v_s = +24.6 \text{ m/s}$$

$$v_d = 0 \text{ m/s}, f_s = 524 \text{ Hz}$$

دليل الرياضيات

الكسور 280

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$$

استخدم المعادلة الآتية، وعوّض القيمة $v_d = 0 \text{ m/s}$:

$$f_d = f_s \left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \right)$$

$$= 524 \text{ Hz} \left(\frac{1}{1 - \frac{24.6 \text{ m/s}}{343 \text{ m/s}}} \right)$$

$$= 564 \text{ Hz}$$

عوّض مستخدماً $f_s = 524 \text{ Hz}$ ، $v = 343 \text{ m/s}$ ، $v_s = +24.6 \text{ m/s}$

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ يقاس التردد بوحدة الهرتز.
- هل الجواب منطقي؟ يتحرك المصدر في اتجاهك، لذا يجب أن يزداد التردد.

مسائل تدريبية

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؟ علماً بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s .
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؟ علماً بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s .
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؟ علماً بأن سرعة الصوت في الماء 1482 m/s .
7. يرسل مصدر صوت موجات بتردد 262 Hz . ما السرعة التي يجب أن يتحرك بها المصدر لتزيد حدة الصوت إلى 271 Hz ؟ علماً بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s .



■ الشكل 7-8 تستخدم الخفافيش
تأثير دوبلر لتعيين موقع الفريسة،
بعملية تسمى تحديد الموقع باستخدام
الصدى.

يحدث تأثير دوبلر في كل حركة موجية، في الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية. وله تطبيقات عدة؛ فمثلاً تستخدم كواشف الرادار تأثير دوبلر لقياس سرعة كرات البيسبول والمركبات. ويراقب علماء الفلك الضوء المنبعث من المجرات البعيدة، ويستخدمون تأثير دوبلر لقياس سرعاتها، ويستنتجون بعدها عن الأرض. كما يُستخدم في الطب لقياس سرعة حركة جدار قلب الجنين بجهاز الموجات فوق الصوتية. وتستخدم الخفافيش تأثير دوبلر في الكشف عن الحشرات الطائرة وافتراسها؛ فعندما تطير الحشرة بسرعة أكبر من سرعة الخفافيش يكون تردد الموجة المنعكسة عنها أقل. أما عندما يلحق الخفافيش بالحشرة ويقترّب منها فيكون تردد الموجة المنعكسة أكبر، كما هو موضح في الشكل 7-8. ولا تستخدم الخفافيش الموجات الصوتية فقط لتحديد موقع الفريسة والطيّان، ولكن تستخدمها أيضاً لاكتشاف وجود خفافيش أخرى. وهذا يعني أنها تميز الأمواج الخاصة التي ترسلها وانعكاساتها عن مجموعة كبيرة من الأصوات والترددات الموجودة. ويستمر العلماء في دراسة الخفافيش وقدرتها المدهشة على استخدام الموجات.

الرابط مع الأحياء

8-1 مراجعة

12. **الكشف المبكر** كان الناس في القرن التاسع عشر يضعون آذانهم على مسار سكة الحديد ليترقّبوا وصول القطار. لماذا تُعد هذه الطريقة نافعة؟

13. **الخفافيش** يرسل الخفافيش نبضات صوت قصيرة بتردد عالٍ ويستقبل الصدى. ما الطريقة التي يميز بها الخفافيش بين:

a. الصدى المرتد عن الحشرات الكبيرة والصدى المرتد عن الحشرات الصغيرة إذا كانت على البعد نفسه منه؟

b. الصدى المرتد عن حشرة طائرة مقترّبة منه والصدى المرتد عن حشرة طائرة مبتعدة عنه؟

14. **التفكير الناقد** هل يستطيع شرطي يقف على جانب الطريق استخدام الرادار لتحديد سرعة سيارة في اللحظة التي تمر فيها أمامه؟ وضح ذلك.

8. **رسم بياني** تتحرك طبلة الأذن إلى الخلف وإلى الأمام استجابة لتغيرات ضغط موجات الصوت. مثل بياناً 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.

10. **خصائص الصوت** ما الخصيصة الفيزيائية التي يجب تغييرها لموجة صوت حتى تتغير حدة الصوت؟ وما الخصيصة التي يجب تغييرها حتى يتغير علو الصوت؟

11. **مقياس الديسبل** ما نسبة مستوى ضغط صوت جزازة العشب (110 dB) إلى مستوى ضغط صوت محادثة عادية (50 dB)؟



8-2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار Resonance in Air Columns and Strings

الأهداف

- تصف مصدر الصوت.
- توضّح مفهوم الرنين، وتطبيقاته على أعمدة الهواء والأوتار.
- تفسّر سبب وجود الاختلافات في صوت الآلات وفي أصوات الناس.

المفردات

- أنبوب الرنين المغلق
- أنبوب الرنين المفتوح
- التردد الأساسي (النغمة الأساسية)
- الإيقاع

درس العالم الألماني هيرمن هلمهولتز في منتصف القرن التاسع عشر أصوات الناس، ثم طوّر علماء ومهندسون في القرن العشرين أداة إلكترونية لا تكتفي بدراسة مفصلة للصوت، بل بإنشاء آلات إلكترونية لإنتاج الأصوات أيضًا، بالإضافة إلى آلات تسجيل تسمح لنا بسماع القرآن والخطب والقصائد وتسجيلات متعددة في أي مكان وأي زمان نريده.

مصادر الصوت Sources of Sound

ينتج الصوت عن اهتزاز الأجسام؛ إذ تؤدي اهتزازات الجسم إلى تحريك الجزيئات التي تتسبب في إحداث تذبذب في ضغط الهواء. فمثلاً يحتوي مكبر الصوت على مخروط مصمّم ليهتز بواسطة التيارات الكهربائية، ويولّد سطح المخروط الموجات الصوتية التي تنتقل إلى أذنك، مما يسمح لك بسماع القرآن أو الأذان. وتعدّ الصنوج والدفوف والطبول أمثلة على السطوح المهتزة، وتعدّ جميعها مصادر للصوت.

ينتج الصوت البشري عن اهتزاز الأوتار الصوتية، وهي عبارة عن زوج من الأغشية في الحنجرة، حيث يندفع الهواء من الرئتين ماراً عبر الحنجرة، فتبدأ الأوتار الصوتية في الاهتزاز. ويتم التحكم في تردد الاهتزاز بعضلات الشد الموجودة على الأوتار الصوتية.

أما الآلات الوترية فإن الأسلاك أو الأوتار هي التي تهتز؛ إذ يُنتج ضرب الأوتار أو سحبها أو احتكاكها بقوس الوتر، اهتزاز الأوتار. وتتصل الأوتار عادة بلوحة صوتية تهتز مع الأوتار. وتؤدي اهتزازات اللوحة الصوتية إلى إحداث ذبذبات في قيمة ضغط الهواء الذي نشعر به بوصفه صوتاً.

الرنين في الأعمدة (الأنابيب) الهوائية

Resonance in Air Columns

عند وضع شوكة رنانة فوق عمود هواء يهتز الهواء داخل الأنبوب بالتردد نفسه، أو برنين يتوافق مع اهتزاز معين للشوكة الرنانة. تذكّر أن الرنين يزيد من سعة الاهتزاز من خلال تكرار تطبيق قوة خارجية صغيرة بالتردد الطبيعي نفسه. ويحدد طول عمود الهواء ترددات الهواء المهتز التي ستكون في حالة رنين، في حين يؤدي تغيير طول عمود الهواء إلى تغيير حدة صوت الآلة. ويعمل عمود الهواء في حالة الرنين على تضخيم مجموعة محدّدة من الترددات لتضخيم نغمة منفردة، وتحويل الأصوات العشوائية إلى أصوات منتظمة.



وتحدث الشوكة الرنانة فوق أنبوب مجوف رنيناً في عمود الهواء، كما يبين الشكل 8-8، إذا تم وضع الأنبوب في الماء، بحيث تصبح إحدى نهايتي الأنبوب أسفل سطح الماء، حيث يتكون أنبوب مغلق - بالنسبة إلى الهواء - يكون في حالة رنين ويسمى هذا الأنبوب **أنبوب الرنين المغلق**. ويتم تغيير طول عمود الهواء بتعديل ارتفاع الأنبوب فوق سطح الماء. فإذا ضربت الشوكة الرنانة بمطرقة مطاطية، وتم تغيير طول عمود الهواء بتحريك الأنبوب إلى أعلى أو إلى أسفل في الماء فإن الصوت يصبح أعلى أو أخفض على التناوب. ويكون الصوت عاليًا عندما يكون عمود الهواء في وضع رنين مع الشوكة الرنانة. وعندما يكون عمود الهواء في حالة رنين فإنه يؤدي إلى تقوية صوت الشوكة الرنانة.

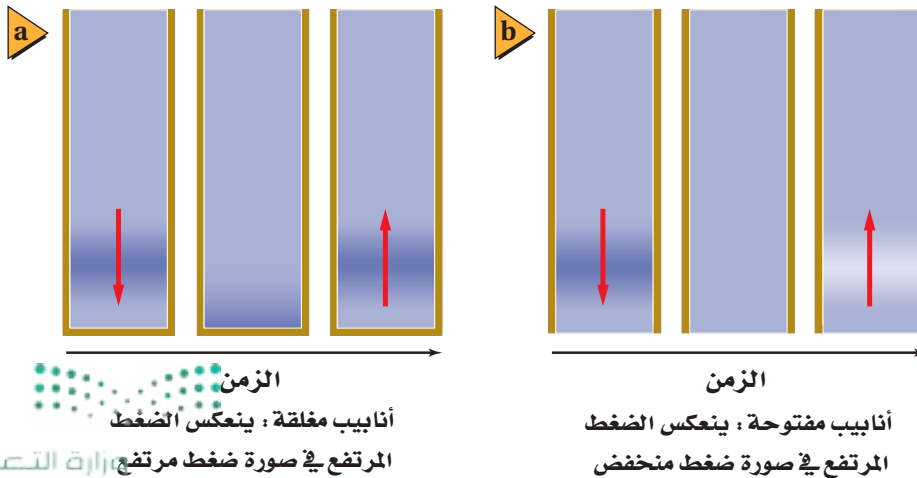


موجة الضغط (الطولية) الموقوفة (المستقرة) كيف يحدث الرنين؟ تولد الشوكة الرنانة موجات صوتية، تتكون من تذبذبات مرتفعة ومنخفضة الضغط، وتتحرك هذه الموجات إلى أسفل عمود الهواء. وعندما تصطدم هذه الموجات بسطح الماء تنعكس مرتدة إلى الشوكة الرنانة، كما في الشكل 8-9a. فإذا وصلت موجة الضغط المرتفع المنعكسة إلى الشوكة الرنانة في اللحظة نفسها التي تنتج فيها الشوكة الرنانة موجة ضغط مرتفع أخرى فعندها تقوي الموجة الصادرة عن الشوكة والموجة المنعكسة إحداهما الأخرى. وهذه التقوية أو التعزيز للموجات يولد موجة مستقرة، ويحدث الرنين.

■ الشكل 8-8 يغير رفع الأنبوب أو إنزاله، طول عمود الهواء، ويكون الصوت عاليًا عند حدوث رنين بين عمود الهواء والشوكة الرنانة.

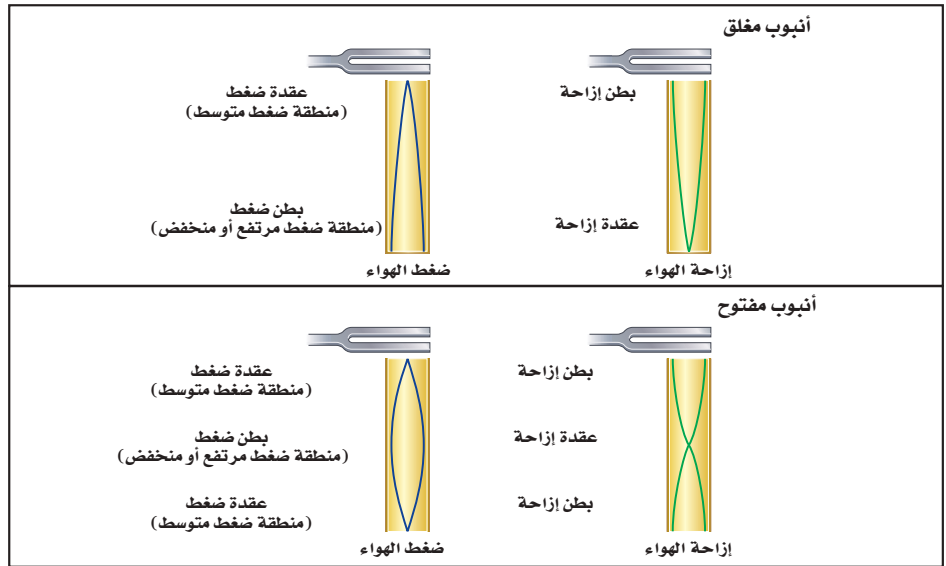
أما الأنبوب المفتوح فهو أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مفتوح ويسمى هذا الأنبوب **أنبوب الرنين المفتوح**. ويكون ضغط الموجة المنعكسة مقلوبًا. فعلى سبيل المثال، إذا وصلت موجة ضغط مرتفع إلى الطرف المفتوح فسوف ترتد موجة ضغط منخفض، كما يبين الشكل 8-9b.

طول عمود هواء الرنين يمكن تمثيل موجة صوتية موقوفة في أنبوب بموجة جيئية، كما يوضح الشكل 8-10. كما يمكن أن تمثل الموجات الجيئية إما تغيرات ضغط الهواء أو إزاحة جزيئاته. ولأن للموجات المستقرة عقدًا وبطنًا، لذا فإنه عند التمثيل البياني لتغير الضغط تكون العقد هي مناطق الضغط الجوي المتوسط، أما مناطق البطن فيتذبذب



■ الشكل 8-9 يمثّل الأنبوب الموضوع في ماء أنبوبًا مغلقًا. وتنعكس موجات الضغط المرتفع في الأنابيب المغلقة موجات ضغط مرتفع (a). أما في الأنابيب المفتوحة فتكون الموجات المنعكسة مقلوبة (b).

الشكل 10-8 تمثل موجات الجيب
الموجات المستقرة في الأنابيب.



الرنين في الأعمدة الهوائية



تحتاج في هذه التجربة إلى: شوكة رنانة، ومطرقة خاصة، وأنبوب مغلق.

1. اطرق الشوكة الرنانة ثم قربها من فوهة الأنبوب.

2. غير طول العمود الهوائي عن طريق تغيير عمق الماء فيه. وقرب الشوكة الرنانة بعد طرّفها من فوهة الأنبوب.

3. أعد الخطوة السابقة، واستمر في زيادة طول عمود الهواء أكثر من الحالة الأولى.

التحليل والاستنتاج

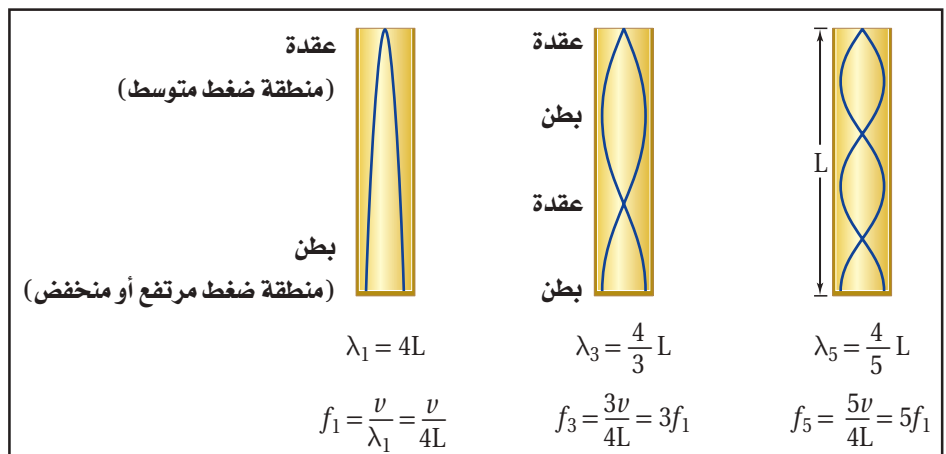
4. لاحظ ماذا لاحظت بعد تنفيذ الخطوة 2 والخطوة 3؟

5. استنتج متى يحدث الرنين؟

الضغط عندها بين قيمتيه العظمى والصغرى. وفي حالة رسم الإزاحة تكون البطون هي مناطق الإزاحة الكبيرة، وتكون العقد هي مناطق الإزاحة القليلة. وفي كلتا الحالتين تكون المسافة بين بطنين أو بين عقدتين متتاليتين مساوية لنصف الطول الموجي.

ترددات الرنين في أنبوب مغلق إن طول أقصر عمود هواء له بطن ضغط عند الطرف المغلق وعقدة ضغط عند الطرف المفتوح يكون مساوياً لربع الطول الموجي، كما بين الشكل 11-8. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال أعمدة هواء رنين إضافية عند فترات مساوية لنصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة التي أطوالها $\lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4, 7\lambda/4, \dots$ وهكذا، في حالة رنين مع الشوكة الرنانة.

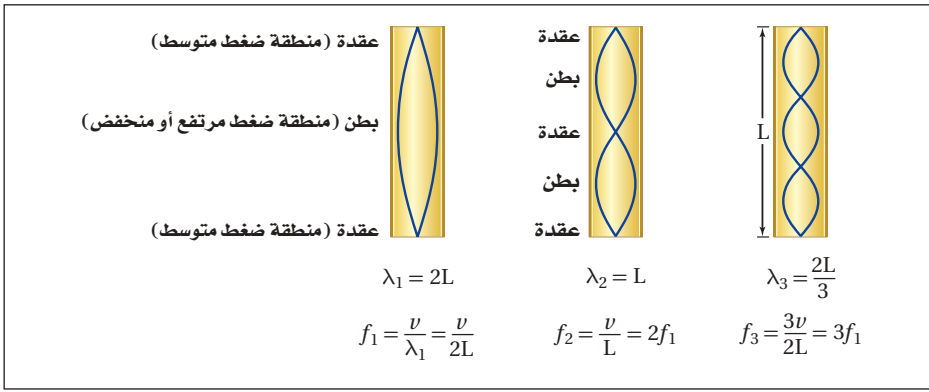
يكون طول عمود هواء الرنين الأول عملياً أطول قليلاً من ربع الطول الموجي؛ وذلك لأن تغيرات الضغط لا تنخفض إلى الصفر تماماً عند الطرف المفتوح من الأنبوب. وتكون العقدة فعلياً أبعد عن الطرف بمقدار 0.4 قطر الأنبوب. وتفصل بين أطوال أعمدة هواء الرنين الإضافية مسافات مقدارها نصف الطول الموجي. ويستخدم قياس هذه المسافة بين كل رنينين في إيجاد سرعة الصوت في الهواء، كما بين المثال 2.



الشكل 11-8 يكون الأنبوب المغلق في حالة رنين عندما يكون طوله عدداً فردياً

من مضاعفات ربع الطول الموجي.

■ الشكل 12-8 يكون الأنبوب المفتوح في حالة رنين عندما يكون طوله عددًا زوجيًا من مضاعفات ربع الطول الموجي.



تجربة عملية

ما مقدار سرعة الصوت؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين

ترددات الرنين في أنبوب مفتوح يكون طول أقصر عمود هواء يحتوي على عقدة عند كل من طرفيه مساويًا لنصف الطول الموجي، كما يبين الشكل 12-8. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال رنين إضافية عند فترات نصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة في حالة الرنين مع الشبكة الرنانة بأطوال $\lambda/2, \lambda, 3\lambda/2, 2\lambda, \dots$ وهكذا.

إذا استعملت أنبوبين مفتوحًا ومغلقًا على أنهما أنبوبان في حالة رنين فإن الطول الموجي لصوت الرنين في الأنبوب المفتوح يكون نصف الطول الموجي الذي للأنبوب المغلق. لذا يكون التردد في الأنبوب المفتوح ضعف التردد الذي في الأنبوب المغلق. وتكون أطوال أعمدة هواء الرنين لكلا الأنبوبين مفصولة بفترات مقدارها نصف الطول الموجي.

سماع الرنين يؤدي الرنين إلى زيادة علو ترددات مخصصة. فإذا صرخت داخل نفق طويل فإن الصوت الذي يدوي وتسمعه يكون بسبب النفق بوصفه أنبوبًا في حالة رنين. كما تعمل الصدفة في الشكل 13-8 عمل أنبوب مغلق في حالة رنين.

تطبيق الفيزياء

السمع والتردد

تعمل القناة السمعية البشرية كأنها أنبوب مغلق في حالة رنين، يؤدي إلى زيادة حساسية الأذن للترددات بين 2000 و 5000 Hz، في حين يمتد المدى الكامل لترددات الصوت التي يسمعها البشر من 20 إلى 20000 Hz. ويمتد سمع الكلب لترددات مرتفعة تصل إلى 45000 Hz، أما القط فيمتد السمع لديه إلى ترددات تصل إلى 100000 Hz.

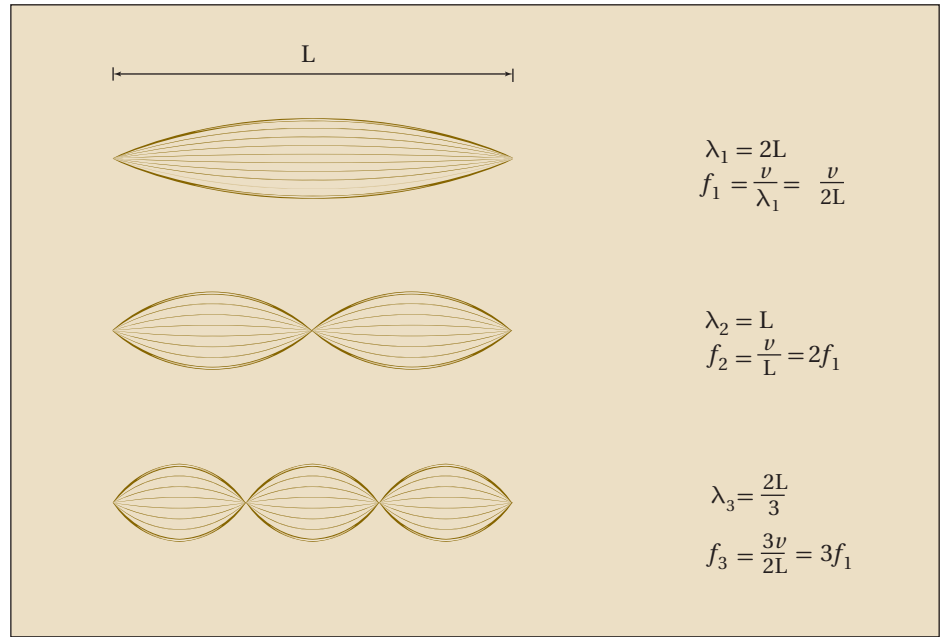
■ الشكل 13-8 تعمل الصدفة عمل

أنبوب مغلق في حالة رنين، يضحّم ترددات معينة من الأصوات المحيطة

الرنين في الأوتار Resonance on Strings

تختلف أشكال الموجة في الأوتار المهتزة اعتمادًا على طريقة توليدها. ومن ذلك النقر أو الشد أو الضرب، إلا أن لها خصائص عديدة مشتركة مع الموجات المستقرة في النوابط والحبال، كما درست في الفصل السابق. ويكون الوتر في آلة ما مشدودًا من الطرفين، لذا فإنه عندما يهتز يكون له عقدة عند كل طرف من طرفيه. وتستطيع أن ترى في الشكل 14-8 أن النمط الأول للاهتزاز له بطن عند المنتصف، وطوله يساوي نصف الطول الموجي. ويحدث الرنين التالي عندما يكون طول الوتر مطابقًا لطول موجي واحد. وتظهر موجات مستقرة إضافية عندما يكون طول الوتر $2\lambda, 3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots$ وهكذا. وكما هو الحال للأنبوب المفتوح فإن ترددات الرنين تساوي مضاعفات أقل تردد.





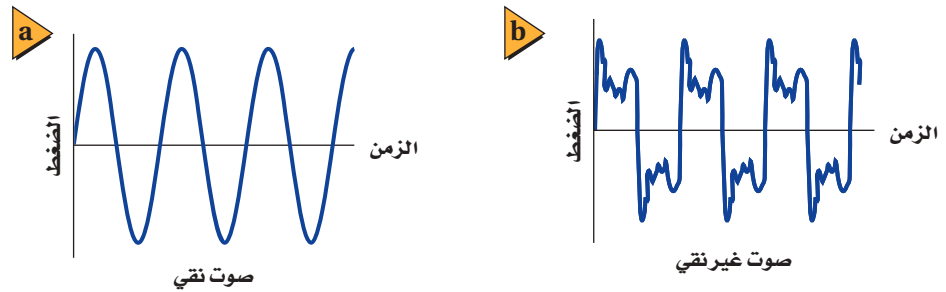
■ الشكل 14-8 وتر في حالة رنين مع موجات موقوفة عندما يكون طوله مساوياً لمضاعفات نصف الطول الموجي.

وتعتمد سرعة الموجة في الوتر على قوة الشد فيه، وعلى كتلة وحدة طوله. لذا فإن الآلة الوترية تُضبط بتغيير شد أو تارها. فكلما كان الوتر مشدوداً أكثر كانت سرعة حركة الموجة أكبر، لذا تزداد قيمة تردد موجاته المستقرة.

جودة الصوت Sound Quality

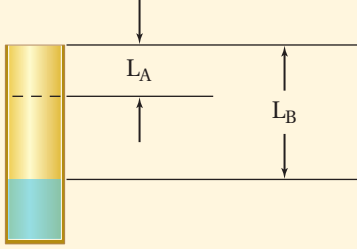
تولّد الشوكة الرنانة صوتاً معتدلاً غير مرغوب فيه؛ لأن أطرافها تهتز بحركة توافقية بسيطة، وتنتج موجة جيبية بسيطة، كما يبين الشكل 15a-8. أما الأصوات البشرية فهي أكثر تعقيداً، ومنها الموجة المبينة في الشكل 15b-8. وقد يكون لكلتا الموجتين التردد نفسه، أو الحدة نفسها، ولكن الصوتين مختلفان جداً. تولّد الموجة المعقدة باستخدام مبدأ التراكب لجمع موجات ذات ترددات مختلفة؛ إذ يعتمد شكل الموجة على السعات النسبية لهذه الترددات. ويُسمى الفرق بين الموجتين طابع الصوت، أو لون النغمة، أو جودتها.

■ الشكل 15-8 رسم بياني لصوت نقي مقابل الزمن (a). ورسم بياني لموجات صوتية غير نقية (معقدة) مقابل الزمن (b).



مثال 2

إيجاد سرعة الصوت باستخدام الرنين عند استخدام شوكة رنانة بتردد 392 Hz مع أنبوب مغلق، سُمع أعلى صوت عندما كان طول عمود الهواء 21.0 cm و 65.3 cm. ما سرعة الصوت في هذه الحالة؟ وهل درجة الحرارة في الأنبوب أكبر أم أقل من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة، وهي 20° C؟ وضح إجابتك.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الأنبوب المغلق.
- عيّن طولي عمود الهواء لحالتي الرنين.

المجهول

المعلوم

$$v = ?$$

$$f = 392 \text{ Hz}$$

$$L_A = 21.0 \text{ cm}$$

$$L_B = 65.3 \text{ cm}$$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 287

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل لإيجاد طول الموجة باستخدام علاقة: الطول - الطول الموجي للأنبوب المغلق.

$$L_B - L_A = \frac{1}{2}\lambda$$

$$\lambda = 2(L_B - L_A)$$

$$= 2(0.653 \text{ m} - 0.210 \text{ m})$$

$$= 0.886 \text{ m}$$

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

$$v = f\lambda$$

$$= (392 \text{ Hz})(0.886 \text{ m})$$

$$= 347 \text{ m/s}$$

السرعة أكبر قليلاً من سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20° C، مما يشير إلى أن درجة الحرارة أعلى قليلاً من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة.

3 تقويم الجواب

- هل الوحدات صحيحة؟ وحدات الجواب صحيحة $(\frac{1}{s})(m) = m/s$.
- هل الجواب منطقي؟ السرعة أكبر قليلاً من 343 m/s، التي هي سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20° C.

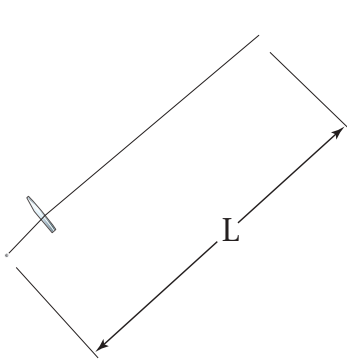


15. إذا وضعت شوكة رنانة تهتز بتردد 440 Hz فوق أنبوب مغلق، فأوجد الفواصل بين أوضاع الرنين عندما تكون درجة حرارة الهواء 20°C .
16. استخدمت شوكة رنانة تهتز بتردد 440 Hz مع عمود رنين لتحديد سرعة الصوت في غاز الهيليوم. فإذا كانت الفواصل بين أوضاع الرنين 110 cm، فما سرعة الصوت في غاز الهيليوم؟
17. استخدم طالب عمود هواء عند درجة حرارة 27°C ، ووجد فواصل بين أوضاع الرنين بمقدار 20.2 cm. ما تردد الشوكة الرنانة؟ استخدم سرعة الصوت في الهواء المحسوبة في المثال 2 عند درجة الحرارة 27°C .

طيف الصوت: التردد الأساسي (النغمة الأساسية) والإيقاعات إن موجة الصوت المعقدة في الشكل 15b-8 ناتجة عن عمود هواء مغلق. ارجع إلى الشكل 11-8 الذي يبين ثلاثة ترددات رنين لأنبوب مغلق؛ حيث يكون أقل تردد رنين f_1 ، يحدث في أنبوب مغلق طوله L مساوياً $v/4L$. ويسمى هذا التردد الأقل **التردد الأساسي** (النغمة الأساسية). ويكون الأنبوب المغلق في وضع رنين عند ترددات $f_1, 3f_1, 5f_1, \dots$ وهكذا. وتُسمى هذه الترددات المرتفعة - وهي مضاعفات فردية من التردد الأساسي - **الإيقاعات**. وإضافة هذه الإيقاعات معاً هو الذي يُعطي الصوت طابعاً مميزاً.

أما التردد الأساسي - وهو الإيقاع الأول أيضاً - لأنبوب مفتوح في حالة رنين فيكون مساوياً $f_1 = v/2L$ مع إيقاعات لاحقة عند $f_1, 2f_1, 3f_1, 4f_1, \dots$ وهكذا. وتعطي التركيبات والسعات المختلفة لهذه الإيقاعات كل صوت أو آلة وترية طابعها المميز. ويسمى الرسم البياني لسعة الموجة مقابل ترددها طيف الصوت.





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 و L وسرعة الصوت في الهواء v . استخدم معادلة سرعة الموجة في وتر $(u = \sqrt{F_T/\mu})$ ؛ حيث تمثل F_T قوة الشد في الوتر، و μ الكتلة لكل وحدة طول من الوتر.

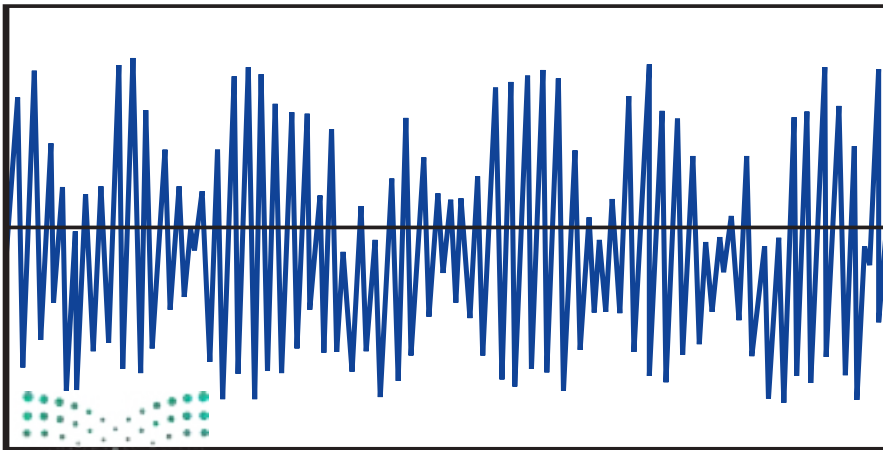
2. ما مقدار قوة الشد في وتر كتلته 1.0 g وطوله 40.0 cm يهتز بالتردد نفسه لأنبوب مغلق له الطول نفسه؟

إعادة إنتاج الصوت والضجيج

Sound Reproduction and Noise

هل استمعت إلى شخص يتلو القرآن أو آلة تسجيل؟ في أغلب الأوقات يتم تسجيل الأصوات وتشغيلها عن طريق أنظمة إلكترونية. ولإعادة إنتاج الصوت بإتقان يجب أن يلائم النظام جميع الترددات بالتساوي. فالنظام الصوتي (الاستيريو) الجيد يحافظ على السعات لكل الترددات بين 20 و 20000 Hz ضمن 3 dB.

أما نظام الهاتف فيحتاج إلى إرسال المعلومات بلغة منطوقة، وتكون الترددات بين 300 و 3000 Hz كافية. ويساعد تخفيض عدد الترددات الموجودة على تخفيض الضجيج. ويبين الشكل 8-16 موجة ضجيج يظهر فيها العديد من الترددات تقريباً بالسعات نفسها.



■ الشكل 8-16 يتكون الضجيج من ترددات متعددة، ويتضمن تغيرات عشوائية في التردد والسعة.

2-8 مراجعة

21. **الرنين في الأنابيب المغلقة** يبلغ طول أنبوب مغلق

2.40 m. ما تردد النغمة التي يصدرها هذا

الأنبوب؟

22. **التفكير الناقد** اضرب شوكة رنانة بمطرقة مطاطية

واحملها بحيث تكون ذراعك ممدودة، ثم اضغط

بمقبضها على طاولة، وباب، وخزانة، وأجسام

أخرى. ما الذي تسمعه؟ ولماذا؟

18. **مصادر الصوت** ما الشيء المهتز الذي ينتج الأصوات

في كل مما يأتي؟

a. الصوت البشري

b. صوت المذياع

19. **الرنين في الأنابيب المفتوحة** ما النسبة بين طول

الأنبوب المفتوح والطول الموجي للصوت لإنتاج

الرنين الأول؟

20. **الرنين في الأوتار** يصدر وتر نغمة حادة ترددها

370 Hz. ما ترددات الإيقاعات الثلاثة اللاحقة

الناجمة بهذه النغمة؟



مختبر الفيزياء

سرعة الصوت Speed of Sound

إذا وضعت شوكة رنانة تهتز فوق أنبوب مغلق طوله مناسب فإن الهواء داخل الأنبوب يهتز بالتردد نفسه f للشوكة الرنانة. وإذا وضع أنبوب زجاجي في مخبر كبير مملوء بالماء ومدرج فإنه يمكن تغيير طول الأنبوب الزجاجي من خلال رفعه أو إنزاله في الماء. وسيكون طول أقصر عمود هواء يحدث رنيناً عندما يساوي طوله ربع الطول الموجي. ويُنتج هذا الرنين أعلى صوت، ويوصف الطول الموجي عند هذا الرنين بالعلاقة $\lambda = 4L$ ؛ حيث تمثل L المسافة من سطح الماء إلى الطرف المفتوح للأنبوب. وستحدد في هذا المختبر الطول L ، لكي تحسب λ ، ثم تحسب سرعة الصوت.

سؤال التجربة

كيف تستطيع استخدام أنبوب مغلق في حالة رنين لكي تحدد سرعة الصوت؟

المطلوب

1. ارتد نظارة واقية، واملأ المخبر المدرج بالماء إلى فوهته تقريباً.
2. قس درجة حرارة الغرفة، وسجلها في جدول البيانات 1.
3. اختر شوكة رنانة، وسجل ترددها في جدولي البيانات 2 و 3.

الأهداف

- تجمع البيانات وتنظمها للحصول على نقاط رنين في أنبوب مغلق.
- تقيس طول أنبوب مغلق في حالة رنين.
- تحلل البيانات لتحديد سرعة الصوت.



إجراءات السلامة

- امسح مباشرة أي سوائل منسكبة.
- تعامل مع الزجاج بحذر؛ فهو هش.

المواد والأدوات

- ثلاث شوكات رنانة معلومة التردد
- مخبر مدرج سعته 1000 ml
- مطرقة خاصة بالشوكات الرنانة
- مقياس درجة حرارة (غير زئبقي)
- أنبوب زجاجي (طوله 40 cm تقريباً وقطره 3.5 cm تقريباً)
- ماء
- مسطرة مترية

4. قس قطر الأنبوب الزجاجي، وسجله في جدول البيانات 2.
5. ضع بحذر الأنبوب الزجاجي في المخبر المدرج المملوء بالماء.
6. أمسك الشوكة الرنانة من قاعدتها، ثم اضرب بسرعة على طرفها بمطرقة الشوكة الرنانة. ولا تضرب الشوكة الرنانة بطاولة المختبر أو أي سطح قاسٍ.
7. أمسك الشوكة الرنانة المهتزة فوق الطرف المفتوح للأنبوب الزجاجي، وارفع الأنبوب والشوكة ببطء حتى تسمع صوتاً عالياً. وعندما تعين هذه النقطة حرك الأنبوب إلى أعلى وإلى أسفل قليلاً لتحديد نقطة الرنين تماماً، ثم قس المسافة من الماء إلى أعلى الأنبوب الزجاجي، وسجل هذه المسافة في جدول البيانات 2.
8. كرر الخطوات 3 و 6 و 7 لشوكتين رنانتين إضافيتين، وسجل نتائجك في المكان المخصص للمحاولتين 2 و 3 في جداول البيانات. يجب أن تكون ترددات الرنين الثلاثة للشوكات الرنانة الثلاث مختلفة.
9. أفرغ المخبر المدرج من الماء.

جدول البيانات 2				
المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	القطر (m)	طول الأنبوب فوق الماء (m)	الطول الموجي المحسوب (m)
1				
2				
3				

جدول البيانات 1			
المحاولة	درجة الحرارة (°C)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)	السرعة التجريبية للصوت (m/s)
1			
2			
3			

التحليل

1. احسب السرعة المقبولة للصوت باستخدام العلاقة $v = 331 \text{ m/s} + 0.60 T$ ، حيث v سرعة الصوت عند درجة الحرارة T ، و T درجة حرارة الهواء بالسلسيوس. سجّل هذه النتيجة على أنها السرعة المقبولة للصوت في جدولي البيانات 1 و 3 للمحاولات جميعها.

2. لأن نقطة الرنين الأولى عُيّنَت عندما كان جزء الأنبوب الذي فوق الماء يساوي ربع الطول الموجي، لذا استخدم الطول المقيس للأنبوب في تحديد الطول الموجي المحسوب لكل محاولة. سجّل الأطوال الموجية المحسوبة في جدول البيانات 2.

3. اضرب قيمتي الطول الموجي والتردد في جدول البيانات 2، لتحديد السرعة التجريبية للصوت، وسجّل ذلك في جدول البيانات 1 لكل محاولة.

4. **تحليل الخطأ** حدّد الخطأ النسبي بين سرعة الصوت المقبولة والتجريبية لكل محاولة في جدول البيانات 1.

$$\% \text{error} = \frac{|\text{Accepted value} - \text{Experimental value}|}{\text{Accepted value}} \times 100\%$$

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

5. **النتيجة** يجب أخذ قطر الأنبوب بعين الاعتبار لتحسين دقة الحسابات. وتزود العلاقة التالية حسابات الطول الموجي بدقة أكثر: $\lambda = 4(L + 0.4d)$ ؛ حيث تمثل λ الطول الموجي، و L طول الأنبوب فوق الماء، و d القطر الداخلي للأنبوب. استخدم قيم الطول والقطر الواردة في جدول البيانات 2، وأعد حساب λ ، وسجّل القيمة في جدول البيانات 3 على أنها الطول الموجي المصحّح، ثم احسب سرعة الصوت التجريبية المصحّحة بضرب تردد الشوكة الرنانة في الطول الموجي المصحّح، ثم سجّل القيمة الجديدة لسرعة الصوت التجريبية المصحّحة في جدول البيانات 3.

جدول البيانات 3				
المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)	الطول الموجي المحسوب (m)	سرعة الصوت التجريبية المصحّحة (m/s)
1				
2				
3				

6. **تحليل الخطأ** حدّد لكل محاولة في جدول البيانات 3 الخطأ النسبي بين السرعة التجريبية المصحّحة والسرعة المقبولة للصوت، واستخدم الصيغة نفسها التي استخدمتها في الفقرة 4 سابقاً.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** تحدث نقطة الرنين الأولى عندما يكون طول الأنبوب مساوياً $\lambda/4$. ما الطولان اللذان يحدث عندهما الرنينان اللاحقان؟

2. **التفكير الناقد** هل يمكن تعيين موقع آخر لحدوث الرنين إذا كان لديك أنبوب أطول؟ وضح إجابتك.

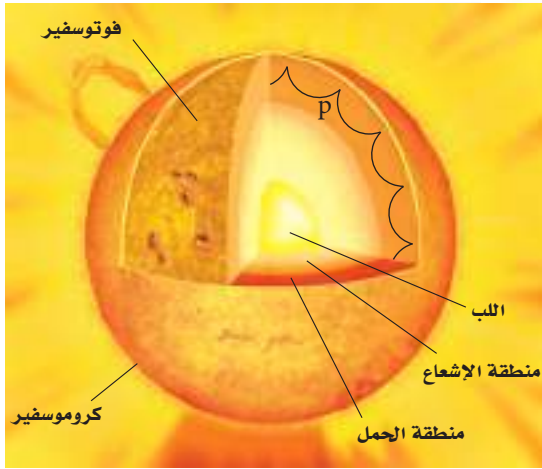
الوسع في البحث

أي النتائج تعطي دقة أكثر لسرعة الصوت؟

التدريبات في البيت

فسر العلاقة بين حجم الأنابيب المغلقة وترددات الرنين لها.





تنتقل الموجات الصوتية (موجات p) خلال منطقة الحمل في الشمس

أطلقت وكالة ناسا عام 1995م المرصد الشمسي (SOHO). وهو قمر اصطناعي يدور حول الأرض، ويستطيع مراقبة الشمس دائماً.

تُقاس حركة سطح الشمس من خلال مراقبة انزياح دوبلر في ضوء الشمس. ويكون للاهتزازات المقاسة أنماط معقدة تساوي مجموع الموجات الموقوفة كلها في الشمس. ويوجد في الشمس نغمات توافقية كالنغمات التي تظهر عند دق الجرس. ويمكن حساب الموجات الموقوفة الفردية وشدتها في الشمس بالتحليل الدقيق.

النتائج تزود اهتزازات موجات الشمس العلماء بمعلومات تتعلق بتركيبها الداخلي؛ وذلك أن كلاً من تركيبها ودرجة حرارتها وكثافتها يؤثر في انتشار الموجات الصوتية. وقد قدمت نتائج تحليل بيانات القمر الاصطناعي (SOHO) المزيد لفهم عميق حول معدل دوران الشمس على صورة دالة رياضية تعتمد على خط العرض والعمق، وعلى درجة حرارة الشمس وكثافتها أيضاً. وتُقارن هذه النتائج بالحسابات النظرية لتحسين فهمنا للشمس.

التوسع

1. **كُونُ فرضية** كيف يفرّق العلماء بين حركة سطح الشمس الناجمة عن الموجات الصوتية وحركته الناجمة عن دوران الشمس؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن أن يكون هناك موجات صوتية في نجم آخر مشابه للشمس، لكنه مختلف في حجمه، ولهذه الموجات الطول الموجي نفسه الذي لموجات الشمس الصوتية؟

موجات الصوت في الشمس Sound Waves in the Sun

تُسمى دراسة اهتزازات الموجات في الشمس بالـ **سيزمولوجية** الشمسية (علم زلازل الشمس)، حيث تحدث الموجات التالية طبيعياً في الشمس، وهي: الموجات الصوتية (موجات p)، وموجات الجاذبية، وموجات الجاذبية السطحية. وتتكون كل هذه الموجات من جزيئات مهتزة، سببها قوى مختلفة.

وتسبب اختلافات الضغط اهتزاز الجزيئات في الموجات الصوتية. أما في الشمس فتنتقل موجات الصوت خلال منطقة الحمل الحراري التي تقع أسفل السطح مباشرة، أو أسفل الفوتوسفير. ولا تنتقل الموجات الصوتية في خط مستقيم، كما هو موضح في الصورة.

تقرع كالجرس تسبب موجات الصوت في الشمس اهتزاز السطح في الاتجاه القطري، مثل اهتزاز جرس يقرع. فعندما يقرع الجرس تضرب مطرقة الجرس في مكان واحد، وتنتج موجات موقوفة. ولسطح الشمس موجات موقوفة، رغم أنها لم تنتج عن حدث واحد كبير. ويفترض العلماء بدلاً من ذلك أن العديد من العوايق الصغيرة في منطقة الحمل الحراري بدأت منها معظم موجات الصوت في الشمس، مثل ضجيج الماء المغلي في قدر، إلا أن حجم الفقاعة المتكونة عند سطح الشمس يفوق مساحتي المغرب والعراق معاً، ويصدر عنها موجات صوتية.

ويكون الصوت القادم من الشمس منخفضاً جداً بالنسبة لنا؛ إذ إن الزمن الدوري لنغمة ترددها 440 Hz يساوي 0.00227 s، ومتوسط اهتزاز الموجات في الشمس له زمن دوري 5 min، فيكون ترددها $f = 0.003 \text{ Hz}$.

ولأننا لا نستطيع سماع موجات الصوت الصادرة من الشمس فقد قاس العلماء حركة سطح الشمس لتعرّف موجاتها الصوتية. ويجب مراقبة الشمس فترات زمنية طويلة؛ لأن موجات الصوت تحتاج إلى ساعتين للانتقال من جانب إلى آخر في الشمس، وهذا يجعل المراقبة من الأرض صعبة؛ لأنه لا يمكن رؤية الشمس في أثناء الليل. لذا فقد

8-1 خصائص الصوت والكشف عنه Properties and Detection of Sound

المفردات

- الموجة الصوتية
- حدة الصوت
- علو الصوت
- مستوى الصوت
- الديسبل
- تأثير دوبلر

المفاهيم الرئيسية

- الصوت تغيّر في الضغط ينتقل خلال مادة على هيئة موجة طولية.
- لموجة الصوت تردد، وطول موجي، وسرعة، وسعة. كما تنعكس موجات الصوت وتتناقل.
- سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة الغرفة (20 °C) تساوي 343 m/s. وتزداد سرعة الصوت بزيادة درجة الحرارة 0.6 m/s تقريباً مع كل زيادة 1 °C في درجة الحرارة.
- تحوّل كواشف الصوت الطاقة التي تحملها موجة الصوت إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. وتعد الأذن البشرية كاشفاً حساساً ذا كفاءة عالية لموجات الصوت.
- يُميّز تردّد موجة صوت من خلال حدّته.
- يُقاس اتساع ضغط موجة صوت بوحدّة الديسبل (dB).
- يعتمد علو الصوت - عندما يُدرك بالأذن والدماغ - على اتساعه.
- يُعرف تأثير دوبلر بأنه التغير في تردّد موجات الصوت الناتج عن حركة المصدر أو المراقب أو كليهما. ويمكن حسابه بالمعادلة الآتية:

$$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$$

8-2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار Resonance in Air Columns and Strings

المفردات

- أنبوب الرنين المغلق
- أنبوب الرنين المفتوح
- التردد الأساسي (النغمة الأساسية)
- الإيقاع

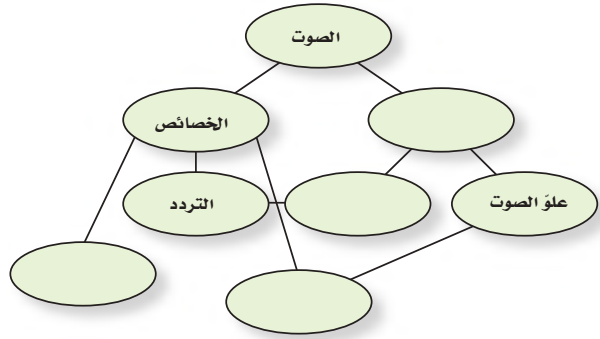
المفاهيم الرئيسية

- ينتج الصوت عن تذبذب جسم في وسط مادي.
- معظم الأصوات موجات معقدة، تتكوّن من أكثر من تردّد واحد.
- يمكن أن يحصل رنين لعمود هواء مع مصدر صوت، مما يزيد سعة تردّد رنينه.
- يحصل رنين لأنبوب مغلق عندما يكون طوله $\lambda/4$ ، $3\lambda/4$ ، $5\lambda/4$ وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات فردية للتردد الأساسي.
- يحصل رنين لأنبوب مفتوح عندما يكون طوله $\lambda/2$ ، $2\lambda/2$ ، $3\lambda/2$ ، وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي.
- يكون للوتر المثبت عقدة عند كل طرف، ويحدث له رنين عندما يكون طوله مساوياً لـ $3\lambda/2$ ، $2\lambda/2$ ، $\lambda/2$ ، وهكذا، مثل الأنبوب المفتوح. وتكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي.
- ترددات وشدة الموجات المعقدة الناتجة عن حنجرة شخص تحدّد طابع الصوت الذي يحدّد خاصية له.
- يمكن وصف التردد الأساسي بدلالة الرنين.



خريطة المفاهيم

23. أكمل الخريطة المفاهيمية أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: السعة، الإدراك، حدة الصوت، السرعة.



إتقان المفاهيم

24. ما الخصائص الفيزيائية لموجات الصوت؟ (1 - 8)
25. عند قياس زمن الركض لمسافة 100 m يبدأ المراقبون عند خط النهاية تشغيل ساعات الإيقاف لديهم عند رؤيتهم دخاناً يتصاعد من المسدس الذي يشير إلى بدء السباق، وليس عند سماعهم صوت الإطلاق. فسّر ذلك. وما الذي يحدث لقياس زمن الركض إذا ابتداءً التوقيت عند سماع الصوت؟ (1 - 8)
26. اذكر نوعين من أنواع إدراك الصوت والخصائص الفيزيائية المرتبطة معهما. (1 - 8)
27. هل يحدث انزياح دوبلر لبعض أنواع الموجات فقط أم لجميع أنواع الموجات؟ (1 - 8)
28. الموجات فوق الصوتية موجات صوتية تردداتها أعلى من تلك التي تسمع بالأذن البشرية، وتنتقل هذه الموجات خلال الجسم البشري. كيف يمكن استخدام الموجات فوق الصوتية لقياس سرعة الدم في الأوردة أو الشرايين؟ وضح كيف تتغير الموجات لتجعل هذا القياس ممكناً. (1 - 8)
29. ما الضروري لتوليد الصوت وانتقاله؟ (2 - 8)

30. المشاة عند وصول جنود المشاة في الجيش إلى جسر فإنهم يسرون على الجسر بخطوات غير منتظمة. فسّر ذلك. (2 - 8)

تطبيق المفاهيم

31. التقدير لتقدير المسافة بينك وبين وميض برق بالكيلومترات، عدّ الثواني بين رؤية الوميض وسماع صوت الرعد، واقسم على 3. وضح كيف تعمل هذه القاعدة.

32. تزداد سرعة الصوت بمقدار 0.6 m/s لكل درجة سلسيوس عند ارتفاع درجة حرارة الهواء بمقدار درجة واحدة. ماذا يحدث لكل مما يأتي بالنسبة لصوت ما عند ارتفاع درجة الحرارة؟

a. التردد b. الطول الموجي

33. الأفلام انفجر قمر اصطناعي في فيلم خيال علمي؛ حيث سمع الطاقم في مركبة فضائية قريبة من الانفجار صوته وشاهدوه فوراً. إذا أُخترت مستشراً فما الخطأ الفيزيائيان اللذان تلاحظهما ويتعين عليك تصحيحهما؟

34. الانزياح نحو الأحمر لاحظ الفلكيون أن الضوء القادم من المجرات البعيدة يبدو مُزاحاً نحو الأحمر أكثر من الضوء القادم من المجرات القريبة. فسّر لماذا استنتج الفلكيون أن المجرات البعيدة تتحرك مبتعدة عن الأرض، اعتماداً على الشكل 17-8 للطيف المرئي.

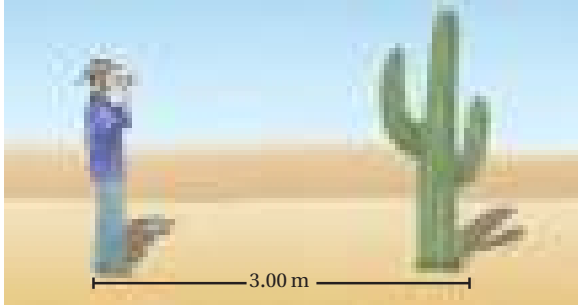


الشكل 17-8

35. يبلغ مستوى صوت 40 dB. هل يُعير ضغطه أكبر 100 مرة من عتبة السمع، أم 40 مرة؟

تقويم الفصل 8

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 ■

45. إذا كان الطول الموجي لموجات صوت ترددها $2.40 \times 10^2 \text{ Hz}$ في ماء نقي هو 3.30 m فما سرعة الصوت في هذا الماء؟

46. ينتقل صوت تردده 442 Hz خلال قضيب حديد. أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الحديد.

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؟

b. إذا سمع الموظف صوتاً مثل الهمس لا يكاد يُسمع إلا بصعوبة فما الذي يسمعه شخص لا يضع أداة الحماية على أذنيه؟

48. النشيد تُنشد فرقة نشيد بصوت مستواه 80 dB. ما مقدار الزيادة في ضغط الصوت لفرقة أخرى تُنشد بالمستويات الآتية؟

120 dB .b

100 dB .a

36. إذا ازدادت حدة الصوت فما التغير الذي يحدث لكل مما يأتي؟

a. التردد

b. الطول الموجي

c. سرعة الموجة

d. سعة الموجة

37. تزداد سرعة الصوت بازدياد درجة الحرارة. هل تزداد حدة صوت أنبوب مغلق عند ارتفاع درجة حرارة الهواء أم تقل؟ افترض أن طول الأنبوب لا يتغير.

38. يولد أنبوب مغلق نغمة معينة، فإذا أزيلت السدادة من نهايته المغلقة ليصبح مفتوحاً فهل تزداد حدة الصوت أم تقل؟

إتقان حل المسائل

1-8 خصائص الصوت والكشف عنه

39. إذا سمعت صوت إطلاق قذيفة من مدفع بعيد بعد 5.0 s من رؤيتك للوميض فما بُعد المدفع عنك؟

40. إذا صحت في وادٍ وسمعت الصدى بعد 3.0 s، فما مقدار عرض الوادي؟

41. إذا انتقلت موجة صوت ترددها 4700 Hz في قضيب فولاذي، وكانت المسافة بين التضاضعات المتتالية هي 1.1 m، فما سرعة الموجة؟

42. الإخفافيش يرسل الخفاش موجات صوتية طولها الموجي 3.5 mm. ما تردد الصوت في الهواء؟

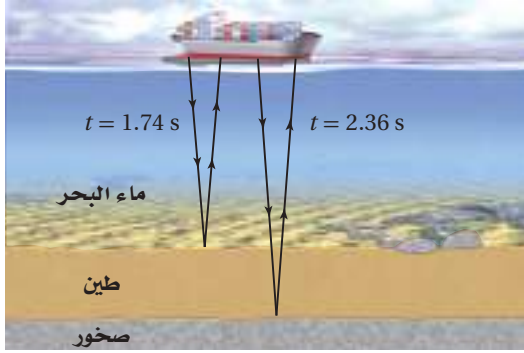
43. ينتقل صوت تردده 261.6 Hz خلال ماء درجة حرارته 25°C . أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الماء. (لا تخطئ بين الموجات الصوتية المتحركة خلال الماء والموجات السطحية المتحركة فيه).

44. التصوير الفوتوجرافي تحدد بعض الكاميرات بُعد الجسم عن طريق إرسال موجة صوت وقياس

تقويم الفصل 8

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 يأتي:

a. عمق الماء. **b.** سُمك طبقة الطين.



■ الشكل 20-8 (الرسم ليس بمقياس رسم)

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 التردد الذي يسمعه سائق الحافلة؟

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 يأتي:

a. المراقب ثابت.

b. المراقب يتحرك في اتجاه القطار بسرعة 21.0 m/s .

56. إذا تحرك القطار في المسألة السابقة مبتعداً عن المراقب فما التردد الذي يستقبله الكاشف في كل حالة مما يأتي:

a. المراقب ثابت.

b. المراقب يتحرك مبتعداً عن القطار بسرعة 21.0 m/s .

2-8 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار

57. أنبوب في وضع رأسي مملوء بالماء ولله صنبور عند قاعدته، وتهتز شوكة رنانة فوق طرفه العلوي. فإذا سُمع رنين عند تخفيض مستوى الماء في الأنبوب بمقدار

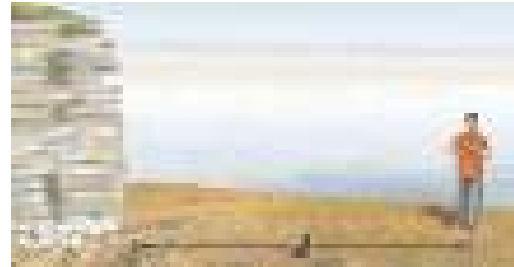
49. يهتز ملف نابضي للعبة بتردد 4.0 Hz بحيث تظهر موجات موقوفة بطول موجي 0.50 m . ما سرعة انتشار الموجة؟

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 .

b. الزمن الذي يحتاج إليه المشجع لسمع صوت ضرب الكرة بعد مشاهدته ركل الحارس لها.

51. وقف شخص على بُعد d من جرف صخري، كما يبين الشكل 19-8. فإذا كانت درجة الحرارة 15°C ، وصقّ الشخص يديه فسمع صدى الصوت بعد 2.0 s ، فما بُعد الجرف الصخري؟



■ الشكل 19-8 (الرسم ليس بمقياس رسم)

52. التصوير الطبي تستخدم موجات فوق صوتية بتردد 4.25 MHz للحصول على صور للجسم البشري. فإذا كانت سرعة الصوت في الجسم ماثلة لسرعته في الماء المالح وهي 1.50 km/s ، فما الطول الموجي لموجة ضغط ترددها 4.25 MHz في الجسم؟

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

تقويم الفصل 8

65. إذا كانت سعة موجة ضغط خلال محادثة عادية 0.020 Pa ،

a. فما القوة المؤثرة في طبلة أذن مساحتها 0.52 cm^2 ؟

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؟ علماً بأن الفائدة

الميكانيكية لهذه العظام 1.5.

c. ما مقدار الضغط الإضافي الذي انتقل إلى السائل

الموجود في القوقعة نتيجة تأثير هذه القوة، إذا

كانت مساحة الفتحة البيضية 0.026 cm^2 ؟

مراجعة عامة

66. أنبوب مفتوح طوله 1.65 m . ما نغمة التردد الأساسي

التي ينتجها في الهيليوم عند درجة حرارة 0°C ؟

67. يطير طائر نحو رائد فضاء على كوكب مكتشف حديثاً

بسرعة 19.5 m/s ، ويُغرد بحدة مقدارها 954 Hz .

فإذا سمع الرائد النغمة بتردد 985 Hz فما سرعة

الصوت في الغلاف الجوي لهذا الكوكب؟

68. إذا أُلقيت حجراً في بئر عمقها 122.5 m كما في

الشكل 22-8، فبعد كم ثانية تسمع صوت ارتطام

الحجر بقاع البئر؟



الشكل 22-8

69. تستخدم سفينة موجات السونار بتردد 22.5 kHz .

فإذا كانت سرعة الصوت في ماء البحر 1533 m/s

17 cm ، وسمع رنين مرة أخرى عند تخفيض مستوى

الماء عن فوهة الأنبوب بمقدار 49 cm ، فما تردد

الشوكة الرنانة؟

58. **السمع البشري** القناة السمعية التي تؤدي إلى طبلة

الأذن عبارة عن أنبوب مغلق طوله 3.0 cm . أوجد

القيمة التقريبية لأقل تردد رنين. أهمل تصحيح النهاية.

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 لعقد الحركة

الجزئية. فإذا كانت سرعة الصوت في الألومنيوم

5150 m/s فما أقل تردد اهتزاز للقضيب؟

60. إذا أنتج أنبوب مفتوح نغمة ترددها 370 Hz فما

ترددات الإيقاعات الثاني، والثالث، والرابع المصاحبة

لهذا التردد؟

61. إذا أنتج أنبوب مغلق نغمة ترددها 370 Hz فما تردد

أقل ثلاثة إيقاعات يُنتجها هذا الأنبوب؟

62. ضُبط وتر طوله 65.0 cm ليتج أقل تردد، ومقداره

196 Hz . احسب مقدار:

a. سرعة الموجة في الوتر.

b. الترددات الآتين لرنين هذا الوتر.

63. يمثل الشكل 21-8 أنبوباً بلاستيكيًا موجاً مرناً طوله

0.85 m . وعندما يتأرجح ينتج نغمة ترددها يماثل

أقل تردد يُنتج أنبوب مفتوح له الطول نفسه. ما

تردد النغمة؟



الشكل 21-8

64. إذا تأرجح الأنبوب في المسألة السابقة بسرعة أكبر

منتجاً نغمة حدتها أعلى، فما التردد الجديد؟

تقويم الفصل 8

72. إعداد الرسوم البيانية افترض أن تردد بوق سيارة يساوي 300 Hz عندما كانت السيارة ثابتة، فكيف يكون الرسم البياني للعلاقة بين التردد والزمن عندما تقترب السيارة منك ثم تتحرك مبتعدة عنك؟ صمّم مخططاً تقريبياً للمسألة.

73. حلّ واستنتج صف كيف تستخدم ساعة إيقاف لتقدير سرعة الصوت إذا كنت على بعد 200 m من حفرة ملعب جولف، وكان مجموعة من اللاعبين يضربون كراتهم. هل يكون تقديرك لسرعة الصوت كبيراً جداً أم صغيراً جداً؟

74. تطبيق المفاهيم وجد أن تردد موجة ضوء قادمة من نقطة على الحافة اليسرى للشمس أكبر قليلاً من تردد الضوء القادم من الجهة اليمنى. علام يدل هذا بالنسبة لحركة الشمس اعتماداً على هذا القياس؟

الكتابة في الفيزياء

75. ابحث في استخدام تأثير دوبلر في دراسة الفلك. كيف يستخدم في الكشف عن الكواكب حول النجوم، ودراسة حركة المجرات؟

مراجعة تراكمية

76. ما سرعة الموجات المتولدة في وتر طوله 60.0 cm، إذا نُقر في منطقة الوسط فأنتج نغمة ترددها 440 Hz (الفصل 7)

فما مقدار التردد الذي يصل السفينة بعد انعكاسه عن حوت يتحرك بسرعة 4.15 m/s مبتعداً عن السفينة؟ افترض أن السفينة ساكنة.

70. يتحرك قطار نحو نفق بسرعة 37.5 m/s، ويصدر صوتاً بتردد 327 Hz، فيرتد الصوت من فتحة النفق. ما تردد الصوت المنعكس الذي يُسمع في القطار، علماً بأن سرعة الصوت في الهواء كانت 343 m/s؟ تلميح: حل المسألة في جزأين، افترض في الجزء الأول أن النفق مراقب ثابت، واحسب التردد. ثم افترض في الجزء الثاني أن النفق مصدر ثابت، واحسب التردد المقيس في القطار.

التفكير الناقد

71. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبين الجدول 8-2 الأطوال الموجية لموجات صوتية ناتجة عن مجموعة من الشوكات الرنانة عند ترددات معينة.

a. مثل بياناً العلاقة بين الطول الموجي والتردد (المتغير المضبوط). ما نوع العلاقة التي يبينها الرسم البياني؟

b. مثل بياناً العلاقة بين الطول الموجي ومقلوب التردد ($1/f$). ما نوع العلاقة التي يبينها الرسم البياني؟ حدّد سرعة الصوت من الرسم البياني.

الجدول 8-2	
الشوكات الرنانة	
التردد (Hz)	الطول الموجي (m)
131	2.62
147	2.33
165	2.08
196	1.75
220	1.56
247	1.39



اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ينتقل الصوت من مصدره إلى الأذن بسبب:

- (A) تغير ضغط الهواء.
(B) الاهتزاز في الأسلاك أو الأوتار.
(C) الموجات الكهرومغناطيسية.
(D) الموجات تحت الحمراء.

2. سمع خالد أثناء سباحته نغمة وصلت إلى أذنه بتردد 327 Hz عندما كان تحت الماء. فما الطول الموجي للصوت الذي يسمعه؟ (افتراض سرعة الصوت في الماء 1493 m/s)

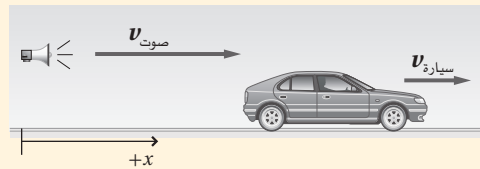
- (A) 2.19 nm
(B) 4.88×10^{-5} m
(C) 2.19×10^{-1} m
(D) 4.57 m

3. يجذب صوت بوق سيارة انتباه مراقب ثابت. فإذا كانت السيارة تقترب من المشاهد بسرعة 60.0 km/h، وتردد صوت البوق 512 Hz، فما تردد الصوت الذي يسمعه المراقب؟ (افتراض سرعة الصوت في الهواء تساوي 343 m/s)

- (A) 488 Hz
(B) 512 Hz
(C) 538 Hz
(D) 600 Hz

4. تبتعد سيارة بسرعة 72 km/h عن صافرة ثابتة، كما هو موضح في الشكل أدناه. فإذا انطلقت الصافرة بتردد 657 Hz فما تردد الصوت الذي يسمعه السائق؟ (افتراض سرعة الصوت في الهواء 343 m/s)

- (A) 543 Hz
(B) 620 Hz
(C) 647 Hz
(D) 698 Hz

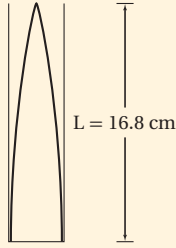


5. ينتقل صوت بوق سيارة في الهواء بسرعة 351 m/s. فإذا كان تردد الصوت 298 Hz فما طوله الموجي؟

- (A) 9.93×10^{-4} m
(B) 0.849 m
(C) 1.18 m
(D) 1.05×10^5 m

الأسئلة الممتدة

6. يبين الشكل أدناه طول عمود الهواء في حالة الرنين الأول لعمود هواء مغلق، فإذا كان تردد الصوت 488 Hz فما سرعة الصوت؟



إرشاد

سجل حساباتك

يطلب إليك في أغلب الاختبارات الإجابة عن عدد كبير من الأسئلة في زمن قليل. سجل حساباتك وملاحظاتك حيثما كان ذلك ممكناً. وأجر الحسابات كتابياً لا ذهنياً، ثم ضع خطأً تحت الحقائق المهمة في العبارات والأشكال، وأعد قراءتها، ولا تحاول حفظها.



مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات



دليل الرياضيات

I. الرموز symbols

Δ التغير في الكمية	$a \times b$
$\pm$ زائد أو ناقص الكمية	a مضروبة في b $\left\{ \begin{array}{l} a \times b \\ a(b) \end{array} \right.$
$\propto$ يتناسب مع	$a \div b$
$=$ يساوي	a مقسومة على b $\left\{ \begin{array}{l} a \div b \\ a/b \end{array} \right.$
$\approx$ تقريباً يساوي	$\sqrt{a}$ الجذر التربيعي لـ a
$\cong$ تقريباً يساوي	$ a $ القيمة المطلقة لـ a
$\leq$ أقل من أو يساوي	$\log_b x$ لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\geq$ أكبر من أو يساوي	
$<<$ أقل جداً من	
$\equiv$ يعرف كـ	

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

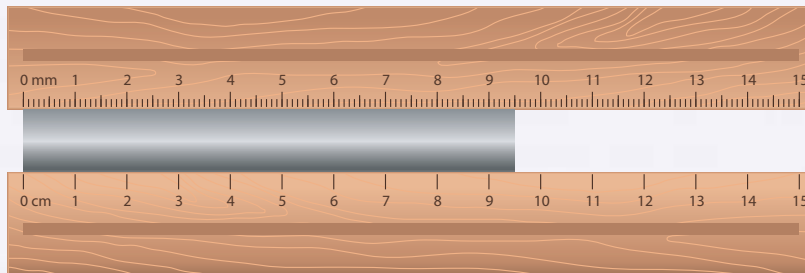
ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعتبر الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعتبر الدقة مقياساً للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الأصغر في أداة القياس. ويكون الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس مقدراً.

مثال: ما الرقم المقدّر لكل من مسطرة قياس موضحة في الشكل أدناه والمستخدم لقياس طول القضيب الفلزي؟ باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء عشري من السنتيمتر. وإذا كان الطول المقيس يقع تماماً عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

وعند استعمال أداة القياس العليا. فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتيمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تماماً عند 9.5 cm أو 9.6 cm، فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm.



كل الأرقام غير الصفريّة في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعتبر أرقامًا معنوية. استعمل القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

1. الأرقام غير الصفريّة أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

استعمال القاعدتين 1 و 2	5.0 g يتضمن رقمين معنويين
استعمال القاعدتين 1 و 2	14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية
استعمال القاعدتين 2 و 4	0.0 يتضمن رقمًا معنويًا واحدًا
استعمال القواعد 1 و 2 و 3	300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية
استعمال القاعدتين 1 و 3	5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية
استعمال القاعدتين 1 و 3	304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية
استعمال القواعد 1 و 2 و 4	0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)
استعمال القاعدتين 1 و 4	140 mm يتضمن رقمين معنويين (1 و 4 فقط)

مسائل تدريبية

1. حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

12.007 kg .d	1405 m .a
5.8×10^6 kg .e	2.50 km .b
3.03×10^{-5} ml .f	0.0034 m .c

هناك حالتان تُعتبر الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًا من الأرقام المعنوية.
2. معاملات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًا من الأرقام المعنوية.



دليل الرياضيات

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أقل من 5، فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.
2. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أكبر من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.
3. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه هو 5 متبوعاً برقم غير صفري، فإنه يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.
4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير المراد التقريب إليه يساوي 5 ومتبوعاً بالصفري، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى، فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فردياً فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجياً فلا تزدده.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعين إلى الأرقام المعنوية:

استعمال القاعدة 1	8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76
استعمال القاعدة 2	8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77
استعمال القاعدة 3	8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8
استعمال القاعدة 4	92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4
استعمال القاعدة 4	92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس الآتية:

- | | |
|----------------|------------------|
| a. 1405 m (2) | c. 0.0034 m (1) |
| b. 2.50 km (2) | d. 12.007 kg (3) |



إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كليهما يتضمن رقماً معنوياً واحداً فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

$$\begin{array}{r} 1.456 \text{ m} \\ 4.1 \text{ m} \\ +20.3 \text{ m} \\ \hline 25.856 \text{ m} \end{array}$$

اجمع الأعداد

وفي النتيجة تكون دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المضاف الأقل دقة.

25.9m

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساوياً لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

$$(20.1 \text{ m})(3.6 \text{ m}) = 72.36 \text{ m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6 m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعبيرات الرياضية الآتية مستعملاً العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

b. $45 \text{ g} - 8.3 \text{ g}$

a. $2.33 \text{ km} + 3.4 \text{ km} + 5.012 \text{ km}$

d. $54 \text{ m} \div 6.5 \text{ s}$

c. $3.40 \text{ cm} \times 7.125 \text{ cm}$



دليل الرياضيات

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استعمل قاعدة عملية الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d = 19 \text{ m} + (25.0 \text{ m/s})(2.50 \text{ s}) + \frac{1}{2} (-10.0 \text{ m/s}^2)(2.50)^2$$
$$= 5.0 \times 10^1 \text{ m}$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$m (\text{الميل}) = \frac{70.0 \text{ m} - 10.0 \text{ m}}{29 \text{ s} - 11 \text{ s}}$$
$$= 3.3 \text{ m/s}$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل فعليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

$$F = \sqrt{(24 \text{ N})^2 + (36 \text{ N})^2}$$
$$= \sqrt{576 \text{ N}^2 + 1296 \text{ N}^2}$$
$$= \sqrt{1872 \text{ N}^2}$$
$$= 43 \text{ N}$$

مثال:

لا تجرّ التقريب إلى 580 N^2 و 1300 N^2

لا تجرّ التقريب إلى 1800 N^2

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرب إلى رقمين معنويين



III. الكسور والنسب والمعدلات والتناسب Fractions, Ratios, Rates, and Proportions

الكسور Fractions

يقصد بالكسر جزء من الكل أو جزء من مجموعة. ويعبر الكسر أيضاً عن النسبة. ويتكوّن الكسر من البسط وخط القسمة والمقام.

$$\frac{\text{البسط}}{\text{المقام}} = \frac{\text{عدد الأجزاء المختارة}}{\text{عدد الأجزاء الكلي}}$$

التبسيط من السهل أحياناً تبسيط التعبير الرياضي قبل عملية تعويض قيم المتغيرات المعلومة، وغالباً تختصر المتغيرات من التعبير الرياضي.

$$\frac{pn}{pw} \text{ مثال: بسط}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{pn}{pw} \right) &= \left(\frac{p}{p} \right) \left(\frac{n}{w} \right) \\ &= (1) \left(\frac{n}{w} \right) \\ &= \frac{n}{w} \end{aligned}$$

افصل المتغير p في البسط والمقام، وجزّئ الكسر إلى حاصل ضرب كسرين.
بالتعويض عن $\left(\frac{p}{p} \right) = 1$

عمليتا الضرب والقسمة لإجراء عملية ضرب الكسور اضرب القيم الممثلة للبسط، واضرب القيم الممثلة للمقام.
مثال: أوجد حاصل ضرب الكسر $\frac{s}{a}$ في الكسر $\frac{t}{b}$.

$$\left(\frac{s}{a} \right) \left(\frac{t}{b} \right) = \frac{st}{ab}$$

نفذ عملية ضرب القيم في البسط والقيم في المقام
ولإجراء عملية قسمة الكسور اضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني. ولإيجاد مقلوب الكسر، اعكس الكسر بحيث يحل كل من البسط والمقام مكان الآخر.

مثال: أوجد عملية القسمة للكسر $\frac{s}{a}$ على الكسر $\frac{t}{b}$.

$$\frac{s}{a} \div \frac{t}{b} = \left(\frac{s}{a} \right) \left(\frac{b}{t} \right)$$

أوجد حاصل ضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني.

$$= \frac{sb}{at}$$

اضرب القيم في البسط والقيم في المقام.

عمليتا الجمع والطرح لإجراء عملية جمع أو طرح كسرين اكتبهما أولاً في صورة كسرين لهما مقام مشترك، أي المقام نفسه. ولإيجاد المقام المشترك أوجد حاصل ضرب مقام كل من الكسرين، ثم اجمع بسطي كل منهما أو اطرحهما واستعمل بعد ذلك المقام المشترك.

$$\frac{2}{b} \text{ و } \frac{1}{a} \text{ مثال: أوجد حاصل جمع}$$

اضرب كل كسر في كسر يساوي 1.

$$\frac{1}{a} + \frac{2}{b} = \left(\frac{1}{a} \right) \left(\frac{b}{b} \right) + \left(\frac{2}{b} \right) \left(\frac{a}{a} \right)$$

$$= \frac{b}{ab} + \frac{2a}{ab}$$

اضرب كلاً من قيم البسط وكلاً من قيم المقام.

اكتب كسراً مفرداً مقامه المقام المشترك.

دليل الرياضيات

مسائل تدريبية

4. نفذ العمليات الآتية، ثم اكتب الإجابة في أبسط صورة.

$$\frac{y}{3} + x \frac{1}{x} \quad \text{a.} \quad \left(\frac{1}{y}\right) \left(\frac{3}{x}\right) \quad \text{c.}$$

$$\frac{3}{b} - \frac{a}{2b} \quad \text{b.} \quad \frac{1}{2} \div \frac{2a}{5} \quad \text{d.}$$

النسب Ratios

تمثل النسب عملية مقارنة بين عددين باستعمال عملية القسمة. ويمكن كتابة النسب بعدة طرائق مختلفة، فالنسبة للعددين 2، 3 يمكن كتابتها بأربع طرائق مختلفة: 2 إلى 3 أو 2 على 3 أو 3:2 أو $\frac{2}{3}$

المعدلات Rates

المعدل نسبة تقارن بين كميتين لهما وحدات قياس مختلفة. إن معدل الوحدة هو المعدل الذي يمكن تبسيطه بحيث يساوي المقام الرقم 1.

مثال: اكتب 98km في 2.0 ساعة كمعدل وحدة.

$$\frac{98km}{2.0h} \quad \text{في 2.0 ساعة عبارة عن النسبة}$$

جزئ الكسر إلى حاصل ضرب الكسر العددي بكسر الوحدات

$$\frac{98km}{2.0h} = \left(\frac{98}{2.0}\right) \left(\frac{km}{h}\right)$$

$$= (49) \left(\frac{km}{h}\right)$$

$$= 49 \text{ km per h أو km/h}$$

بسّط الكسر العددي

التناسب Proportions عبارة عن معادلة تنص على أن النسبتين متساويتان: $\frac{a}{d} = \frac{c}{b}$ ، بشرط أن d، b لا تساويان صفر.

تستعمل التناسبات لحل مسائل النسبة التي تتضمن ثلاثة أرقام ومتغيراً واحداً. ويمكنك حل علاقة التناسب لإيجاد قيمة المتغير. ولحل التناسب استعمل الضرب التبادلي.

مثال: حل التناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$ بالنسبة للمتغير a.

$$\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$$

$$ad = bc$$

$$a = \frac{bc}{d}$$

بإجراء عملية الضرب التبادلي للتناسب

اكتب المعادلة الناتجة من الضرب التبادلي

حل المعادلة بالنسبة للمتغير a

مسائل تدريبية

5. حل التناسبات الآتية:

$$\frac{s}{16} = \frac{36}{12} \quad \text{c.}$$

$$\frac{7.5}{w} = \frac{2.5}{5.0} \quad \text{d.}$$

$$\frac{2}{3} = \frac{4}{x} \quad \text{a.}$$

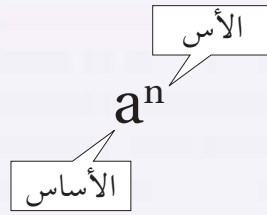
$$\frac{n}{75} = \frac{13}{15} \quad \text{b.}$$



IV. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents, Powers, Roots, and Absolute value

الأسس Exponents

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a كعامل، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي، ففي الحد a^n ، يمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس. ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n .



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيراً آخر للمتغير. فمثلاً v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعتبر جزءاً من المتغير. الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3) \dots (a_n)$$

مثال: بسط الحدود الأسية الآتية:

$$10^4 = (10)(10)(10)(10) = 10,000$$

$$2^3 = (2)(2)(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسط الحدود الأسية الصفرية الآتية:

$$2^0 = 1$$

$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$$

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



دليل الرياضيات

الجذور التربيعية والجذور التكعيبة Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt{\quad}$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية. أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)(a)} = a$$

$$\sqrt{9} = \sqrt{(3)(3)} = 3$$

تتضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)(8.0)} = 8.0$

ضع صفرين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية. $\sqrt{38.44} = 6.200$

قرب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$

إن الجذر التكعيبي للرقم يمثل أحد معاملات الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\quad}$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي الآتية:

$$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$$

$$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$$

6. أوجد ناتج كل جذر، ومن ثم قرب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ c. $\sqrt{676}$

b. $\sqrt[3]{729}$ d. $\sqrt[3]{46.656}$

7. بسّط الجذور الآتية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ b. $\sqrt{9t^6}$

8. اكتب الجذور الآتية على الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ b. $\frac{1}{\sqrt{a}}$



إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات الآتية باستخدام الأسس فإن كلاً من a ، b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.
ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة الآتية:
 $(a^m)(a^n) = a^{m+n}$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة الآتية:
 $a^m / a^n = a^{m-n}$

القوة مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة، استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس في بعضها، كما هو موضح في الصفحة الآتية: $(a^m)^n = a^{mn}$

الجذر مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج جذر مرفوع لقوة استخدم الأساس نفسه وقسم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة الآتية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

9. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

$x^2 \sqrt{x}$.d $(d^2n)^2$.c $\sqrt{t^3}$.b $x^2 t / x^3$.a

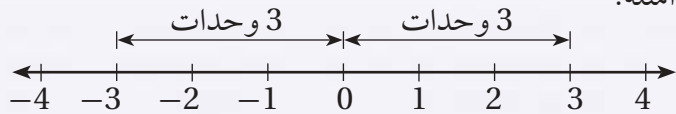
10. بسّط $\frac{m}{q} \sqrt{\frac{2qv}{m}}$

القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n على صورة $|n|$ ، ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائماً أكبر من صفر أو تساوي صفراً.
أمثلة:

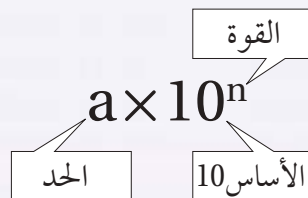
$|3| = 3$

$|-3| = 3$



V. الدلالة العلمية Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a \times 10^n$ مكتوب بدلالته العلمية، حيث $1 \leq a \leq 10$ ، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



دليل الرياضيات

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ، وتكتب كثافة الماء على الصورة $1.000 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m^3 سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستخدام الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a ، $1 \leq a < 10$ ، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4 \times 10^{11} = 2.4 \text{ e}+11$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة، وفي بعض الآلات تستخدم $10 \times$ لهذه العملية. مثال: اكتب 7,530,000 بدلالته العلمية.

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^n .

$$7,530,000 = 7.53 \times 10^6$$

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a ، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم الآتي في صورته القياسية

$$2.389 \times 10^5 = 2.38900 \times 10^5 = 238,900$$



الأرقام الصغيرة، واستخدام الأسس السالبة Small Numbers-Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالاتها العلمية حدد أولاً قيمة a ، $1 \leq a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئاً من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10. إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تماماً لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^n .

توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 7- $0.000000285 = 2.85 \times 10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a ، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a . استعمل القوة وحرك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

مسائل تدريبية

11. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

$$0.000020.b$$

$$456,000,000.a$$

12. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

$$9.7 \times 10^{10}.b$$

$$3.03 \times 10^{-7}.a$$

إجراء العمليات الرياضية بدلالاتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبر عنها بتعبيراتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

$$(4.0 \times 10^{-8})(1.2 \times 10^5) = (4.0 \times 1.2)(10^{-8} \times 10^5)$$

$$= (4.8)(10^{-8+5})$$

$$= (4.8)(10^{-3})$$

$$= 4.8 \times 10^{-3}$$

أعد صياغة النتيجة بدلالاتها العلمية

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

$$\frac{9.60 \times 10^7}{1.60 \times 10^3} = \left(\frac{9.60}{1.60} \right) \times \left(\frac{10^7}{10^3} \right)$$

$$= 6.00 \times 10^4$$

جمع الحدود والأرقام ذات الأساس 10

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10

دليل الرياضيات

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بتعبيراتها العلمية هي عملية تحدُّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام يمكن أن يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10، بينما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

$$(3.2 \times 10^5) + (4.8 \times 10^5) = (3.2 + 4.8) \times 10^5 \\ = 8.0 \times 10^5$$

جمع الحدود

اجمع الحدود

مثال: بسّط

$$(3.2 \times 10^5) + (4.8 \times 10^4) = (3.2 \times 10^5) + (0.48 \times 10^5) \\ = (3.2 + 0.48) \times 10^5 \\ = 3.68 \times 10^5 \\ = 3.7 \times 10^5$$

أعد كتابة 4.8×10^4 على صورة 0.48×10^5

جمع الحدود

اجمع الحدود

قرب النتيجة مستعملاً قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية.

مسائل تدريبية

13. احسب نتيجة كل من التعابير الآتية، وعبر عن النتيجة بدلالاتها العلمية.

b. $(2.4 \times 10^3) + (8.0 \times 10^4)$

a. $(4.0 \times 10^8) (5.2 \times 10^{-4})$

VI. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، تسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها. اتّبِع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ()، والقوسين المعقوفين []، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.

2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.

3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.

4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير الآتي:

$$4 + 3(4 - 1) - 2^3 = 4 + 3(3) - 2^3 \\ = 4 + 3(3) - 8 \\ = 4 + 9 - 8 \\ = 5$$

ترتيب العمليات: الخطوة 1

ترتيب العمليات: الخطوة 2

ترتيب العمليات: الخطوة 3

ترتيب العمليات: الخطوة 4



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجري عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيراً رياضياً صحيحاً. وعند حل المعادلات طبق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$$a(b+c) = ab+ac$$

$$a(b-c) = ab-ac$$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعبير الآتي:

$$3(x+2) = 3x + (3)(2) \\ = 3x + 6$$

خاصيتا الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x - 3 = 7$ مستعملًا خاصية الجمع

$$x-3 = 7$$

$$x-3+3 = 7+3$$

$$x=10$$

مثال: حل المعادلة $t + 2 = -5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$t + 2 = -5$$

$$t + 2 - 2 = -5 - 2$$

$$t = -7$$

خاصيتا الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في / على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$ac = bc$$

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\frac{1}{4}a = 3 \\ (\frac{1}{4}a)(4) = 3(4) \\ a = 12$$

دليل الرياضيات

مثال: حل المعادلة $6n = 18$ مستخدماً خاصية القسمة

$$\begin{aligned} 6n &= 18 \\ \frac{6n}{6} &= \frac{18}{6} \\ n &= 3 \end{aligned}$$

مثال: حل المعادلة $2t + 8 = 5t - 4$ بالنسبة للمتغير t

$$\begin{aligned} 2t + 8 &= 5t - 4 \\ 8 + 4 &= 5t - 2t \\ 12 &= 3t \\ 4 &= t \end{aligned}$$

فصل المتغير Isolating a Variable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير - أي لحل المعادلة بالنسبة لذلك المتغير - اكتب معادلة ارتباط مكافئة بحيث يتضمن أحد طرفيها المتغير فقط بمعامل يساوي 1.

ارتباط الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$\begin{aligned} PV &= nRT \\ \frac{PV}{V} &= \frac{nRT}{V} \\ P\left(\frac{V}{V}\right) &= \frac{nRT}{V} \\ P &= \frac{nRT}{V} \end{aligned}$$

قسّم طرفي المعادلة على V

جَمْع $\left(\frac{V}{V}\right)$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$

مسائل تدريبية

14. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x .

d. $a = \frac{b+x}{c}$

a. $2 + 3x = 17$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

f. $ax + bx + c = d$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

خاصية الجذر التربيعي Square Root Property

إذا كان كل من a ، n أعداداً حقيقية، $n > 0$ و $a^2 = n$ ، فإن $a = \pm \sqrt{n}$.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة للمتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm_E m}{r^2}$$

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$$

$$mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$$

$$\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$$

$$v^2 = \frac{Gm_E}{r}$$

$$\sqrt{v^2} = \pm \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

بالتعويض عن $\frac{r}{r} = 1$

قسّم طرفي المعادلة على m .

بالتعويض عن $\frac{m}{m} = 1$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه للمتغير الذي ستقوم بحل المعادلة بالنسبة له. لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة للسرعة v ، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت بحاجة أيضًا للأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح، فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة للمتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$ ، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيراً واحداً مرفوعاً للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعاً للأس 1. كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بوساطة التمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانياً. إذا كانت $b = 0$ فإن الحد x غير موجود في المعادلة التربيعية. ويمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$ ، تعطى من خلال المعادلة الآتية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي، من المهم الأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. فعادةً يُمكنك إهمال أحد الحلول لكونه حلاً غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالباً استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

دليل الرياضيات

مسائل تدريبية

15. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x .

a. $4x^2 - 19 = 17$

b. $12 - 3x^2 = -9$

c. $x^2 - 2x - 24 = 0$

d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضًا مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى من خلال المعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$. فإذا سقط جسم سقوطًا حرًا على القمر مسافة 20.5 m خلال 5.00 s. أوجد التسارع a على سطح القمر. يقاس التسارع بوحدة m/s^2 .

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5 \text{ m})}{(5.00 \text{ s})^2}$$

$$a = \frac{1.64 \text{ m}}{\text{s}^2} \text{ مثل}$$

$$a = 1.64 \text{ m/s}^2 \text{ أو مثل}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

احسب وقرب حتى ثلاثة أرقام معنوية

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء جد Δx عندما $v_0 = 67 \text{ m/s}$ و $\Delta t = 5.0 \text{ min}$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0 \Delta t$.

$$\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 1$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67 \text{ m}}{\text{s}} \left(\frac{5.0 \text{ min}}{1} \right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$

$$\Delta x = 20100 \text{ m} = 2.0 \times 10^4 \text{ m}$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$

احسب ثم قرب إلى رقمين معنويين. إن العددين 60 s و 1 min مضبوطين ودقيقين، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية.

مسائل تدريبية

16. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0 \times 10^2 \text{ m}}{16 \text{ m/s}}$

17. احسب السرعة المتجهة لقطعة قرميد ساقطة بعد مضي 5.0 s ، استعمل

$$v = a \Delta t \text{ و } a = -9.80 \text{ m/s}^2$$

18. أوجد حاصل ضرب الحدود: $\left(\frac{32 \text{ cm}}{1 \text{ s}}\right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}\right) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}\right) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}\right)$

19. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم قطع المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدة الكيلومترات لكل ساعة؟

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعتبر تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة.

مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2} a t^2$ وحدتها m

d_i تقاس بوحدة m

t تقاس بوحدة s

v_i تقاس بوحدة m/s

a تقاس بوحدة m/s²

$$d_f = m + \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)(\text{s}) + \frac{1}{2} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)(\text{s})^2$$

$$= m + (m) \left(\frac{\text{s}}{\text{s}}\right) + \frac{1}{2} (m) \left(\frac{\text{s}^2}{\text{s}^2}\right)$$

$$= m + (m)(1) + \frac{1}{2} (m)(1)$$

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

بالتعويض عن وحدات كل متغير

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية

بالتعويض عن $\text{s/s} = 1, \text{s}^2/\text{s}^2 = 1$

جميع الحدود أعطت الوحدة m لذلك فإن d_f بوحدة m

لا يطبق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة للوحدات، ويطبق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.

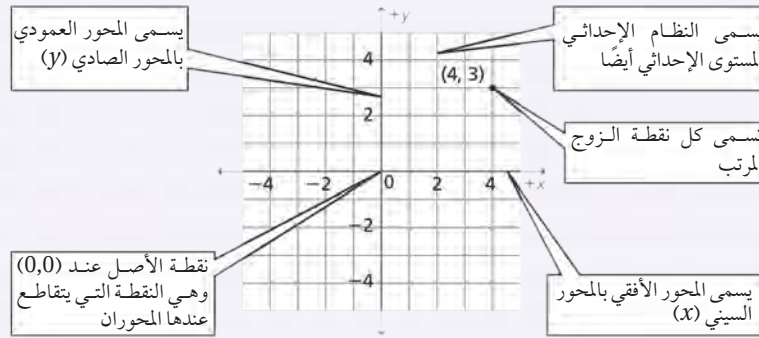


دليل الرياضيات

VII. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

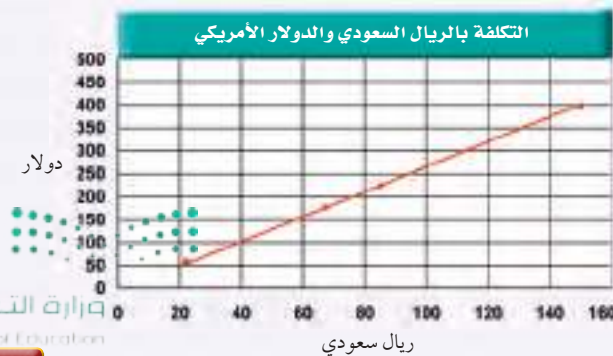
تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، ويسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x, y) يسميان أيضاً الزوج المرتب. وتُرد دائماً قيمة المتغير التابع (x) أولاً في الزوج المرتب الذي يمثل ($0, 0$) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.



استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Graphing Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملاً أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقم المقياس.
4. عيّن كل نقطة بيانياً.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملائمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانياً بسيطاً، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطاً أو منحنى.
6. اكتب عنواناً يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني.



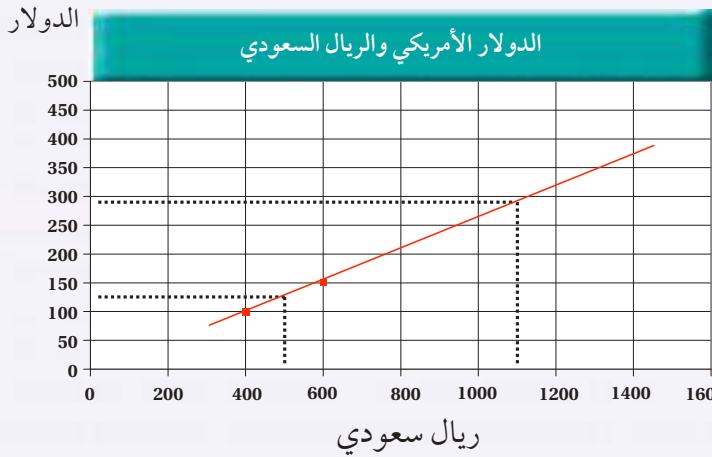
نوع الخدمة	ريال	دولار
الفندق (الإقامة)	1500	398
الوجبات	850	225
الترفيه	670	178
المواصلات	220	58

الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعيناً بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السعر) المقابلة لـ 500 ريال.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 500 (400 ريال، 600 ريال)، ثم ارسم خطاً مستمراً يصل بينهما.



ارسم الآن خطاً متقطعاً عمودياً من النقطة (500 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطاً متقطعاً أفقياً يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولاراً.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 ريال.

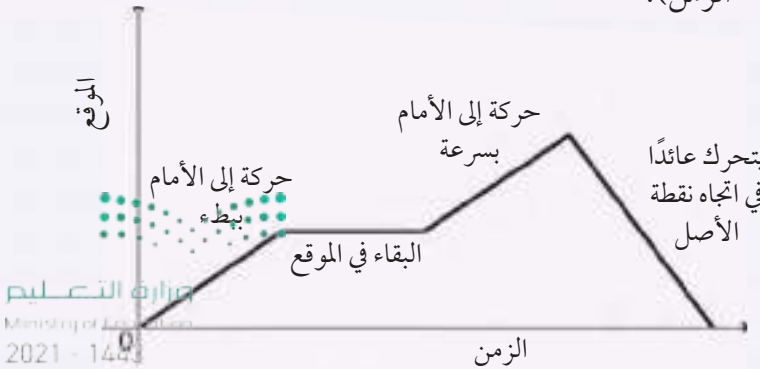
ارسم خطاً متقطعاً من النقطة (1100 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطاً متقطعاً أفقياً. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولاراً.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.

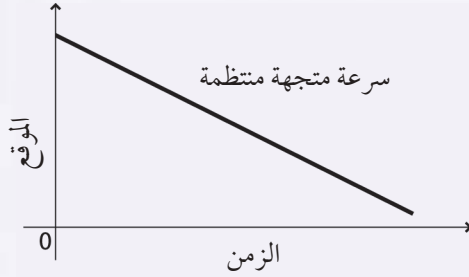
ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع - الزمن).



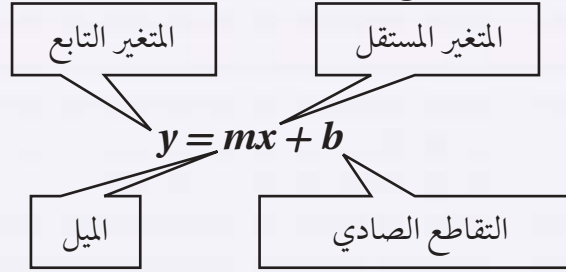
دليل الرياضيات

b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع - الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$ ، حيث m ، b أعداد حقيقية، و m يمثل ميل الخط، و b يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.

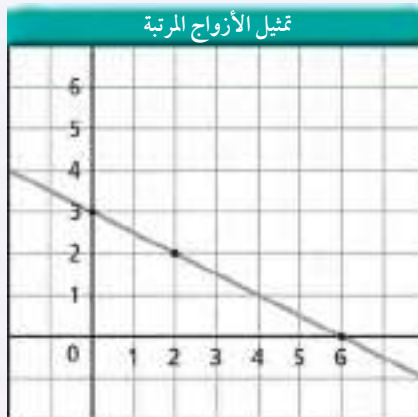


تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانياً قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x, y) ، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثل بيانياً المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

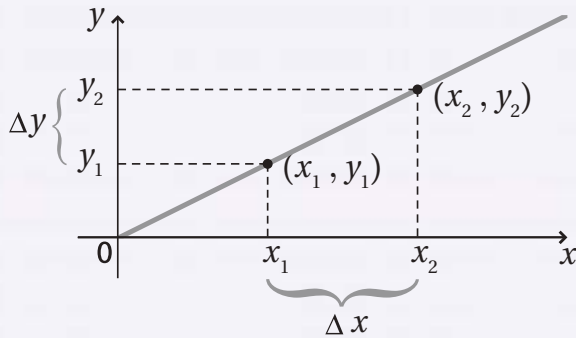
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.



الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0

الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقماً موجباً أو سالباً. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين (x_1, y_1) ، (x_2, y_2) ، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$ ، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$ ، ثم جد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m ، بحيث كانت $y = mx$ ، فإن y تتغير طردياً بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضاً، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسباً طردياً. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0, 0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة قوة الإرجاع للنابض المثالي $F = -kx$ ، حيث F قوة الإرجاع، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير قوة الإرجاع للنابض طردياً مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد قوة الإرجاع، عندما تزداد استطالة النابض.



دليل الرياضيات

التغير العكسي Inverse Variation

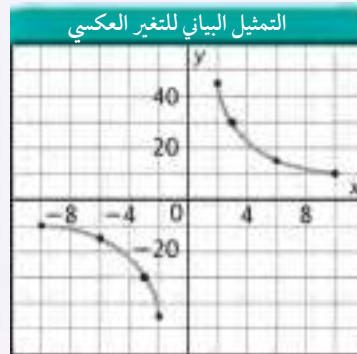
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m ، بحيث كانت $y = m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$

$$y = m \frac{1}{x}$$

$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثل المعادلة $xy = 90$ بيانيًا



الموقع - الزمن	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما يزداد تردد الموجة فإن الطول الموجي يتناقص، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.



التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

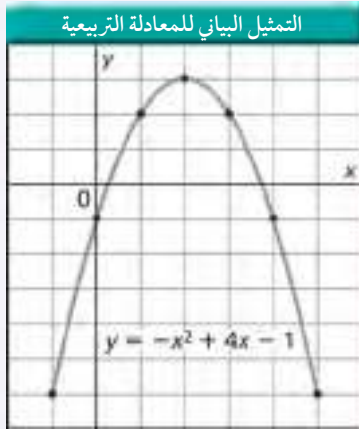
الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

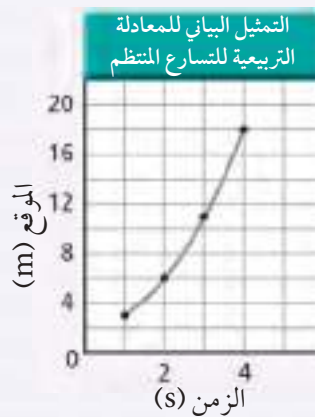
التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجباً أو سالباً.

مثال: مثل بيانياً المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$



الأزواج المرتبة	
x	y
-1	-6
0	-1
1	2
2	3
3	2
4	-1
5	-6

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع - الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع منتظم.



جدول (الموقع - الزمن)	
الموقع (m)	الزمن (s)
3	1
6	2
11	3
18	4



دليل الرياضيات

VIII. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

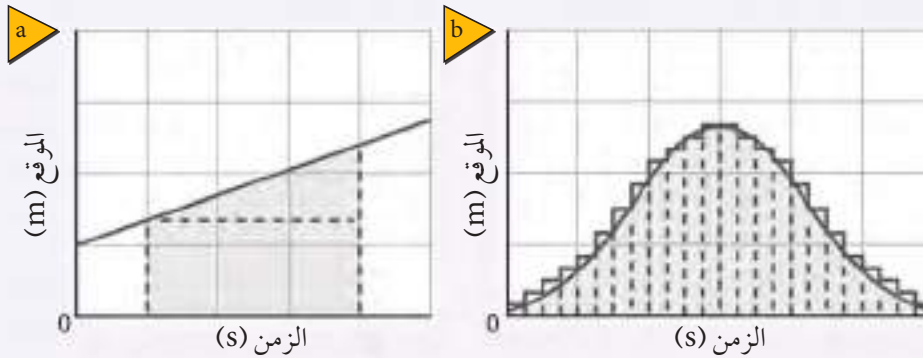
المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة	
المربع الضلع a	$P = 4a$	$A = a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P = 2l + 2w$	$A = lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A = \left(\frac{1}{2}\right)bh$		
المكعب الضلع a		$SA = 6a^2$	$V = a^3$	
الدائرة نصف القطر r	$C = 2\pi r$	$A = \pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h		$SA = 2\pi rh + 2\pi r^2$	$V = \pi r^2 h$	
الكرة نصف القطر r		$SA = 4\pi r^2$	$V = \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3$	



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق. لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. لإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



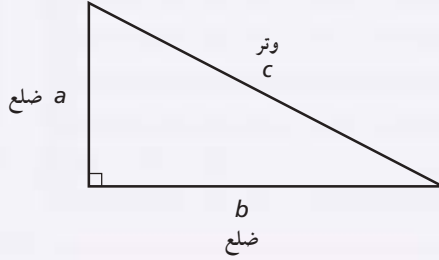
المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

المساحة الإجمالية تساوي
المساحة 1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...



دليل الرياضيات

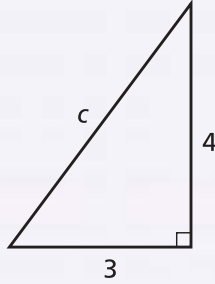
المثلثات القائمة Right Triangles



تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان كل من a ، b يمثلان قياس ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$ ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

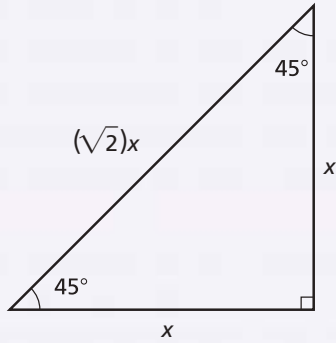
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

مثال: احسب طول الوتر c في المثلث حيث $a = 4 \text{ cm}$ و $b = 3 \text{ cm}$

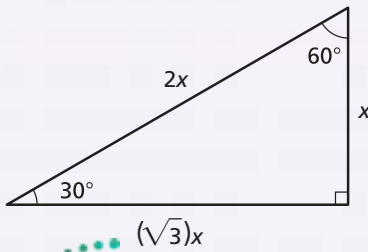


$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{(4 \text{ cm})^2 + (3 \text{ cm})^2} \\ &= \sqrt{16 \text{ cm}^2 + 9 \text{ cm}^2} \\ &= \sqrt{25 \text{ cm}^2} \\ &= 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية 45° ، 45° ، 90° فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروباً في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية 30° ، 60° ، 90° فإن طول الوتر يساوي ضعف طول الضلع الأقصر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مضروباً في طول الضلع الأصغر.



دليل الرياضيات

النسب المثلثية Trigonometric Ratios

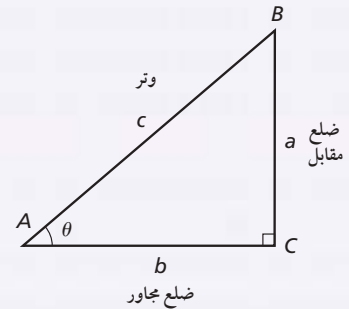
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعًا هي الجيب $\sin \theta$ ، وجيب التمام $\cos \theta$ والظل $\tan \theta$. ولاختصار هذه النسب تعلم الاختصارات الآتية SOH–CAH–TOA. حيث ترمز SOH إلى جيب، مقابل، الوتر، في حين ترمز CAH إلى جيب تمام، مجاور، الوتر. أما TOA فتترمز إلى ظل، مقابل، المجاور.

الرموز	مساعدة الذاكرة	التعابير
$\sin \theta = \frac{a}{c}$	$\sin \theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	يشير الـ $\sin$ إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر
$\cos \theta = \frac{b}{c}$	$\cos \theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	يشير الـ $\cos$ إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.
$\tan \theta = \frac{a}{b}$	$\tan \theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	يشير الـ $\tan$ إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $a = 3 \text{ cm}$ ، $b = 4 \text{ cm}$ ، $c = 5 \text{ cm}$ ، فأوجد كلاً من $\sin \theta$ و $\cos \theta$

$$\sin \theta = \frac{3 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos \theta = \frac{4 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $\theta = 30.0^\circ$ ، $c = 20.0 \text{ cm}$ ، فأوجد a و b .

$$\sin 30.0^\circ = \frac{a}{20.0 \text{ cm}} \quad \cos 30.0^\circ = \frac{b}{20.0 \text{ cm}}$$

$$a = (20.0 \text{ cm})(\sin 30.0^\circ) = 10.0 \text{ cm}$$

$$b = (20.0 \text{ cm})(\cos 30.0^\circ) = 17.3 \text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

يمكنك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس باستثناء الحد الأخير. وتمثل θ الزاوية المقابلة للضلع c . فإذا

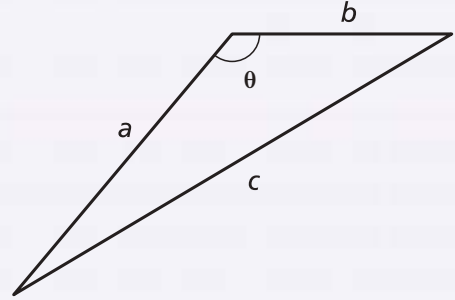
كان قياس الزاوية $\theta = 90^\circ$ فإن $\theta = 0$ والحد الأخير يساوي صفراً.

دليل الرياضيات

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا θ يُصبح عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان $a = 10.0 \text{ cm}$ ، $b = 12.0 \text{ cm}$ ، $\theta = 110.0^\circ$.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta}$$

$$= \sqrt{(10.0 \text{ cm})^2 + (12.0 \text{ cm})^2 - 2(10.0 \text{ cm})(12.0 \text{ cm})(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= \sqrt{1.00 \times 10^2 \text{ cm}^2 + 144 \text{ cm}^2 - (2.40 \times 10^2 \text{ cm}^2)(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= 18.1 \text{ cm}$$

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاثة نسب، حيث a ، b ، c الأضلاع المقابلة للزوايا A ، B ، C بالترتيب. استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

مثال: في المثلث ABC إذا كان $C = 60.0^\circ$ ، $a = 4.0 \text{ cm}$ ، $c = 4.6 \text{ cm}$ ، احسب قياس الزاوية A .

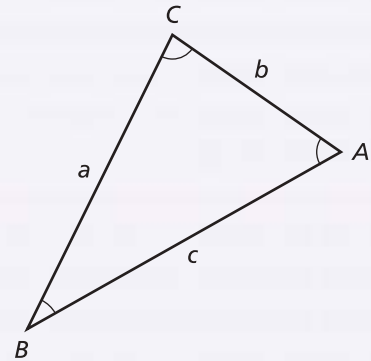
$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin C}{c}$$

$$\sin A = \frac{a \sin C}{c}$$

$$= \frac{(4.0 \text{ cm})(\sin 60.0^\circ)}{4.6 \text{ cm}}$$

$$= 0.75$$

$$A = 49^\circ$$



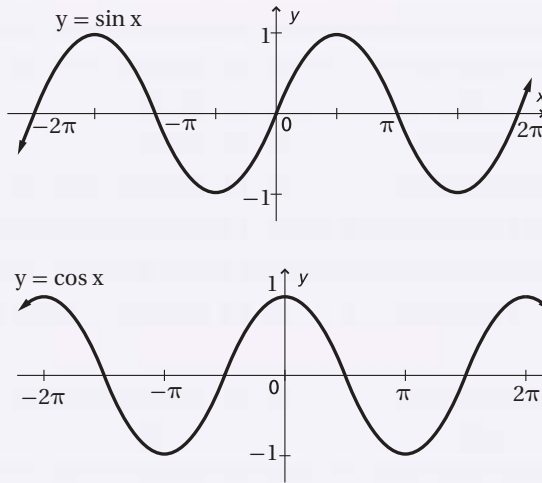
Inverses of Sine, Cosine, and Tangent معكوس جيب التمام، ومعكوس الظل

إن معكوس كل من الجيب، وجيب التمام، والظل يمنحك القدرة على عكس اقترانات الجيب وجيب التمام والظل، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية. والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

المعكوس	الاقتران المثلثي
$x = \sin^{-1} y$ أو معكوس $x = \sin y$	$y = \sin x$
$x = \cos^{-1} y$ أو معكوس $x = \cos y$	$y = \cos x$
$x = \tan^{-1} y$ أو معكوس $x = \tan y$	$y = \tan x$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كل اقتران الجيب، $y = \sin x$ و اقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. والزمن الدوري لكل اقتران يساوي 2π ، وتكون قيمة x أي عدد حقيقي، أما قيمة y فتكون أي عدد حقيقي بين -1 و 1 .



IX. اللوغاريتميات Logarithms

اللوغاريتميات للأساس b

افترض أن b و x عددان موجبان، بحيث $b \neq 1$. فإن لوغاريتم x للأساس b يكتب في صورة $(\log_b x)$ ويساوي y ، حيث تمثل y الأس الذي يجعل المعادلة $x = b^y$ صحيحة. إن لوغاريتم x للأساس b يساوي العدد الأسّي (y) الذي ترفع إليه العدد b للحصول على x .

$$\log_b x = y \text{ إذا وفقط إذا } b^y = x$$

مثال: أوجد ناتج كل من اللوغاريتمات الآتية:

$$\text{لأن } 2^{-4} = \frac{1}{16}$$

$$\text{لأن } 10^3 = 1000$$

$$\log_2 \frac{1}{16} = -4$$

$$\log_{10} 1000 = 3$$



دليل الرياضيات

عندما تريد إيجاد لوغاريتم عددٍ ما يمكنك استعمال الآلة الحاسبة.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون اللوغاريتمات للعمل بقياسات تمتد إلى مقادير متعددة القيمة أو القوة للعدد 10، ويستعمل الجيوفيزيائيون مقياس ريختر وهو مقياس لوغاريتمي يوفر لهم القدرة على تقدير معدل الزلازل من 5 إلى 7 أو أكبر، وتختلف قوة الزلازل بمقدار 7 أو بقوى أكبر للأساس 10.

اللوغاريتمات الطبيعية Common Logarithms

تسمى اللوغاريتمات للأساس 10 اللوغاريتمات الطبيعية، وتكتب غالبًا بدون الرقم الدليل 10.

$$\log_{10} x = \log x \quad x > 0$$

المقابلات اللوغاريتمية أو معكوس اللوغاريتمات Antilogarithms or Inverse Logarithms

المقابل اللوغاريتمي هو معكوس اللوغاريتم، ويمثل العدد الذي له لوغاريتم.

مثال: حل $\log x = 4$ بالنسبة للمتغير x

$$\log x = 4$$

$$x = 10^4$$

10^4 هي المقابل اللوغاريتمي للعدد 4

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة مستوى الصوت L ، بوحدة الديسبل، هي $L = 10 \log_{10} R$. حيث R الشدة النسبية للصوت. احسب R لشوكة رنانة تصدر صوتاً بمستوى صوت مقداره 130 ديسيبل.

$$130 = 10 \log_{10} R$$

$$13 = \log_{10} R$$

$$R = 10^{13}$$

قسّم طرفي المعادلة على العدد 10

استعمل قاعدة اللوغاريتم

عندما تعلم قيمة اللوغاريتم لعدد وتريد معرفة العدد نفسه يمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد معكوس اللوغاريتم.

مسائل تدريبية

20. اكتب الصيغة الأسية للمعادلة $\log_3 81 = 4$

21. اكتب الصيغة اللوغاريتمية للمعادلة $10^{-3} = 0.001$

22. إذا كان $\log x = 3.125$ ، فأوجد قيمة x .



الوحدات الأساسية SI		
الرمز	الاسم	الكمية
m	meter	الطول
kg	kilogram	الكتلة
s	second	الزمن
K	kelvin	درجة الحرارة
mol	mole	مقدار المادة
A	ampere	التيار الكهربائي
cd	candela	شدة الإضاءة

وحدات SI المشتقة				
مقاسة بوحدات SI أخرى	مقاسة بالوحدات الأساسية	الرمز	الوحدة	القياس
	m/s^2	m/s^2		التسارع
	m^2	m^2		المساحة
	kg/m^3	kg/m^3		الكثافة
N.m	$kg.m^2/s^2$	J	joul	الشغل، الطاقة
	$kg.m/s^2$	N	newton	القوة
J/s	$kg.m^2/s^3$	W	watt	القدرة
N/m^2	$kg/m.s^2$	Pa	pascal	الضغط
	m/s	m/s		السرعة
	m^3	m^3		الحجم

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	1 kg = 6.02×10^{26} u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz $\leftrightarrow$ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg $\leftrightarrow$ 2.21 lb	1 eV = 1.60×10^{-19} J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1 kWh = 3.60 MJ
1 m ³ = 264 gal	1 atm = 14.7 lb/in ²	1 hp = 746 W
	1 atm = 1.01×10^5 N/m ²	1 mol = 6.022×10^{23}

الجدول

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
عدد أفوجادرو	N_A	$6.0221415 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
ثابت بولتزمان	k	$1.3806505 \times 10^{-23} \text{ Pa.m}^3/\text{K}$	$1.38 \times 10^{-23} \text{ Pa.m}^3/\text{K}$
ثابت الغاز	R	$8.314472 \text{ Pa.m}^3/\text{mol.K}$	$8.31 \text{ Pa.m}^3/\text{mol.K}$
ثابت الجاذبية	G	$6.6742 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$

البادئات		
البادئة	الرمز	الدلالة العلمية
femto	f	10^{-15}
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}
deka	da	10^1
hecto	h	10^2
kilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
terra	T	10^{12}
peta	P	10^{15}

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الذوبان (°C)	درجة الغليان (°C)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm³)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سيليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4°C)	1.000
خارصين	7.14

الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة			
المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخير لبعض المواد الشائعة		
المادة	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخير (J/kg)
نحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
ذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
حديد	2.66×10^5	6.29×10^6
رصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
زئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
ميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
فضة	1.04×10^5	2.36×10^6
ماء (جليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

الجداول

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
الوسط	m/s
هواء (0°)	331
هواء (20°)	343
هيليوم (0°)	972
هيدروجين (0°)	1286
ماء (25°)	1493
ماء البحر (0°)	1533
مطاط	1600
نحاس (25°)	3560
حديد (25°)	5130
زجاج التنور	5640
ألماس	12000

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
اللون	الطول الموجي (nm) بالنانومتر
الضوء البنفسجي	430–380
الضوء النيلي	450–430
الضوء الأزرق	500–450
الضوء الأزرق الداكن	520–500
الضوء الأخضر	565–520
الضوء الأصفر	590–565
الضوء البرتقالي	625–590
الضوء الأحمر	740–625





أداة تسهل بذل الشغل (ولكن لا تغير مقدار الشغل) بوساطة تغيير مقدار القوة المسببة للشغل أو اتجاهها.	الآلة machine
آلة تتركب من آلتين بسيطتين أو أكثر موصولتين بحيث تصبح قوة المقاومة للآلة الأولى هي القوة المسلطة في الآلة الثانية.	الآلة المركبة compound machine
الحالة التي يصبح عندها معدلا تدفق الطاقة بين جسمين متساوي، ويكون لكلا الجسمين درجة الحرارة نفسها.	الإتزان الحراري Equilibrium
التغير في الزاوية في أثناء دوران الجسم.	الإزاحة الزاوية angular displacement
الانتقال الحراري للطاقة بوساطة الموجات الكهرومغناطيسية خلال الفراغ في الفضاء.	الإشعاع radiation
مقياس للفوضى (العشوائية) في النظام.	الإنتروبي entropy
التغير في اتجاه الموجة عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين.	الانكسار refraction
أنبوب مفتوح من طرف واحد - بالنسبة للهواء - يكون في حالة رنين مع مصدر الصوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مغلق بحيث يكون طول العمود مساويا مضاعفات أعداد فردية من ربع الطول الموجي.	أنبوب الرنين المغلق Closed-pipe resonator
أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مفتوح، بحيث يكون طول العمود مساويا مضاعفات أعداد صحيحة من نصف الطول الموجي.	أنبوب الرنين المفتوح Open-pipe resonator
ترددات مرتفعة وهي مضاعفات فردية من التردد الأساسي، وإضافة الإيقاعات معا يعطي الصوت طابعا مميزا.	الإيقاع Harmonic



ب

الباسكال	وحدة قياس الضغط في النظام الدولي للوحدات SI.
pascal	
بطن الموجة	النقطة ذات الإزاحة الكبرى عندما التقاء نبضتي موجة.
antinode	
البلازما	حالة من حالات الموائع، يكون فيها المائع شبه غاز، ويتكون من إلكترونات سالبة الشحنة وأيونات موجبة الشحنة بحيث توصل الكهرباء، ومعظم المواد في الكون مثل النجوم في حالة البلازما.
البندول البسيط	أداة توضح الحركة التوافقية البسيطة، ويتكوّن من جسم ثقيل يُسمّى ثقل البندول، يُعلّق بوساطة خيط أو قضيب خفيف، ثم يسحب ثقل البندول إلى أحد الجانبين ويترك ليتأرجح جيئةً وذهاباً.
Simple pendulums	

ت

تأثير دوبلر	التغير في تردد الصوت الناتج عن تحرك مصدر الصوت أو الكاشف أو كليهما.
Doppler effect	
التداخل	نتيجة تراكب موجتين أو أكثر، ويمكن أن يكون التداخل بناءً (إزاحات الموجة في الاتجاه نفسه)، ويمكن أن يكون التداخل هداماً (اتساعات الموجات متساوية ولكن متعاكسة).
interference	
التردد	عدد الذبذبات الكاملة التي تحدثها الموجة في الثانية الواحدة، وتقاس بوحدة الهرتز Hz
frequency	
التردد الأساسي (الأساس)	أقل تردد للصوت الذي يحدث الرنين في الآلات الموسيقية
fundamental	
التسارع الزاوي	حاصل قسمة التغير في السرعة الزاوية المتجهة على الزمن اللازم للتغير، وتقاس بوحدة rad/s^2 .
angular acceleration	
التصادم المرن	أحد أنواع التصادم، تبقى فيه الطاقة الحركية قبل التصادم وبعده متساويين.
elastic collision	



التصادم الذي تقل فيه الطاقة الحركية النهائية عن الطاقة الحركية الابتدائية.

التصادم عديم المرونة

inelastic collision

أحد أنواع التصادم، تزيد فيه الطاقة الحركية بعد التصادم عنها قبل التصادم.

تصادم فوق المرن
(الانفجاري)

super elastic
(explosive)

خاصية للمواد في جميع حالاتها، تسبب تمدد المادة فتصبح أقل كثافة عند التسخين.

التمدد الحراري

thermal expansion

عملية يتم فيها نقل الطاقة الحركية عند تصادم الجزيئات بعضها ببعض.

التوصيل الحراري

conduction

ج

وحدة قياس الطاقة J، تساوي الشغل المبذول عندما تؤثر قوة مقدارها واحد نيوتن في جسم مسافة 1m.

الرجول

joule

ح

خاصية للصوت تعتمد على تردد الاهتزاز فقط، ونميز بوساطتها الأصوات الرفيعة (الحادة) من الأصوات الغليظة.

حدة الصوت

pitch

الطاقة المتنقلة بين جسمين متصلين معاً تنتقل عادة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد.

الحرارة

heat

كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1kg من المادة في حالة الصلابة إلى حالة السيولة عند درجة الانصهار.

الحرارة الكامنة للانصهار

heat of fusion

كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1kg من المادة في حالة السيولة إلى الحالة الغازية عند درجة الغليان.

الحرارة الكامنة للتبخير

heat of vaporization

كمية الطاقة الواجب تزويدها للمادة لترفع درجة حرارة وحدة الكتلة من المادة

الحرارة النوعية

specific heat

درجة حرارة واحدة، وتقاس بوحدة J/kg.K.

الحركة التي تحدث عندما تتناسب القوة المعيدة (المرجعة) المؤثرة في جسم طردياً مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان.

الحركة التوافقية البسيطة

simple harmonic

motion



المصطلحات

أي حركة تتكرر في دورة منتظمة.

الحركة الدورية
periodic motion

إحدى طرائق انتقال الطاقة الحرارية، تحدث بحركة المائع في سائل أو غاز والناجمة عن اختلاف درجات الحرارة.

الحمل الحراري
convection



الخطوط التي تمثل تدفق الموائع حول الأجسام.

خطوط الانسياب
streamlines



حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم في زمن تأثيرها.

الدفع
impulse

وحدة قياس مستوى الصوت، يمكن بوساطتها وصف قدرة الموجات الصوتية وشدتها

الديسبل
decible



المسافة العمودية من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة.

ذراع القوة
lever arm



تساوي $\frac{1}{2\pi}$ من الدورة الكاملة، ويرمز لها بالرمز rad

الراديان
radian
الرنين
resonance

حالة خاصة في الحركة التوافقية البسيطة تحدث عندما تُطبَّق قوى صغيرة في فترات منتظمة على متذبذب أو جسم مهتز، مما يؤدي إلى زيادة اتساع الاهتزاز



حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته، وتقاس بوحدة kg.m /s

الزخم
momentum
الزمن الدوري
periode

مقدار الزمن الذي يحتاج إليه الجسم حتى يكمل دورة واحدة من الحركة.

س

حاصل قسمة الإزاحة الزاوية لجسم يدور على الزمن اللازم لحدوث هذه الإزاحة.
أقصى مسافة يتحركها الجسم من وضع الاتزان في أي حركة دورية.

السرعة الزاوية المتجهة
angular velocity
السعة
amplitude

ش

نمط ثابت ومنتظم يتشكل عندما تنخفض درجة حرارة السائل، بحيث يقل متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وبالنسبة لكثير من المواد الصلبة لا يعني التجمد التوقف عن الحركة، وإنما تبقى الجزيئات تتذبذب حول موضع اتزانها.
الخط الذي يبين اتجاه الموجة المنتقلة، ويُرسم عمودياً على قمة الموجة.
الانتقال الميكانيكي للطاقة، يتم عندما تؤثر قوة ثابتة في جسم في اتجاه حركته نفسه، ويساوي القوة مضروبةً في إزاحة الجسم.

الشبكة البلورية
crystal lattice
الشعاع
ray
الشغل
work

ض

القوة المؤثرة في سطح ما مقسومة على مساحة ذلك السطح.

الضغط
Pressure

ط

قدرة الجسم على إحداث تغيير في نفسه أو في الأشياء المحيطة به.
الطاقة الكلية للجزيئات.
طاقة الجسم الناتجة عن حركته.

الطاقة
energy
الطاقة الحرارية
thermal energy
الطاقة الحركية
kinetic energy
الطاقة الميكانيكية
mechanical energy



المصطلحات

طاقة وضع الجاذبية

gravitational potential energy الطاقة المخزنة في النظام والناجمة عن قوة الجاذبية بين الأرض والجسم.

طاقة الوضع المرنة

elastic potential energy طاقة الوضع المخزنة في جسم مرن (مطاطي) نتيجة لتغير الشكل.
أقصر مسافة بين النقاط التي يعيد نمط الموجة نفسه فيها، كالمسافة بين قمة وقمة، أو المسافة بين قاع وقاع.

الطول الموجي

wavelength

طاقة حركية دورانية

rotational kinetic energy طاقة الجسم الناجمة عن حركته حركة دورانية.

ع

العزم

torque

العقدة

node

علو الصوت

loudness

العمود المقام

normal

مقياس لمدى فاعلية القوة في تدوير الأجسام، وتساوي القوة مضروبة في طول ذراعها.
النقطة الثابتة التي تلتقي فيها نبضتان موجيتان في الموقع نفسه، حيث تصبح الإزاحة الناتجة صفراً.
شدة الصوت كما تحسّ الأذن ويدركه الدماغ، ويعتمد بشكل رئيس على اتساع موجة الضغط.

الخط الذي يبين اتجاه الحاجز في مخطط الأشعة، ويُرسم عمودياً على الحاجز.

ف

الفائدة الميكانيكية

mechanical advantage

الفائدة الميكانيكية المثالية

ideal mechanical advantage

النسبة بين قوة المقاومة إلى القوة المؤثرة.

للآلة المثالية تساوي إزاحة القوة مقسومة على إزاحة المقاومة (الحمل).

ق

القاع

trough

قاعدة أرخميدس

Archimedes' principle

أدنى نقطة في الموجة.

تنصّ على أن الجسم المغمور في سائل يتأثر بقوة إلى الأعلى مساوية لوزن السائل المزاح بواسطة الجسم.



ينصّ على أن زاوية انعكاس الشعاع المحصورة بين العمود المقام والشعاع المنعكس تساوي زاوية السقوط المحصورة بين العمود المقام والشعاع الساقط.

ينصّ على أن التغير في الطاقة الحرارية لجسم ما يساوي الحرارة التي اكتسبها الجسم مطروحاً منها الشغل الذي بذله الجسم.

ينصّ على أن العمليات الطبيعية في الكون تحدث بحيث يتم الحفاظ على الفوضى الكلية (الاضطراب) في الكون (النظام) أو زيادتها.

ينصّ على أن الزخم في أي نظام مغلق ومعزول لا يتغير.

ينصّ على أنه في النظام المغلق والمعزول. الطاقة لا تفنى ولا تستحدث إلا بقدره الله، وإنما تتحول من شكل إلى آخر؛ ولذلك تبقى محفوظة.

لكمية ثابتة من غاز مثالي يكون حاصل ضرب الضغط في الحجم مقسوماً على درجة الحرارة بالكلفن يساوي مقداراً ثابتاً، ويمكن اشتقاق قانون بويل من هذا القانون إذا تم تثبيت درجة الحرارة، كما يمكن اشتقاق قانون شارل منه إذا تم تثبيت الضغط.

هي الشغل المبذول مقسوماً على الزمن اللازم لبذل الشغل، أو هي المعدل الذي تغير فيه القوة الخارجية طاقة النظام. في الغاز المثالي، حاصل ضرب الضغط في الحجم يساوي عدد المولات مضروبة في الثابت R ودرجة الحرارة بالكلفن. وبوساطته يتم توقع سلوك الغازات بشكل جيد إلا في حالات الضغط العالي ودرجة الحرارة المنخفضة.

ينصّ على أن القوة المؤثرة في نابض تتناسب طردياً مع مقدار الاستطالة الحادثة فيه.

أعلى نقطة في الموجة.

القوة الظاهرة (الوهمية) التي تبدو أنها تسحب الجسم المتحرك بسرعة دائرية ثابتة، لكنها لا تؤثر بأي دفع ملموس إلى الخارج، وتكون محسوسة فقط عندما تتم ملاحظة الجسم في أطر دوّارة.

قانون الانعكاس

law of reflection

القانون الأول في الديناميكا

first law of thermodynamics

الحرارية

القانون الثاني في الديناميكا

الحرارية

second law of

thermodynamics

قانون حفظ الزخم

law of conservation of

momentum

قانون حفظ الطاقة

law of conservation of

energy

القانون العام للغازات

combined gas law

القدرة power

قانون الغاز المثالي

ideal gas law

قانون هوك

Hooke's law

القمة

crest

القوة الطاردة المركزية

centrifugal force

المصطلحات

القوة الرأسية المؤثرة في الجسم المغمور في مائع إلى أعلى.

قوة الطفو

buoyant force

القوة التي يؤثر بها الشخص في الآلة.

القوة المسالطة

effort force

قوى التجاذب الكهرومغناطيسية، بوساطتها تلتصق مادة بمادة أخرى، وهي

قوى التلاصق

المسؤولة عن عمل الأنابيب الشعرية.

adhesive forces

قوى تجاذب كهرومغناطيسية تؤثر بها الدقائق المتماثلة بعضها في بعض وهي المسببة

قوى التماسك

للتوتر السطحي واللزوجة.

cohesive forces

قوة ظاهرية (وهمية) التي تبدو وكأنها تحرف جسم متحرك عن مساره بخط مستقيم ولا يمكن ملاحظتها إلا في أطر مرجعية دوارة.

قوة كوريوليس

The Coriolis Force



النسبة بين الشغل الناتج إلى الشغل المبذول (الداخل).

الكفاءة

efficiency



مادة لها شكل وحجم محددان، ولكن ليس لها تركيب بلوري منتظم.

المادة الصلبة غير البلورية

amorphous solid

ينصّ على أن أي تغير في الضغط المؤثر عند أي نقطة في المائع المحصور ينتقل في جميع الاتجاهات داخل المائع بالتساوي.

مبدأ باسكال

Pascal's principle

ينصّ على أن تزايد سرعة المائع يؤدي إلى نقصان ضغطه.

مبدأ برنولي

Bernoulli's principle

ينصّ على أن إزاحة الوسط الناتجة عن موجتين أو أكثر هي المجموع الجبري لإزاحات الموجات، وهي منفردة.

مبدأ التراكب

principle of
superposition

جهاز يحوّل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية بشكل مستمر ويحتاج إلى مصدر طاقة حرارية ذات درجة حرارة عالية، كما أنها الطريقة التي تتحوّل بها الطاقة الحرارية إلى شغل.

المحرك الحراري

heat engine



نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي تتحرك بها النقطة المادية.

مركز الكتلة

center of mass

الموضع الذي تكون فيه طاقة وضع الجاذبية صفرًا.

المقياس اللوغارتمي الذي يقيس الاتساع، ويعتمد على نسبة تغير الضغط لموجة صوتية معينة إلى تغير الضغط في أضعف الأصوات المسموعة، ويُقاس بوحدة الديسبل dB.

حاصل قسمة التغير في الحجم على الحجم الأصلي والتغير في درجة الحرارة. ويعادل ثلاثة أضعاف معامل التمدد الطولي تقريبًا لأن الجسم يتمدد في الأبعاد الثلاثة.

حاصل قسمة التغير في الطول على الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

القوة التي تؤثر بها الآلة.

الخط الذي يمثل قمة الموجة في بعدين، والذي يبين طولها الموجي ولا يبين اتساعها عند رسمها ضمن مقياس رسم.

اضطراب ينقل الطاقة خلال وسط ناقل أو في الفراغ، كما أنه ينقل الطاقة ولا ينقل جزيئات الوسط الناقل.

موجة ميكانيكية تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل بالمعدل نفسه.

الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين وسطين.

موجة ميكانيكية ناتجة عن تحرك دقائق الوسط في كلا الاتجاهين: في اتجاه حركة الموجة نفسه، وفي الاتجاه المتعامد مع اتجاه حركتها.

انتقال تغيرات الضغط خلال مادة على شكل موجة طولية، ويحدث لها انعكاس وتداخل، كما أن لها ترددًا، وطول موجة، وسرعة، واتساعًا.

موجة ميكانيكية ينتقل الاضطراب فيها في اتجاه حركة الموجة نفسه؛ أي موازيًا لها.

مستوى الإسناد
level

مستوى الصوت
sound level

معامل التمدد الحجمي
coefficient of volume
expansion

معامل التمدد الطولي
coefficient of linear
expansion

المقاومة
resistance force

مقدمة الموجة
wave front

الموجة wave

الموجة الدورية
periodic wave

الموجة الساقطة
incident wave

الموجة السطحية
surface wave

الموجة الصوتية
sound wave

الموجة الطولية
longitudinal wave



المصطلحات

موجة ميكانيكية تنذبذب عمودياً على اتجاه حركة الموجة.

الموجة المستعرضة

transverse wave

الموجة المرتدة الناتجة عن انعكاس بعض طاقة نبضة الموجة الساقطة إلى الخلف.

الموجة المنعكسة

reflected wave

الموجة التي تظهر واقفة وساكنة، وتتولد نتيجة تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين

الموجة الموقوفة (المستقرة)

standing wave

مادة سائلة أو غازية تنساب (تندفق) وليس لها شكل محدد.

الموائع

fluids



نظام تكون فيه محصلة القوى الخارجية المؤثرة عليه تساوي صفر.

النظام المعزول

Isolated System

النظام الذي لا يكسب كتلة أو يفقدها.

النظام المغلق

closed system

اضطراب ينتقل في الوسط.

نبضة موجية wave puls

تنص على أن الدفع على جسم يساوي الزخم النهائي للجسم مطروحاً منه زخمه الابتدائي.

نظرية الدفع-الزخم

impulse-momentum

theorem

تنصّ على أنه عند بذل شغل على جسم ما تتغير الطاقة الحركية للجسم.

نظرية الشغل- الطاقة

work- energy theorem



وحدة القدرة w ، وتساوي مقدار 1 J من الطاقة المتحولة (المنقولة) في الثانية 1 s .

الواط

watt

